



LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA

Le comité d'experts sur les eaux souterraines
au Canada



Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Le savoir au service du public

LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA

Comité d'experts sur les eaux souterraines

LE CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES

180, rue Elgin, Ottawa (Ontario), Canada K2P 2K3

Avis : Le projet sur lequel porte ce rapport a été entrepris avec l'approbation du conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes (CAC). Les membres de ce conseil des gouverneurs sont issus de la SRC : Les Académies des arts, des lettres et des sciences du Canada, de l'Académie canadienne du génie (ACG) et de l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS), ainsi que du grand public. Les membres du comité d'experts responsable du rapport ont été choisis par le CAC en raison de leurs compétences spécifiques et en vue d'obtenir un équilibre des points de vue.

Ce rapport a été préparé pour le gouvernement du Canada en réponse à une demande soumise par Ressources naturelles Canada par l'intermédiaire du ministre de l'Industrie. Les opinions, résultats, conclusions et recommandations présentés dans cette publication sont ceux de leurs auteurs – le comité d'experts sur les eaux souterraines (« le comité »).

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

La gestion durable des eaux souterraines au Canada [ressource électronique] / Comité d'experts sur les eaux souterraines.

Publ. aussi en anglais sous le titre : The sustainable management of groundwater in Canada. Comprend des références bibliographiques. Publ. aussi en format imprimé.

ISBN 978-1-926558-12-7

1. Eau souterraine--Canada--Gestion. 2. Eau souterraine--Politique gouvernementale--Canada. 3. Écologie de l'eau souterraine--Canada. 4. Eau--Qualité--Gestion--Canada. I. Conseil des académies canadiennes. Comité d'experts sur les eaux souterraines

GB1029.S8814 2009a

333.91'040971

C2009-900068-7

Images : Certains éléments graphiques conçus ou reproduits par Richard Franklin. Photo de la page couverture gracieuseté de l'Environmental Agency (Royaume-Uni).

Traduction : Le présent rapport a été traduit de l'anglais par Benoît Thouin (TETRA-COMM inc.), traducteur agréé En-Fr (Canada). René Therrien (membre du comité), Claire Breton-Pachla et Mary-Christine Thouin (TETRACOMM inc.) ont assuré la révision et la relecture de la version française.

Avis de non-responsabilité : Les données et informations citées dans le présent rapport étaient correctes, à notre connaissance, à la date de publication du rapport. En raison de la nature dynamique d'Internet, des ressources qui sont gratuites et accessibles au public peuvent par la suite faire l'objet de restrictions d'accès ou exiger des frais, et l'emplacement des éléments d'information peut changer lorsque les menus et le contenu des sites font l'objet de modifications. Les opinions et extrapolations exprimées dans ce document sont celles des auteurs en tant qu'experts du domaine et ne représentent pas nécessairement celles de leur employeur ou organisme d'affiliation.



Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

© 2009 Conseil des académies canadiennes

Canada

Cette évaluation a été rendue possible
grâce au soutien du gouvernement du Canada.

Le Conseil des académies canadiennes

LE SAVOIR AU SERVICE DU PUBLIC

Le **Conseil des académies canadiennes** (CAC) a pour mission de mener des évaluations indépendantes et spécialisées des données scientifiques pertinentes liées à des questions importantes d'intérêt public. L'expression « données scientifiques » est ici prise au sens large et englobe toute discipline qui produit un savoir, notamment les sciences naturelles, les sciences humaines et les sciences de la santé, le génie et les lettres. Les évaluations du CAC sont effectuées par des comités indépendants d'experts qualifiés provenant du Canada et de l'étranger.

Indépendant du gouvernement, mais disposant d'une subvention de 30 millions de dollars pour 10 ans accordée en 2005 par le gouvernement du Canada, le CAC effectue des études sur des sujets proposés par le gouvernement et effectuera également, à terme, des études sur des sujets proposés par des organismes non gouvernementaux et des entreprises du secteur privé. Le CAC est géré par un conseil des gouverneurs de 12 membres, dont la majorité sont nommés directement ou indirectement par les trois académies membres du CAC – à savoir l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS), l'Académie canadienne du génie (ACG) et la SRC : Les Académies des arts, des lettres et des sciences du Canada. Un comité consultatif scientifique de 16 membres, qui se compose de représentants éminents de la communauté scientifique dans son ensemble, donne son avis au conseil des gouverneurs quant au choix des sujets à évaluer, aux modalités des évaluations, à la sélection des comités d'experts et à l'examen par des pairs. Voici les trois académies membres fondatrices du Conseil des académies canadiennes :

La **SRC : Les Académies des arts, des lettres et des sciences du Canada**, est le principal organisme national de scientifiques, de chercheurs et d'artistes éminents du Canada. La Société royale du Canada regroupe environ 1800 membres, hommes et femmes de toutes les régions du pays, qui sont choisis par leurs pairs pour leurs réalisations exceptionnelles dans le domaine des sciences naturelles, des sciences humaines, des arts et des lettres. La SRC est un organisme de bienfaisance qui a été constitué par une loi du parlement en 1883.

L'**Académie canadienne du génie (ACG)** compte parmi ses membres bon nombre des ingénieurs les plus accomplis du pays, qui se sont consacrés à l'application des principes des sciences et du génie au service des intérêts du pays et de ses entreprises. L'ACG est un organisme indépendant, autonome et à but non lucratif qui a été fondé en 1987 pour servir la nation dans le domaine du génie. Les quelque 440 membres de l'ACG représentent l'ensemble des disciplines du génie et viennent des secteurs industriel, gouvernemental et éducatif.

L'**Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS)** englobe tous les secteurs des sciences de la santé, y compris toutes les disciplines médicales et les sciences paramédicales, depuis les sciences fondamentales jusqu'aux sciences sociales et aux recherches sur la santé de la population. Les quelque 300 membres de l'ACSS sont des personnes reconnues pour leur leadership, leur créativité, les compétences qui les distinguent, leur engagement à faire progresser la recherche dans le domaine des sciences de la santé et les contributions importantes qu'elles ont apportées tout au long de leur vie à la société canadienne sur le plan de la santé.

www.sciencepourlepublic.ca

Publications du Conseil des académies canadiennes

**LES RAPPORTS SUIVANTS SONT ACCESSIBLES DANS
LE SITE WEB DU CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES
(www.sciencepourlepublic.ca) :**

L'état de la science et de la technologie au Canada

La transmission du virus de la grippe et la contribution de l'équipement de protection respiratoire individuelle – Évaluation des données disponibles

Petit et différent : perspective scientifique sur les défis réglementaires du monde nanométrique

La production d'énergie à partir des hydrates de gaz – Potentiel et défis pour le Canada

Vision pour l'Initiative canadienne de recherche dans l'Arctique – Évaluation des possibilités

Innovation et stratégies d'entreprise : pourquoi le Canada n'est pas à la hauteur

La gestion durable des eaux souterraines au Canada

Meilleure recherche = Meilleur management

**LES RAPPORTS SUIVANTS FONT L'OBJET, À L'HEURE ACTUELLE,
DE DÉLIBÉRATIONS DE COMITÉS D'EXPERTS :**

L'état des techniques d'évaluation des risques en matière de santé animale

Évaluation des tests intégrés de pesticides

Le comité d'experts sur les eaux souterraines

James P. Bruce, O.C., MSRC, Président, expert-conseil en environnement, Climate and Water, Ottawa (Ontario)

William Cunningham, chef adjoint, Bureau des eaux souterraines, Commission géologique des États-Unis, Reston (Virginie)

Allan Freeze, MSRC, ancien professeur et directeur du programme de génie géologique, Université de la Colombie-Britannique, Surrey (Colombie-Britannique)

Robert Gillham, C.M., MSRC, professeur émérite distingué, Département des sciences de la Terre et de l'environnement, et membre de l'Institut de recherche sur les eaux souterraines, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario)

Sue Gordon, chercheure hydrogéologue et chef du Programme de gestion intégrée de l'eau, Conseil de recherches de l'Alberta, Calgary (Alberta)

Steve Holysh, hydrogéologue principal, Conservation Authorities Moraine Coalition, Toronto (Ontario)

Steve Hruday, MSRC, professeur émérite en toxicologie environnementale et analytique, Université de l'Alberta, Edmonton (Alberta)

William Logan, directeur adjoint, International Center for Integrated Water Resources Management, United States Corp. of Engineers, Alexandria (Virginie)

Kerry MacQuarrie, professeur et titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface, Département de génie civil et Institut canadien des rivières, Université du Nouveau-Brunswick, Fredericton (Nouveau-Brunswick)

Paul Muldoon, avocat en environnement et chargé de cours, Centre pour l'environnement, Université de Toronto, Toronto (Ontario)

Linda Nowlan, associée de recherche, Programme sur la gouvernance de l'eau, Institut des ressources, de l'environnement et du développement durable, et Département de géographie, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver (Colombie-Britannique)

John Pomeroy, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en ressources d'eau et en changement climatique, directeur, Centre d'hydrologie, et professeur, Département de géographie et de planification, Université de la Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan)

Steven Renzetti, professeur, Département d'économie, Université Brock, St. Catharines (Ontario)

Barbara Sherwood Lollar, MSRC, professeure et directrice, Laboratoire des isotopes stables, Département de géologie, Université de Toronto, Toronto (Ontario)

René Therrien, professeur, Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec

Personnel responsable du projet au Conseil des académies canadiennes

DIRECTRICES DE PROGRAMME :

Katherine Levitt

Trina Foster

Maria Trainer

AVEC LA PARTICIPATION (PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE) DE :

Michelle Campbell (consultante)

David Cashaback (analyste principal)

Jennifer Chandler (consultante)

Alison Crone (adjointe aux programmes)

Laurence Davidson (consultant)

Marc Saner (directeur des évaluations)

Christina Stachulak (directrice de programme)

Remerciements

Le comité d'experts sur les eaux souterraines a été mis sur pied en réponse à une demande formulée par le ministre des Ressources naturelles du Canada, qui a posé la question suivante au Conseil des académies canadiennes : « *Du point de vue scientifique, que faut-il pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine du Canada?* »

Au cours de ses travaux, le comité a sollicité et obtenu l'aide de nombreuses personnes et organisations, qui ont fourni de précieux avis et renseignements. Nous tenons à remercier particulièrement les agences provinciales, les organismes scientifiques et les spécialistes qui ont répondu à notre appel public d'informations. Les experts qui ont examiné le rapport ont contribué de manière importante à la qualité du rapport final et méritent toute notre reconnaissance pour leurs efforts.

Le comité souhaite en outre signaler l'aide qu'ont fournie les commanditaires de l'étude ainsi que le personnel des organismes fédéraux consultés. Il remercie enfin le personnel et les consultants du Conseil des académies canadiennes, sans qui ce rapport n'aurait pas pu voir le jour.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J.P. Bruce', written in a cursive style.

James P. Bruce, Président
Comité d'experts sur les eaux souterraines

Examen du rapport

Ce rapport a été examiné, à l'état d'ébauche, par les personnes mentionnées ci-dessous, qui ont été choisies par le Conseil des académies canadiennes en raison de la diversité de leurs points de vue, de leurs domaines de spécialisation et de leurs origines dans les secteurs de la recherche, de l'entreprise privée, des politiques et des organisations non gouvernementales.

Ces examinateurs ont évalué l'objectivité et la qualité du rapport. Leurs avis – qui demeureront confidentiels – ont été pleinement pris en considération par le comité, et la plupart de leurs suggestions ont été incorporées dans le rapport. Nous n'avons pas demandé à ces personnes d'approuver les conclusions du rapport, et elles n'ont pas vu la version définitive du rapport avant sa publication. Le comité et le CAC assument l'entière responsabilité du contenu définitif de ce rapport.

Le CAC tient à remercier les personnes suivantes d'avoir bien voulu examiner le rapport :

Diana Allen, professeure, Département des sciences de la Terre, Université Simon Fraser (Burnaby, BC)

William Alley, chef, Bureau des eaux souterraines, Commission géologique des États-Unis (San Diego, CA)

R.N. Betcher, gestionnaire, Section de la gestion des eaux souterraines, Manitoba Water Stewardship (Winnipeg, MB)

François Bregha, associé principal, Stratos Inc. (Ottawa, ON)

John Cherry, FRSC, professeur émérite, Département des sciences de la Terre, Université de Waterloo, et professeur associé, École de génie, Université de Guelph (Waterloo et Guelph, ON)

Rob de Loë, professeur et titulaire de la chaire de recherche sur les politiques et la gouvernance relatives à l'eau, Département d'études sur l'environnement et les ressources, Université de Waterloo (Waterloo, ON)

Mary Griffiths, anciennement analyste principale des politiques, Institut Pembina (Edmonton, AB)

Terry W. Hennigar, président, Water Consulting (Wolfville, NS)

R. Anthony Hodge, président, Conseil international des mines et des métaux, et professeur d'exploitation minière et de développement durable, Université Queen's (Victoria, BC, et Kingston, ON)

Theodore Horbulyk, professeur adjoint, Département d'économie, Université de Calgary (Calgary, AB)

Charles Lamontagne, ingénieur en hydrogéologie, Direction des politiques de l'eau, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec

René Lefebvre, professeur titulaire, Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement (Québec, QC)

Harm Maathuis, hydrogéologue (Saskatoon, SK)

Ralph Pentland, président, Ralbet Enterprises Inc. (Ottawa, ON)

David Rudolph, professeur, Département des sciences de la Terre, et membre de l'Institut de recherche sur les eaux souterraines, Université de Waterloo (Waterloo, ON)

J. Owen Saunders, directeur général, Institut canadien du droit des ressources, Faculté de droit, Université de Calgary (Calgary, AB)

Marios Sophocleous, scientifique principal, Section d'hydrogéologie, Commission géologique du Kansas, Université du Kansas (Lawrence, KS)

Harry Swain, associé principal de recherche, Centre for Global Studies, Université de Victoria (Victoria, BC)

La procédure d'examen du rapport a été supervisée, au nom du conseil des gouverneurs et du comité consultatif scientifique du CAC, par Elizabeth Dowdeswell. Son rôle était de s'assurer que le comité d'experts prenne en considération de façon entière et équitable les avis des examinateurs. Le conseil des gouverneurs du CAC n'autorise la publication du rapport d'un comité d'experts qu'une fois que la personne responsable du contrôle de l'examen du rapport confirme que le rapport satisfait bien aux exigences du CAC. Le CAC remercie M^{me} Dowdeswell de son zèle dans sa contribution à la supervision de l'examen du rapport.



Peter J. Nicholson, Président
Conseil des académies canadiennes

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	1
1 INTRODUCTION.....	3
1.1 Négligée et sous-évaluée : la gestion durable des eaux souterraines au Canada	3
1.2 Notions scientifiques fondamentales sur les eaux souterraines.....	12
Points saillants.....	13
2 LA GESTION DURABLE DANS LE CONTEXTE DES EAUX SOUTERRAINES	15
2.1 Évolution de la notion de gestion durable de l'eau dans le monde	15
2.2 Évolution de la notion de gestion durable de l'eau au Canada.....	16
2.3 Les objectifs définis par le Comité en matière de gestion durable des eaux souterraines	17
2.4 Interprétation des objectifs définis par le Comité.....	22
2.5 Reddition de comptes sur les cibles de gestion durable	32
Points saillants.....	33
3 PROBLÈMES ACTUELS ET À VENIR LIÉS À LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES	35
3.1 Augmentation de la population et urbanisation	35
3.2 Impact de l'agriculture	37
3.3 Qualité de l'eau souterraine en milieu rural.....	39
3.4 Impact des activités dans les domaines de l'énergie et des mines.....	41
3.5 Changements climatiques.....	43
3.6 Définition des aires d'alimentation et protection des ouvrages de captage	47
3.7 Protection des écosystèmes	49
3.8 Défis concernant les eaux transfrontalières	50
3.9 Sites contaminés et réhabilitation.....	51
3.10 Changements d'attitude de la population canadienne	55
Points saillants.....	58

4	CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES	61
4.1	Analyse des bassins hydrogéologiques	61
4.2	Rôle des modèles dans la gestion des eaux souterraines	66
4.3	Les limites du développement de modèles	70
4.4	Données requises pour une gestion durable des eaux souterraines	72
4.5	Gestion de l'acquisition et des échanges de données	88
	Points saillants.....	94
5	LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES ET LA PRISE DE DÉCISION	97
5.1	Les compétences en matière d'eau souterraine au Canada	97
5.2	Gouvernance et gestion des eaux souterraines au Canada	107
5.3	Autres approches de la réglementation des eaux souterraines	122
5.4	Affectation de ressources à la gestion des eaux souterraines	130
	Points saillants.....	133
6	ÉVALUATION DE LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES – ÉTUDES DE CAS	137
6.1	L'Île-du-Prince-Édouard : conséquences de la charge en nutriments d'origine agricole sur les eaux souterraines et les écosystèmes connexes	138
6.2	La municipalité régionale de Waterloo, en Ontario : mise en application à l'échelon municipal de politiques concernant les eaux souterraines.....	145
6.3	La moraine d'Oak Ridges, en Ontario : gestion régionale conjointe des eaux souterraines.....	149
6.4	Les sables bitumineux de l'Athabasca : défis des méga-développements pour la gestion durable des eaux souterraines.....	156
6.5	L'aquifère d'Abbotsford-Sumas, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington : exploration de moyens de réduire la pression agricole	165
6.6	Le bassin des Grands Lacs : gestion à grande échelle d'eaux transfrontalières	170
6.7	Les Basses-Laurentides, au Québec : contribution de la science à la gestion des conflits et à la planification de l'utilisation de l'eau souterraine	176

6.8	Les eaux souterraines des Prairies	181
6.9	L'approvisionnement en eau dans le Comté d'Orange, en Californie : des solutions techniques pour la protection et l'amélioration des aquifères	190
6.10	Le bassin de Denver, au Colorado.....	193
6.11	Le bassin de la rivière Big, dans le Rhode Island	196
7	CONCLUSIONS DU COMITÉ : UN CADRE DE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA.....	201
7.1	L'importance grandissante d'une gestion durable des eaux souterraines.....	201
7.2	Résumé des réponses du Comité aux questions de son mandat	202
7.3	Considérations juridiques et institutionnelles.....	211
7.4	Recherches à mener.....	214
7.5	Reddition de comptes.....	215
	BIBLIOGRAPHIE	217
	ANNEXE 1: NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE SCIENCE DES EAUX SOUTERRAINES.....	237
	ANNEXE 2 : POINTS SAILLANTS DE L'APPEL PUBLIC D'INFORMATIONS	247
	ANNEXE 3 : PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DE RAPPORTS CANADIENS SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE.....	257
	Politique fédérale relative aux eaux (1987)	257
	Les problèmes et la recherche sur les eaux souterraines au Canada (1993)	263
	CMI : Protection des eaux des Grands Lacs : rapport final (2000)	269
	Rapport de la commissaire à l'environnement et au développement durable (2001)	270
	Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine (2003)	272
	Cadre de gestion de l'eau pour le gouvernement fédéral (2004).....	274
	L'eau dans l'Ouest : une source d'inquiétude (2005).....	276

Préface

En septembre 2006, le gouvernement fédéral, par la voix de Ressources naturelles Canada, a demandé au Conseil des académies canadiennes (CAC) de mettre sur pied un comité d'experts (« le comité ») afin de répondre à la question suivante : « *Du point de vue scientifique, que faut-il pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine du Canada?* ». Cette question a été précisée dans les sous-questions suivantes :

- *Quelles lacunes actuelles de nos connaissances limitent notre capacité à évaluer la quantité et les emplacements de cette ressource, ainsi que les incertitudes liées à ces évaluations?*
- *Qu'avons-nous besoin de comprendre pour préserver la qualité de l'approvisionnement en eau souterraine, afin de protéger la santé publique et les autres utilisations de cette ressource?*
- *Quelles techniques et quelle information sont nécessaires pour surveiller les réserves et la qualité de l'eau souterraine? Quel est l'état actuel des connaissances et des pratiques, et qu'avons-nous besoin de développer au Canada?*
- *Quelles autres connaissances scientifiques et socio-économiques sont nécessaires pour gérer de manière durable les aquifères situés au Canada et ceux que nous partageons avec les États-Unis?*

Le CAC a réuni des chefs de file de la science des eaux souterraines, ainsi que des experts des aspects sociologiques, économiques et juridiques de la gestion durable des eaux souterraines. Le comité ainsi formé a tenu au cours des dix-sept derniers mois de nombreuses réunions pendant lesquelles il a étudié la littérature disponible sur le sujet afin de répondre aux questions ci-dessus. De plus, le comité a lancé en juillet 2007 un appel public d'informations dans le but d'obtenir l'opinion d'une grande variété d'intervenants. Le comité a examiné les résultats de ces consultations et en a tenu compte dans ses délibérations et conclusions. L'annexe 2 du rapport contient une compilation des réponses reçues.

Le présent rapport est organisé comme suit. Le chapitre 1 donne le contexte de la question en exposant quelques points saillants sur l'importance et la valeur des eaux souterraines au Canada, de même que certaines données fondamentales sur les eaux souterraines, présentées du point de vue de la question posée au comité. Le chapitre 2 présente le concept de gestion durable des eaux souterraines en fonction des cinq objectifs définis par le comité. Ces objectifs se rapportent à des considérations de développement durable concernant la quantité, la qualité, le soutien des écosystèmes, les bénéfices socio-économiques et la bonne gouvernance. Le chapitre 3 expose un certain nombre de tendances et de problèmes cruciaux qui surgissent concernant les eaux souterraines, et dresse par conséquent une liste de défis urgents sur la base des principes de gestion durable. Au chapitre 4, les objectifs énoncés au chapitre 2 servent d'outil d'analyse pour définir les moyens scientifiques et techniques nécessaires à l'appui d'une gestion durable des eaux souterraines. Les données et les connaissances requises pour un processus décisionnel efficace font l'objet d'une attention particulière.

Le chapitre 5 aborde ensuite la gestion des eaux souterraines et la prise de décision au Canada – notamment les compétences, les politiques et la réglementation, ainsi que les instruments économiques –, afin d'évaluer dans quelle mesure la gouvernance actuelle des eaux souterraines respecte les principes de gestion durable. Le chapitre 6 présente un certain nombre de cas qui illustrent et mettent à l'épreuve les objectifs de gestion durable des eaux souterraines dans des circonstances concrètes. Le chapitre 7 énonce les principales conclusions du rapport et répond succinctement aux questions posées au comité. Le rapport est complété par trois annexes : l'annexe 1 constitue une initiation à la science des eaux souterraines; l'annexe 2 présente les points saillants résultant de l'appel public d'informations; l'annexe 3 rassemble des extraits de recommandations de rapports importants produits au Canada à propos des eaux souterraines.

1 Introduction

1.1 NÉGLIGÉE ET SOUS-ÉVALUÉE : LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA

Les Canadiens et leurs entreprises utilisent d'énormes quantités d'eau. La consommation d'eau par habitant au Canada n'est dépassée que par celle des États-Unis et se chiffre à plus du double de la moyenne européenne (OCDE, 1999). L'eau souterraine représente une partie importante de cette consommation. Près de 30 % de la population du Canada (presque 10 millions de Canadiens) utilise l'eau souterraine comme source d'eau potable, et plus de 80 % de la population rurale du pays compte sur les eaux souterraines pour la totalité de son approvisionnement en eau (Environnement Canada, 2004b; Nowlan, 2005). L'eau souterraine constitue une ressource essentielle, mais elle est souvent loin des préoccupations des Canadiens car elle est dans le sol et demeure invisible pour la plupart d'entre eux. L'eau souterraine gagne tout de même en visibilité pour des raisons de contamination, de surexploitation et de conflits qui surgissent. Les problèmes de qualité et de quantité de l'eau souterraine entraînent des coûts énormes pour la société.

Des manchettes parues en 2008 suffisent à illustrer certains effets des eaux souterraines sur la santé, l'environnement et l'économie des Canadiens (encadré 1.1). La nouvelle la plus tragique liée aux eaux souterraines remonte à mai 2000, avec la contamination survenue à Walkerton, en Ontario. Ce fut le pire cas documenté d'empoisonnement à la bactérie pathogène *E. coli* par l'eau courante d'une municipalité. Sept personnes ont perdu la vie et plus de 2 300 ont souffert de graves maladies gastro-intestinales (O'Connor, 2002a; O'Connor, 2002b).

Encadré 1.1 : Les eaux souterraines dans les manchettes

Le 17 février 2008. Les dédommagements pour la contamination par la bactérie *E. coli* à Walkerton atteignent 65 millions de dollars, mais les entreprises en colère se sentent lésées : Plus de 65 millions de dollars ont été versés à ce jour aux victimes de la pire tragédie due à la bactérie *E. coli* au Canada, mais les entreprises frappées de plein fouet par la crise disent avoir peu bénéficié des compensations promises – et certaines blâment les politiciens pour leurs malheurs. (traduit du *Western Star*)

Le 7 avril 2008. Plus de 1 700 avis d'ébullition de l'eau en vigueur au Canada : Pas moins de 1 766 avis d'ébullition de l'eau étaient en vigueur au Canada à la fin de février 2008, sans compter 93 avis supplémentaires dans les collectivités autochtones, selon un rapport d'enquête publié dans le *Journal de l'Association médicale canadienne*. (traduit du *Globe and Mail*)

Le 18 avril 2008. L'Ontario renouvelle le permis accordé à Nestlé pour le captage d'eau souterraine destinée à la vente : La demande de permis a donné lieu à des milliers de lettres de plainte. (traduit du *Globe and Mail*)

Le 23 mai 2008. Tests de fuites d'uranium par la Cameco dans le lac Ontario : Le premier producteur mondial d'uranium déclare que, selon des modèles informatiques, son usine de traitement de Port Hope peut produire « de petites quantités d'eau souterraine contaminée ». (traduit du *Globe and Mail*)

Le 24 juin 2008. Fuites de BPC et de carburant dans le fleuve Saint-Laurent, selon le chien de garde de la pollution : La Commission de la coopération environnementale (CCE), chien de garde de l'environnement en Amérique du Nord, affirme que jusqu'à huit millions de litres de carburant diesel et jusqu'à deux tonnes de BPC, un produit dangereux, ont contaminé le Technoparc de Montréal et fui dans le fleuve Saint-Laurent situé tout près. La CCE a publié hier le résultat de son enquête qui durait depuis cinq ans. (traduit de CBC)

Le 1^{er} juillet 2008. Un expert de l'eau sonne l'alarme à propos des dangers de l'exploitation de gisements houillers pour les rivières à saumon : M. Stockner sonne maintenant l'alarme à propos de la menace que fait peser l'extraction de méthane houiller sur les rivières à saumon dans le Nord de la Colombie-Britannique. [...] Les effluents qui pénètrent dans le sol, puis dans les eaux souterraines et finalement dans les eaux de surface, peuvent affecter grandement l'équilibre physico-chimique des cours d'eau pendant plusieurs décennies! [...] Le projet de Shell en est à l'étape exploratoire, mais les plans prévoient le forage de plus de 1 000 puits pour l'extraction de méthane. (traduit du *Globe and Mail*)

Le 9 juillet 2008. Des municipalités du Québec au voisinage de la frontière craignent la pollution de l'eau : Jean-Pierre Proulx, maire d'Elgin, a déclaré craindre que le dépotoir ne contamine l'eau souterraine captée par les puits utilisés par les 480 habitants de la localité. (traduit du journal montréalais *The Gazette*).

Le 27 juillet 2008. Les sables bitumineux menacent les eaux souterraines : Un spécialiste de la conservation prévient que des jets de vapeur pourraient contaminer l'immense aquifère de l'Athabasca près de Fort McMurray. (traduit du *Edmonton Journal*)

Le 31 juillet 2008. Les nitrates ont tué des milliers de poissons de l'Î.-P.-É., déclarent les autorités : Des responsables de l'environnement blâment les nitrates pour la mort récente de poissons dans plusieurs cours d'eau de l'Île-du-Prince-Édouard. Des milliers de poissons morts ont été découverts la semaine dernière dans les rivières Wheatley et Cardigan. Les nitrates d'origine agricole qui s'écoulent dans les ruisseaux et rivières favorisent la croissance de plantes et d'algues sous-marines. (traduit du *Globe and Mail*)

Malgré la valeur économique et écologique des eaux souterraines, le cadre législatif et la capacité institutionnelle du Canada en matière de gestion des eaux souterraines n'ont pas encore atteint leur pleine maturité. Mis à part quelques exceptions notables, l'application des connaissances scientifiques nécessaires à une gestion durable des eaux souterraines laisse à désirer (Mitchell, 2004). Cette situation n'est pas acceptable, notamment lorsque l'on considère les pressions actuelles ou à venir sur les ressources en eau souterraine du Canada à cause des facteurs suivants :

- l'augmentation de la population et sa concentration de plus en plus grande dans les zones urbaines, avec des conséquences majeures pour l'aménagement foncier et la protection des bassins versants;
- l'intensification de l'agriculture, avec une demande accrue d'eau souterraine et le risque constant de contamination par les nitrates et autres résidus ainsi que par des agents pathogènes;
- l'exploitation accrue des hydrocarbures et d'autres ressources minérales en réponse à la demande mondiale, à l'origine de pressions nouvelles et croissantes sur la quantité et la qualité des ressources en eau voisines – tant les eaux de surface que les eaux souterraines;
- la présence de sites contaminés et le besoin constant de les réhabiliter;
- les préoccupations croissantes à propos de la protection des sources d'eau souterraine, qui résultent de certains ou de tous les facteurs ci-dessus;
- les menaces qui pèsent sur les écosystèmes aquatiques et les poissons, en raison du faible débit des cours d'eau alimentés par des eaux souterraines pendant les périodes de sécheresse;
- les défis liés aux eaux transfrontalières et le besoin actuel d'une gestion commune des eaux limitrophes ou transfrontalières Canada-États-Unis;
- l'impact des changements climatiques et des modifications qui en résultent sur la disponibilité des eaux souterraines et des eaux de surface ainsi que sur la demande dont elles font l'objet. L'incertitude associée à la prédiction de l'impact des changements climatiques sur la répartition de l'eau au Canada est très élevée, mais cet impact pourrait être très important pour certaines régions et pour l'activité économique.

Plusieurs de ces facteurs sont déjà bien présents, d'autres sont à nos portes et exigent prévoyance et actions préventives de notre part. Tous font ressortir le besoin pour les Canadiens de faire plus attention aux précieuses ressources en eau du pays, tant l'eau de surface que l'eau souterraine. L'eau est « le moteur de la nature »¹, et l'hydrosphère du Canada doit donc être gérée de façon durable.

1 Léonard de Vinci, cité dans le site du Musée canadien de la nature (http://nature.ca/plnt/res/res_org_f.cfm).

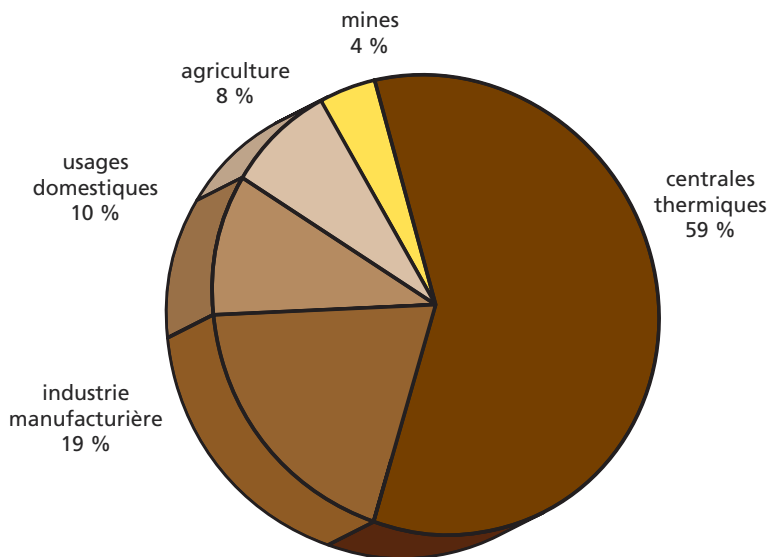
Même s'il n'y a pas encore au Canada de cas de « sottise à grande échelle » comme la surexploitation catastrophique documentée aux États-Unis (Glennon, 2005), le nombre de cas isolés de gestion non durable des eaux souterraines est en augmentation au Canada. Puisque de nombreux plans d'eau de surface, comme des rivières et des lacs, sont déjà fortement exploités, les eaux souterraines seront probablement de plus en plus sollicitées pour l'approvisionnement en eau d'une population croissante dont la consommation par habitant dépasse déjà de beaucoup celle de la plupart des autres pays. Les conflits à venir sont annoncés dans des articles récents tels que *A Gathering Storm: Water Conflict in Alberta* (Block et Forrest, 2005) et *The Processes, Patterns and Impacts of Low Flows Across Canada* (Burn et al., 2008).

Selon une évaluation de la situation actuelle au Canada, nous n'avons pas encore connu de surexploitation catastrophique de nos ressources en eau souterraine. Un certain nombre de problèmes sérieux existent à l'échelle locale, mais il n'y a pas de crise nationale. On pourrait donc se demander pourquoi il faudrait se préoccuper des eaux souterraines du Canada, et pourquoi maintenant. La réponse à cette question est que le Canada jouit d'une situation enviable qui lui permet de mettre en œuvre de manière proactive des politiques et des méthodes de gestion susceptibles de prévenir des catastrophes comme il s'en produit trop souvent dans d'autres régions du monde.

Quantité et utilisations

Le Canada a la chance de posséder d'énormes quantités d'eau douce. Les eaux douces de surface couvrent près de 900 000 km², soit 8 % de la superficie totale du pays (Environnement Canada, 2004b). Dans la plupart des cas qui affectent la population et les écosystèmes, c'est la répartition spatiale des flux hydriques qui pose problème, et non la quantité totale d'eau. De ce point de vue, le Nord et une grande partie des Prairies sont assez arides, avec des conditions quasi désertiques dans le Haut-Arctique. Les régions côtières du Sud, en particulier le long de l'océan Pacifique, sont très humides, alors que les régions du fleuve Saint-Laurent et des Grands Lacs, une grande partie des provinces de l'Atlantique ainsi que les Rocheuses bénéficient de précipitations abondantes mais non excessives. Par conséquent, toute réflexion sur les ressources en eau du Canada doit comporter une dimension régionale importante.

La première sous-question posée au comité se lit comme suit : « *Quelles lacunes actuelles de nos connaissances limitent notre capacité à évaluer la quantité et les emplacements de cette ressource, ainsi que les incertitudes liées à ces évaluations?* ». Le comité n'a pu trouver aucune estimation précise du volume des eaux souterraines au Canada. La Commission géologique du Canada (CGC) reconnaît cette lacune lorsqu'elle affirme que « *la quantité d'eau souterraine contenue dans les aquifères du Canada, leur débit d'exploitation durable et leur rôle dans le fonctionnement des écosystèmes sont pratiquement inconnus* » (traduit de Nowlan, 2005; Rivera, 2005).



(Source des données : Environnement Canada, 2007)

Figure 1.1

Utilisations de l'eau douce au Canada

Le chapitre 4 aborde les moyens scientifiques et techniques ainsi que les données nécessaires à la quantification des ressources en eau souterraine du Canada.

On estime à environ 45 kilomètres cubes (km^3), soit approximativement 1 500 mètres cubes (m^3) par habitant, la consommation totale annuelle d'eau douce au Canada, toutes utilisations confondues (industrie, agriculture, usages domestiques, centrales thermiques). Ce total, dont la répartition est illustrée à la figure 1.1, comprend les eaux de surface et les eaux souterraines. Les usages domestiques normaux, qui totalisent environ 330 litres par personne et par jour, ou en moyenne 120 m^3 annuellement par personne, représentent moins de 10 % de la consommation totale (Environnement Canada, 2007). Les centrales thermiques utilisent environ 60 % du total comme eau de refroidissement, et la presque totalité de cette eau retourne à sa source sans dégradation, mis à part une légère hausse de température (Shinnan, 2008).

Les données sur les utilisations des eaux souterraines par rapport à l'ensemble de la consommation d'eau douce sont limitées et périmées. Selon des estimations de 1995 (OCDE, 1995), l'eau souterraine ne comptait que pour un peu plus de 4 % de la consommation totale d'eau douce au Canada, mais cette proportion représentait environ le double de l'utilisation annuelle estimative de l'eau souterraine entre 1980 et 1990. Les États-Unis utilisent beaucoup plus d'eau souterraine que le Canada, même en tenant compte de la population. En 1995, les États-Unis ont utilisé 106 km^3 d'eau souterraine, soit environ 22 % de leur consommation totale d'eau douce (OCDE, 2004).

L'utilisation première des eaux souterraines au Canada varie d'une région à l'autre : approvisionnement municipal en Ontario, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick et au Yukon, élevage en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, usages en grande partie industriels en Colombie-Britannique, au Québec et dans les Territoires du Nord-Ouest, et domestiques à Terre-Neuve-et-Labrador et en Nouvelle-Écosse. Dans chaque province, on observe des variations dans la répartition spatiale de l'utilisation de l'eau souterraine, selon les propriétés des aquifères locaux et la disponibilité des eaux de surface (Environnement Canada, 2008d). La dépendance des populations des diverses provinces vis-à-vis des eaux souterraines pour répondre aux besoins domestiques va de 100 % à l'Île-du-Prince-Édouard à environ 23 % en Alberta. Cette grande différence illustre la nature fortement régionale de la dépendance vis-à-vis des eaux souterraines.

Pour élaborer des politiques de gestion des eaux souterraines, les organismes de réglementation devront connaître la consommation actuelle et prévue de cette ressource. La comptabilité des prélèvements d'eau souterraine varie d'une région à l'autre du pays. Toutes les provinces à l'exception du Québec et de la Colombie-Britannique disent avoir des bases de données des quantités allouées aux grands utilisateurs d'eau souterraine; par contre, seules l'Alberta et la Saskatchewan enregistrent les quantités d'eau effectivement prélevées par ces utilisateurs. L'Ontario et le Manitoba sont dans une période de transition, passant d'un système où seules les quantités allouées sont enregistrées à un système où les utilisateurs devront fournir des mesures des prélèvements réels. La comptabilité des prélèvements est un domaine où les Canadiens pourraient et devraient disposer de données fiables. Pour que les décisions sur l'attribution de quantités supplémentaires provenant d'un bassin hydrographique soient prises dans le meilleur intérêt des écosystèmes tout comme sur le plan socio-économique, il ne devrait y avoir aucune incertitude sur les volumes déjà prélevés par les utilisateurs autorisés, sur l'utilisation de cette eau, ainsi que sur l'importance et l'emplacement des restitutions.

Il est étonnamment difficile d'obtenir des données sur l'utilisation de l'eau souterraine. Environnement Canada mène une enquête nationale à participation volontaire pour recueillir les données de plus de 2 500 municipalités qui totalisent au-delà de 90 % de la population canadienne. L'Enquête sur l'eau potable et les eaux usées des municipalités (Environnement Canada, 2007)² compile des données sur l'utilisation de l'eau, notamment sur le volume des prélèvements d'eau souterraine et le nombre d'habitants qui s'approvisionnent au moyen de puits domestiques. Cette enquête constitue à l'heure actuelle la meilleure source de données nationales sur les prélèvements d'eau souterraine à des fins domestiques et municipales. Cependant, en raison du faible taux de réponse des petites municipalités (plus de la moitié des municipalités omettent de

2 Autrefois appelée « Enquête sur l'utilisation et la tarification municipales de l'eau », cette enquête est menée tous les deux ou trois ans depuis 1983.

répondre), elle est incomplète dans de vastes régions du pays. Pour mieux documenter l'utilisation de l'eau souterraine au Canada, il faudra mettre sur pied des initiatives visant à améliorer le taux de réponse, en aidant les municipalités à répondre à l'enquête et en complétant les données recueillies avec l'information que possèdent les provinces sur les réseaux d'aqueduc municipaux.

Ce qui précède montre le manque criant de données sur les quantités d'eau souterraine allouées, notamment à des fins municipales, industrielles et agricoles, sur les prélèvements réels d'eau souterraine, ainsi que sur les volumes d'eau restitués ou réutilisés. Sans ces données, il est impossible de gérer efficacement les eaux souterraines, peu importe à quel niveau, et les organismes responsables devraient accorder une priorité élevée à l'obtention de telles données.

Qualité et surveillance

La gestion des eaux souterraines au Canada exigera davantage que la simple assurance d'une quantité suffisante. Il faudra aussi que les ressources disponibles satisfassent aux critères de qualité requis pour la protection de la population et des écosystèmes. Pour répondre à la deuxième sous-question – « *Qu'avons-nous besoin de comprendre pour préserver la qualité de l'approvisionnement en eau souterraine, afin de protéger la santé publique et les autres utilisations de cette ressource?* » – les organismes de réglementation devront pouvoir analyser le degré de qualité actuel de l'eau souterraine, et prévoir et surveiller les changements. Les provinces recueillent actuellement certaines données sur la qualité de l'eau souterraine, mais il n'y a aucune évaluation nationale des tendances en la matière, bien que l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) et la Commission géologique du Canada (CGC) collaborent maintenant à l'acquisition de cette information. Les priorités de l'INRE comprennent une synthèse nationale des données sur la qualité de l'eau souterraine, alors que la CGC compte parmi ses priorités une synthèse des données physiques sur les aquifères, notamment leur cartographie, leur recharge et leur vulnérabilité (Lawrence, 2007). Le chapitre 3 présente des exemples précis de problèmes de qualité de l'eau souterraine, et les chapitres subséquents cherchent à cerner les connaissances scientifiques nécessaires pour protéger la qualité des ressources canadiennes en eau souterraine.

La troisième sous-question posée au comité se lit comme suit : « *Quelles techniques et quelle information sont nécessaires pour surveiller les réserves et la qualité de l'eau souterraine? Quel est l'état actuel des connaissances et des pratiques, et qu'avons-nous besoin de développer au Canada?* » La surveillance des eaux souterraines comprend une surveillance à l'échelle régionale de la qualité initiale de l'eau et un suivi propre à chaque site de contamination connue ou soupçonnée. La surveillance à l'échelle régionale met l'accent sur des substances naturellement présentes telles que l'arsenic, les fluorures et d'éventuels polluants agricoles comme les nitrates, qui sont nocifs pour la santé. La responsabilité de cette surveillance est en grande partie assumée par des organismes provinciaux.

Les programmes de suivi propres à un site mettent l'accent sur les contaminants anthropogéniques comme les solvants ou les hydrocarbures qui s'échappent d'installations d'élimination des déchets. Ils visent à quantifier la présence et le degré de contamination et à éclairer le choix de mesures correctives appropriées. Ces programmes sont généralement mis en œuvre par des entrepreneurs privés, dont les services sont retenus par les propriétaires de sites, et soumis à l'examen rigoureux d'organismes provinciaux de réglementation.

Valeur

La quatrième sous-question posée au comité se lit comme suit : « *Quelles autres connaissances scientifiques et socio-économiques sont nécessaires pour gérer de manière durable les aquifères situés au Canada et ceux que nous partageons avec les États-Unis?* » Parmi les nombreux facteurs qui entrent en ligne de compte dans l'équation socio-économique de la gestion des eaux souterraines au Canada, les organismes de réglementation devront, dans l'élaboration de leurs politiques, accorder une place importante à la « valeur » que représentent les eaux souterraines pour le pays. La valeur des eaux souterraines a une composante indirecte (p. ex. protection des écosystèmes, qualité de vie) et une composante directe sous forme d'impacts économiques. Malgré les techniques empiriques d'estimation disponibles et les efforts consentis dans d'autres pays pour attribuer une valeur à leurs ressources en eau (Kondouri, 2004; Young, 2005), relativement peu de recherches ont été menées au Canada sur la valeur de l'eau (Renzetti et Dupont, 2007). On dispose par conséquent de très peu d'information sur la valeur attribuée à l'eau par les utilisateurs canadiens et en réalité d'aucune évaluation des eaux souterraines par leurs utilisateurs. Le chapitre 5 du rapport énumère les connaissances nécessaires pour comprendre les facteurs socio-économiques pertinents et leur rôle dans la gestion des eaux souterraines.

Encadré 1.2 : Le cycle hydrologique

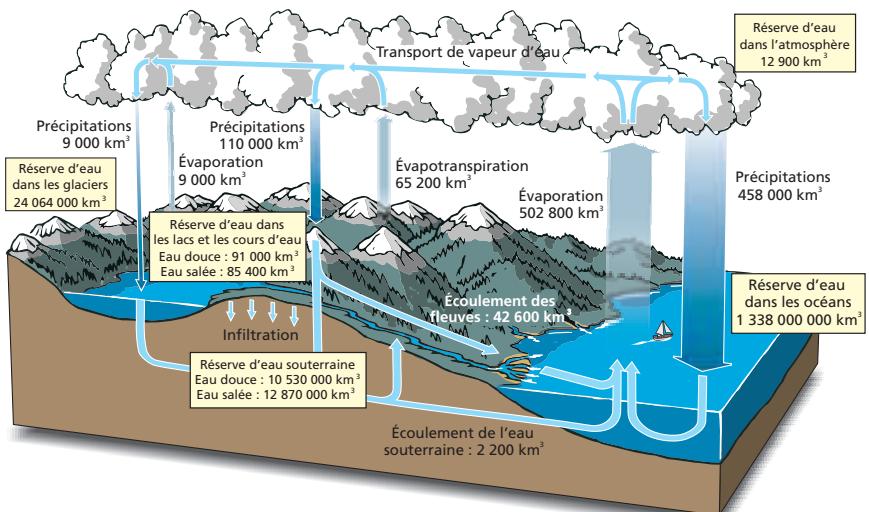
L'énergie solaire a pour effet de continuellement transférer de l'eau entre l'hydrosphère, la biosphère, la lithosphère, la cryosphère et l'atmosphère, dans un processus régi par un bilan hydrologique (figure 1.2). Le bilan hydrologique est un état des entrées et des sorties d'eau dans une zone donnée au cours d'une période donnée. La zone peut être un simple parc urbain aussi bien que l'ensemble du bassin versant du fleuve Saint-Laurent.

Même si à tout moment, le volume d'eau total dans le bilan hydrologique global est constant et égal à 1,4 milliard de kilomètres cubes, certaines composantes de ce cycle évoluent très lentement, en particulier les eaux souterraines profondes et les glaciers. On les considère comme des « réserves d'eau » puisque leur volume d'eau est remplacé sur de très longues périodes. D'autres composantes du cycle, par exemple les précipitations et les cours d'eau, sont considérées comme de « l'eau en circulation » parce qu'elles se renouvellent presque quotidiennement.

C'est l'évaporation des eaux de surface sous l'action de la chaleur du soleil qui fait fonctionner le cycle. Les eaux de surface telles que les océans, les lacs et les rivières fournissent environ 90 % de l'humidité de l'atmosphère par évaporation solaire. Les 10 % restants résultent de la transpiration par les plantes. Le moteur de l'évaporation est l'énergie fournie par le milieu, et l'on s'attend à ce que celle-ci augmente avec les changements climatiques là où l'apport d'eau le permet. On estime qu'à tout moment il y a environ 13 000 km³ d'eau dans l'atmosphère, soit environ 0,001 % du volume total d'eau de la planète. Les précipitations sont dues au refroidissement et à la condensation de la vapeur d'eau, généralement autour de minuscules particules de poussière dans l'atmosphère. On estime à environ 45 000 km³ la quantité annuelle totale de précipitations sur les masses continentales.

Les précipitations et la fonte des neiges qui excèdent l'évapotranspiration et l'infiltration produisent le ruissellement vers les milieux humides, les cours d'eau et les lacs. Une fraction de l'eau des précipitations s'infiltré cependant dans le sol. Le taux d'infiltration dépend du type de sol, de l'humidité relative du sol, de la pente, ainsi que de la présence de fissures ou de fractures. Le taux d'infiltration, le ruissellement et l'évaporation déterminent, dans une zone donnée, la fraction de l'eau reçue à la surface qui se déplace dans le sol pour devenir de l'eau souterraine. Les eaux souterraines sont donc ce qui reste des précipitations après soustraction de l'évapotranspiration et du ruissellement.

Les eaux souterraines représentent la principale réserve d'eau douce de tout le cycle hydrologique. Cependant, on estime qu'un peu moins de la moitié de ce volume est constitué d'eau douce, le reste étant contenu dans des aquifères salins en profondeur. Seulement 3 % de l'ensemble des eaux souterraines participe activement au cycle hydrologique chaque année (Gleick, 1996).



(Traduit et adapté de PNUÉ, 2002, avec les autorisations requises)

Figure 1.2
Le cycle hydrologique

1.2 NOTIONS SCIENTIFIQUES FONDAMENTALES SUR LES EAUX SOUTERRAINES

L'eau existe sous forme solide (glace), liquide ou gazeuse (vapeur d'eau). Les océans, les rivières, les nuages et la pluie contiennent tous de l'eau et sont en constante évolution. Les eaux de surface s'évaporent, l'eau des nuages tombe sous forme de précipitations, et l'eau de pluie s'infiltré dans le sol. Malgré tous ces changements d'état, le volume d'eau sur la Terre est demeuré pratiquement constant depuis trois milliards d'années, à environ 1,4 milliard de kilomètres cubes (Powell, 1997; Shiklomanov, 2000). Évidemment, l'eau n'est pas répartie également sur la Terre : elle est abondante à certains endroits et très rare ailleurs. Environ 97,5 % du volume total de l'eau est constitué d'eau salée. Des 2,5 % restants, environ les deux tiers sont isolés dans la glace des pôles et des glaciers, et la presque totalité du dernier tiers est enfouie dans le sous-sol. Les eaux de surface, qui constituent notre source traditionnelle d'eau douce, ne comptent que pour environ 0,3 % de l'eau douce de la planète (Gleick, 1996). La circulation et la conservation de l'eau de la Terre constituent le *cycle hydrologique* (encadré 1.2).

L'annexe 1 présente la terminologie et les notions fondamentales d'hydrogéologie utilisées dans ce rapport. On y aborde les sujets suivants : milieux hydrogéologiques, porosité, charge hydraulique, écoulement des eaux souterraines, aquifères et aquitards, bassins hydrogéologiques, interactions entre eaux souterraines et eaux de surface, débit d'exploitation d'un puits, d'un aquifère et d'un bassin hydrogéologique, qualité de l'eau souterraine, dangers liés à l'eau souterraine.

POINTS SAILLANTS

- Près de 30 % de la population du Canada (près de dix millions de Canadiens) utilise l'eau souterraine comme source d'eau potable, et plus de 80 % de la population rurale du pays compte sur les eaux souterraines pour la totalité de son approvisionnement en eau.
- Les eaux souterraines et les eaux de surface sont inextricablement liées dans le cycle hydrologique. Il n'y a en fait qu'une seule réserve d'eau douce disponible.
- Il y a de très fortes pressions actuelles et à venir sur les eaux souterraines du Canada, en raison notamment de l'augmentation de la population, de l'urbanisation, de l'intensification de l'agriculture, des effets liés à l'exploitation des hydrocarbures et de l'impact croissant des changements climatiques.
- Dans la plupart des cas qui affectent la population et les écosystèmes, ce sont les flux hydriques locaux qui posent problème; la quantité d'eau en réserve est secondaire. Ces problèmes s'appliquent plus particulièrement aux eaux souterraines, qui s'écoulent très lentement. Par conséquent, toute réflexion sur les ressources en eau du Canada doit comporter une dimension régionale importante.
- Le Canada ne subit pas encore de surexploitation généralisée de ses eaux souterraines. Un certain nombre de problèmes sérieux existent localement, mais cela n'a pas encore été le cas à l'échelle nationale.
- Le Canada jouit d'une situation enviable qui lui permet de mettre en œuvre de manière proactive des politiques et des méthodes de gestion susceptibles de prévenir des crises.
- Malgré la valeur économique et écologique des eaux souterraines, le cadre législatif et la capacité institutionnelle du Canada en matière de gestion des eaux souterraines doivent encore évoluer suffisamment pour répondre aux défis qui se présentent.
- On dispose de très peu d'information sur la valeur attribuée à l'eau au Canada, et en réalité d'aucune évaluation des eaux souterraines par leurs utilisateurs.
- Il y a un manque critique de données sur les quantités d'eau souterraine allouées, sur les prélèvements réels d'eau souterraine, ainsi que sur les volumes d'eau restitués ou réutilisés. Sans ces données, il est impossible de gérer efficacement les eaux souterraines, et les organismes responsables devraient accorder une priorité élevée à l'acquisition de telles données.

2 La gestion durable dans le contexte des eaux souterraines

Le chapitre précédent a mis en évidence un ensemble de questions importantes à considérer dans l'élaboration de stratégies de gestion des eaux souterraines : quantité, qualité, surveillance, utilisations et valeurs. Ce chapitre-ci présente ce que veut dire la gestion durable et propose un ensemble d'objectifs d'une gestion durable des eaux souterraines.

2.1 ÉVOLUTION DE LA NOTION DE GESTION DURABLE DE L'EAU DANS LE MONDE

La notion de développement durable a fait son apparition à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain, qui a eu lieu à Stockholm en 1972. Depuis lors, de nombreuses conférences internationales, dont certaines étaient exclusivement consacrées à l'eau, ont eu pour objet d'élaborer des définitions du développement durable adaptées à diverses circonstances (tableau 2.1). La première conférence importante sur l'eau s'est tenue à Mar del Plata, en Argentine, en 1977. Les réunions internationales sur l'eau ont commencé à se multiplier dans les années 1990. Le premier forum triennal mondial sur l'eau a eu lieu à Marrakech en 1997. Les suivants se sont tenus à La Haye en 2000, à Kyoto en 2003, à Mexico en 2006 et à Istanbul en 2009. Chaque année, la Semaine mondiale de l'eau de Stockholm met l'accent sur la mise en œuvre de processus et programmes internationaux dans les domaines de l'eau et du développement. Malgré l'existence de ces réunions, les critiques continuent de faire valoir qu'elles n'ont pas fait progresser la gestion durable de l'eau de façon mesurable (Gleick, 2007).

Au Sommet mondial sur le développement durable, tenu à Johannesburg en 2002, les nations participantes se sont entendues sur un certain nombre d'actions visant en premier lieu à réduire de moitié d'ici 2015 la proportion de personnes qui n'ont pas accès à une eau potable sûre ou qui ne disposent pas d'installations élémentaires d'assainissement. Ce plan d'action engageait entre autres les nations à atténuer les effets de la contamination des eaux souterraines ainsi qu'à élaborer et mettre en œuvre des stratégies de gestion des bassins versants et des eaux souterraines (SMDD, 2002)³.

Diverses organisations internationales ont examiné des moyens de promouvoir la gestion durable des eaux souterraines. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement a produit un rapport intitulé *Les eaux souterraines et leur vulnérabilité : une évaluation globale du problème et des options de gestion*, qui montre comment la surexploitation des aquifères, la baisse du niveau des nappes phréatiques et la contamination par l'eau

3 Paragraphes 24 et 25 du plan d'action du Sommet mondial de 2002 sur le développement durable, <http://www.iisd.ca/2002/wssd/PlanFinal.pdf>.

de mer menacent les réservoirs naturels d'eau souterraine du monde, dont deux milliards de personnes dépendent pour l'eau potable et l'irrigation (PNUE, 2003). L'UNESCO a un vaste programme en matière d'eaux souterraines, dont le Projet de gestion des ressources aquifères communes, et a compilé un rapport global sur les indicateurs utilisés pour mesurer la durabilité des eaux souterraines (UNESCO, 2006). L'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) a produit un rapport sur les eaux souterraines et le droit international (Burchi et Mechlem, 2005). L'équipe de conseillers en gestion des eaux souterraines de la Banque Mondiale aide les pays en voie de développement à gérer leurs eaux souterraines et a produit une collection utile de notes d'information sur les eaux souterraines (GW MATE, 2006).

Tableau 2.1

Initiatives internationales visant à définir le « développement durable »

Année	Initiative	Définition du développement durable
1987	Commission Brundtland (Commission mondiale sur l'environnement et le développement)	« ... développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. » On y affirme en outre que le développement durable « ... à tout le moins... ne doit pas mettre en danger les systèmes naturels indispensables à la vie : l'atmosphère, les eaux, les sols et les êtres vivants ».
1992	Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (aussi appelée Sommet de la Terre de Rio)	« L'objectif général est de veiller à ce que l'ensemble de la population de la planète dispose en permanence d'approvisionnements suffisants en eau de bonne qualité tout en préservant les fonctions hydrologiques, biologiques et chimiques des écosystèmes... »
1992	Conférence internationale sur l'eau et l'environnement réunie à Dublin, pour donner suite au Sommet de la Terre de Rio : Principe n° 1	« Comme l'eau est indispensable à la vie, la bonne gestion des ressources exige une approche globale qui concilie développement socio-économique et protection des écosystèmes naturels. Une gestion efficace intégrera l'utilisation du sol et de l'eau pour la totalité d'un bassin versant ou d'un aquifère. »

2.2 ÉVOLUTION DE LA NOTION DE GESTION DURABLE DE L'EAU AU CANADA

Il y a au Canada de nombreux exemples de l'importance grandissante accordée au développement durable dans la gestion de l'eau. Des lois canadiennes récentes comportent des engagements envers le développement durable. Citons par exemple la *Loi sur le vérificateur général* (Gouvernement du Canada, 1985a), qui exige de 25 ministères fédéraux qu'ils élaborent et mettent à jour des stratégies de développement durable, et la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (Gouvernement du Canada, 1999), dont l'objet principal est de « *contribuer au développement durable au moyen de la prévention de la pollution* ».

Aucune loi fédérale canadienne ne fait spécifiquement référence à la gestion durable des eaux souterraines. Par contre, deux politiques fédérales en font mention.

L'objectif global inscrit dans la *Politique fédérale relative aux eaux* énoncée en 1987 est « *d'encourager l'utilisation rationnelle et équitable de l'eau douce au Canada, de manière à satisfaire les besoins sociaux, économiques et environnementaux des générations actuelles et futures* » (Environnement Canada, 1987). Le *Cadre de gestion de l'eau pour le gouvernement fédéral*, élaboré en 2004 par un comité formé de représentants de 19 ministères, énonce un objectif fédéral d'une « *eau propre, salubre et sûre pour les humains et les écosystèmes* ». Cet objectif doit être atteint par un « *développement durable au moyen d'une gestion intégrée des ressources en eau au sein du gouvernement fédéral ainsi que dans le contexte national et international* » (Gouvernement du Canada, 2004). Le *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine*, rédigé en 2003 par un comité de représentants de gouvernements provinciaux et du gouvernement fédéral, vise à « *assurer à tous les Canadiens et à toutes les Canadiennes des ressources en eau souterraine saines et durables* » (Rivera et al., 2003).

Les lois et politiques provinciales relatives à l'eau reposent de plus en plus sur des principes de développement durable. À titre d'exemple, la *Loi sur les ressources en eau de l'Ontario* stipule : « *La présente loi a pour objet de prévoir la conservation, la protection et la gestion des eaux de l'Ontario et leur utilisation efficace et durable en vue de promouvoir le bien-être environnemental, social et économique à long terme de l'Ontario.* » (Gouvernement de l'Ontario, 1990). De même, au Québec, le préambule de la *Loi visant la préservation des ressources en eau* affirme que « *les ressources en eau du Québec sont essentielles au mieux-être économique, social et environnemental du Québec et qu'il importe d'en permettre une utilisation durable* » (Parlement du Québec, 1999). D'autres lois provinciales sont également guidées par des principes de développement durable.

Des organismes non gouvernementaux insistent également sur l'eau et le développement durable. L'Association canadienne des ressources hydriques a produit un document intitulé *Principes de développement durable des ressources hydriques du Canada* (ACRH, 1994), et des ONG mènent des programmes d'éducation et de sensibilisation du public ainsi que d'élaboration de politiques partout au pays.

2.3 LES OBJECTIFS DÉFINIS PAR LE COMITÉ EN MATIÈRE DE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

Ayant à l'esprit ce qui précède, le comité a cherché à élaborer un cadre conceptuel afin d'aider à savoir quelles connaissances scientifiques sont nécessaires pour soutenir une gestion durable des eaux souterraines au Canada. Le comité reconnaît que, dans le contexte de l'évaluation des exigences scientifiques de la gestion durable des eaux souterraines au Canada, le qualificatif *scientifiques* doit être interprété dans un sens large non limité aux sciences exactes et au génie, mais englobant également les sciences sociales et le droit. Même si ce rapport met principalement l'accent sur les sciences exactes, il aborde également les aspects économiques, sociaux et juridiques d'une gestion durable des eaux souterraines.

Le comité croit que la gestion des eaux souterraines doit être une responsabilité partagée par tous les ordres de gouvernement au Canada et que tous les gouvernements

(fédéral, provinciaux, territoriaux et locaux) ont de ce fait un rôle important à jouer dans le développement des sciences exactes servant de base à la gestion de cette ressource. Il considère qu'un cadre d'application synchronisée, collaborative et coordonnée des sciences exactes dans toutes les régions du pays constituerait un pas important vers un cadre de collaboration qui déboucherait sur une gestion à long terme des ressources canadiennes en eau souterraine.

À partir des sous-questions qui lui ont été posées, le comité a formulé les questions suivantes :

- *Quantité et utilisations* : Que faut-il pour que le Canada dispose en permanence de ressources suffisantes en eau souterraine, et quelles connaissances scientifiques sont nécessaires pour pouvoir surveiller et évaluer l'approvisionnement en eau souterraine?
- *Qualité et surveillance* : Que faut-il pour assurer la qualité de l'eau souterraine du double point de vue de la santé humaine et des écosystèmes, et quelles connaissances scientifiques sont nécessaires pour pouvoir surveiller et évaluer la qualité de l'eau souterraine?
- *Valeur* : Quels facteurs socio-économiques doivent être pris en considération dans les processus décisionnels concernant la gestion des eaux souterraines?

Considérant ces questions, ainsi que les différentes définitions du terme *développement durable* adoptées dans des documents nationaux et internationaux, le comité croit que le concept de gestion durable des eaux souterraines devrait englober cinq objectifs reliés entre eux : trois qui font intervenir principalement les sciences exactes et le génie, et deux qui sont essentiellement de nature socio-économique (figure 2.1). Ces cinq objectifs sont les suivants :

(1) *Protéger les sources d'eau souterraine contre l'épuisement* : Le développement durable exige que les prélèvements puissent se poursuivre indéfiniment sans diminuer de manière significative la quantité d'eau disponible à long terme dans une région.

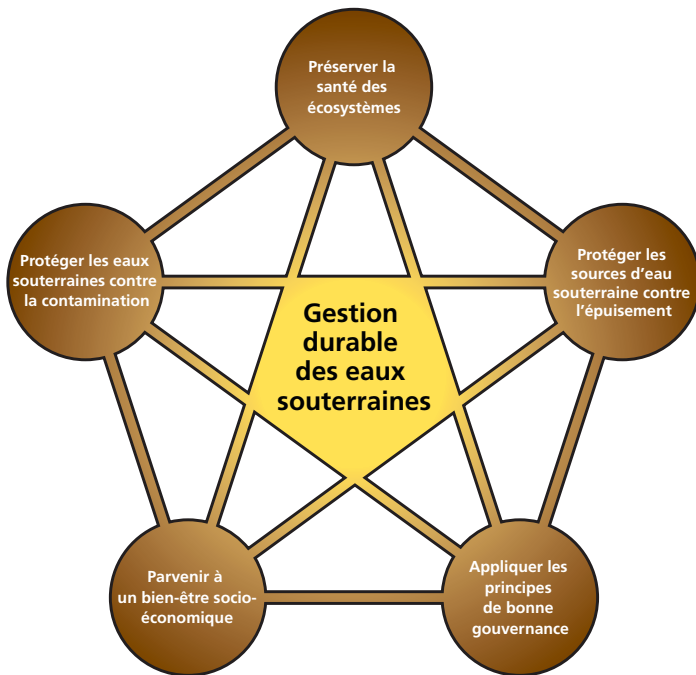
(2) *Maintenir la qualité de l'eau souterraine en la protégeant contre la contamination* : Le développement durable exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques.

(3) *Préserver la viabilité des écosystèmes* : Le développement durable exige que les prélèvements n'affectent pas de manière significative la contribution des eaux souterraines aux apports d'eau de surface et à la santé des écosystèmes. Les utilisations humaines ont immanquablement un certain impact sur des écosystèmes vierges.

L'emploi du mot *significative* dans les trois objectifs ci-dessus implique une notion du degré de dégradation ou d'épuisement de la ressource qui peut être acceptable pour la société. Les mécanismes par lesquels la société détermine ce qui est acceptable relèvent des deux objectifs qui suivent :

(4) *Parvenir à un bien-être socio-économique* : Le développement durable exige que la répartition de l'eau souterraine maximise sa contribution potentielle au bien-être de la société (sur les plans économique et autres).

(5) *Appliquer les principes de bonne gouvernance* : Le développement durable exige que les décisions sur l'utilisation de l'eau souterraine soient prises de manière transparente, avec une participation éclairée du public et en tenant pleinement compte des besoins des écosystèmes, de l'équité intergénérationnelle et du principe de précaution⁴.



(Conseil des académies canadiennes, 2009)

Figure 2.1

Le pentagone de la gestion durable des eaux souterraines

4 Le principe de précaution vise à encourager ceux qui entreprennent des projets à considérer et à minimiser les effets nocifs pour le public ou l'environnement même s'il n'y a pas de consensus scientifique clair à propos de l'existence de ces effets nocifs. Le principe de précaution est innovateur parce qu'il modifie le rôle des données scientifiques. Il exige que, s'il y a menace de dommage à l'environnement, des mesures soient prises pour contrôler ou minimiser les interférences avec l'environnement, et ce même s'il peut y avoir une incertitude scientifique quant aux effets de l'activité projetée (Birmie et Boyle, 2002). Les éléments fondamentaux du principe de précaution sont le besoin de prendre une décision, un risque d'effet nocif grave ou irréversible et l'absence d'une certitude scientifique absolue. Au cours des dix dernières années, le principe de précaution est devenu partie intégrante de l'action réglementaire canadienne en matière d'environnement et de santé (Gouvernement du Canada, 1992; Gouvernement du Canada, 1999).

La plupart des tentatives précédentes de définir ce qu'est une utilisation durable de l'eau souterraine (Alley *et al.*, 1999; Devlin et Sophocleous, 2005; Sophocleous, 1997; Sophocleous, 2007) ont donné lieu à une reconnaissance du fait que la notion de gestion durable est une question de jugement et relève au bout du compte d'une décision de la société qui devrait être éclairée par des connaissances scientifiques et par des principes de développement durable, dont le principe de précaution. C'est ce que vise explicitement le cinquième objectif, « *Appliquer les principes de bonne gouvernance* ». Le comité considère que les cinq objectifs sont reliés entre eux (figure 2.1). Par exemple, les décisions concernant les volumes d'eau souterraine prélevés peuvent avoir des conséquences importantes sur la viabilité des écosystèmes (encadré 2.1). D'une manière plus générale, le développement durable exige que les eaux souterraines et les eaux de surface soient caractérisées et gérées comme un système intégré à l'échelle de tout un bassin versant ou d'un bassin hydrogéologique. Les eaux souterraines et les eaux de surface font partie intégrante du bilan hydrique à l'échelle d'un bassin et elles sont inextricablement liées en tant que composantes du cycle hydrologique. De plus, les limites de prélèvement établies dans le cadre des politiques de gestion des eaux souterraines doivent tenir compte des impacts sociaux et économiques sur le milieu environnant. Autrement dit, chacun des cinq objectifs est nécessaire, mais aucun n'est suffisant à lui seul. Le développement durable repose à la fois sur l'analyse précise de ces objectifs et le maintien d'un équilibre subtil entre eux.

La mise en œuvre de politiques qui soient bénéfiques pour l'environnement tout en contribuant au bien-être socio-économique exige des connaissances et une collaboration pluridisciplinaires qui pose des défis à tous les échelons de nos structures administratives traditionnelles. Une approche systémique de l'évaluation du caractère durable du développement de ressources en eau exige de tenir compte de toutes les composantes du cycle hydrologique, et non d'une seule composante prise isolément.

Il semble qu'aucune autorité de quelque niveau que ce soit au Canada (locale, provinciale ou fédérale) n'a évalué la durabilité de l'utilisation de l'eau souterraine placée sous sa compétence, ni formulé une stratégie de développement durable d'une manière qui réponde pleinement aux objectifs énoncés plus haut. Le comité ne prétend pas que ces objectifs devraient dicter les décisions à prendre. Ils ont plutôt servi d'outil d'interprétation qui a orienté les délibérations du comité. De plus, comme chacun de ces objectifs aborde les divers aspects du mandat original du comité (quantité, qualité, surveillance, utilisations et valeur), ils peuvent servir de guide pour l'acquisition de données, la modélisation des eaux souterraines, la gestion des eaux souterraines et la prise de décisions économiques. Le rôle de chacun des cinq objectifs est abordé dans la section qui suit.

Encadré 2.1 : Bilans hydriques et gestion durable

Les calculs de bilan hydrique qui visent une estimation des débits et volumes de la recharge et de l'émergence des eaux souterraines pour un bassin hydrogéologique, en rapport avec les précipitations, le ruissellement de surface et les autres composantes du cycle hydrologique, constituent un élément utile et instructif de nombreuses études des eaux souterraines à l'échelle de bassins hydrogéologiques. Plusieurs des études de cas du chapitre 6 font intervenir de tels calculs dans leur évaluation de l'état des eaux souterraines dans diverses régions du Canada. Par contre, il n'est pas conseillé d'utiliser de manière intuitive un simple calcul de la recharge à partir d'un bilan hydrique (complet ou partiel) comme estimation directe du débit d'exploitation durable des eaux souterraines.

En vertu d'une approche primitive et simpliste, on pourrait prétendre que le débit d'exploitation durable maximal d'un aquifère est égal au volume de la recharge de l'aquifère dans les conditions naturelles antérieures à tout développement. C'est ce que certains auteurs ont appelé le « mythe du bilan hydrique » (Alley *et al.*, 1999; Bredehoeft *et al.*, 1982; Devlin et Sophocleous, 2005). Un tel calcul du débit d'exploitation durable pourrait donner un résultat trop élevé ou trop faible, selon les circonstances hydrogéologiques.

L'eau prélevée ne peut provenir que de trois sources : la réserve d'eau souterraine, la réalimentation induite et l'émergence captée. Le pompage produit une modification transitoire du bilan hydrique de l'aquifère, avec une diminution initiale de la réserve, puis au bout du compte un nouvel équilibre avec une augmentation de la recharge ou une diminution de l'émergence (Alley *et al.*, 1999; Freeze et Cherry, 1979). Dans un cas comme dans l'autre, le pompage de l'eau souterraine enlève de l'eau à la composante de surface du cycle hydrologique, même si cela peut se faire avec un délai considérable. L'augmentation induite de la recharge des eaux souterraines diminue la quantité d'eau qui ruisselle vers les cours d'eau depuis les hautes terres, alors qu'une diminution de l'émergence des eaux souterraines entraîne un écoulement de base réduit dans les vallées.

Si l'emplacement des puits dans un aquifère a pour effet d'augmenter la recharge, et si la diminution du ruissellement qui en résulte est acceptable, les estimations du débit d'exploitation durable des eaux souterraines fondées sur la recharge naturelle peuvent alors être trop faibles. Si l'emplacement des puits a pour effet de capter une eau qui autrement alimenterait les cours d'eau et les milieux humides, et si cette diminution de l'émergence n'est pas acceptable, les estimations du débit d'exploitation durable des eaux souterraines fondées sur la recharge naturelle peuvent alors être trop élevées. Cette seconde situation est plus fréquente que la première.

De plus, l'eau souterraine pompée n'est pas nécessairement consommée en totalité. Par exemple, une partie de l'eau qui sert à l'irrigation retourne dans le sous-sol. Cette « restitution » peut toutefois se faire dans un aquifère autre que celui d'où l'eau a été prélevée. Dans le cas des usages domestiques et industriels, une partie devient des eaux usées qui sont traitées avant de retourner dans les nappes d'eau souterraine ou les plans d'eau de surface du système hydrologique.

2.4 INTERPRÉTATION DES OBJECTIFS DÉFINIS PAR LE COMITÉ

Protéger les sources d'eau souterraine contre l'épuisement

Une gestion durable doit chercher à prévenir une baisse continue à long terme du niveau des eaux souterraines (encadré 2.2). Le captage d'eau amenant une nouvelle position d'équilibre d'une nappe phréatique est généralement acceptable, à condition de respecter le troisième objectif (préserver la viabilité des écosystèmes). Par contre, si le pompage entraîne une baisse du niveau de la nappe phréatique sans qu'un nouveau point d'équilibre ne soit atteint, cette utilisation est non durable parce que la réserve d'eau souterraine finit par s'épuiser au point où on ne peut plus l'utiliser de façon continue. (L'étude de cas du bassin de Denver, au chapitre 6, donne un exemple d'une baisse à long terme du niveau de la nappe phréatique.)

Il y a à ce jour peu d'exemples d'un épuisement excessif à grande échelle des eaux souterraines au Canada, mais il y a des exemples localisés. L'aquifère de la vallée de l'Estevan, dans le Sud de la Saskatchewan, a connu un déclin substantiel en raison du pompage pour la production d'électricité. Le pompage a été interrompu en 1994, et l'on estime qu'il faudra jusqu'à 20 ans pour que la nappe phréatique revienne à son niveau initial avant pompage (Rivera, 2005).

Encadré 2.2 : Baisses du niveau de l'eau aux États-Unis

Les eaux souterraines constituent la principale source d'eau potable pour environ la moitié de la population des États-Unis, comptant pour approximativement 98 % de l'eau à usage domestique en milieu rural et 37 % de l'approvisionnement public. En outre, plus de 42 % de l'eau utilisée pour l'irrigation est tirée de puits. L'utilisation totale de l'eau souterraine aux États-Unis a été de 315 millions de mètres cubes par jour en 2000 (Hutson *et al.*, 2004).

À cause de cette dépendance à l'égard de l'eau souterraine pompée, le volume des réserves d'eau souterraine a diminué dans de nombreuses régions des États-Unis. Parmi les conséquences de la baisse du niveau des eaux souterraines, mentionnons les coûts accrus de pompage, la détérioration de la qualité de l'eau, la diminution de l'apport vers les cours d'eau et les lacs, ainsi que l'affaissement du sol. Toute utilisation de l'eau souterraine entraîne ces effets négatifs, quoiqu'à des degrés variables. Comme pour les autres ressources naturelles, la société doit mettre en balance les bénéfices et les conséquences de l'exploitation de la ressource.

La Commission géologique des États-Unis (USGS) a produit une carte (figure 2.2) des zones où le niveau d'au moins un aquifère captif a baissé de plus de 12,2 mètres par rapport à ce qu'il était avant l'exploitation et des zones où cette baisse de niveau a été supérieure à 7,6 mètres dans le cas des aquifères à nappe libre. Les zones où ces baisses de niveau de l'eau étaient observées devaient être d'au moins 1 300 km² pour être répertoriées sur

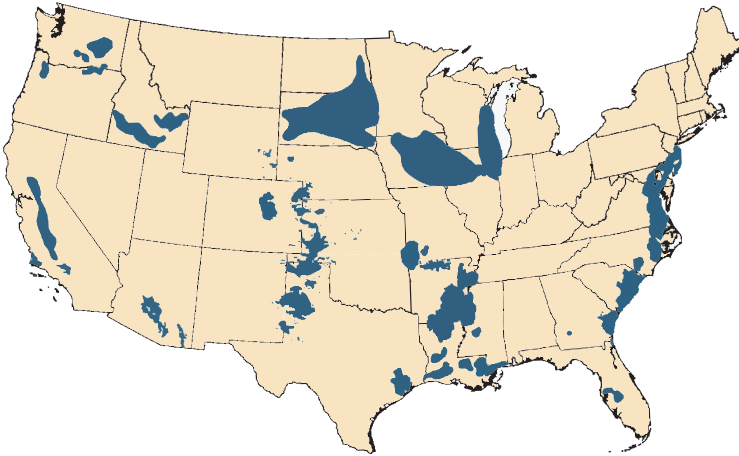
la carte (Reilly *et al.*, 2008). Comme on le voit dans la figure 2.2, le pompage de l'eau souterraine peut entraîner des baisses du niveau de l'eau sur de vastes étendues géographiques.

Même si la base de données de l'USGS contient de l'information sur les eaux souterraines de tous les États, elle ne constitue pas une base de données exhaustive de toutes les activités de surveillance des eaux souterraines aux États-Unis. Cette carte ne donne donc pas une évaluation complète des baisses du niveau de l'eau dans toutes les régions. La connaissance de la situation aux États-Unis est incomplète, dans certains cas parce qu'il n'y a pas assez de données sur le niveau de l'eau et dans d'autres cas parce que les données n'ont pas été compilées à l'échelle du pays. Un effort national est en cours aux États-Unis en vue d'organiser l'information disponible à l'échelle du pays, des États et des localités sur l'évolution du niveau des eaux souterraines.

Les bassins hydrogéologiques changent en réaction au développement et devraient donc faire régulièrement l'objet d'une surveillance et d'une évaluation visant à connaître la quantité d'eau disponible pour l'exploitation et les ramifications de l'utilisation de cette ressource. Chaque bassin régional d'eaux souterraines a ses caractéristiques propres en ce qui concerne le climat, le cadre hydrogéologique et les conditions aux limites (type et emplacement), et chaque système réagit différemment aux pressions du développement humain et du climat.

L'USGS entreprend une évaluation à grande échelle des ressources en eau souterraine des États-Unis qui soit adaptable dans le temps et qui fournisse des analyses régionales quantitatives des principales zones d'exploitation des eaux souterraines. Ce programme repose sur les efforts antérieurs à l'échelon fédéral et sur une longue histoire de partenariats entre l'USGS et d'autres agences fédérales, des États, des tribus et des gouvernements locaux, afin de recueillir des données sur les eaux souterraines et d'effectuer des études de bassins hydrogéologiques. Ce programme produit notamment des estimations actuelles, une analyse des tendances historiques de l'utilisation, des réserves, de la recharge et de l'émergence des eaux souterraines (analyse de bilans hydriques), des modèles informatiques de bassins hydrogéologiques régionaux, des estimations régionales des propriétés des principaux aquifères, une évaluation des réseaux existants de surveillance de la disponibilité de l'eau souterraine, ainsi que la mise à l'épreuve et l'évaluation de nouvelles méthodes d'analyse d'aquifères régionaux.

Le programme est conçu pour permettre une synthèse à l'échelle nationale et pour donner une information détaillée relative à des questions d'intérêt local. Aux États-Unis, les décisions de gestion des eaux souterraines sont prises par les États, les municipalités et des districts spéciaux constitués pour la gestion des eaux souterraines. Par conséquent, les études régionales se font autant que possible en partenariat avec les agences et organismes intéressés, ce qui les rend plus pertinentes sur le plan local. D'autre part, l'information et les modèles à l'échelle régionale sont conçus pour fournir un cadre régional servant à des études et modèles plus détaillés à l'intention des personnes qui prennent des décisions de gestion à l'échelon local (Reilly *et al.*, 2008).



(Adaptée et reproduite avec l'autorisation de Reilly *et al.*, 2008)

Figure 2.2

Zones de baisse du niveau de l'eau aux États-Unis

Un épuisement excessif peut avoir de graves conséquences économiques. Par exemple, il faut s'attendre à des coûts accrus de pompage, et peut-être de traitement, s'il faut capter l'eau souterraine d'aquifères de plus en plus profonds à cause d'une baisse du niveau de la nappe phréatique. Un approvisionnement de remplacement par pipeline, camions-citernes et eau embouteillée (Canton de Langley, 2008; Région de Waterloo, 2007b) est souvent beaucoup plus coûteux que l'utilisation de l'eau souterraine locale. De plus, des problèmes tels que l'affaissement du sol résultant de la surexploitation des eaux souterraines peuvent entraîner des coûts astronomiques. Aux États-Unis, il y a eu de nombreux cas très coûteux d'affaissement du sol (Galloway *et al.*, 1999). Une baisse des réserves diminue également le tampon dont bénéficient les utilisateurs municipaux et agricoles pendant les périodes de sécheresse.

Maintenir la qualité de l'eau souterraine en la protégeant contre la contamination

Le développement durable exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques. Une baisse de qualité de l'eau souterraine peut affecter tant la santé humaine que celle des écosystèmes. À titre d'illustration, ce qui suit porte essentiellement sur la préservation de la qualité de l'eau potable.

Même si l'eau souterraine peut être de qualité médiocre à cause de substances naturellement présentes dans les matériaux géologiques formant les aquifères, la dégradation de sa qualité résulte souvent de l'activité humaine et de l'utilisation locale du sol. En milieu rural, notamment agricole, la contamination des eaux

souterraines peut avoir diverses sources, dont le stockage et l'épandage de fumier, les installations septiques, les déversements accidentels et l'utilisation de pesticides (CCE et Gouvernement du Canada, 2006). En milieu urbain, les activités industrielles à grande échelle, les réseaux de transport et les petits commerces peuvent contribuer à la contamination des eaux. Dans les zones côtières, la gestion des eaux souterraines doit tenir compte de la protection des aquifères contre l'intrusion de l'eau de mer.

Les maladies hydriques constituent un problème potentiellement sérieux lié à une dégradation de la qualité de l'eau. La contamination de l'eau souterraine à Walkerton, en Ontario, en est un exemple tragique récent. Elle a coûté la vie à sept personnes et en a rendu plusieurs centaines d'autres malades. Une commission d'enquête mise sur pied par suite de cette tragédie a entraîné une refonte complète du système de gestion de l'eau potable en Ontario. D'autres provinces en ont fait autant et ont passé en revue leurs systèmes de protection de l'eau potable. Des statistiques nationales sur les maladies hydriques ne sont pas facilement disponibles, mais les chiffres semblent significatifs. Par exemple, entre 1980 et 2004, il y a eu en Colombie-Britannique 29 éclosions confirmées de maladies hydriques qui ont affecté des dizaines de milliers de personnes (Gouvernement de la C.-B., 2007). À Walkerton, les coûts de l'enquête et de la mise en place d'un nouveau système ont été très élevés. Par exemple, le budget de la commission elle-même a été d'environ 10 millions de dollars, et 65 millions de dollars ont été versés en compensation aux victimes et à leur famille (WCWC, 2007).

Le cas de Walkerton constitue un exemple extrême de contamination, mais ce n'est pas un cas isolé. Selon l'Association médicale canadienne, 1 859 avis d'ébullition étaient en vigueur au Canada en date du 31 mars 2008. L'Ontario venait en tête avec 679 avis, suivie de la Colombie-Britannique avec 530. Ces chiffres alarmants n'étaient pas répartis selon l'origine de l'eau, de sorte que le nombre d'avis d'ébullition attribuables à l'eau souterraine demeure inconnu.

En plus des impacts sur la santé humaine et du coût des soins de santé, les problèmes de qualité de l'eau souterraine entraînent d'autres coûts substantiels pour la société. La contamination agricole et industrielle entraîne des coûts de nettoyage beaucoup plus élevés que ceux de la prévention. Par exemple, le ministère de l'Environnement de l'Ontario a dépensé entre 1984 et 1993 environ 22 millions de dollars pour réhabiliter les sols de surface à une installation d'entreposage de biphényles polychlorés (BPC) près de Smithville, plus 3 millions de dollars pour remplacer le puits qui approvisionnait la ville par un pipeline venant de Grimsby, quelque 10 kilomètres plus au nord. On estime qu'une quantité de BPC pouvant aller jusqu'à 40 000 litres demeure dans l'aquifère de roc fracturé et que la récupération de ces BPC et la réhabilitation de l'aquifère sont trop complexes et coûteuses. Par conséquent, le ministère dépense chaque année 500 000 dollars pour maintenir un système de pompage et de traitement visant à contrôler les fuites de contaminants (Gouvernement de l'Ontario, 2002a).

Une gestion durable des eaux souterraines doit chercher à prévenir leur contamination due à l'activité humaine et à réhabiliter et restaurer les eaux souterraines contaminées. On peut protéger de diverses manières les utilisateurs municipaux des eaux souterraines contre les risques d'une contamination de l'eau pour la santé : (1) prévenir la pollution au moyen de programmes efficaces de détermination des aires d'alimentation et de protection de ouvrages de captage, ainsi que d'une réglementation appliquée de manière efficace; (2) veiller à ce que les puits ne puissent pas pomper une eau souterraine difficile à traiter; (3) installer des puits périphériques de surveillance afin de détecter de manière précoce d'éventuels contaminants; (4) installer des systèmes appropriés de traitement à la source ou dans les réseaux de distribution (les utilisateurs de puits privés dépendent surtout de mesures de prévention de la pollution, quoique des systèmes de traitement à la source pour des composantes chimiques ou biologiques naturellement présentes sont de plus en plus répandus dans certaines régions).

Il faut souligner que les effets des pratiques d'utilisation des sols ou de la surexploitation sur les eaux souterraines peuvent prendre plusieurs années ou même des décennies à se manifester. Une fois que de tels effets sont observés, il peut être extrêmement long ou impossible d'y remédier. C'est là un aspect propre aux eaux souterraines qui appelle des techniques de gestion différentes de celles employées pour les eaux de surface.

Préserver la viabilité des écosystèmes

L'émergence d'eau souterraine dans les cours d'eau maintient l'écoulement de base de ceux-ci et joue donc un rôle important dans le soutien de fonctions essentielles des écosystèmes, par exemple le rôle d'habitat pour les plantes et animaux aquatiques, l'atténuation de l'impact des périodes de sécheresse, le maintien des milieux humides, l'élimination des déchets et le transport de nutriments. À titre d'exemple, dans le cas de l'omble de fontaine (et, dans une moindre mesure, de la truite arc-en-ciel et de la truite brune), ce n'est pas seulement l'émergence des eaux souterraines en amont des cours d'eau qui est importante, mais aussi une température stable et une quantité d'oxygène dissous suffisante pour la survie et le développement des œufs (Meisner *et al.*, 1988). Jusqu'à quel point ces espèces peuvent-elles tolérer une modification de ces paramètres tout en parvenant à se reproduire? Cela fait toujours l'objet de recherches. Nous n'avons pas de données pour montrer exactement jusqu'à quel point les espèces d'eau douce dépendent des eaux souterraines, ni pour calculer la quantité d'eau souterraine que l'on peut prélever dans une zone d'émergence avant d'affecter la santé de la rivière qui en dépend (Gartner Lee Ltd., 2002; Rivera, 2005). Par conséquent, les besoins en eau des écosystèmes qui dépendent des eaux souterraines et des écosystèmes aquatiques ne sont pas faciles à quantifier, mais font l'objet de plus en plus d'attention de la part de scientifiques (AIH, 2007), d'organismes de réglementation (USDA, 2007), de l'Union européenne dans la mise en œuvre de sa *Directive-cadre dans le domaine de l'eau* (encadré 5.1), ainsi que d'ONG et d'instituts de recherche (WDGF, 2005; Program on Water Governance, 2008; Conservation de la nature, 2008).

La quantité et la qualité de l'eau souterraine exercent toutes deux une influence sur la viabilité des écosystèmes. L'un des exemples les plus spectaculaires à propos de la qualité vient de l'Île-du-Prince-Édouard, où une commission indépendante a récemment établi que l'émergence d'eau souterraine contaminée aux nitrates a entraîné une dégradation des conditions environnementales dans des cours d'eau et des estuaires, entraînant les « coûts » suivants : mortalité chez les poissons, pertes économiques dans le domaine de la pêche commerciale et récréative, baisse de la valeur foncière des propriétés riveraines (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008). Ce problème est abordé plus en détail dans l'étude de cas de l'Île-du-Prince-Édouard, au chapitre 6.

Le captage d'eau souterraine modifie à des degrés divers le bilan hydrique naturel pré-existant. Il faut donc inévitablement trouver un compromis entre, d'une part, les bénéfices socio-économiques d'un approvisionnement accru en eau souterraine pour les utilisations humaines et, d'autre part, les avantages écologiques d'un écoulement stable dans les zones d'émergence des eaux souterraines. La détermination de tels compromis constitue un objectif central de la gestion durable des eaux souterraines. Il faut maintenir un apport adéquat pour que les principales sources demeurent viables, pour préserver la santé des milieux humides, assurer un débit de base suffisant des cours d'eau, maintenir les lacs à un niveau acceptable et fournir aux rivages des estuaires un apport d'eau douce suffisant. Les prélèvements d'eau souterraine ne devraient pas entraîner une réduction de la diversité de la flore et de la faune qui peuplent ces habitats.

Il est important de comprendre les variations d'un bassin hydrogéologique et ses interactions avec les eaux de surface. Dans l'évaluation de l'apport des eaux souterraines nécessaire à la viabilité d'un écosystème, il faut tenir compte des caractéristiques pertinentes des eaux de surface lorsque l'on fait une estimation de l'écoulement des eaux souterraines dans les plans d'eau de surface et aussi comprendre les besoins et les éléments de vulnérabilité de l'écosystème aquatique. Ces deux tâches sont techniquement difficiles, et la détermination de ce qu'est une modification acceptable du niveau de la nappe phréatique représente un défi majeur sur le plan conceptuel et quant aux mesures à effectuer (Farber, 2002).

Les processus de gouvernance, abordés plus loin dans le contexte du cinquième objectif d'une gestion durable, recherchent un équilibre entre les bénéfices socio-économiques du captage de l'eau souterraine et les avantages pour les écosystèmes de maintenir un écoulement de base adéquat des cours d'eau et de préserver les habitats des milieux humides. Par contre, alors que les méthodes d'évaluation des bénéfices socio-économiques sont facilement disponibles et bien comprises, les mécanismes qui permettent d'attribuer une valeur aux avantages écosystémiques sont mal compris et incomplets. La gouvernance risque donc de favoriser les bénéfices humains.

Parvenir à un bien-être socio-économique

Les Canadiens utilisent l'eau souterraine pour boire et pour de nombreux autres usages. Une gestion des eaux souterraines en accord avec les principes de développement durable doit faire en sorte que la population bénéficie d'un approvisionnement stable et de bonne qualité. De plus, des politiques de gestion durable qui préservent le niveau des eaux, l'écoulement de base des cours d'eau et les habitats des milieux humides, procurent des bénéfices économiques directs pour le tourisme, la navigation de plaisance, la chasse et la pêche, et de nombreuses autres activités. Les eaux souterraines ont d'autre part une valeur bien plus que seulement monétaire. L'eau a une valeur spirituelle, culturelle et esthétique. Les sources, par exemple, sont souvent des lieux importants sur les plans scénique et spirituel. Le comité reconnaît l'importance de gérer les eaux souterraines de manière durable afin de respecter ces valeurs importantes.

D'un point de vue économique, l'idéal serait de chercher à maximiser le bénéfice net que la société tire des eaux souterraines, qu'elles soient exploitées ou non. Le bénéfice tiré du prélèvement d'eau souterraine à un moment donné doit être considéré dans le contexte de deux types de coûts pour la société : (1) la somme des coûts encourus par l'utilisateur pour la période actuelle, plus les coûts qui résultent du prélèvement pour les utilisateurs voisins, plus le coût des impacts écologiques; (2) le coût lié aux bénéfices nets potentiels à prévoir et dont les utilisateurs futurs auraient pu profiter. Il est nécessaire d'inclure ce second type de coût afin d'assurer que l'utilisation de l'eau souterraine soit répartie entre les utilisateurs et dans le temps de manière à maximiser une valeur durable pour la société, conformément à la notion d'équité intergénérationnelle en tant que condition préalable du développement durable (NRC, 1997)⁵.

Ce raisonnement peut avoir d'importantes implications. Dans le cas de l'exploitation intensive d'un aquifère profond, par exemple, la baisse du niveau piézométrique engendrée par le pompage pourrait ne pas affecter à long terme les réserves d'eau de surface. Dans ce cas, l'objectif d'une valeur maximale pour la société, qui suppose d'appliquer un certain escompte aux coûts et bénéfices prévus dans l'avenir, pourrait être atteint même si le pompage est maintenu. L'exploitation intensive d'un tel

5 Techniquement parlant, un plan d'utilisation de l'eau souterraine qui procure une valeur maximale doit posséder les caractéristiques suivantes : (1) le bénéfice marginal de la dernière unité d'eau souterraine doit être égal à la somme du coût marginal d'extraction et du coût marginal pour l'utilisateur au cours de chaque période – ce dernier élément mesure le bénéfice net perdu du fait des prélèvements au cours de la période actuelle; (2) la valeur actuelle du bénéfice marginal net (bénéfice marginal moins coût marginal) au cours de chaque période doit être la même sur tout l'horizon de planification. Cette seconde condition doit être remplie pour que l'exploitation de l'eau souterraine soit consentie sur plusieurs périodes de temps d'une manière qui maximise le bénéfice qu'en tire la société. Il est également important de noter que la définition du coût marginal est plus complexe ici que dans le cas de problèmes statiques (c'est-à-dire sur une période unique) d'optimisation économique.

aquifère est par définition insoutenable en vertu du premier objectif (protéger les eaux souterraines contre l'épuisement), mais elle peut néanmoins être justifiée selon le quatrième objectif (la promotion d'un bien-être socio-économique). On pourrait faire valoir cela si la perte de valeur associée à la baisse de pression dans l'aquifère était compensée par une augmentation de valeur résultant d'une augmentation du capital d'origine humaine en infrastructures, entreprises ou investissements dans d'autres moyens d'approvisionnement en eau. L'application pratique d'un tel raisonnement est illustrée dans l'étude de cas du bassin de Denver, au chapitre 6. Cette position est critiquée et illustre le défi que représente la définition et la mise en œuvre d'un strict concept de « quantité durable » tout en tenant compte de l'objectif de maximiser le bien-être socio-économique sur une longue période (Schiffler, 1998; UNESCO, 2006).

Les bénéfices économiques et sociaux des industries qui dépendent des eaux souterraines sont énormes, mais pratiquement impossibles à quantifier à partir des données disponibles. À l'heure actuelle, les secteurs du pétrole et du gaz ainsi que de l'agriculture, en particulier l'élevage, sont parmi ceux qui dépendent directement des eaux souterraines. Ils pourraient à terme souffrir d'une gestion non durable des eaux souterraines. Le manque de données empiriques sur la valeur de l'eau pour la santé et le bien-être des Canadiens et de leurs écosystèmes peut nuire à la capacité des gouvernements à gérer les eaux souterraines de manière durable. Des estimations fiables de la valeur économique de l'eau pourraient favoriser une meilleure prise de décision concernant la répartition des ressources en eau, les infrastructures liées à l'eau, les dépenses engagées pour délimiter les aires d'alimentation et de protection des ouvrages de captage, ainsi que la réhabilitation des eaux contaminées.

Peu importe les bonnes intentions de la société en ce qui concerne le long terme, il y aura toujours des pressions en faveur de l'exploitation des eaux souterraines pour maintenir la prospérité socio-économique actuelle. C'est pourquoi un processus approprié de gouvernance est nécessaire pour définir la répartition des eaux souterraines et atteindre à long terme les cinq objectifs du développement durable. Il faut donc des cadres durables d'identification et de protection des aquifères et de l'écoulement des eaux souterraines qui sont vitaux pour les humains et les écosystèmes (maintenant et dans un proche avenir). Ces cadres exigeront une approche de la gestion des risques qui cherche à orienter les utilisations potentiellement non durables des eaux souterraines vers les aquifères dont la valeur écologique est moindre. Cette logique est sans doute déjà appliquée de manière informelle dans de nombreuses régions du Canada, où les gestionnaires cherchent à répondre à de nouvelles demandes dans les limites des écosystèmes de leur bassin versant. En Alberta par exemple, les compagnies pétrolières doivent chercher une source d'eau salée avant de demander un permis de prélèvement d'eau douce pour faciliter l'extraction du pétrole.

Appliquer les principes de bonne gouvernance

La gouvernance en matière d'eau est l'ensemble des processus politiques, organisationnels et administratifs qui permettent l'expression des divers intérêts, la réception des intrants, la prise de décisions et leur mise en œuvre et qui engagent la responsabilité des décideurs. Elle se distingue de la gestion de l'eau, qui consiste à assurer concrètement sur le terrain la réglementation de l'eau et des conditions de son utilisation. La gouvernance va au-delà du simple cadre « gouvernemental » et s'étend aux intervenants des secteurs public et privé, ainsi que de la société civile.

Les critères de bonne gouvernance relative à l'eau varient selon les groupes (Bakker et Cameron, 2002), mais les critères suivants sont couramment évoqués : inclusion, participation, transparence, prévisibilité, responsabilité et règle de droit. Une information pertinente disponible sous une forme accessible au public est un préalable à un processus décisionnel juste et transparent. La plupart des gouvernements donnent accès à une certaine information sur les eaux souterraines. Par exemple, certaines provinces donnent accès à des cartes montrant les caractéristiques géologiques pertinentes et les aires de protection des puits. La plupart des provinces ont aussi des bases de données publiques des permis et licences d'exploitation de l'eau, qui sont cependant parfois difficiles à interpréter.

L'inclusion est une composante clé des processus de planification à l'échelle de bassins versants dans lesquels les gouvernements cherchent à améliorer la gestion en suscitant la participation d'une grande variété d'intervenants gouvernementaux, publics et privés au processus décisionnel. Un autre aspect important de la gouvernance consiste à fournir des occasions de résoudre les conflits. Les possibilités de participation aux décisions d'octroi de permis varient d'une province à l'autre. En Ontario, la *Charte des droits environnementaux* et le registre public qu'elle prescrit constituent un exemple de dispositions législatives qui prévoient l'émission d'avis public et la possibilité de faire des commentaires prévus par la loi. Un autre élément crucial d'une bonne gouvernance est la règle de droit. En ce qui concerne la gestion des eaux souterraines, le respect de la règle de droit porte entre autres sur le respect des conditions des permis, l'application des exigences de reddition de comptes, la prise en considération des titres, droits et traités des Premières Nations, ainsi que l'accès à la justice en cas de conflit non résolu. De fait, des structures de gouvernance médiocres peuvent se traduire par de graves conflits à propos de l'utilisation des eaux souterraines :

- Au Manitoba, l'opposition à un nouveau projet de loi visant à mieux protéger les eaux souterraines et à réglementer l'industrie porcine est si forte que les producteurs de porcs se sont regroupés pour créer un site Web intitulé *Unfriendly Manitoba* dans le but d'exprimer leur opposition aux actions du gouvernement. L'élevage intensif est une importante pomme de discorde dans un certain nombre de provinces.

- L'opposition aux usines d'embouteillage d'eau souterraine a également fait son apparition au pays et peut entraîner des conflits longs et coûteux (Nowlan, 2005). Les incertitudes concernant les effets de la réglementation des eaux souterraines sur les opérations d'embouteillage sont souvent source d'inquiétude (voir par exemple l'étude de cas des Basses-Laurentides, au chapitre 6).
- Des conflits à propos de la gestion et de l'utilisation de l'eau souterraine surviennent dans bien d'autres contextes : développement foncier, terrains de golf, pipelines, etc.
- La non-inclusion de certains groupes dans les processus décisionnels peut entraîner des litiges, comme dans le cas de plusieurs poursuites judiciaires intentées par les Premières Nations en Alberta⁶.
- Des litiges peuvent également résulter de la non-évaluation des impacts cumulatifs de projets, avec de coûteux délais pour l'industrie. Mentionnons par exemple le récent procès à propos de la révocation d'un permis d'utilisation d'eau pour le projet des sables bitumineux du lac Kearl.

La participation au processus décisionnel dès les premières étapes d'un projet de développement des eaux souterraines peut parfois, mais pas toujours, aider à éviter des conflits ultérieurs. Lorsque les citoyens ont accès à l'information et qu'ils peuvent participer à la prise de décision, ils peuvent être moins susceptibles de recourir aux tribunaux (Nowlan et Bakker, 2007). Les lois sur les eaux souterraines seront plus efficaces si elles sont élaborées et mises en œuvre avec une forte participation des utilisateurs (Tuinhof, 2001).

La collaboration de plusieurs organismes gouvernementaux, groupes de citoyens et chercheurs scientifiques peut améliorer la gestion durable des eaux souterraines. Par exemple, le programme H₂O Chelsea, auquel participent une municipalité québécoise, un institut de recherche et une ONG de citoyens, vise à protéger les ressources en eau souterraine de cette petite collectivité à faible densité établie sur le Bouclier canadien, dans les Collines de la Gatineau. La municipalité a maintenant une politique en vertu de laquelle les promoteurs immobiliers doivent effectuer des essais de pompage pour démontrer que l'approvisionnement en eau est suffisant pour les nouveaux projets domiciliaires (Nowlan et Bakker, 2007). L'application constante des critères de bonne gouvernance est susceptible non seulement d'accroître la légitimité des décisions, mais aussi d'en améliorer la qualité

6 Un certain nombre de poursuites liées aux droits des Premières Nations et à la gestion de l'eau et des ressources sont actuellement en cours. Les Cris de la réserve de Beaver Lake, en Alberta, revendiquent l'annulation des autorisations de milliers de projets d'exploitation pétrolière sur le territoire de la bande (Sandborn, 2008). La Première Nation chipewyan des Prairies a déposé une demande semblable (Lillebuen, 2005). La Nation tsuu t'ina et la Nation crie Samson demandent à la Cour du Banc de la Reine de renverser la décision du gouvernement de l'Alberta de fermer presque tous les lacs et cours d'eau dans le Sud de l'Alberta, arguant que ce plan ne protège pas efficacement l'environnement (D'Aliesio, 2008).

et d'éliminer le besoin de recourir à des mécanismes officiels de résolution de conflits tels que les commissions environnementales d'appel et les tribunaux.

Enfin, pour que les processus de gouvernance parviennent à un juste équilibre entre les besoins socio-économiques et ceux des écosystèmes, il faut des procédures comptables comparables dans les deux domaines afin de quantifier la valeur de l'eau. Des décisions concernant la répartition et la qualité de l'eau souterraine qui ne tiendraient pas compte de critères économiques risquent d'être inefficaces à long terme sur le plan économique. D'autre part, si l'on ne tient pas pleinement compte de la valeur des fonctions des écosystèmes, les processus de gouvernance vont probablement favoriser les intérêts socio-économiques au détriment de ceux des écosystèmes.

2.5 REDDITION DE COMPTES SUR LES CIBLES DE GESTION DURABLE

Le suivi des résultats fait partie intégrante de la mise en œuvre d'une gestion durable des ressources. Il est souhaitable d'interpréter les données sur les résultats au regard de cibles clairement définies qui indiquent si les objectifs énoncés sont atteints ou non. Étant donné les multiples objectifs présentés plus haut et la complexité du comportement des eaux souterraines, l'évaluation de la durabilité requiert généralement plusieurs indicateurs indépendants. Idéalement, ces indicateurs doivent être mesurables, représentatifs et faciles à extraire des bases de données disponibles. Ils devraient être directement liés aux objectifs de développement durable et rapidement comparés aux cibles, valeurs de référence, intervalles ou seuils de durabilité, de manière à pouvoir servir de déclencheurs d'action lorsque cela est indiqué (Hodge *et al.*, 1995). Parmi les indicateurs représentatifs possibles, mentionnons le niveau de l'eau dans des puits artésiens choisis et dans des nids de piézomètres plus profonds, la détermination de la qualité de l'eau à des endroits potentiellement vulnérables aux contaminants, les débits printaniers, la santé des milieux humides, les mesures de débit et des estimations de l'écoulement de base de cours d'eau. Dans des cas plus complexes, on pourrait avoir besoin d'indicateurs pour évaluer l'ampleur de l'intrusion d'eau de mer, l'affaissement du sol ou les impacts transfrontaliers possibles. Des indicateurs socio-économiques pourraient être fondés sur les coûts et bénéfices reconnus de programmes approuvés d'exploitation des eaux souterraines et sur des mesures plus qualitatives du bien-être de la société.

Il faut manifestement poursuivre le développement de techniques d'acquisition et d'application d'indicateurs de durabilité en vue d'améliorer les processus de gestion. Afin de mettre l'accent sur cette tâche permanente, le gouvernement fédéral, en collaboration avec les provinces, devrait produire un rapport sur l'état actuel des eaux souterraines au Canada et les progrès accomplis en vue d'une gestion durable de cette ressource. Ce rapport devrait être mis à jour à intervalles réguliers, par exemple tous les cinq ans.

POINTS SAILLANTS

- L'attention de plus en plus grande accordée au développement durable dans le monde est le signe d'une évolution des attitudes dans le sens suivant : on accorde moins d'importance qu'autrefois au court terme et l'on cherche à pleinement tenir compte des conséquences futures des actions d'aujourd'hui.
- Pour aborder la dimension du développement durable dans la science et la gestion des eaux souterraines, le comité a formulé cinq objectifs reliés entre eux :
 - protéger les sources d'eau souterraine contre l'épuisement;
 - maintenir la qualité de l'eau souterraine en la protégeant contre la contamination;
 - préserver la viabilité des écosystèmes;
 - parvenir à un bien-être socio-économique;
 - appliquer les principes de bonne gouvernance.
- Il semble qu'aucune autorité de quelque niveau que ce soit au Canada n'a évalué la durabilité de l'utilisation de l'eau souterraine placée sous sa compétence, ni formulé une stratégie de développement durable d'une manière qui réponde pleinement à ces cinq objectifs.
- Le développement durable exige que les eaux souterraines et les eaux de surface soient caractérisées et gérées comme un système intégré à l'échelle de tout un bassin versant ou d'un bassin hydrogéologique.
- Les effets des pratiques d'utilisation des sols ou de la surexploitation sur les eaux souterraines peuvent prendre plusieurs années ou même des décennies à se manifester. De même, il peut être extrêmement long et généralement très coûteux d'y remédier, et cela peut même être parfois impossible.
- Les mécanismes qui permettent d'attribuer une valeur aux utilisations des eaux souterraines, et en particulier aux avantages écosystémiques des eaux souterraines, sont mal compris et incomplets. La gouvernance risque donc de favoriser les bénéfices humains.
- L'évaluation de la durabilité exige généralement plusieurs indicateurs indépendants. Il faut manifestement poursuivre le développement de techniques d'acquisition et d'application d'indicateurs de durabilité.

3 Problèmes actuels et à venir liés à la gestion durable des eaux souterraines

La gestion durable des eaux souterraines devra relever les défis venant de nouvelles pressions sur les eaux souterraines du Canada, ainsi que de l'intensification de plusieurs pressions existantes. Les tendances et nouveaux problèmes présentés ci-dessous forment le contexte dans lequel il faut parvenir à une gestion durable des eaux souterraines. Ils constituent une liste de priorités pour les gestionnaires des eaux souterraines et les scientifiques qui devront fournir les connaissances nécessaires afin d'éclairer les décisions à prendre.

3.1 AUGMENTATION DE LA POPULATION ET URBANISATION

La population du Canada, actuellement de 33 millions d'habitants, devrait atteindre entre 36 et 42 millions d'habitants en 2031, et entre 36 et 50 millions en 2056 (Statistique Canada, 2005). D'autre part, on prévoit que la proportion de la population canadienne concentrée dans les zones urbaines, qui est aujourd'hui de 80 % (Statistique Canada, 2007), passera à 87 % d'ici 2030, pour une population totale qui augmentera aussi (Globalis Canada, 2005). Quelles en sont les conséquences pour les ressources en eau souterraine? Cette question fait intervenir de nombreuses variables, dont la proximité et la disponibilité des ressources en eau souterraine, la vulnérabilité naturelle des bassins hydrogéologiques, la cohérence et l'exhaustivité des régimes actuels de gouvernance, la nature des contraintes existantes et les impacts des changements climatiques. Toutes ces variables sont pondérées en fonction du contexte local de chaque bassin. Quoi qu'il en soit, on peut généralement s'attendre à une augmentation de la demande d'eau souterraine.

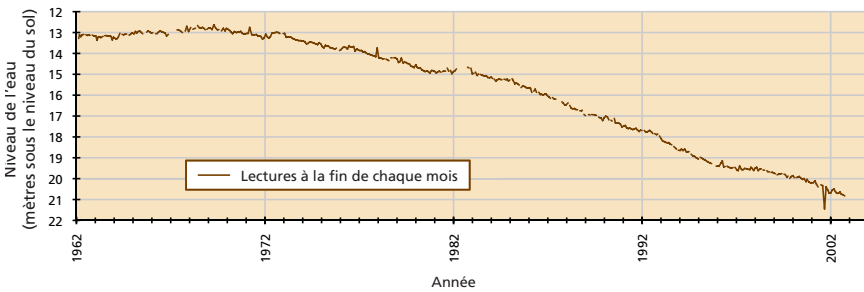
Demande accrue d'eau souterraine

L'augmentation de la demande d'eau souterraine sera particulièrement forte là où les eaux de surface ne sont pas disponibles, en raison par exemple d'une qualité médiocre ou de coûts trop élevés. Des prélèvements intensifs et accrus d'eau souterraine peuvent exiger des forages dans des aquifères plus profonds, ce qui risque d'abaisser le niveau des nappes phréatiques, de diminuer le débit d'exploitation des puits, d'augmenter les coûts de pompage et, dans certains cas, d'entraîner l'intrusion d'eau salée ou l'affaissement du sol.

Le canton de Langley, près de Vancouver, constitue un exemple de collectivité agricole en voie d'urbanisation rapide (on prévoit que sa population passera de 100 000 habitants en 2008 à 165 000 d'ici 2023) qui a connu une baisse substantielle de ses réserves d'eau souterraine et a entrepris de renverser cette tendance. Une surveillance continue révèle la baisse du niveau de l'eau dans les aquifères les plus exploités (figure 3.1). Dans certains cas, cette tendance se

manifeste depuis presque 40 ans. Une analyse des données indique que cette baisse n'est pas due à l'évolution des précipitations mais plutôt à la surexploitation des eaux souterraines (Canton de Langley, 2008). La mise sur pied d'une gestion de la demande dans un but de conservation de l'eau souterraine peut entraîner des économies importantes. La municipalité estime que l'atteinte des objectifs de son plan de gestion de l'eau se traduirait par une diminution de 30 % de la consommation totale d'eau et par des économies d'environ 800 000 \$ en 2007 (Canton de Langley, 2007).

L'augmentation de la population et l'urbanisation entraînent généralement un empiètement du développement résidentiel, commercial et industriel sur les zones rurales et semi-rurales. De grandes surfaces urbaines, combinées avec des prélèvements accrus d'eau souterraine, peuvent diminuer le potentiel de recharge des eaux souterraines et leur capacité à alimenter les cours d'eau à leur niveau actuel pendant les périodes d'étiage. D'autre part, une demande accrue d'eau souterraine peut être à l'origine d'efforts visant à recharger les aquifères de manière artificielle.



(Source des données : Ministère de l'Environnement de la C.-B., 2007)

Figure 3.1

Niveau de l'eau dans le puits municipal n° 7 de Langley (C.-B.)

Contamination des eaux souterraines par des polluants

L'augmentation de la population et la concentration urbaine se traduisent par des risques accrus de contamination des eaux souterraines :

- menaces de contamination chimique, entre autres par les sources suivantes : eaux usées urbaines (fuites des égouts sanitaires), produits chimiques industriels (déversements accidentels, élimination dans le sol), élimination des déchets solides (dépotoirs), déglaçants chimiques et abat-poussières pour les routes, engrais et pesticides, fuites de réservoirs souterrains, lixiviats de dépotoirs en exploitation et hors service;
- menaces de contamination microbienne à partir de la surface : l'eau de la partie supérieure des aquifères et des nappes phréatiques peu profondes dans les régions urbaines est particulièrement vulnérable à une telle contamination;

- avec l'étalement urbain, il se peut que l'approvisionnement en eau potable continue de se faire par des puits privés et que des résidences et entreprises possèdent toujours une installation septique. L'intensité d'utilisation de ces installations risque d'amplifier les problèmes de qualité de l'eau souterraine.

Recours accru à des eaux de surface amenées par pipeline ou traitées

Avec l'accroissement de la demande d'eau lié à l'augmentation de la population, à laquelle s'ajoute souvent une réglementation plus stricte de l'approvisionnement en eau, les régions dont les ressources en eau souterraine sont limitées (ou qui parfois connaissent mal leurs ressources en eau souterraine) rechercheront un approvisionnement complémentaire, souvent sous la forme d'eau de surface amenée par pipeline à partir de lacs de grande étendue. C'est de plus en plus souvent le cas dans le Sud de l'Ontario, où les Grands Lacs offrent une solution de remplacement des eaux souterraines. L'utilisation de pipelines amènera d'autres défis liés à l'élimination des eaux usées et à la réglementation des transferts d'eau entre bassins, sans compter les coûts du transport (évaluations environnementales, consultations publiques, construction, etc.), qui sont souvent beaucoup plus élevés que ceux de l'approvisionnement local en eau souterraine.

Absence d'amélioration de la réglementation et de la gouvernance

Un défi majeur à propos de toute question environnementale est la capacité des autorités publiques à réagir d'une manière efficace et en temps voulu. Les lois et politiques qui régissent l'utilisation du sol, les activités agricoles, l'utilisation de produits chimiques et la prévention des déversements, la gestion des déchets, etc., ont toujours été extrêmement complexes et difficiles à renforcer. Certaines lois provinciales relatives à l'eau, par exemple celles du Nouveau-Brunswick, prévoient la protection des zones de recharge des eaux souterraines. Si les lois provinciales n'abordent pas la protection des zones de recharge, il revient aux gouvernements locaux de s'en charger par le truchement de plans d'aménagement foncier. La coordination entre gouvernements provinciaux et locaux est vitale, parce que les contraintes de la croissance urbaine et les besoins correspondants en infrastructures se font sentir directement à l'échelon local, alors que le pouvoir de réglementation est partagé entre les deux paliers de gouvernement.

3.2 IMPACT DE L'AGRICULTURE

Le secteur agricole est un consommateur majeur d'eau au Canada, avec une consommation annuelle approximative de 3,6 milliards m³ (Environnement Canada, 2007). L'irrigation représente de loin la part la plus importante, avec environ 85 % du total, alors que l'élevage en absorbe environ 10 %. C'est dans les régions méridionales de l'Ouest canadien que la demande d'eau pour l'irrigation est la plus importante. Même si l'étude de Kulshreshtha et Grant (2007) n'a pas pu établir la distinction entre les sources d'eau (eaux souterraines ou de surface), une ressource majeure dans cette

région est constituée des rivières importantes alimentées par la couverture de neige des montagnes, par les précipitations et par les eaux souterraines. Ces rivières subissent les effets des changements climatiques (voir p. ex. Demuth et Pietroniro, 2003), tout comme celles de l'Ouest des États-Unis, où la fiabilité moindre de l'approvisionnement en eau de surface due aux changements climatiques pourrait se traduire par un recours plus grand à l'eau souterraine (Scanlon *et al.*, 2005). Cela peut laisser entrevoir une demande fortement accrue d'eau souterraine pour l'irrigation dans l'Ouest canadien. De fait, Kassem *et al.* (2005) ont noté que, dans le cas du bassin de la rivière Saskatchewan Sud, on aura besoin dans l'avenir d'une meilleure représentation des ressources en eau souterraine dans les modèles d'approvisionnement en eau et de planification, parce que la demande d'eau souterraine devrait augmenter en raison des réserves limitées en eau de surface. Dans l'avenir, il sera également crucial de surveiller étroitement les utilisations autorisées et réelles de l'eau souterraine dans tous les secteurs d'activité.

On a assisté à une intensification et à une industrialisation générales de l'agriculture canadienne, qui se sont traduites par une augmentation de la taille des fermes et leur spécialisation afin de réaliser des économies d'échelle. L'intérêt envers la durabilité environnementale de l'agriculture a amené Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) à élaborer un ensemble d'indicateurs agro-environnementaux pour suivre les progrès du secteur agricole en vue de l'atteinte d'objectifs environnementaux (Lefebvre *et al.*, 2005). Dans le cadre de ces indicateurs, l'importance des eaux souterraines est reconnue dans le contexte de l'irrigation, de la salinité des sols, ainsi que de la contamination de l'eau par des composés azotés et des agents pathogènes.

Contamination par les nitrates

Bien que plusieurs indicateurs relatifs aux eaux souterraines soient toujours en cours d'élaboration, le risque de contamination de l'eau par des composés azotés a déjà été évalué par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). Lefebvre *et al.* (2005) ont établi que, à l'échelle nationale, la concentration en nitrates de l'eau d'infiltration sur les terres agricoles (selon la classification de Pédo-paysages du Canada), déterminée à partir de l'azote résiduel présent dans le sol et du bilan hydrologique estimatif, était plus élevée de 24 % en 2001 (7,3 mg d'azote par litre) qu'en 1981. Le risque de contamination de l'eau par les nitrates s'est probablement accru à cause de facteurs régionaux comme la plus grande utilisation d'engrais, l'accroissement du cheptel et l'augmentation de la culture de légumineuses. Lefebvre *et al.* (2005) mentionnent également que les faibles précipitations de 2001 ont pu entraîner une baisse du rendement des récoltes et de l'absorption d'azote dans les cultures. Même si le risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates a augmenté depuis une vingtaine d'années, des programmes fédéraux-provinciaux bien établis, par exemple le Programme national de gérance agro-environnementale, ont pour but de réduire autant que possible la contamination de l'eau. Les producteurs agricoles n'ont pas

encore adopté autant qu'ils l'auraient pu des pratiques exemplaires de gestion visant à atténuer la contamination des eaux souterraines. Il faut davantage de surveillance, de recherche et de mesures coercitives pour que les pratiques agricoles atteignent les objectifs visés (voir au chapitre 6 les études de cas de l'Île-du-Prince-Édouard et de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas).

Production de biocarburants

Une seconde tendance observée dans le secteur agricole est l'utilisation croissante de produits de base tels que les grains et la cellulose pour la production de biocarburants. Les États-Unis connaissent déjà une augmentation spectaculaire de la production d'éthanol-maïs, et l'on prévoit que cette expansion se poursuivra pendant au moins dix ans (NRC, 2008). Selon de récentes évaluations des impacts sur la qualité de l'eau, la production de maïs entraîne une plus forte utilisation d'engrais et de pesticides que la production de soya ou de fourrage mixte. Par conséquent, toutes choses étant égales par ailleurs, la production d'éthanol à partir de maïs se traduira probablement par une augmentation de l'application d'engrais azotés, en particulier si du maïs est produit chaque année plutôt qu'en alternance avec d'autres cultures (NRC, 2008). Cela pourrait devenir un facteur important dans les régions productrices de maïs au Canada (p. ex. le Sud de l'Ontario). Les ressources en eau souterraine les plus à risque seraient celles contenues dans les aquifères peu profonds ayant un taux de recharge relativement élevé. L'effet net de la production de biocarburants sur la disponibilité et la qualité de l'eau souterraine dépend de plusieurs facteurs, dont le type de culture remplacé par le maïs, les différences climatiques régionales et l'exploitation de terres auparavant non cultivées (NRC, 2008).

3.3 QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE EN MILIEU RURAL

On estime à plus de quatre millions le nombre de Canadiens, surtout dans les zones rurales et suburbaines, qui s'approvisionnent en eau par des puits privés principalement alimentés par des eaux souterraines (Corkal *et al.*, 2004). Contrairement aux municipalités, les utilisateurs privés n'ont ni la capacité économique ni la possibilité géographique de choisir leur source d'approvisionnement en eau.

La contamination des eaux souterraines en milieu rural peut avoir diverses sources, dont le stockage et l'épandage d'engrais, les installations septiques, les déversements accidentels et l'utilisation de pesticides. Les tests de la qualité de l'eau des puits privés au Canada, qui ne sont obligatoires que pour les puits nouveaux ou forés à nouveau au Québec et au Nouveau-Brunswick, révèlent en général une situation qui serait inacceptable dans le cas de l'approvisionnement en eau réglementé d'une municipalité.

Aucun programme national ne permet de savoir combien de puits privés sont munis d'un système de traitement ou de stérilisation de l'eau et combien sont

susceptibles d'être contaminés. Cependant, selon diverses enquêtes, les nitrates et les bactéries représentent de loin les contaminants les plus courants de l'eau des puits au Canada. On estime qu'entre 20 et 40 % de tous les puits en milieu rural ont des concentrations de nitrates ou des quantités de bactéries coliformes supérieures aux normes relatives à l'eau potable (Van der Kamp et Grove, 2001). À titre d'exemple, des études menées en Saskatchewan et en Ontario ont montré qu'environ 30 à 35 % des puits sondés avaient des taux de bactéries supérieurs aux normes pour l'eau potable et que cette proportion était d'environ 8 % en Alberta (Fitzgerald *et al.*, 1997; Rudolph et Goss, 1993; Sketchell et Shaheen, 2000). Les puits privés ne respectaient pas les normes dans une proportion de 92 % en Alberta et de 99 % en Saskatchewan pour au moins un paramètre concernant la santé ou au moins un paramètre esthétique (goût, odeur, vêtements tachés, plomberie encrassée ou endommagée, etc.) (Corkal *et al.*, 2004; CCE et Gouvernement du Canada, 2006).

Une enquête menée en Ontario en 1991 et 1992 (Goss *et al.*, 1998) a révélé que, sur un échantillon de 1 292 puits fermiers, 14 % dépassaient la quantité de nitrates, 34 % la quantité de coliformes fécaux, et six puits dépassaient la quantité de pesticides correspondant aux normes de qualité de l'eau potable en Ontario. Un récent rapport d'experts sur les puits en Ontario (Novokowski *et al.*, 2006) recommandait qu'une enquête provinciale exhaustive sur la qualité de l'eau soit menée immédiatement sur tous les types de puits privés et que des enquêtes semblables soient répétées au moins tous les dix ans afin de suivre l'évolution de la qualité de l'eau.

Une étude récente sur la contamination des puits par les nitrates dans le Centre de la Saskatchewan (Hilliard, 2007) a révélé que 25 % des 109 puits examinés avaient une

Tableau 3.1
Sommaire de la qualité de l'eau des puits au Canada

Contaminant	Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (RQEPC)	Puits testés	Pourcentage des puits non conformes aux RQEPC	Population estimative qui dépend de puits non conformes
Arsenic ⁷	25 µg/L	Tous	De 3 à 8	300 000
TCE et PCE ⁸	De 30 à 50 µg/L	Municipaux	De 0,2 à 0,6	70 000
Pesticides	De 2 à 200 µg/L	Ruraux	De 0,0 à 0,5	10 000
Nitrates	45 mg/L	Ruraux	De 5 à 17	400 000
Bactéries ⁹	0 <i>E. coli</i> / 100 mL < 5 ou 10 coliformes/100 mL	Ruraux	De 10 à 36	1 000 000

(Source des données : CCME, 2002)

7 La RQEPC pour l'arsenic est de 10 µg/L depuis 2006.

8 La RQEPC pour le TCE est de 5 µg/L depuis 2006.

9 La RQEPC pour les coliformes totaux est de 0/100 mL depuis 2006.

concentration de nitrates supérieure aux normes de santé. Les deux tiers des puits fautifs étaient à proximité d'un champ où l'on épandait des engrais azotés, près d'un corral ou à moins de 100 mètres d'une fosse septique. La plupart de ces puits étaient peu profonds. Le Canada compte d'autres exemples de contamination localisée d'origine naturelle. Par exemple, dans le comté d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, Meranger *et al.* (1984) ont rapporté que 66 des 94 puits résidentiels privés dépassaient les seuils d'arsenic mentionnés dans les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (RQEPC).

Le tableau 3.1 donne un autre résumé relativement récent des études sur la qualité de l'eau des puits au Canada. Les seuils plus bas adoptés récemment pour l'arsenic, le trichloréthylène (TCE) et les coliformes totaux signifient que la proportion des puits testés qui ne satisfaisaient pas aux RQEPC lors de ces études serait plus élevée maintenant.

Étant donné la piètre qualité actuelle de l'eau de nombreux puits ruraux, le fait que la plupart des initiatives de définition des aires d'alimentation et de protection des aires de captage soient centrées sur les puits municipaux, ainsi que les perspectives d'intensification des activités agricoles, il est clair que la qualité de l'eau souterraine en milieu rural doit faire l'objet d'une attention accrue. Les tests obligatoires de nouveaux puits et les initiatives d'éducation du public devraient être étendus et activement soutenus. Entre autres initiatives, mentionnons : le programme *Connaissez-vous votre eau?* du Nouveau-Brunswick, qui a offert en 2006–2007 une analyse microbiologique gratuite à tous les propriétaires de puits privés de la province; l'initiative *Mon puits, ma responsabilité* de l'Union des producteurs agricoles du Québec, qui comprenait des conférences publiques de sensibilisation sur les eaux souterraines, la distribution de panneaux à des fermiers pour identifier visuellement plus de 6 000 puits ruraux et promouvoir le respect de distances minimales entre les zones d'exploitation et les puits; le programme *Working Well* récemment mis sur pied en Alberta, qui a tenu 19 ateliers suivis par plus de 900 propriétaires de puits en 2008 et qui compte offrir un accès par Internet à des fiches techniques sur les eaux souterraines.

3.4 IMPACT DES ACTIVITÉS DANS LES DOMAINES DE L'ÉNERGIE ET DES MINES

Le Canada est le premier producteur mondial d'uranium et de potasse et il fait partie des cinq premiers producteurs mondiaux d'une douzaine d'autres minéraux et métaux. Le Canada demeurera en outre probablement l'un des plus grands producteurs et exportateurs d'énergie, en grande partie à cause de ses réserves de sables bitumineux. La modernisation rapide de la Chine et de l'Inde, entre autres pays, entraînera une hausse rapide de la demande mondiale en énergie, métaux et minéraux, et la production canadienne augmentera donc très probablement. Cela se traduira par une demande d'eau accrue et une production vraisemblablement accrue de déchets liés aux activités d'extraction.

La filière énergétique

La durabilité et la sécurité énergétiques sont étroitement liées tant aux eaux de surface qu'aux eaux souterraines. Cela est particulièrement manifeste dans l'étude de cas sur l'exploitation des sables bitumineux (chapitre 6). Cependant, l'eau qui provient de sources de surface ou souterraines est également essentielle à d'autres activités de production d'énergie, par exemple la production d'hydro-électricité, le raffinage, les cultures et les procédés visant la production de biocarburants, ainsi que le refroidissement dans les centrales thermiques et nucléaires. De fait, le département américain de l'Énergie commence à lier sécurité énergétique et sécurité de l'approvisionnement en eau.

Sables bitumineux et méthane houiller : Les impacts environnementaux potentiels de l'extraction de bitume des sables bitumineux en Alberta sont susceptibles de continuer à susciter la controverse, à cause de l'étendue extrêmement grande de la région touchée, des volumes considérables d'eau souterraine et de surface pompés et des projets de poursuivre cette extraction pendant plusieurs décennies. Certains sables bitumineux sont exploités par extraction minière, mais une grande partie de la ressource est obtenue par des techniques d'extraction *in situ*. Étant donné son ampleur probable, on ne saisit pas encore bien l'impact à long terme de l'exploitation des sables bitumineux sur les eaux souterraines, mais cet impact est probablement plus important dans le cas de l'extraction *in situ*, qui couvre une superficie beaucoup plus étendue et qui fait appel dans la plupart des cas à des eaux souterraines salines et non salines pour obtenir la vapeur nécessaire (Griffiths *et al.*, 2006). Comme on le fait remarquer dans l'étude de cas sur les sables bitumineux (chapitre 6), la quantité d'eau utilisée varie beaucoup d'un projet à l'autre, allant d'une moyenne de trois barils d'eau par baril de pétrole brut dans le cas d'exploitations à ciel ouvert, à une moyenne inférieure à un demi-baril pour l'extraction *in situ* (Griffiths *et al.*, 2006).

Des projets d'extraction à grande échelle de méthane à partir de lits de charbon (méthane houiller) en Alberta et en Colombie-Britannique constituent une source de préoccupation quant aux ressources en eau souterraine. Pour capter le méthane, on fore des puits dans les formations géologiques visées, que l'on dépressurise par prélèvement de l'eau souterraine afin de libérer le méthane. Il faut disposer correctement de l'eau souterraine prélevée et de la saumure qui lui est associée pour ne pas contaminer les eaux de surface et les autres réserves d'eau souterraine.

Énergie géothermique : L'objectif de diminution des émissions de gaz à effet de serre attire l'attention sur le potentiel de l'énergie géothermique, dont la production va très probablement augmenter au Canada. L'énergie qui provient de la chaleur de l'intérieur de la Terre peut être exploitée pour la production d'électricité, dans le cas de réservoirs géothermiques à haute température, ou pour le chauffage et la climatisation de bâtiments, dans le cas de réservoirs à basse température. Grâce à

la très grande efficacité des pompes à chaleur modernes, presque toutes les formations géologiques du Canada peuvent servir de réservoir géothermique à basse température. (Les réservoirs géothermiques à haute température sont généralement situés dans des zones tectoniquement actives et sont donc beaucoup plus rares que les réservoirs à basse température.) L'utilisation de la géothermie pour le chauffage et la climatisation requiert des forages dans des formations géologiques. Deux configurations sont possibles : (1) une boucle fermée, où un liquide caloporteur circule dans un tuyau installé dans le trou de forage, mais où il n'y a ni prélèvement ni injection d'eau souterraine; (2) une boucle ouverte, où l'eau souterraine est pompée par un puits et ensuite réinjectée par un autre puits dans la formation géologique après avoir circulé dans un échangeur de chaleur situé à la surface. Les systèmes géothermiques pourraient affecter la qualité de l'eau souterraine, du fait de fuites de liquide caloporteur dans le sol à partir des systèmes fermés ou de l'injection d'eau dans les formations géologiques à partir des systèmes ouverts.

Impacts de l'exploitation minière

Le principal problème environnemental associé à l'exploitation minière est la production d'effluents à partir des déchets miniers, roche stérile et résidus. Ces effluents affectent la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine si on les laisse s'écouler librement. La législation actuelle exige le contrôle des eaux de mine acides dans les mines en activité, mais ces eaux ne sont pas toujours contrôlées dans le cas des mines abandonnées. Ces derniers sites poseront probablement des problèmes pendant plusieurs décennies. Le lessivage des éléments chimiques pose d'autres problèmes : les effluents sont souvent contaminés par des métaux tels que l'arsenic et doivent être retenus pendant de longues périodes dans des bassins à résidus. Les opérations d'assèchement peuvent en outre entraîner une baisse du niveau de la nappe phréatique.

Impacts dans le Nord

Les activités dans les domaines de la production d'énergie et des mines affecteront les collectivités nordiques à mesure que l'exploration et l'exploitation des ressources naturelles continueront de se déplacer vers le nord. Les collectivités nordiques sont déjà confrontées à des problèmes de qualité et de quantité de l'eau souterraine, et l'impact d'un accroissement des activités minières et de production d'énergie sur les régions nordiques est en grande partie inconnu.

3.5 CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les observations du réchauffement du climat et les modèles prédictifs donnent à penser qu'il y aura un réchauffement permanent de la basse atmosphère en raison de l'accroissement de l'accumulation d'énergie (GIEC, 2007). « *Le climat est un facteur sous-estimé qu'il pourrait être important de considérer afin d'assurer la durabilité et une gestion appropriée des ressources en eau souterraine.* » (traduit de Alley et al., 1999).

Le rapport le plus récent du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Meehl *et al.*, 2007) à propos des projections du climat planétaire conclut que l'intensité des épisodes de précipitations va probablement augmenter partout dans le monde. On observe déjà cette tendance dans certaines régions du Canada. On a déjà établi un lien entre de fortes pluies, notamment au printemps, et l'écllosion de maladies hydriques au Canada de 1974 à 2001 (Schuster *et al.*, 2005). Ces maladies semblent avoir leur origine dans des eaux de surface ou dans des puits peu profonds qui ne sont pas correctement scellés en surface, mais la proportion des deux types de cause n'est pas documentée. Les projections indiquent une tendance à l'assèchement des régions centrales du continent au cours de l'été en raison d'une évaporation accrue, ce qui signifie un risque plus élevé de sécheresse dans ces régions. Les hausses de la température moyenne projetées au Canada varient d'une région à l'autre, de 2 °C à plus de 6 °C dans le Haut-Arctique. On prévoit que ces hausses seront généralement accompagnées d'une moindre accumulation de neige en hiver, de modifications saisonnières du débit des rivières, de taux d'évaporation plus élevés, ainsi que de la fonte des glaciers et du dégel du pergélisol.

Malheureusement, en raison du manque d'études concluantes, le rapport du GIEC ne contient aucune conclusion précise à propos des eaux souterraines dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord. Les premiers liens entre données climatiques et eaux souterraines ont été établis récemment, mais ils n'ont pas encore été appliqués aux problèmes des changements climatiques. Les conclusions du GIEC sur l'hydrologie de surface ont néanmoins des implications importantes pour la recharge et les prélèvements d'eau souterraine et sont en accord avec ce que l'on observe dans certaines régions du Canada. L'allongement de la saison sans neige se traduira par une évaporation saisonnière plus importante, laissant moins d'eau pour reconstituer les bassins hydrogéologiques. Cette situation peut devenir problématique pour les écosystèmes qui dépendent de l'écoulement de base des eaux souterraines et elle peut entraîner l'épuisement des eaux souterraines fortement liées aux eaux de surface.

Conséquences des changements climatiques sur le cycle de l'eau souterraine

Impact sur la recharge : La recharge des eaux souterraines peut venir de l'eau contenue dans les lacs, les étangs et les milieux humides ou de l'eau contenue dans les matériaux poreux du sol. Ces deux types de réserve d'eau sont sensibles à une évolution du climat. De fait, les réserves de surface sont très sensibles à la fonte des neiges et aux fortes pluies. Une fonte plus rapide des neiges ou de fortes pluies sont davantage susceptibles d'entraîner un ruissellement vers les plans d'eau de surface, et donc une moindre recharge des eaux souterraines. La couverture neigeuse de mars, qui alimente la fonte printanière dans la plus grande partie du Sud du Canada, a diminué au cours des dernières décennies (RNC, 2008). Les projections tirées des modèles indiquent que cette tendance va se poursuivre au cours des décennies à venir, avec l'augmentation des précipitations sous forme de pluie et la diminution des quantités de neige au cours des

mois d'hiver (RNC, 2008). Une telle situation se traduit souvent par un débit accru des cours d'eau en hiver, mais un débit moindre pendant les mois critiques de l'été et de l'automne. Par conséquent, la contribution des eaux souterraines à l'écoulement de base deviendra de plus en plus importante pour la protection des cours d'eau et des écosystèmes pendant les saisons où la demande est la plus forte. Cependant, au cours des périodes d'intense sécheresse qu'ont connues les Prairies (p. ex. en 2001 et 2002), même les eaux souterraines profondes ont subi une baisse de niveau, et l'on s'attend à ce que de telles périodes de sécheresse deviennent plus fréquentes (voir p. ex. SWA, 2008).

Alors que le ruissellement associé à la fonte des neiges devrait diminuer, les fortes pluies pourraient augmenter dans de nombreuses régions. La hausse des températures aura des conséquences importantes sur la température à la surface et dans le sol. L'évaporation, qui épuise les réserves d'eau tant en surface que dans le sol, devrait augmenter au Canada avec la progression des changements climatiques. Dans toutes les régions du Canada à l'exception des Prairies, l'évaporation augmente déjà depuis 1960 (Fernandes *et al.*, 2007). Par contre, la hausse de la température du sol pourrait diminuer la présence de sols gelés au printemps, permettant une infiltration plus importante de l'eau de fonte des neiges.

En résumé, un certain nombre de processus donnent à penser que la recharge printanière des eaux souterraines résultant de la fonte des neiges pourrait diminuer, sauf là où le sol dégèle à cause des hivers plus doux. Les recharges estivales épisodiques dues à de fortes pluies ne compenseront probablement que partiellement cette diminution, puisque ces précipitations contribuent plutôt au ruissellement. On a de très bonnes raisons de penser que l'évaporation va continuer de s'accroître partout où les apports d'eau seront suffisants. L'ensemble des modifications de ces processus hydrologiques entraînera probablement une diminution de la recharge des eaux souterraines partout au Canada dans le contexte des changements climatiques. Cela correspond aux tendances observées, notamment par Rivard *et al.* (2003), qui font état d'une diminution de la recharge des eaux souterraines dans l'Est du Canada. De plus, la montée du niveau des océans constituera une menace de plus en plus grande d'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines des régions côtières. Aucune analyse complète des effets potentiels des changements climatiques sur les eaux souterraines n'a été effectuée pour le Canada.

Impact sur les prélèvements : Les prélèvements d'eau souterraine pour l'arrosage des jardins, l'irrigation des cultures et l'alimentation en eau des cultures destinées à la production de biocarburants sont susceptibles d'augmenter en raison des changements climatiques. Ces prélèvements seront les plus importants pendant les périodes de sécheresse, qui pourraient croître en durée et en étendue. Seules quelques études « ont mis l'accent sur l'approvisionnement et la répartition des ressources en eau à l'échelle régionale ou provinciale dans le cadre de scénarios de changements climatiques » (traduit de de Loë *et al.*, 2007).

Impact sur l'écoulement de base : Comme l'apport des eaux souterraines vers les cours d'eau est généralement considéré comme proportionnel au taux de recharge, on s'attend à ce qu'il diminue avec la baisse du niveau des nappes phréatiques. Cet apport est important pour maintenir le débit minimal de nombreux ruisseaux et rivières. Selon une récente analyse effectuée par Ehsanzadeh et Adamowski (2007), les changements climatiques entraîneront une modification du débit minimal de nombreuses rivières partout au Canada : tendance à la baisse dans l'Est du pays à partir de la rivière des Outaouais, dans le Sud de la Colombie-Britannique et le Sud-Ouest de l'Alberta, tendance à la hausse dans le Nord-Ouest, peu de changement dans les Prairies et le Sud de l'Ontario.

Impact des changements climatiques sur le pergélisol

Le dégel du pergélisol a des effets de plus en plus importants sur les cours d'eau, les eaux souterraines, l'affaissement du sol et l'infrastructure hydrique (Cohen, 1997). Les zones les plus vulnérables aux glissements de terrain sont les pentes situées à proximité de plans d'eau et où le sol est riche en glace et formé de sédiments fins. Les tourbières du bassin du fleuve Mackenzie s'enfoncent avec le dégel du sous-sol gelé. Même si la comparaison de photographies aériennes montre un affaissement du plateau tourbeux dans le Sud des Territoires du Nord-Ouest (Bill Quinton, communication personnelle), on n'a pas entièrement évalué l'impact du réchauffement récent sur le développement du thermokarst¹⁰ avec la dégradation et la disparition du pergélisol. La hausse des températures des eaux souterraines mesurée dans une zone de pergélisol discontinu des régions septentrionales des provinces de l'Ouest est supérieure à la hausse de 1 à 2 °C de la température de l'air depuis 1970 (Cohen, 1997). Le dégel, et la déformation du terrain qui en résulte, peut perturber les bassins versants et hydrogéologiques. Dans certains cas, il peut affecter les conduites d'eau et les installations de stockage de carburants (Cohen, 1997).

Dans les simulations climatiques, le réchauffement aux latitudes élevées est également associé à une augmentation importante de la profondeur du dégel dans la plus grande partie des régions couvertes de pergélisol. Les projections font état d'un déplacement vers le pôle de la limite méridionale du pergélisol et d'une augmentation de 30 à 40 % de l'épaisseur de la couche active dans la plupart des régions couvertes de pergélisol au Canada, les plus fortes augmentations relatives étant concentrées dans les régions les plus nordiques. Initialement, cela aurait pour effet d'augmenter le taux d'humidité du sol pendant l'été (RNC, 2008). Plus tard au cours de ce siècle, lorsque l'épaisseur du dégel aura fortement augmenté, il y aura probablement une diminution de l'humidité du sol pendant l'été.

¹⁰ Le thermokarst est une topographie qui se forme avec la fonte du pergélisol.

En conclusion, la diminution de la recharge dans la plupart des régions du Sud du Canada et l'augmentation de la demande d'eau due au réchauffement climatique affecteront le niveau des eaux souterraines au cours des prochaines décennies. Il faut de manière urgente effectuer beaucoup plus de recherches sur cette question, afin d'assurer un approvisionnement durable et d'évaluer les conséquences pour les écosystèmes. Un bon exemple est celui d'un récent rapport de Ressources naturelles Canada, qui s'attarde aux données scientifiques préliminaires à propos des impacts probables des changements climatiques sur l'eau et d'autres ressources au Canada (RNC, 2008).

3.6 DÉFINITION DES AIRES D'ALIMENTATION ET PROTECTION DES OUVRAGES DE CAPTAGE

Depuis une vingtaine d'années, des efforts considérables ont été consentis, en recherche comme dans l'élaboration de politiques, pour concevoir et mettre en œuvre des méthodes de prévention visant à limiter la présence de contaminants dans les eaux souterraines. Même si des pratiques de délimitation des aires de protection des ouvrages de captage sont apparues plus tôt aux États-Unis (typiquement au cours des années 1990), la plupart des provinces canadiennes, à l'exception notable du Nouveau-Brunswick, ont été moins actives en la matière (Nowlan, 2005). Au Canada, les activités de gestion des eaux souterraines ont été sporadiques et d'envergure locale. Elles ont généralement été le fait de municipalités qui souhaitent maintenir un niveau élevé de qualité de l'approvisionnement en eau souterraine, afin d'éviter les coûts élevés liés à la contamination des sources d'approvisionnement municipal comme celles qu'ont dû assumer les municipalités de Smithville et d'Elmira en Ontario. La situation a changé en 2000 après la tragédie de Walkerton, en Ontario, qui a entraîné la publication d'un rapport demandant une réorganisation de la gestion de l'eau en Ontario et accordant beaucoup d'attention aux eaux souterraines (O'Connor, 2002b). Cela a amené l'Ontario à élaborer une *Loi sur l'eau saine* ayant une portée étendue. D'autres provinces ont mis en place des programmes semblables, par exemple le programme *Water for Life* de l'Alberta, la mise à jour de la *Politique nationale de l'eau* du Québec, le programme de gestion des ressources hydriques du Manitoba, la nouvelle stratégie de l'eau de la Colombie-Britannique et la Saskatchewan Watershed Authority.

En absence de capacité technique suffisante pour cartographier les aires d'alimentation et de protection et calculer les temps de parcours, la pratique consiste souvent à adopter une approche prudente et à surestimer l'étendue des aires de protection. Il y a eu dans le monde un nombre remarquablement réduit de tests de la capacité à prédire avec précision les aires d'alimentation, et peu de prédictions ont atteint un degré d'exactitude supérieur à un facteur de deux, même dans des milieux hydrogéologiques relativement simples. Étant donné que des mesures correctives, y compris des achats de terrain, peuvent être nécessaires dans les zones de protection

Encadré 3.1 : De l'information technique à la prise de décision

Un résultat clé d'une gestion efficace des eaux souterraines réside dans des décisions d'aménagement foncier qui tiennent compte de manière adéquate des impacts sur les eaux souterraines.

Une préoccupation actuelle en Ontario provient du fait que les municipalités continuent de dépenser des sommes non négligeables en modélisation de bassins hydrogéologiques pour obtenir au bout du compte des rapports d'experts-conseils qui insistent sur le caractère incertain des connaissances que l'on a sur les bassins en question. Bien entendu, cela est approprié du point de vue des experts-conseils, qui veulent s'assurer que l'existence de cette incertitude soit connue afin que les décisions soient prises en toute connaissance des limites de l'analyse. Par contre, les municipalités souhaitent disposer de connaissances fiables avec le moins possible d'avertissements difficiles à évaluer pour des non-spécialistes. La solution réside clairement dans le besoin de compétences techniques à l'échelle municipale pour utiliser l'information tirée de telles études et la traduire en un cadre efficace de gestion des risques, de sorte que les décisions des municipalités bénéficient des analyses scientifiques effectuées, y compris l'inévitable part d'incertitude.

Considérons par exemple la situation suivante, qui a été rapportée par Don MacIver, maire du Canton d'Amaranth, en Ontario :

« Dans notre municipalité, nous disposons de trois études sur les eaux souterraines, effectuées par d'éminents hydrogéologues à partir des mêmes sources de données de la Province de l'Ontario sur les aires de protection des puits et faisant appel aux mêmes modèles. Après avoir dépensé des centaines de milliers de dollars pour chacune de ces études, nous avons obtenu trois cartes radicalement différentes à propos de diverses questions hydrogéologiques, notamment sur les zones de contamination liées aux zones d'alimentation.

« Nous avons l'intention d'utiliser ces cartes pour restreindre l'épandage de biosolides et limiter d'autres développements sur des terres agricoles sensibles. Avec trois jeux de cartes différents produits par des experts, il était évident que les cartes hydrogéologiques que nous voulions choisir n'auraient pas résisté à une contestation judiciaire de nos projets de règlement. Les personnes souhaitant faire du développement ou répandre des biosolides n'auraient eu qu'à se servir des autres cartes des eaux souterraines pour appuyer leur cause.

« Comme dans le cas des contestations de découpage parcellaire, les procès n'auraient été rien d'autre qu'un débat entre deux hydrogéologues aux frais de la collectivité. Nous avons donc fait appel à l'Autorité de conservation et à ses hydrogéologues pour harmoniser les trois études et produire un ensemble de valeurs et de cartes capable de résister aux contestations judiciaires grâce au témoignage de ses experts. La municipalité a besoin d'une aide technique et d'experts de ce genre pour faire face aux contestations devant les tribunaux. »

(Traduit d'une communication personnelle, janvier 2008)

où des menaces importantes sont connues, la détermination de l'étendue des aires d'alimentation peut avoir des conséquences économiques majeures pour les municipalités et les propriétaires fonciers. Comme les décisions en matière d'aménagement foncier sont controversées et mettent souvent en jeu des sommes importantes, l'élaboration de méthodes visant à réduire le plus possible l'incertitude quant à la délimitation des aires d'alimentation et de protection des puits municipaux constitue une priorité (encadré 3.1). Les gestionnaires des bassins hydrographiques devront maintenir un juste équilibre entre, d'une part, les dépenses à effectuer pour acquérir de nouvelles données confirmant les conditions souterraines et, d'autre part, les risques liés à l'utilisation des résultats de modèles d'analyse incertains.

Les eaux souterraines représentent un défi particulier dans le cas de l'approvisionnement en eau des Premières Nations parce que, en l'absence de toute réglementation concernant la sûreté de l'eau potable pour les Premières Nations (Swain *et al.*, 2006), on ne sait pas clairement qui est responsable de l'évaluation de la qualité de l'eau potable tirée de puits individuels dans les réserves autochtones. De plus, comme c'est le cas pour les eaux de surface, les réserves autochtones n'ont généralement pas la capacité d'influencer la délimitation des aires d'alimentation de leurs ouvrages de captage dans les zones en amont situées hors réserve. La délimitation des aires de protection des puits à l'intérieur des réserves commence seulement à faire l'objet d'une certaine attention.

3.7 PROTECTION DES ÉCOSYSTÈMES

Les liens étroits entre les réseaux d'eau souterraine et les cours d'eau en surface doivent être davantage étudiés. De nombreux cours d'eau froide sont alimentés en eau souterraine pour au moins la moitié de leur débit total (Winter *et al.*, 1998). Les recherches et les travaux nécessaires pour connaître l'apport des eaux souterraines au débit dont les espèces aquatiques ont besoin en sont encore à leurs balbutiements. Les hydrogéologues devront travailler en partenariat avec des biologistes des pêches et d'autres scientifiques des milieux aquatiques, afin de mieux comprendre le rôle des ressources en eau souterraine dans le maintien de la viabilité et de l'intégrité des écosystèmes aquatiques. La définition de l'apport des eaux souterraines nécessaire au débit des cours d'eau exige des recherches intensives et un accord sur les méthodes de détermination de ces besoins.

Comme les espèces aquatiques ont des besoins variés en matière d'eau froide et d'autres aspects de leur habitat et qu'elles ont besoin d'une quantité d'eau suffisante pendant les périodes d'étiage qui dépendent des eaux souterraines, il n'est pas facile de déterminer la contribution des eaux souterraines nécessaire pour protéger les écosystèmes. On tente souvent d'exprimer ces besoins par des normes de débit minimal (NDM). Plusieurs autorités ont des manières différentes de calculer les NDM au Canada. De fait, on estime que plus de 200 méthodes différentes sont utilisées à l'heure actuelle (Tharme, 2003). Pour bien conseiller les gestionnaires sur cet aspect

de la gestion durable des eaux souterraines, il faut un effort concerté pour diminuer le nombre d'approches du problème (Sophocleous, 2007). Les provinces, notamment l'Alberta et l'Ontario, ont entrepris d'étudier cette question, mais si des méthodes doivent être acceptées à l'échelle nationale, il serait souhaitable que Pêches et Océans Canada collabore avec les provinces.

3.8 DÉFIS CONCERNANT LES EAUX TRANSFRONTALIÈRES

Les litiges relatifs à des eaux limitrophes ou transfrontalières Canada–États-Unis peuvent rendre difficile une gestion durable des eaux souterraines. De récents litiges concernant des eaux de surface illustrent la variété de problèmes qui peuvent survenir. Mentionnons par exemple : l'introduction d'espèces allochtones dans le cas des litiges entre le Manitoba et le Dakota du Nord à propos du projet Garrison de détournement des eaux de la rivière Missouri et à propos du lac Devils; la pollution transfrontalière de la rivière Flathead, qui viendrait d'une mine de charbon prévue en Colombie-Britannique et qui atteindrait le Montana; les projets de développement dans les domaines des mines et de l'énergie, qui menacent des aires sauvages des bassins des rivières Taku et Iskut-Stikine en Colombie-Britannique et en Alaska; les problèmes persistants de pollution et de niveau de l'eau des Grands Lacs (CMI, 2008).

Jusqu'à maintenant, les tensions entre le Canada et les États-Unis à propos des eaux transfrontalières ont été plus rares pour les eaux souterraines que pour les eaux de surface. Cela contraste nettement avec les problèmes complexes et pressants de partage des eaux souterraines dans les régions plus peuplées et plus arides le long de la frontière États-Unis–Mexique, où il y a au moins 17 bassins hydrogéologiques transfrontaliers (Hall, 2004). L'étude de cas de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas (chapitre 6) donne un exemple d'un problème qui a attiré beaucoup d'attention, bien que l'eau des puits américains continue toujours à être contaminée par des nitrates d'origine canadienne. Les pressions que subissent les aquifères du bassin des Grands Lacs vont également prendre de l'importance au cours des prochaines années, puisque les changements climatiques affectent le niveau des lacs et les régimes de recharge (voir aussi le chapitre 6).

Mécanismes institutionnels

Les institutions qui interviennent actuellement dans la gestion des eaux transfrontalières n'ont pas mis l'accent jusqu'à maintenant sur les eaux souterraines. Des signes indiquent toutefois que ces eaux prennent de l'importance et qu'il faut leur accorder plus d'attention. La Commission mixte internationale (CMI) devrait produire en 2009 un rapport complet sur les eaux souterraines de la région des Grands Lacs. *L'Annexe à la charte des Grands Lacs* et les ententes qui l'accompagnent, négociées entre deux provinces canadiennes et huit États américains, abordent la question des prélèvements d'eau souterraine en interdisant de manière générale les détournements à grande échelle à partir du bassin des Grands Lacs.

Dans la plupart des cas, les litiges transfrontaliers entre le Canada et les États-Unis à propos de l'eau sont résolus par des mécanismes de collaboration et l'échange d'information par le truchement d'organismes tels que le groupe de travail international sur l'aquifère d'Abbotsford-Sumas, le Conseil des gouverneurs des Grands Lacs, ainsi que dans le cadre étendu de coopération binationale que constitue la CMI. Par contre, une action unilatérale a prévalu sur une solution diplomatique négociée dans le cas de la décharge du lac Devils dans le bassin de la rivière Rouge. (Après le rejet par le Canada de propositions initiales de règlement, les États-Unis ont refusé de soumettre le litige à la CMI¹¹.) Il y a d'autres cas au cours des années récentes où les gouvernements de provinces et d'États ont pris l'initiative. Cette tendance est illustrée par l'*Annexe à la Charte des Grands Lacs*, alors que les gouvernements nationaux ont autorisé les provinces et États riverains à négocier un accord. En prévision de la renégociation du *Traité du fleuve Columbia*, c'est le gouvernement de la Colombie-Britannique, plutôt que le gouvernement du Canada, qui a entrepris de sensibiliser le public aux enjeux de la renégociation et qui a mis sur pied le Columbia Basin Trust afin de promouvoir la science pertinente et l'éducation du public.

Exportations d'eau en vrac

Il y a encore de l'incertitude dans la population quant à la capacité des lois canadiennes à protéger l'eau contre les exportations en vrac. Même si toutes les provinces, à l'exception du Nouveau-Brunswick, ont adopté des lois qui interdisent l'exportation d'eau en vrac, et même si une loi fédérale interdit l'exportation d'eaux limitrophes, ces lois pourraient néanmoins être amendées dans l'avenir. Certains experts ont donc proposé l'adoption d'une nouvelle « loi type » fédérale pour s'attaquer aux lacunes perçues du cadre législatif canadien en matière d'exportations d'eau (CWIC, 2008). Bien que les débats et les propositions d'exportation d'eau en vrac portent en général sur les eaux de surface (p. ex. le lac Gisborne à Terre-Neuve-et-Labrador), les eaux souterraines ne sont en principe pas à l'abri de détournements et de captage en grande quantité.

3.9 SITES CONTAMINÉS ET RÉHABILITATION

Les sites contaminés ont été pollués par l'activité humaine au point de constituer un risque pour la santé ou l'environnement. La question de la réhabilitation des sites contaminés illustre la complexité de la gestion durable des eaux souterraines et le degré de coordination nécessaire entre différentes autorités.

11 Les États-Unis et le Canada ont pour habitude de soumettre des questions à la CMI uniquement de manière conjointe et non unilatérale, même si le *Traité des eaux limitrophes* prévoit que des litiges concernant la pollution transfrontalière puissent être soumis à la CMI de manière unilatérale (article IX) ou conjointe (article X).

On estime à plus de 100 000 le nombre de sites contaminés par des solvants à base de chlorure aux États-Unis (encadré 3.2). Au Canada, les efforts pour identifier les sites contaminés ont été plus modestes, mais selon les estimations actuelles, il y a environ 5 000 sites contaminés sur des terres qui relèvent du gouvernement fédéral et 28 000 sur des propriétés non fédérales (ECO Canada, 2008). Même si quelques-uns de ces sites, comme celui de la base militaire de Valcartier au Québec et ceux d'Elmira et de Smithville en Ontario, ont attiré l'attention à l'échelle nationale, ils ne représentent que des symptômes d'un problème beaucoup plus vaste. En 2000, la Ville de Barrie a mis hors service à titre de précaution un de ses 12 puits d'approvisionnement, parce que la concentration de trichloréthylène (TCE) avait atteint 23 µg par litre, soit environ la moitié du taux maximal permmissible pour l'eau potable. La source du TCE demeure incertaine (Ville de Barrie, 2003).

Le problème est accentué parce que les concentrations maximales permises dans l'eau potable sont très faibles pour de nombreux produits chimiques industriels, par exemple de l'ordre de 5 µg par litre pour de nombreux solvants à base de chlorure et que, par conséquent, des déversements relativement peu importants peuvent contaminer de très grandes quantités d'eau. De plus, à cause de la solubilité relativement faible de plusieurs de ces substances, de petites sources de contamination peuvent persister pendant de longues périodes. Un déversement mineur provenant d'un seul établissement de nettoyage à sec ou d'une seule station-service pourrait donc causer un grave problème de contamination des eaux souterraines. De plus en plus sensibilisées au problème, et à cause des responsabilités potentielles, les entreprises commerciales sont devenues beaucoup plus consciencieuses dans leur utilisation de produits chimiques dangereux, et par conséquent l'incidence des déversements dans l'environnement a diminué de manière substantielle. Néanmoins, les milliers de sites déjà contaminés continueront de menacer la qualité de l'eau souterraine.

La gestion des sites contaminés au Canada repose sur la notion de risque, et les normes et pratiques varient d'une province à l'autre. Il est nécessaire de cartographier les aires d'alimentation et de protection ouvrages de captage, de connaître les sources potentielles de contamination à l'intérieur de ces zones et de déterminer le niveau de risque pour l'approvisionnement en eau. Des mesures correctives sont requises si un risque significatif est détecté. Ce processus comporte des défis considérables pour les municipalités. Il y a d'abord l'incertitude associée à la cartographie des aires de protection des puits. Deuxièmement, les données historiques sur l'utilisation de produits chimiques sont loin d'être complètes et, sachant que même des sources minimales peuvent causer des problèmes majeurs, il est probable que les tentatives d'identification des sources potentielles de contamination seront également très incomplètes. La gestion des risques constitue un défi supplémentaire. Les possibilités qui viennent à l'esprit sont les suivantes : choisir une autre source d'approvisionnement, par exemple des eaux de surface; déplacer le puits municipal à un autre endroit ou

vers un autre aquifère; remédier à la source de contamination et, le cas échéant, réhabiliter la zone touchée par le panache de contamination; ou traiter l'eau de manière appropriée au puits. Les méthodes de décontamination sont coûteuses dans le cas de produits chimiques industriels, en particulier les solvants à base de chlorure, une fois qu'ils ont pénétré dans le sous-sol. Le traitement de l'eau au puits peut constituer une solution technique quoique souvent complexe, mais cette solution est souvent impopulaire sur le plan politique, sans parler des coûts qu'elle entraîne. Dans certains cas, la seule solution rentable est de trouver une autre source d'approvisionnement.

La détérioration de la qualité de l'eau souterraine par des contaminants non encore identifiés constitue un nouveau problème. Au cours des dernières décennies, on s'est rendu compte que les composantes solubles des produits pétroliers et les solvants à base de chlorures (ainsi que d'autres composés organiques industriels) sont des contaminants. Ce fut le cas plus récemment de l'éther méthyl tertiobutylique (un additif qui remplace le plomb dans l'essence) et du perchlorate. L'éther méthyl tertiobutylique constitue un problème important aux États-Unis, mais il est peu utilisé au Canada. Une enquête récente d'Environnement Canada indique que le perchlorate ne pose pas de problème important dans les eaux souterraines canadiennes (Environnement Canada, à paraître). Étant donné les événements des 30 dernières années, il faut s'attendre à ce que des produits chimiques non identifiés à ce jour constituent une menace importante à la qualité de l'eau.

Les produits pharmaceutiques et de soins personnels sont récemment devenus source de préoccupation, en particulier en ce qui concerne les eaux de surface (Kolpin *et al.*, 2002). La principale source de produits pharmaceutiques dans l'environnement semble être constituée des eaux usées épurées déversées dans les eaux de surface. La recharge à partir de plans d'eau de surface, la recharge artificielle et les installations septiques pourraient faire en sorte que ces produits atteignent les eaux souterraines. L'étude de ce problème n'en est encore qu'à ses débuts, mais les seuls cas rapportés de contamination des eaux souterraines par des produits pharmaceutiques au Canada sont liés à des effluents d'installations septiques (Carrara *et al.*, 2008). À l'heure actuelle, on sait peu de chose sur l'évolution et le transport de ces substances dans les milieux souterrains.

Méthodes de gestion des déchets

Alors que les pratiques antérieures de gestion des déchets ont été responsables de la contamination des sites, les méthodes d'élimination actuelles sont compatibles avec une gestion durable à long terme des eaux souterraines. Nous sommes de plus en plus sensibilisés aux impacts des déchets municipaux et industriels sur la santé et les écosystèmes, et les lois et règlements provinciaux, fédéraux et internationaux régissant l'acquisition, la propriété, le transport et l'élimination de ces substances ont réussi à

Encadré 3.2 : Réhabilitation des sites contaminés

Aucune loi fédérale générale n'exige la réhabilitation des sites où les eaux souterraines et le sol sont contaminés. Diverses agences fédérales et des organismes de coordination travaillent sur le problème des sites contaminés. Les principales exigences réglementaires sont contenues dans des lois provinciales. La principale condition pour qu'un site soit inclus dans le répertoire fédéral des sites contaminés est que le sol ou les eaux souterraines contiennent une substance (en général un produit pétrolier ou un métal) avec une concentration supérieure à ce qui est considéré comme « normal » dans la région en cause. En 1996, le Bureau du vérificateur général du Canada estimait à environ 5 000 le nombre de sites fédéraux contaminés. Dans le budget fédéral de 2004, ce nombre passait à environ 6 000 sites, avec un coût de nettoyage de plus de 3,5 milliards de dollars.

Les lois provinciales exigent la réhabilitation des sites contaminés qui ne sont pas situés sur des terres fédérales. En général, la loi stipule que des agents provinciaux de l'environnement peuvent ordonner l'examen et la décontamination de sites lorsque survient un élément déclencheur prévu par la loi, par exemple la découverte d'un effet nocif ou la migration de contaminants. Selon un rapport sur les normes, lignes directrices et réglementations fédérales, provinciales et territoriales concernant les seuils de réhabilitation pour des contaminants importants (MENB, 2005), ces lois varient considérablement d'une province à l'autre.

Conséquence du manque de coordination nationale, les registres des sites contaminés et des activités de réhabilitation au Canada sont difficilement accessibles. Une pratique courante consiste à extrapoler les statistiques qui proviennent des États-Unis pour obtenir des estimations de la situation canadienne. Par exemple, on estime à plus de 100 000 le nombre de sites contaminés par des solvants à base de chlorure aux États-Unis (USEPA, 1999). De plus, en tenant compte de tous les dépôts de déchets dangereux, l'Académie nationale des sciences des États-Unis (NRC, 1994) estime qu'il pourrait y avoir entre 200 000 et 300 000 dépôts de déchets dangereux aux États-Unis et que les coûts de réhabilitation de ces sites pourraient être de l'ordre de 750 milliards de dollars. Au Canada, il y a probablement aussi des milliers de sites contaminés par des solvants à base de chlorure, mais des registres ne sont pas facilement disponibles, et il n'y a pas non plus de données spécifiques sur les sites nucléaires et militaires ni sur les sites d'enfouissement.

Il y a plusieurs différences importantes entre le Canada et les États-Unis en ce qui concerne la réglementation et la réhabilitation des sites contaminés. Les grands programmes américains de restauration de l'environnement tels que *Superfund*, ainsi que les programmes de recherche et développement technologique en matière de réhabilitation, de l'ampleur par exemple du *Strategic Environmental Research and Development Program*, n'ont pas d'équivalent au Canada. Les pouvoirs de réglementation, ainsi que les conséquences du non-respect des règlements, sont sensiblement plus importants aux États-Unis. Enfin, l'approche canadienne peut être globalement décrite comme étant fondée sur la notion de risque plutôt que sur des normes chiffrées prescrites relatives aux contaminants des eaux souterraines. Même si les normes et les pratiques diffèrent d'une province à l'autre, la principale

caractéristique de l'approche canadienne fondée sur le risque est qu'une action de réhabilitation ou de traitement n'est entreprise que s'il y a un risque identifiable sur le site ou à l'extérieur du site. Dans ce contexte, on appelle risque la probabilité d'exposition d'un récepteur humain ou écologique hypothétique à des contaminants précis, à des niveaux qui dépassent les concentrations maximales acceptables. Les sites sont généralement évalués selon une approche graduelle, dans laquelle l'option initiale de réhabilitation porte sur des critères généraux fondés sur l'utilisation projetée du sol ou sur des critères spécifiques fondés sur une évaluation plus détaillée des risques propres au site. Bref, même si la contamination d'un site donné dépasse une certaine norme, en l'absence de risque pour un récepteur ou un utilisateur et en l'absence de migration à l'extérieur du site, les ressources seront plutôt affectées aux sites qui posent des risques plus importants. De plus, au Canada, la réhabilitation d'un site est le plus souvent déclenchée par un changement d'utilisation tel qu'une mise en vente ou une demande de modification de zonage.

diminuer leur libération dans l'environnement. Il faut néanmoins poursuivre ces efforts afin que les contaminants demeurent bien réglementés, que les nouveaux contaminants soient identifiés et que les sites d'élimination soient judicieusement situés de manière à réduire autant que possible les effets néfastes sur les eaux souterraines et qu'ils soient aménagés et entretenus conformément à des normes sévères.

Les nouveaux types de déchets comprennent le carbone séquestré et les déchets radioactifs. La séquestration du carbone consiste à capter le dioxyde de carbone et à le pomper dans le sous-sol pour le stocker à long terme, afin d'atténuer l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les risques potentiels de la séquestration du carbone pour les eaux souterraines comprennent la migration graduelle du dioxyde de carbone dans les aquifères peu profonds, qui pourrait modifier la composition chimique de l'eau souterraine et la qualité générale de l'eau, ainsi que le déplacement de la saumure naturellement présente en profondeur et le déclenchement de modifications dans le régime des eaux souterraines peu profondes (GIEC, 2005). Les configurations d'écoulement des eaux souterraines sont importantes lorsqu'il s'agit de déterminer le lieu et la conception d'installations d'enfouissement de déchets radioactifs de manière à ce que le temps de trajet des émissions potentielles de radionucléides à partir des structures de confinement jusqu'aux récepteurs possibles soit le plus long possible.

3.10 CHANGEMENTS D'ATTITUDE DE LA POPULATION CANADIENNE

Les politiques de gestion visant à assurer à long terme une utilisation durable des eaux souterraines au Canada devront être vigoureuses, non seulement en ce qui concerne les nouveaux problèmes soulignés dans ce chapitre, mais aussi vis-à-vis des changements d'attitude possibles de la population face à des développements

futurs. Voici une brève énumération de questions pertinentes où l'attitude du public revêt une importance particulière et où une modification importante de l'opinion publique pourrait encourager ou ébranler dans l'avenir le soutien politique envers une gestion plus durable des eaux souterraines.

L'éthique du développement durable : Le discours public actuel sur le développement durable se tient dans une période de soutien politique croissant en faveur d'une gestion prudente de nos ressources naturelles. Cependant, la prévalence constante d'une éthique environnementale solide ne peut pas être tenue pour acquise. On a assisté à de nombreux changements dans le passé, et il y en aura probablement d'autres dans l'avenir. L'appui à la protection de l'environnement a tendance à évoluer en dents de scie : il est plus fort quand la conjoncture est bonne et au cours des périodes d'activisme social que pendant des temps économiques difficiles ou des périodes de laisser-aller. Les hauts et les bas du cycle économique ont un impact très important sur la psychologie du public, ce qui rend difficile le maintien de politiques stables à long terme en faveur du développement durable (Homer-Dixon, 2001).

Les priorités en matière de financement public : Les opinions à l'égard du financement public sont particulièrement importantes, qu'elles soient liées ou non au cycle économique. L'un des messages les plus clairs transmis au comité par les personnes qui ont répondu à l'appel public d'information a été une demande de financement accru d'études hydrogéologiques. Les intervenants des secteurs public et privé ont fait valoir que le soutien des pouvoirs publics en faveur de la recherche, de la réglementation et de l'éducation du public en matière d'eaux souterraines et de développement durable est inadéquat. Évidemment, une augmentation du financement de politiques environnementales visant le développement durable se traduirait par l'une ou l'autre des conséquences suivantes : soit une diminution du financement d'autres programmes gouvernementaux, soit une hausse de la fiscalité. Une hausse de la fiscalité n'est jamais populaire auprès des contribuables et des législateurs; par conséquent, les politiques conçues pour assurer une utilisation durable des eaux souterraines seront toujours exposées aux fluctuations du soutien financier de la part du secteur public.

La prise de décision fondée sur des données probantes : Les politiques qui visent à encourager une utilisation durable des eaux souterraines doivent être fondées sur des bases scientifiques solides et favoriser le recours aux moyens techniques et socio-économiques les plus à jour et innovateurs pour atteindre leurs objectifs. Par conséquent, toute érosion de la confiance du public envers les méthodes scientifiques et l'analyse fondée sur des données probantes pourrait nuire aux objectifs d'exploitation durable.

Les impératifs de sécurité : La montée du terrorisme international en a amené plusieurs à craindre pour la sécurité des réseaux d'alimentation en eau potable et d'autres infrastructures vulnérables comme les barrages et les digues. Ces craintes

pourraient entraîner d'énormes dépenses publiques visant à améliorer la sécurité des réseaux, et cette priorité attirerait toute l'attention au détriment des études nécessaires pour évaluer la durabilité des eaux souterraines. Parallèlement à cela, le manque de confiance envers les réseaux publics de distribution de l'eau pourrait amener le public à se fier davantage à des systèmes individuels d'approvisionnement reposant sur le pompage local d'eau souterraine, ce qui augmenterait les prélèvements qui sont les plus difficiles à évaluer et à contrôler.

La gestion des conflits : Il est possible que les limites d'utilisation imposées par des politiques d'exploitation durable des eaux souterraines provoquent des conflits entre consommateurs en concurrence pour l'utilisation de l'eau ou entre tenants et adversaires du maintien des volumes d'urgence d'eau souterraine nécessaires à la protection de l'écosphère. Des pressions politiques considérables se feront probablement sentir de tous côtés dans les années à venir, et la gestion de tels conflits est l'un des défis les plus difficiles à relever pour les décideurs en matière d'utilisation des ressources. La clé du succès dans la gestion des conflits réside dans la création de mécanismes de résolution qui entrent en jeu avant même que les conflits ne surgissent.

POINTS SAILLANTS

Augmentation de la population et urbanisation

- La coordination entre gouvernements provinciaux et locaux est vitale parce que les contraintes de la croissance urbaine et les besoins correspondants en infrastructures se font sentir directement à l'échelon local, alors que le pouvoir de réglementation est partagé entre les deux paliers de gouvernement.

Impact de l'agriculture

- Bien que des pratiques exemplaires de gestion visant à réduire le plus possible la contamination des eaux souterraines pourraient être plus largement adoptées par les producteurs agricoles, on peut espérer réduire les risques de contamination par les nitrates, même si les succès en ce sens sont à ce jour limités.

Qualité de l'eau souterraine en milieu rural

- Étant donné la piètre qualité actuelle de l'eau de nombreux puits ruraux, les programmes de surveillance inadéquats, le manque de cohérence des programmes éducatifs de promotion et d'assurance de la qualité de l'eau des puits, le fait que la plupart des initiatives de délimitation des aires d'alimentation et de protection soient centrées sur les puits municipaux, ainsi que les perspectives d'intensification des activités agricoles, il est clair que la qualité de l'eau souterraine en milieu rural doit faire l'objet d'une attention accrue, notamment par des programmes communautaires d'information sur les puits et les aquifères.

Impact des activités dans les domaines de l'énergie et des mines

- La durabilité et la sécurité en matière d'énergie sont étroitement liées aux eaux de surface et aux eaux souterraines. Plus précisément, étant donné son ampleur probable, on ne saisit pas encore bien l'impact cumulatif à long terme de l'exploitation des sables bitumineux sur les eaux souterraines, mais cet impact est probablement plus important dans le cas de l'extraction *in situ*, qui couvre une aire beaucoup plus étendue et qui, dans la plupart des cas, fait appel à des eaux souterraines salines et non salines pour obtenir la vapeur nécessaire.

Changements climatiques

- Les changements climatiques affecteront le niveau des eaux souterraines par la diminution de la recharge dans la plupart des régions du Sud du Canada, l'augmentation de la demande d'eau dans un contexte de réchauffement climatique, le décalage accru entre les périodes de recharge et de prélèvement et par l'écart croissant entre la recharge et les prélèvements avec l'intensification des cycles de sécheresse. Il faut de manière urgente effectuer beaucoup plus de recherches sur cette question, afin d'assurer un approvisionnement durable et d'évaluer les conséquences pour les écosystèmes.

Délimitation des aires d'alimentation et de protection

- En absence de capacité technique suffisante pour cartographier les aires d'alimentation et de protection et calculer les temps de parcours, la pratique consiste souvent à adopter une approche prudente et à surestimer l'étendue des aires de protection, ce qui peut avoir des conséquences économiques majeures pour les municipalités et les propriétaires fonciers.

Protection des écosystèmes

- Les recherches nécessaires pour connaître l'apport en eau souterraine dont les espèces aquatiques ont besoin en sont encore à leurs balbutiements. La définition de l'apport des eaux souterraines nécessaire au débit des cours d'eau exige des recherches intensives et un accord sur les méthodes de détermination de ces besoins.

Défis concernant les eaux transfrontalières

- Les institutions qui interviennent actuellement dans la gestion des eaux transfrontalières n'ont pas mis l'accent jusqu'à maintenant sur les eaux souterraines. Des signes indiquent toutefois que ces eaux prennent de l'importance et qu'il faut leur accorder plus d'attention (p. ex. le rapport à venir de la CMI sur les eaux souterraines de la région des Grands Lacs).

Sites contaminés et réhabilitation

- Les entreprises commerciales sont devenues beaucoup plus consciencieuses dans leur utilisation de produits chimiques dangereux, et par conséquent l'incidence des déversements dans l'environnement a diminué de manière substantielle. Néanmoins, les milliers de sites déjà contaminés continueront de menacer la qualité de l'eau souterraine.
- La détérioration de la qualité de l'eau souterraine par des contaminants non identifiés constitue un nouveau problème. Par exemple, on sait peu de chose sur l'évolution et le transport de produits pharmaceutiques à partir d'effluents d'eaux usées épurées dans les milieux souterrains. Il faut prévoir que des produits chimiques non encore identifiés constitueront de nouvelles menaces significatives pour la qualité de l'eau.

Changements d'attitude de la population

- La gestion à long terme des ressources en eau souterraine pourrait devoir tenir compte de l'évolution possible des priorités en matière de financement public, des hauts et des bas de l'éthique du développement durable, du degré changeant de confiance de la part du public envers la science et les gouvernements, ainsi que des préoccupations de la population à l'égard des considérations de sécurité et de la gestion de conflits liés à l'eau.

4 Connaissances scientifiques pour une gestion durable des eaux souterraines

Ce chapitre aborde les connaissances fondamentales requises pour éclairer une gestion durable des eaux souterraines. On insiste ici sur la manière dont les bassins hydrogéologiques réagissent aux influences d'origine naturelle et humaine. Ces connaissances sont essentielles à toute approche de développement durable fondée sur la science et qui a pour objectif de protéger la quantité et la qualité de l'eau souterraine ainsi que sa contribution à la viabilité des écosystèmes.

4.1 ANALYSE DES BASSINS HYDROGÉOLOGIQUES

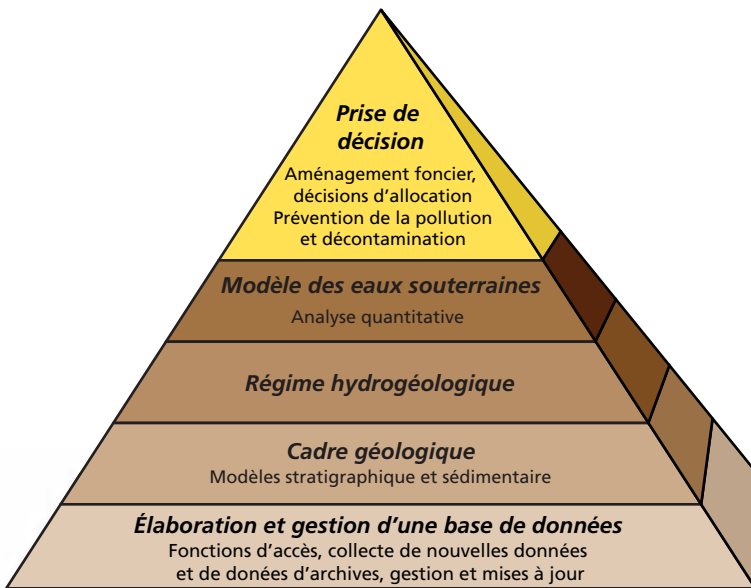
Les études portant sur les eaux souterraines peuvent se faire à plusieurs échelles, depuis un site précis jusqu'à l'échelle régionale. Il faut donc définir l'échelle appropriée pour un développement durable et effectuer le travail scientifique à cette échelle. Même s'il est convenable de suggérer que les études soient menées à l'échelle d'un bassin versant, les limites des bassins versants et des bassins hydrogéologiques peuvent ne pas coïncider parfaitement. Les études portant sur les eaux souterraines doivent donc autant que possible porter sur l'ensemble d'un bassin hydrogéologique, depuis la zone de recharge jusqu'à la zone d'émergence. C'est cette échelle du bassin hydrogéologique qui constitue la toile de fond de ce qui suit.

Une analyse des bassins hydrogéologiques est fondée sur l'utilisation efficace d'un ensemble de méthodes et d'outils conceptuels et quantitatifs, qui visent en général la prévision des effets à long terme. Cet ensemble comporte quatre composantes qui, utilisées de manière intégrée, devraient conduire à une interprétation crédible et valable des bassins hydrogéologiques. Une telle interprétation permet à son tour de prendre des décisions sur des questions concernant les eaux souterraines et l'aménagement foncier, de manière à contribuer à une utilisation durable de la ressource. Les quatre composantes énumérées ci-dessous forment un cadre scientifique pour la gestion durable des eaux souterraines. Les études de cas de la moraine d'Oak Ridges, de la municipalité régionale de Waterloo et du bassin de la rivière Big, au chapitre 6, illustrent l'application de ce cadre :

- une base de données géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques complète, sur laquelle se fondent les autres composantes du cadre;
- une compréhension du cadre géologique dans lequel s'écoulent les eaux souterraines;
- une description quantitative du régime hydrogéologique;
- un modèle approprié de l'écoulement des eaux souterraines.

La figure 4.1 illustre les composantes du cadre sous forme d'une pyramide qui met en évidence leur contribution au processus décisionnel (Kassenaar et Wexler, 2006;

Sharpe et Russell, 2006). Les fondations de cette pyramide sont formées par une base de données complète qui décrit le contexte géologique pertinent, de même que les paramètres hydrogéologiques et les éléments dynamiques (p. ex. précipitations et évaporation, mesures des eaux de surface, prélèvements et modification de l'utilisation des sols) qui déterminent le comportement des eaux souterraines. On aborde à la section 4.4 les questions relatives à l'acquisition et à la gestion des données. Les paragraphes qui suivent passent en revue les trois autres composantes du cadre. On insiste particulièrement sur la quatrième composante, à savoir le modèle de l'écoulement des eaux souterraines, dont les trois autres composantes font partie intégrante.



(Conseil des académies canadiennes, 2009)

Figure 4.1

Connaissances scientifiques nécessaires pour une gestion durable des eaux souterraines

Le cadre géologique

L'acquisition d'une bonne compréhension de la géologie est l'une des étapes les plus cruciales de la gestion des eaux souterraines (Sharpe et Russell, 2006). Il faut pour cela comprendre les processus géologiques responsables de la formation initiale du cadre rocheux ou sédimentaire. Il faut aussi prendre en considération les processus secondaires qui peuvent avoir une influence sur les mouvements des eaux souterraines dans ce cadre, tels que l'activité tectonique et le métamorphisme qui pourraient, par exemple, fracturer les formations géologiques ou en diminuer la perméabilité. Grâce à cette compréhension de la géologie, les gestionnaires des eaux souterraines peuvent

faire une estimation de la configuration et de l'étendue des aquifères. Cela permet de mieux orienter les efforts de caractérisation, d'avoir de meilleurs intrants dans les modèles de l'écoulement des eaux souterraines et de mieux prédire la dynamique des bassins hydrogéologiques. Étant donné que les forages sont coûteux, qu'il n'est pas possible de recueillir des données partout et que les paramètres qui régissent les mouvements des eaux souterraines peuvent varier considérablement sur de courtes distances, une compréhension du contexte géologique constitue un moyen valable et rentable d'interpolation des mesures hydrogéologiques sur de vastes zones. Les méthodes géophysiques (p. ex. réflexion sismique, géoradar, etc.) sont de plus en plus utilisées pour caractériser le cadre géologique souterrain. Dans des conditions appropriées, elles s'avèrent une solution de remplacement économique par rapport aux coûteux programmes de forage.

Le régime hydrogéologique

Une autre exigence consiste à élaborer une connaissance du bassin hydrogéologique en analysant des mesures de charge hydraulique, les résultats d'essais de pompage et d'autres données hydrogéologiques pertinentes. Ce genre d'étude permet de quantifier le milieu hydrogéologique et permet aux hydrogéologues d'établir entre autres l'étendue et l'épaisseur des aquifères et des couches entre lesquelles ils sont confinés, la distribution de la porosité et de la conductivité hydraulique, ainsi que d'autres éléments du régime hydrogéologique. À partir de ces estimations quantitatives, on peut calculer plusieurs paramètres importants du point de vue hydrogéologique, tels que les vitesses d'écoulement, les débits bruts, les composantes du bilan hydrique et les apports vers les cours d'eau.

Modèles de l'écoulement des eaux souterraines

La quatrième et dernière composante du cadre d'analyse des bassins hydrogéologiques est la construction et l'utilisation d'un modèle hydrogéologique approprié. Les modèles d'écoulement de l'eau souterraine et de transport de masse constituent des bases utiles à la prise de décision, parce qu'ils permettent aux hydrogéologues d'évaluer les conséquences possibles de modifications des prélèvements d'eau et de l'utilisation des sols sur l'ensemble d'un bassin hydrogéologique. De plus, l'élaboration même de ces modèles exige une interprétation systématique d'une information provenant de diverses sources afin d'avoir une connaissance globale des bassins hydrogéologiques. Dans ce cadre, la modélisation de l'écoulement de l'eau souterraine joue un rôle d'intégration; la mise à l'épreuve des prédictions d'un modèle entraîne souvent une réévaluation, une reconsidération et des ajustements quantitatifs de notre compréhension du régime hydrogéologique. Un processus d'interaction entre les quatre composantes du cadre d'analyse mène à l'élaboration d'un modèle calé, c'est-à-dire dont les résultats tels que la charge hydraulique et les débits souterrains sont en accord avec les valeurs mesurées dans l'espace et dans le temps. Une fois calé, le modèle peut servir à prévoir les effets de contraintes cumulatives imposées de l'extérieur, telles qu'une augmentation du pompage dans les puits, sur l'ensemble d'un bassin hydrogéologique.

Les modèles d'écoulement des eaux souterraines présentent des avantages qui vont au-delà de la simple prédiction des mouvements des eaux souterraines et du transport des contaminants. Des modèles correctement calés aident à définir les priorités de collecte de données et procurent une méthode de prévision des conditions futures dans le contexte de divers scénarios de développement. Ils constituent la méthode la plus perfectionnée disponible pour évaluer les impacts cumulatifs de multiples sites de pompage et aménagements fonciers.

Les modèles hydrogéologiques sont les solutions mathématiques des équations qui décrivent l'écoulement des eaux souterraines et le transport des contaminants. Il existe plusieurs types de modèles plus ou moins simples ou complexes. Certains modèles simples reposent sur des solutions analytiques qui exigent de faire de nombreuses hypothèses simplificatrices. D'autres modèles simplifiés consistent à tracer le réseau d'écoulement d'un aquifère, qui constitue une solution graphique des équations d'écoulement des eaux souterraines. Des modèles simples peuvent être utiles, mais les modèles les plus souvent employés à des fins prédictives sont fondés sur des solutions numériques des équations d'écoulement ou de transport. C'est ce type de modèle qui fait l'objet de la présente discussion.

Selon la portée de l'étude, le modèle peut ne porter que sur un bassin hydrogéologique, ou tenter de donner des réponses plus complètes englobant les eaux souterraines et les eaux de surface, et même les conditions atmosphériques. Cette seconde approche peut s'avérer particulièrement utile dans les études écologiques où il y a des liens étroits entre les eaux souterraines et les eaux de surface, ou bien lorsque l'on cherche à évaluer les effets des variations et des changements à long terme du climat. Une compréhension suffisante de l'écoulement de l'eau souterraine à l'aide d'un modèle permet ensuite d'aborder des questions relatives à la qualité, en utilisant les concentrations et paramètres de transport comme intrants aux modèles de transport des contaminants.

Modèles de transport des contaminants

On procède souvent à une modélisation du transport des contaminants pour déterminer le moment où des contaminants connus parviendront à des récepteurs sensibles, aider à la conception et à la gestion d'activités de réhabilitation des eaux souterraines, prévoir les modifications de qualité qui pourraient résulter de changements proposés dans l'utilisation du sol et, de plus en plus, pour délimiter les aires d'alimentation et les temps de parcours autour des puits en production.

Même si la modélisation de l'écoulement de l'eau dans une région et la modélisation du transport des contaminants reposent tous deux sur des modèles de l'écoulement des eaux souterraines, elles présentent des différences d'approche majeures. Dans le cas d'un modèle d'écoulement de l'eau dans une région, le résultat important est généralement la quantité d'eau, beaucoup plus que son origine ou le trajet suivi.

Des paramètres tels que la conductivité hydraulique moyenne calculée sur un volume substantiel du sous-sol peuvent être suffisants. Par exemple, même si l'on sait qu'un aquifère donné est hétérogène et que les valeurs de conductivité hydraulique peuvent varier de deux ou trois ordres de grandeur, il peut fort bien suffire d'attribuer une valeur « moyenne » de conductivité hydraulique à l'ensemble de l'aquifère comme celle que l'on obtiendrait en effectuant un essai de pompage à grande échelle.

Par contre, dans le cas d'un modèle de transport des contaminants, le principal résultat est le champ des vitesses, qui sert à estimer des temps de parcours. Dans l'exemple précédent, en supposant que la vitesse soit approximativement proportionnelle à la conductivité hydraulique, les vitesses au sein de l'aquifère pourraient varier d'un facteur de 100 à 1 000 et s'écarter localement de quelques ordres de grandeur de la vitesse calculée à partir d'une conductivité hydraulique uniforme dans l'espace. Un modèle de transport des contaminants requiert donc une information stratigraphique très détaillée, avec une attention particulière aux zones hautement perméables et aux connexions entre elles.

Les modèles de transport ajoutent au champ des vitesses divers processus, selon le contaminant dont il est question. Dans le cas de contaminants non réactifs comme les chlorures, cela peut se limiter à la dispersion hydrodynamique. Par contre, dans le cas de solutés réactifs ou biodégradables, on incorpore des processus réactifs d'une complexité croissante et considérable. Il est important de reconnaître que pour chaque processus inclus dans le modèle de transport, il faut caractériser les matériaux géologiques quant à au moins un paramètre de transport supplémentaire. Cela peut constituer un ajout substantiel aux efforts de caractérisation nécessaires, aux exigences en matière de calculs et ultimement au degré d'incertitude des résultats.

La vérification et le calage peuvent présenter des difficultés supplémentaires dans le cas des modèles de transport des contaminants. Dans le cas des modèles d'écoulement de l'eau dans une région, les résultats d'une simulation peuvent être comparés avec différentes observations, les plus couramment employées étant le niveau des eaux souterraines et leur apport vers les cours d'eau. Les résultats principaux des modèles de transport des contaminants sont des distributions de concentration. La présence de contaminants ou de panaches de contamination permet de tester les résultats du modèle. Par contre, dans de nombreuses applications, en particulier les modèles des effets futurs d'une modification de l'utilisation du sol ou d'une délimitation des aires de captage et de temps de parcours, les contaminants ne sont pas présents au départ, et il n'existe donc aucune base raisonnable de calage des modèles. Ceci entraîne une incertitude considérable quant aux résultats prédictifs, ou encore mène à la définition d'aires d'alimentation très étendues par mesure de précaution.

Nous allons maintenant aborder plus en profondeur le rôle des modèles dans la gestion des eaux souterraines et la prise de décision, avant de faire une évaluation détaillée des intrants actuellement disponibles et des données qui permettraient de gérer les eaux souterraines d'une manière plus efficace.

4.2 RÔLE DES MODÈLES DANS LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Les modèles sont des outils importants de gestion des eaux souterraines et ils sont en général sous-utilisés par les autorités canadiennes. Il faut toutefois reconnaître que la résolution d'un problème hydrogéologique ne requiert pas nécessairement une modélisation complexe. La première question à se poser dans toute étude hydrogéologique est de savoir si un modèle constitue un outil approprié dans les circonstances et si le bassin hydrogéologique est suffisamment bien connu pour justifier l'utilisation d'un modèle. La complexité du modèle devrait être adaptée aux caractéristiques du bassin hydrographique. Dans des situations simples, un modèle conceptuel combiné avec des données fiables peut suffire à une gestion durable des eaux souterraines. Dans le cas de bassins plus étendus ou plus complexes, un modèle numérique sera sans doute nécessaire. Des modèles numériques sont presque toujours nécessaires lorsqu'il s'agit de quantifier entièrement les impacts cumulatifs de nombreux puits ou de multiples sources de contamination. Une bonne évaluation et une prise en considération appropriée des impacts cumulatifs sont des préalables à une exploitation durable de la ressource.

Ce sont des personnes et non des modèles qui prennent des décisions. Utilisés de manière convenable, les modèles des eaux souterraines peuvent apporter une contribution utile à la prise de décisions favorisant une gestion durable des eaux souterraines. Cependant, les intrants et les extrants d'un modèle doivent faire l'objet d'une analyse avant qu'une décision finale ne soit prise. De plus, il est essentiel que les auteurs de modèles des eaux souterraines aient une formation et une expérience suffisantes pour élaborer et utiliser les modèles d'une manière efficace et en interpréter les résultats dans le contexte précis du bassin hydrographique et des problèmes à traiter (Gerber et Holysh, 2007).

Utilisation de modèles dans la prise de décisions de gestion

Comme cela est mentionné à la section 3.6, les autorités canadiennes reconnaissent maintenant sans équivoque que la protection de la qualité de l'eau potable repose tout d'abord sur la protection des aires d'alimentation des aquifères et des ouvrages de captage. Plus généralement, le processus d'aménagement foncier doit tenir compte de la disponibilité et de la vulnérabilité à long terme des ressources locales en eau souterraine, ainsi que des impacts cumulatifs possibles. Lorsqu'ils sont disponibles et utilisés, les résultats des études hydrogéologiques, notamment la

cartographie, la caractérisation et la modélisation des aquifères, constituent un moyen efficace d'intégrer la question des eaux souterraines au processus d'aménagement foncier, à condition que les études sur les eaux souterraines précèdent cet aménagement. Il est préférable que ces études portent sur l'ensemble d'un bassin versant et d'un bassin hydrogéologique, ce qui exige une connaissance détaillée des conditions de recharge, de débit d'exploitation durable et d'émergence. La délimitation des aires d'alimentation et de protection des ouvrages de captage sont des applications courantes de cette approche.

Lorsque des conflits à propos de l'utilisation de l'eau font leur apparition, la modélisation de différentes hypothèses de répartition peut souvent aider à clarifier le scénario optimal pour le bien-être de la société et la santé des écosystèmes. L'étude de cas du bassin de la rivière Big, au chapitre 6, donne un exemple de cette approche. Elle montre comment l'existence d'un modèle bien défini, élaboré à partir d'hypothèses claires et d'interprétations hydrogéologiques bien documentées, peut contribuer à créer une base de données probantes transparente et digne de confiance en vue de la résolution de conflits.

Modèles dans le secteur public

Dans l'avenir, alors que les autorités gouvernementales adopteront des stratégies durables de répartition de l'utilisation des eaux souterraines, elles devront aussi améliorer leur capacité à utiliser des modèles hydrogéologiques de pointe pour la gestion à l'échelle des bassins hydrographiques. Ces modèles à l'échelle des bassins hydrographiques devront idéalement intégrer et soutenir les études locales du secteur privé sur les eaux souterraines.

L'utilisation de modèles par les organismes provinciaux de réglementation varie d'une province à l'autre. Dans la plupart des provinces, l'application des modèles ne repose pas sur les développements les plus récents dans ce domaine. En Ontario, dans le cadre de la nouvelle *Loi sur l'eau saine*, l'utilisation de modèles des eaux souterraines progresse très rapidement et semble souvent ne pas laisser le temps requis pour élaborer et appliquer la pensée critique qui devrait faire partie intégrante de la modélisation hydrogéologique. Dans ces cas où les délais serrés constituent un facteur clé, il est important que les incertitudes liées aux résultats de la modélisation soient mises en évidence, de sorte que les décideurs puissent tenir compte de toutes les données probantes disponibles.

Le comité appuie sans réserve le développement d'instruments efficaces de modélisation par les organismes gouvernementaux, afin de faciliter l'évaluation qu'ils font de la durabilité des eaux souterraines. Les situations qui donnent lieu aux utilisations les plus efficaces de modèles numériques des eaux souterraines sont celles où il y a un bon équilibre entre le besoin de fournir aux décideurs des intrants

hydrogéologiques solides et le besoin de bien documenter les détails du modèle afin d'en mettre en évidence les points forts comme les points faibles.

Les réponses à l'appel public d'informations font clairement ressortir les grandes différences entre les diverses autorités quant à l'approche scientifique de l'évaluation de la durabilité des eaux souterraines. Les obstacles à la mise en place par les organismes responsables du cadre à quatre composantes recommandé ici semblent être : (1) l'absence d'un mandat confié par les autorités supérieures; (2) un financement insuffisant pour réaliser un tel programme; (3) le manque de personnel ou de compétences pour élaborer et mettre en œuvre les programmes nécessaires de mesures sur le terrain, les interprétations hydrogéologiques et les outils informatiques de modélisation; (4) l'insuffisance des données disponibles.

Documentation

Étant donné la quantité de données et de connaissances géologiques généralement utilisées pour mettre au point un modèle de l'écoulement de l'eau souterraine, il est crucial de documenter avec rigueur le processus d'élaboration du modèle. Cette documentation doit comprendre les données qui ont servi à alimenter les principaux paramètres du domaine couvert, ainsi que toute modification apportée à ces paramètres au cours de l'évolution du modèle. Le processus de modélisation doit être clair afin que les divers praticiens puissent faire fonctionner le modèle sans difficulté. Il faut également documenter avec soin les leçons apprises au cours de la vie du modèle, afin que d'autres puissent profiter de ces nouvelles connaissances. Une bonne documentation permet en outre de définir les priorités quant aux données nécessaires pour mieux comprendre le contexte hydrogéologique.

Incertitude et gestion des risques

Les modèles numériques ne donnent pas de réponses sans équivoque aux questions relatives à la gestion des eaux souterraines. Ils fournissent plutôt des résultats simulés qui doivent être pris en considération dans la recherche de solutions concrètes aux problèmes qui se posent. Il est donc impératif que les auteurs des modèles expliquent soigneusement aux décideurs les incertitudes liées à ces résultats.

Les modèles les plus courants d'écoulement des eaux souterraines et de transport des contaminants fournissent en général une représentation théoriquement exacte des processus physiques et chimiques fondamentaux qui interviennent dans la plupart des contextes hydrogéologiques. Cependant, la confiance que l'on peut avoir envers les connaissances géologiques et hydrogéologiques qui sous-tendent les prédictions des modèles dépend de la disponibilité de données sur la zone étudiée et des interprétations de ces données. La qualité et la densité des données peuvent poser des problèmes, de même que les types de données recueillies. Par exemple, les données sur les matériaux géologiques, le niveau des eaux souterraines

et les précipitations doivent couvrir toute la zone à modéliser, et les données sur l'écoulement doivent être obtenues aux points de jonction importants de cette zone.

Dans la pratique, l'exactitude des modèles peut être affectée par un certain nombre de sources d'erreur et d'incertitude, en grande partie consécutives au fait que les eaux souterraines sont dissimulées et que leur comportement est moins facilement observable et plus incertain que celui des eaux de surface. En particulier, l'exactitude des prédictions fournies par les modèles est affectée par les facteurs suivants :

- les erreurs, lacunes et incertitudes des connaissances géologiques ou hydrogéologiques à propos du bassin hydrogéologique à l'étude. Ces incertitudes concernent entre autres la continuité et l'efficacité des aquitards en tant que barrières à l'écoulement de l'eau, les connexions entre aquifères, l'influence des changements de faciès sur l'étendue des aquifères et des aquitards, ainsi que le rôle hydraulique des joints et des failles dans le roc fracturé et les conduits karstiques dans les roches carbonatées. Des données incomplètes peuvent souvent être interprétées de différentes manières également plausibles tout en étant incompatibles entre elles.
- les erreurs et lacunes des données utilisées pour élaborer une connaissance quantitative du régime hydrogéologique. Par exemple, la configuration tridimensionnelle de paramètres hydrogéologiques tels que la conductivité hydraulique donne lieu à une incertitude plus grande là où les forages consignés sont plus dispersés et où des cartes géologiques et géophysiques d'autres types n'ont pas été réalisées.
- les erreurs de calage du modèle par rapport au bassin hydrogéologique étudié, peut-être en raison du manque de données sur la charge hydraulique, que ce soit dans la dimension horizontale, verticale ou temporelle.
- l'incertitude quant à la possibilité d'appliquer à la zone étudiée les équations fondamentales d'écoulement et de transport qui sous-tendent les modèles informatiques, en raison par exemple de la présence de roc fracturé ou porosité de dissolution dans le roc, plutôt que de sédiments poreux.

Étant donné ces incertitudes, l'élaboration d'un modèle ne doit pas être considérée comme une tâche ponctuelle, mais comme un processus en constante évolution. À mesure que la quantité de données recueillies sur le terrain augmente et que la compréhension des aspects conceptuels et quantitatifs du régime hydrogéologique se précise, il faut périodiquement ajuster et caler à nouveau le modèle. Dans tous les cas où des observations fiables sur le terrain sont disponibles, ces mesures doivent supplanter les résultats simulés du modèle numérique, et le modèle doit être modifié pour tenir compte des données réelles. L'incertitude liée aux prédictions d'un modèle diminue avec l'amélioration de la base d'information. D'autre part, les résultats du modèle peuvent servir à mettre en évidence les paramètres et les zones pour lesquels l'incertitude est la plus grande, et donc contribuer à déterminer l'emplacement et les détails de nouveaux forages et d'activités de surveillance. Cette diminution de

L'incertitude avec l'accumulation de données et d'expérience donne lieu à un « modèle évolutif » qui convient bien à une philosophie de gestion adaptative. Une moins grande incertitude des prédictions hydrogéologiques signifie moins de risques dans la prise de décisions concernant la gestion des eaux souterraines. Les décisions initiales reflètent donc une approche de précaution, mais à mesure que l'incertitude diminue, les décisions de gestion peuvent être prises avec un plus grand degré de confiance. Lorsqu'une décision doit être prise, on fait appel aux résultats les plus récents de la modélisation. S'il y a beaucoup d'incertitude, on optera probablement pour des mesures susceptibles de contrer les risques. S'il y a peu d'incertitude, une avenue plus rentable peut être possible. Cette notion de « modèle évolutif » est semblable à celle qui est présente dans les plans d'urbanisme. Ces plans sont généralement revus et mis à jour tous les cinq ans, mais ils peuvent en général être modifiés à tout moment par le conseil municipal si des informations nouvelles le justifient. Entre-temps toutefois, c'est le plan dans son état actuel qui sert de fondement aux décisions.

Il n'existe pas de critère universel permettant de définir jusqu'à quel point une prévision doit être précise ou autrement dit jusqu'à quel point l'incertitude doit être faible pour être considérée comme acceptable. Du point de vue de la prise de décision, il s'agit d'une question économique. Il faut continuer de recueillir des données jusqu'à ce que le coût de leur acquisition dépasse les bénéfices d'une décision meilleure ou moins coûteuse. Par exemple, un degré d'incertitude acceptable pour une décision concernant la répartition de l'eau souterraine peut être inacceptable pour une décision à propos de la décontamination. La détermination du degré acceptable d'incertitude doit donc tenir compte du contexte d'une situation donnée, et l'incertitude des données scientifiques doit être intégrée à toutes les décisions à venir dans un processus formel de gestion des risques. La définition de procédures et de normes à cet égard peut faciliter l'attribution et l'administration de contrats par les autorités locales à des experts en gestion des risques et en modélisation.

4.3 LES LIMITES DU DÉVELOPPEMENT DE MODÈLES

Les multiples objectifs de la gestion durable des eaux souterraines peuvent exiger des modèles sophistiqués capables : (1) de mieux saisir l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface; (2) d'intégrer les phénomènes hydrogéologiques et les variables économiques; ou (3) de fournir un compte rendu détaillé du transport de contaminants. L'élaboration et le perfectionnement de tels modèles constituent un domaine de recherche actif auquel les chercheurs canadiens continuent de contribuer de manière significative.

Modèles intégrant les eaux souterraines et les eaux de surface

Les modèles numériques employés en hydrogéologie portent en général uniquement sur les eaux souterraines et négligent ou simplifient grandement les interactions

avec les eaux de surface. Un intérêt renouvelé envers la simulation de toutes les composantes du cycle de l'eau a récemment conduit au développement de modèles numériques intégrés de l'écoulement des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces modèles sont plus complexes que ceux qui ne considèrent que les eaux souterraines et ils joueront probablement dans l'avenir un plus grand rôle dans les prédictions sur la disponibilité de l'eau souterraine. Afin de profiter de cette nouvelle catégorie de modèles, les agences de surveillance devront rechercher des systèmes qui recueillent et intègrent des données sur le climat, les eaux de surface, les eaux souterraines, ainsi que les prélèvements ou la consommation.

Modèles de transport des contaminants

La modélisation du transport des contaminants fait toujours l'objet d'efforts de recherche et développement. Des recherches portent notamment sur des modèles de transport de plusieurs espèces de contaminants, en tenant compte des chaînes de réactions. Ces modèles sont conçus pour représenter de manière plus exacte les réactions chimiques et biologiques potentiellement très complexes qui se produisent dans les eaux souterraines et qui affectent une multitude de contaminants. Des travaux actuels portent également sur l'élaboration de modèles qui simulent le transport des contaminants combiné avec d'autres processus physiques tels que des variations de la densité ou de la température des fluides. La simulation de processus d'écoulement multiphase et de leurs effets sur la migration des contaminants et la décontamination constitue un autre domaine actif de recherche.

Intégration de modèles hydrogéologiques, fonciers et économiques

Une grande partie du chapitre 5 montre que l'intégration de modèles économiques (qui tiennent compte de la demande d'eau souterraine des utilisateurs) et de modèles hydrogéologiques (qui décrivent la dynamique des eaux souterraines) procurerait aux gestionnaires un outil puissant pour promouvoir une utilisation durable de l'eau souterraine. Un certain nombre de tels modèles informatiques intégrés ont été mis au point et utilisés pour étudier les liens entre l'activité économique et les eaux de surface. On peut citer par exemple, le modèle d'analyse d'utilisation de l'eau d'Environnement Canada (Kassem *et al.*, 1994).

Les modèles qui reflètent les liens entre l'activité économique et les eaux souterraines sont plus rares et portent principalement sur l'utilisation de l'eau souterraine en agriculture. L'un des premiers exemples est celui de Kelso (Kelso *et al.*, 1973). Plus récemment, des chercheurs de l'Université de Californie ont créé CALVIN¹², un modèle technique et économique intégré qui établit des liens entre l'approvisionnement en eau de surface et souterraine de la Californie et les principaux secteurs

12 Pour de plus amples renseignements sur le modèle CALVIN, voir la page <http://ccc.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN>.

utilisateurs d'eau de l'État (Jenkins *et al.*, 2004). Une application prudente de tels modèles, en particulier les modèles complexes hydrogéologiques et économiques intégrés, pourrait également être valable dans le contexte canadien.

De plus, on voit apparaître au Canada le besoin d'intégrer des caractéristiques hydrogéologiques et économiques à des modèles qui portent sur l'utilisation du sol et la gestion du territoire. L'établissement de tels liens procurera un moyen de calculer et d'analyser un éventail d'indicateurs pertinents à l'évaluation de la performance écologique, sociale et économique dans un contexte de gestion durable des eaux souterraines. À titre d'exemple, le 5^e programme-cadre de l'Union européenne a financé la création de l'environnement technologique OpenMI¹³ visant à relier divers modèles. OpenMI a été utilisé et étendu dans le 6^e programme-cadre de l'Union européenne pour englober des modèles qui facilitent une analyse intégrée des questions politiques concernant le sol, l'eau, ainsi que les aspects sociaux et économiques¹⁴. De tels outils rendraient grandement service dans le contexte canadien non seulement pour améliorer la gestion des eaux souterraines, mais aussi pour gérer à moindre coût les impacts cumulatifs dans différents milieux.

Recherches en cours

Les chercheurs canadiens ont contribué de manière significative à la mise au point de méthodes et de logiciels concernant les eaux souterraines. Ces développements se traduisent par l'utilisation généralement répandue de modèles dans le secteur des services-conseils au Canada, même si ces modèles sont utilisés principalement à une échelle locale pour étudier des questions relatives à des sites d'enfouissement, à des sites contaminés et à des aires de captage de puits d'approvisionnement importants. L'encadré 4.1 résume brièvement les recherches en cours au Canada dans ce domaine.

Nous allons maintenant aborder la dernière des quatre composantes du cadre d'analyse des bassins hydrogéologiques en vue d'une gestion durable des eaux souterraines : la base de données nécessaire pour soutenir les trois autres composantes.

4.4 DONNÉES REQUISES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

Les données sur les eaux souterraines, qu'elles proviennent de forages, de levés géophysiques ou d'essais de pompage à grande échelle, coûtent cher à obtenir. Il est donc surprenant de constater que souvent, une fois obtenues, ces données ne sont pas conservées sous une forme efficace ou accessible. Par exemple, dans l'état actuel

13 <http://www.openmi.org/>.

14 <http://www.seamless-ip.org/>; <http://www.sensor-ip.org/>.

Encadré 4.1 : La recherche sur les eaux souterraines au Canada

Une grande partie de la recherche actuelle en hydrogéologie au Canada porte sur la qualité de l'eau souterraine, mais le développement durable, les études intégrées des eaux souterraines et des eaux de surface, ainsi que la caractérisation des aquifères, font l'objet de plus en plus d'attention. Voici une liste partielle des sujets ou domaines de recherche actuels :

- caractérisation des aquifères et élaboration de méthodes améliorées de caractérisation;
- études intégrées des eaux souterraines et des eaux de surface (dans certains cas à l'échelle de bassins hydrographiques);
- évolution et transport d'une vaste gamme de contaminants potentiels et connus, dont des contaminants organiques, inorganiques et nouveaux tels que les perturbateurs endocriniens et les produits de soins personnels;
- comportement de liquides immiscibles dans le sous-sol (en particulier des solvants industriels et des produits pétroliers);
- présence et mobilité d'agents pathogènes;
- contributions industrielles à la contamination des eaux souterraines, notamment dans les secteurs de l'agriculture, des entreprises manufacturières, des ressources naturelles et de l'énergie;
- réhabilitation d'eaux souterraines contaminées;
- modèles mathématiques de phénomènes chimiques et physiques de plus en plus complexes.

Il n'existe pas de données complètes sur les montants et les sources de financement de la recherche sur les eaux souterraines au Canada. En 2006–2007, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) a octroyé 5 millions de dollars pour soutenir les recherches sur les eaux souterraines menées par des professeurs d'université (communication personnelle, le 31 mars 2008). De plus, le Réseau canadien de l'eau (RCE), l'un des 21 réseaux nationaux de centres d'excellence, bénéficie d'un financement annuel moyen de 5 millions de dollars. Le RCE, auquel participent 125 chercheurs de 38 universités canadiennes, aborde une vaste gamme de questions tant à propos des eaux de surface que des eaux souterraines. Les recherches sont menées en collaboration avec la communauté diversifiée des utilisateurs de la recherche sur l'eau partout au Canada.

Certaines données, mises à la disposition du public par le Département des sciences de la Terre et de l'environnement de l'Université de Waterloo, donnent un portrait du soutien à ce qui est probablement le programme universitaire de recherche sur les eaux souterraines le mieux financé au Canada. Le financement total de la recherche sur l'eau en 2005–2006 a atteint environ 6,7 millions de dollars¹⁵. Cela inclut les travaux sur les eaux souterraines et

15 En supposant que le financement accordé au Département des sciences de la Terre et de l'Environnement était destiné dans une proportion de 85 % à des recherches sur l'eau.

les eaux de surface. Environ 57 % de cette somme était constituée de subventions de recherche, et le reste principalement de contrats. Environ un tiers des fonds (2,2 millions de dollars) provenait du gouvernement fédéral, dont environ 1,5 million de dollars de programmes du CRSNG. Les sources provinciales comptaient pour environ 7 % du total, et les 60 % restants provenaient de l'industrie, principalement des États-Unis et d'autres sources internationales (communication personnelle, le 26 mars 2008). Bien que cette dernière proportion de la recherche soit probablement pertinente et bénéfique pour le Canada comme pour les entreprises qui la financent, elle ne sera pas nécessairement en accord avec les priorités provinciales et nationales en matière d'eaux souterraines.

Ressources naturelles Canada (RNC) et Environnement Canada ont tous deux des programmes actifs de science et technologie des eaux souterraines, mais leurs ressources financières sont limitées. À l'heure actuelle, RNC met principalement l'accent sur la cartographie et la caractérisation des principaux aquifères canadiens, alors qu'Environnement Canada se préoccupe surtout de la présence, de l'évolution et du transport de contaminants d'intérêt national. Plusieurs provinces ont également des programmes de cartographie et de caractérisation des aquifères qui sont actifs depuis de nombreuses années. Même s'il y a beaucoup d'exemples de collaboration entre des chercheurs des gouvernements fédéral et provinciaux ainsi que des chercheurs universitaires, les ministères fédéraux n'ont que très peu de ressources disponibles pour le financement de recherches externes. Ils ont donc une capacité limitée d'encourager les chercheurs universitaires à s'intéresser à des sujets correspondant aux priorités nationales.

des choses en Ontario, en particulier pour les études de gestion des grands bassins versants, une part très importante (souvent bien au-delà de 50 %) des fonds et du temps sont consacrés à l'acquisition et à la gestion de données existantes parce que les organismes publics ne tiennent pas de base de données structurée et exhaustive relative à l'eau. Pendant de nombreuses années, des données sur les eaux souterraines ont été perdues ou leur utilisation a été négligée à cause de l'absence d'une base de données facilement accessible. Un thème récurrent dans les projets menés par des experts-conseils partout au pays est que, à cause de l'effort important qu'exigent l'acquisition et la gestion des données existantes, il ne reste pas assez de temps et d'argent pour effectuer les analyses de données optimales nécessaires à l'élaboration de solutions innovatrices aux problèmes hydrogéologiques. Même si les budgets sont peut-être insuffisants au départ et devraient être révisés pour correspondre au travail que suppose un projet, une des premières étapes à franchir pour remédier à cette situation serait d'optimiser la gestion des données au sein de l'organisme public concerné et de procurer aux experts-conseils un accès rapide aux données, afin que la tâche de collecte des données nécessaires ne soit pas répétée année après année.

Étant donné le piètre état de la gestion des données sur les eaux souterraines au Canada, il est crucial que l'acquisition, la mise à jour et la gestion des données

existantes et à venir sur les eaux souterraines, ainsi que la facilité d'accès à ces données, constituent une priorité partout au pays.

D'une manière générale, les ressources affectées à la collecte systématique de données sur l'eau n'arrivent pas à suivre la demande en matière d'aménagement foncier et ont même diminué dans certains cas depuis 20 ans. À titre d'exemple, le nombre de stations hydrométriques au Canada est passé de 3 600 à environ 2 900 (Statistique Canada, 2003). Certains programmes proactifs provinciaux ont néanmoins fait leur apparition, dont le Réseau provincial de surveillance des eaux souterraines, mis sur pied en Ontario en 2001, et la *Loi sur l'eau saine*, également en Ontario. Cette loi prescrit des bilans hydriques à l'échelle des bassins versants et énonce des exigences particulières quant à l'acquisition et à l'interprétation de mesures du débit des cours d'eau.

Dans l'évaluation des besoins en matière de données, il faut d'abord réfléchir à l'ampleur de l'étude et aux questions auxquelles il faut répondre. Par exemple, les projets d'évaluation du transport de contaminants précis dans les eaux souterraines requièrent des données localisées sur le sous-sol que l'on obtient typiquement au moyen de forages, d'échantillonnage et de surveillance sur le terrain. Par contre, les projets d'évaluation de la disponibilité de l'eau souterraine dans un bassin hydrographique ont une échelle davantage régionale. Même si les deux types d'études requièrent des types d'information semblables, le cadre géologique du sous-sol est généralement conceptualisé à l'échelle régionale dans le cas des études portant sur un bassin hydrographique, et les données locales peuvent ne pas être aussi significatives.

Le problème abordé a également une influence sur le type de données requis. Par exemple, pour des questions de répartition, il est crucial de connaître les taux de recharge et d'émergence, de même que les données climatiques et de débit, afin d'évaluer l'écoulement de l'eau dans le bassin hydrogéologique et de prendre les décisions de répartition appropriées. À cet égard, il est important que les différentes données soient recueillies aux mêmes endroits, ce qui n'est généralement pas le cas au Canada. Pour l'évaluation de panaches de contamination et la conception de programmes de traitement visant à atténuer l'impact sur la qualité des eaux souterraines, des données localisées sur la conductivité hydraulique de l'aquifère et les processus géochimiques seront davantage primordiales.

Les données nécessaires à une gestion efficace des eaux souterraines se répartissent entre les catégories générales suivantes :

- données géologiques (p. ex. registres de forage, granulométrie et analyse de la composition des sédiments, résultats de levés géophysiques, cartes produites);

- données hydrogéologiques (p. ex. paramètres des aquifères et des aquitards, niveau des eaux);
- données climatiques;
- données sur la qualité des eaux souterraines;
- données sur les prélèvements d'eaux souterraines;
- données sur les eaux de surface.

Données géologiques

L'information géologique permettant de comprendre l'écoulement des eaux souterraines peut être tirée de divers programmes de cartographie géologique menés par les services provinciaux de levés géologiques ou par la Commission géologique du Canada, ou encore d'études effectuées par des chercheurs universitaires et des experts-conseils. Les hydrogéologues comptent beaucoup sur les données de forage en tant qu'outil fondamental de caractérisation de la géologie et de l'hydrogéologie du sous-sol. Cependant, comme cela est mentionné plus haut, les méthodes géophysiques de caractérisation du sous-sol peuvent être efficaces dans de nombreuses situations (voir par exemple Pullan *et al.*, 2004). À une échelle plus vaste, l'information tirée des registres de puits peut également servir à la conceptualisation du contexte géologique régional.

De manière générale, l'ensemble du Canada a fait l'objet d'une cartographie de surface à différentes échelles. Les hydrogéologues se servent beaucoup de ces cartes pour appuyer leurs estimations des taux de recharge et pour en savoir davantage sur le milieu géologique du sous-sol. Beaucoup de ces cartes provinciales ne sont pas disponibles sous forme numérique et ont donc une utilité limitée dans le contexte des méthodes actuelles d'analyse fondées sur des systèmes d'information géographique (SIG). Il faudrait soutenir des programmes visant à rendre disponibles des cartes à haute définition de la géologie de surface. Les données brutes qui servent à l'établissement des diverses cartes géologiques consistent essentiellement en des descriptions des affleurements ou en des registres de forage et ne sont généralement disponibles que sur papier.

Dans le même ordre d'idées, les cartes des aquifères produites à partir de données hydrogéologiques brutes peuvent aussi être considérées comme une source de données. À cet égard, seuls la Colombie-Britannique, le Manitoba et le Nouveau-Brunswick disent avoir entrepris un tracé systématique des aquifères provinciaux. L'Alberta et la Saskatchewan possèdent un jeu complet de cartes hydrogéologiques qui donnent de l'information sur la disponibilité et la qualité de l'eau souterraine. Certains hydrogéologues considèrent ces cartes comme l'équivalent de cartes d'aquifères. D'autre part, de nombreuses études provinciales ont eu pour objet la caractérisation complète de divers aquifères dans plusieurs provinces. Des études récentes menées par la Commission géologique du Canada (CGC), entre autres



(Gracieuseté du Oak Ridges Moraine Groundwater Program)

Figure 4.2

Installation d'un puits de surveillance des eaux souterraines

celles de la moraine d'Oak Ridges, du bassin de la rivière Châteauguay et de l'aquifère de la vallée d'Annapolis-Cornwallis, ont également fourni de l'information sur les processus géologiques de sédimentation et ont beaucoup fait progresser la connaissance de la géologie des zones étudiées.

La dernière évaluation exhaustive des ressources du Canada en eau souterraine a été publiée en 1967 (Brown, 1967). À l'heure actuelle, on travaille à mettre sur pied un Inventaire national des eaux souterraines. À cet égard, le Programme de cartographie des eaux souterraines dirigé par la CGC a entrepris d'évaluer 30 aquifères régionaux importants (Rivera, 2005). Ces évaluations menées en collaboration visent à mieux connaître les zones de recharge et d'émergence, avoir une meilleure estimation du débit d'exploitation durable des aquifères, quantifier la vulnérabilité des aquifères à l'échelle régionale, et fournir aux gestionnaires provinciaux et locaux des eaux souterraines les données et l'information nécessaires pour prendre des décisions éclairées

en matière d'aménagement foncier et d'allocation de l'eau souterraine. (Voir par exemple les études de cas des Basses-Laurentides et de la moraine d'Oak Ridges, au chapitre 6.) Avec un financement annuel de l'ordre de 3 millions de dollars, 9 des 30 aquifères avaient été évalués en 2006. Au rythme actuel toutefois, il faudra encore près de 20 ans pour compléter la cartographie des eaux souterraines. Étant donné l'importance de meilleures connaissances hydrogéologiques pour alimenter les modèles et améliorer de manière générale la gestion des eaux souterraines, il faut accélérer la cartographie des aquifères.

Étant donné l'état relativement peu avancé de la cartographie des aquifères au Canada, nous avons besoin d'élaborer une méthode de catégorisation des aquifères à différentes échelles (provinciale, régionale ou locale). Il s'agit d'une tâche difficile, en particulier en terrain glaciaire, où la stratigraphie peut varier sur de très courtes distances, ou dans des milieux de roc fracturé, où les aquifères résultent de réseaux de fractures. Il n'en reste pas moins que l'élaboration d'un tel cadre favoriserait l'établissement de liens entre les études locales et les objectifs provinciaux d'une meilleure connaissance des bassins hydrogéologiques. L'Accord géoscientifique intergouvernemental existant (CNCG, 2007) devrait servir à orienter les rôles respectifs de la CGC et des commissions géologiques provinciales dans cette entreprise de cartographie.

Données hydrogéologiques

Il existe plusieurs programmes d'acquisition de données sur la transmissivité, la conductivité hydraulique et le volume de stockage des aquifères. La Nouvelle-Écosse, le Nouveau-Brunswick et la Colombie-Britannique déclarent avoir une base de données provinciale qui contient cette information, et le Manitoba suit avec des registres sur papier actuellement disponibles. Cela illustre un thème récurrent : bien que de nombreuses données soient recueillies, peu d'efforts systématiques visent à les rassembler dans une base de données collective afin de mieux comprendre et gérer la ressource. Entre-temps, les hydrogéologues doivent compter sur leur connaissance des rapports et des cartes détenues par les agences locales ou, si les données ne sont pas publiées, refaire des études sur le terrain pour obtenir les données requises.

Données sur les puits : Les registres provinciaux des puits sont utilisés partout au pays comme source importante de données par les entreprises et les décideurs en matière d'eau souterraine. Bien qu'il n'existe pas de base de données nationale des puits ou des niveaux des eaux souterraines au Canada, ces registres couvrent une bonne partie du territoire dans de nombreuses régions du pays. Même si les données géologiques sont rudimentaires dans le cas de nombreux puits, on peut généralement en tirer une connaissance des aquifères à l'échelle régionale. Une lacune de ces registres est qu'ils se limitent généralement aux données sur les puits, mais qu'ils ne contiennent pas les données géologiques plus détaillées

Tableau 4.1

Sommaire des bases de données provinciales des puits (août 2007)

Province	La Province maintient-elle une base de données des puits?	Les données sont-elles facilement accessibles et à la disposition du public?
Terre-Neuve-et-Labrador	Oui	Oui – Frais de 50 \$ pour un disque compact des puits forés entre 1950 et 2002 (~15 500 enregistrements).
Île-du-Prince-Édouard	Oui	Oui – Accès sans frais aux registres; accès Web en cours de planification.
Nouvelle-Écosse	Oui	Oui – Frais de 100 \$ pour la base de données complète des puits forés entre 1940 et 2004 (97 000 enregistrements).
Nouveau-Brunswick	Oui	Oui – Accès sans frais aux registres.
Québec	Oui	Oui – Registres des puits consultables sans frais dans un site Web.
Ontario	Oui	Oui – Frais de 20 \$ pour les données d'un puits; plus de données disponibles sur demande; accès Web en préparation (~550 000 enregistrements).
Manitoba	Oui	Oui – Données disponibles sur demande; ~110 000 enregistrements depuis 1970.
Saskatchewan	Oui	Oui – Accès sans frais aux registres.
Alberta	Oui	Oui – Registres des puits consultables sans frais dans un site Web.
Colombie-Britannique	Oui	Oui – Accès sans frais aux registres.



(Gracieuseté de William Cunningham)

Figure 4.3

Puits de surveillance muni d'un équipement de télémétrie par satellite

Encadré 4.2 : Le système de surveillance des puits au Manitoba

Le ministère de la Gestion des ressources hydriques a pour mandat de gérer les ressources en eau de surface et en eau souterraine de la province afin d'assurer le bien-être socio-économique et culturel ainsi que la santé et la sécurité des générations actuelles et futures de Manitobains. La Division de la gestion des eaux souterraines se consacre à l'évaluation, à la surveillance et à la protection des eaux souterraines. Ce groupe administre la *Loi sur les eaux souterraines et les puits*, effectue des études de cartographie des aquifères, recueille des données temporelles à long terme et maintient des bases de données des conditions hydrogéologiques, le tout dans le but d'évaluer la durabilité des principaux aquifères.

La surveillance du niveau des eaux souterraines a commencé dans les années 1960 pour la construction du canal de dérivation de la rivière Rouge. Le réseau a grandi progressivement et compte maintenant 550 puits de surveillance. Le programme de 2007 comportait également 250 échantillons de test de la qualité de l'eau et la surveillance de 35 pluviomètres. L'ajout de ces données à la base de données a permis de connaître les niveaux et la qualité de l'eau à l'échelle régionale. Des aquifères importants ont été cartographiés dans une perspective de développement durable. Leurs propriétés hydrauliques ont été établies à l'aide d'analyses géophysiques de forages ainsi que d'essais de pompage, afin d'obtenir plus facilement une estimation des débits d'exploitation durables.

La Province procède actuellement à une évaluation du réseau puits par puits, afin de connaître l'utilité de chacun et d'améliorer le programme de surveillance. Cette évaluation vise à établir pour chaque puits de surveillance s'il doit être maintenu dans le réseau ou s'il ne fait que reproduire des résultats donnés par d'autres puits. L'évaluation comporte une analyse des hydrogrammes, la consignation des données de forage, un essai de pompage et un échantillonnage de l'eau de chaque puits, qu'il soit ou non en activité, pour lequel cette information n'est pas déjà disponible. Onze puits ont été désaffectés en 2006–2007 par suite de ce programme d'évaluation.

En 2006–2007, la Division de la gestion des eaux souterraines disposait d'un budget d'environ 1,4 million de dollars et de 14 employés (Gouvernement du Manitoba, 2007).

obtenues à partir des forages effectués par des experts-conseils pour des études hydrogéologiques ou géotechniques. On a généralement recours à des techniques de forage par rotation avec injection de boue ou d'air, qui ne donne qu'une représentation approximative de la géologie du sous-sol (Russell *et al.*, 1998). Selon la succession des aquifères, les registres des puits peuvent en révéler davantage sur les aquitards que sur les aquifères, puisque dès qu'un aquifère convenable est atteint, le forage du puits est interrompu et la crépine est installée sans que la base de l'aquifère soit déterminée. Les puits-citernes peu profonds et les puits plus anciens sont en outre absents des bases de données, et les coordonnées de nombreux puits ne sont précises qu'à plusieurs centaines de mètres près.

Le comité s'est renseigné auprès de toutes les provinces à propos des programmes actuels, des types de données recueillies et de leur facilité d'accès par le public (tableau 4.1).

En Ontario, une nouvelle réglementation exige la saisie des données de tous les forages effectués par des experts-conseils et l'introduction de ces données géologiques de grande qualité dans la base de données. La Saskatchewan et l'Alberta ont maintenu par périodes des programmes d'enregistrement des données géophysiques des puits au moment de leur forage. Le Manitoba recueille les données géophysiques de puits sélectionnés et a mis au point un répertoire des données géophysiques relié à la base de données des puits (encadré 4.2). L'intégration de données numériques facilite les tâches de gestion des données, dont l'interpolation d'aquifères sur de grandes distances, ce qui réduit les coûts à long terme d'exploration des eaux souterraines. En Colombie-Britannique, l'enregistrement des puits se fait actuellement sur une base volontaire, mais on prévoit qu'il sera obligatoire à l'avenir. De nombreux puits forés dans cette province sont absents de la base de données.

Données sur le niveau des eaux : L'information sur le niveau des eaux est un élément important donné par les registres des puits. Il est impossible de connaître les tendances à long terme du niveau des eaux à partir des registres des puits, car ceux-ci ne contiennent généralement qu'une seule mesure du niveau de l'eau dans chaque puits. Il faut évidemment mesurer le niveau des eaux sur une longue période pour observer des tendances qui permettent de comprendre comment les aquifères réagissent à la sécheresse, aux pluies ou à la fonte des neiges. En plus de la surveillance générale quotidienne liée aux prélèvements ou à d'autres modifications de l'utilisation du sol, dont les exigences varient selon les cas et d'une province à l'autre, les provinces ont toutes des réseaux actifs de surveillance du niveau des eaux souterraines par région, avec un nombre de puits d'observation allant de moins de 25 à plus de 500 (tableau 4.2). Le Conseil de la recherche de la Saskatchewan (Maathuis, 2005) a produit récemment un sommaire des réseaux provinciaux de surveillance des eaux souterraines. Dans toutes les provinces à l'exception de Terre-Neuve-et-Labrador et de l'Ontario, les données sont accessibles au public sur demande ou par le truchement d'un site Web. La Colombie-Britannique possède un site Internet pour les données en temps réel, où les données des deux à quatre derniers jours sont disponibles, et un autre site qui donne accès à toutes les données¹⁶. La figure 4.3 montre un puits de surveillance

16 Les sites Web qui suivent fournissent des données sur les programmes de surveillance du niveau des eaux. Colombie-Britannique : http://www.env.gov.bc.ca/rfc/river_forecast/grwater.html pour les données en temps réel, <http://srmapps.gov.bc.ca/apps/gwl/disclaimerInit.do> pour les données à long terme; Alberta : http://www.telusgeomatics.com/tgpub/ag_water/; Saskatchewan : <http://www.swa.ca/WaterManagement/Groundwater.asp?type=ObservationWells#>; Nouvelle-Écosse : <http://www.gov.ns.ca/cnla/water/welldatabase.asp>; Île-du-Prince-Édouard : <http://web3.gov.pe.ca/waterdata/tool.php3>.

doté d'un équipement de télémétrie qui fournit des données en temps réel aux utilisateurs. Après avoir recueilli des données sur le niveau des eaux, il est important de les examiner et de les analyser afin de dégager les tendances à long terme et d'autres détails pertinents à propos du bassin hydrogéologique. On ne sait pas très bien jusqu'à quel point les provinces réussissent bien à ce chapitre.

Données climatiques

Les données sur les précipitations et la température sont des composantes essentielles de toute étude régionale des eaux souterraines, car elles permettent de faire une estimation de l'évapotranspiration, de la recharge des eaux souterraines et du ruissellement. Environnement Canada maintient une base de données de stations météorologiques, avec un certain nombre de données sur la température et les précipitations provenant de plus de 11 000 stations partout au pays¹⁷. Les données météorologiques d'environ 200 de ces stations sont affichées en ligne chaque heure, et les valeurs normales sont calculées et disponibles pour un certain nombre d'autres stations. Un grand nombre des 11 000 stations sont anciennes et ne recueillent plus de données climatiques à l'heure actuelle. Malheureusement, ce n'est qu'après avoir téléchargé les données que l'on peut déterminer pendant combien de temps une station a été active et quelle est l'étendue des données manquantes. Par exemple, sur les quelque 11 000 stations météorologiques, seulement 1 500 donnent des valeurs normales, et ce n'est que pour ces 1 500 stations que la base de données est adéquate pour couvrir 15 années d'activité entre 1971 et 2000¹⁸.

Le tableau 4.3 montre jusqu'à quel point chaque Province tient des données climatiques en plus de celles d'Environnement Canada. La plupart des provinces ont tendance à compter sur Environnement Canada, mais plusieurs rapportent des données de stations météorologiques supplémentaires, bien que ces stations soient typiquement exploitées par intermittence dans le cadre de projets de recherche localisés ou pour d'autres fins précises. Ces stations ne permettent pas d'obtenir de compte rendu annuel des précipitations ou de la température pour des fins de gestion des eaux souterraines. Dans trois provinces (Terre-Neuve-et-Labrador, Manitoba et Colombie-Britannique), des programmes d'acquisition de certaines données climatiques sont en place, mais seulement pendant une partie de l'année. L'Ontario ne possède pas ses propres stations météorologiques, mais dans le cadre d'initiatives de délimitation des aires de protection des puits, la Province a régénéré les données manquantes des stations d'Environnement Canada afin d'accroître l'utilité des données pour les travaux de protection des ouvrages de captage.

17 La base de données complète est disponible dans le site Web d'Environnement Canada (http://climate.weatheroffice.ec.gc.ca/Welcome_f.html) et est facile d'accès.

18 Afin d'améliorer le service, Environnement Canada pourrait, pour chaque station météorologique, indiquer sur une carte le nombre d'années pour lesquelles des données sont disponibles, et distinguer au moyen de couleurs les stations actives et celles qui ne le sont plus.

Tableau 4.2**Sommaire des programmes de cartographie des aquifères et de surveillance des eaux souterraines (août 2007)**

Province	La Province possède-t-elle un inventaire des aquifères?	La Province a-t-elle un programme de mesure du niveau des eaux souterraines dans un réseau de surveillance?
Terre-Neuve-et-Labrador	Non	Oui – jusqu'à 25 puits dans le réseau; données non accessibles au public.
Île-du-Prince-Édouard	Non (un seul aquifère important ¹⁹)	Oui – 13 puits surveillés dans le cadre d'un partenariat avec le gouvernement fédéral; données accessibles par le Web.
Nouvelle-Écosse	Non	Oui – 24 puits surveillés; données accessibles dans un site Web public.
Nouveau-Brunswick	Oui	Oui – jusqu'à 25 puits surveillés; données disponibles sur demande.
Québec	Non	Oui – de 25 à 50 actuellement surveillés; plans d'expansion jusqu'à 200 à 500 puits; données accessibles dans un site Web public.
Ontario	Partiellement – des études menées par des experts-conseils au voisinage des puits municipaux donnent une certaine information à propos des aquifères. Aucun autre développement systématique n'est prévu à ce chapitre.	Oui – environ 460 puits surveillés dans le cadre d'un partenariat avec les autorités de bassin versant; données accessibles seulement à ces autorités par le truchement d'un site Web protégé par mots de passe.
Manitoba	Oui – à l'échelle régionale puisque la plupart des aquifères sont liés à la roche en place. Dans les zones dominées par des aquifères de sédiments glaciaires, des cartes donnent la probabilité de trouver un aquifère convenable.	Oui – 550 puits surveillés régulièrement, surtout dans les zones de prélèvement d'eau souterraine; données disponibles sur demande; intention de les rendre accessibles par le Web.
Saskatchewan	Des cartes des eaux souterraines donnent la probabilité de trouver des sources d'approvisionnement.	Oui – de 50 à 100 puits surveillés; hydrogrammes à long terme accessibles dans un site Web.
Alberta	Des cartes des eaux souterraines donnent la probabilité de trouver des sources d'approvisionnement.	Oui – plus de 197 puits d'observation surveillés; données accessibles dans un site Web.
Colombie-Britannique	Oui – inventaire de quelque 900 aquifères – il n'est pas nécessaire de représenter la totalité d'un aquifère (p. ex. on peut le décrire partiellement à partir d'un certain nombre de puits).	Oui – 163 puits surveillés; données accessibles dans un site Web.

19 Comme l'Île-du-Prince-Édouard ne comporte qu'un seul aquifère de grès qui s'étend sur toute la province, une cartographie plus poussée des aquifères n'est pas nécessaire d'un point de vue géologique.

Tableau 4.3**Collecte de données climatiques provinciales (août 2007)**

Province	La Province a-t-elle un programme de collecte de données climatiques?	Les données sont-elles facilement accessibles et à la disposition du public?
Terre-Neuve-et-Labrador	Oui – pour les conditions routières en hiver.	Nouveau programme
Île-du-Prince-Édouard	Non	
Nouvelle-Écosse	Non	
Nouveau-Brunswick	Oui – pas de renseignements précis	Oui
Québec	Oui – 155 stations exploitées par la Province.	Oui
Ontario	Non	
Manitoba	Oui – exploitées seulement pendant la saison des cultures.	Oui
Saskatchewan	Non	
Alberta	Oui	Oui
Colombie-Britannique	Oui – pour la couverture de neige en montagne.	

Seules trois provinces, le Nouveau-Brunswick, le Québec et l'Alberta, ont des programmes qui visent à compléter les données d'Environnement Canada. En ce qui concerne l'accès public aux données, le Québec permet de faire une recherche par Internet pour savoir quels types de données sont recueillies à chaque station²⁰. Des demandes spécifiques de données peuvent être adressées directement à la Province. L'Alberta permet de voir en temps réel les données (sur les précipitations et les débits) par le truchement d'un portail Web²¹. Les données historiques ne figurent pas dans le site Web, et pour les obtenir il faut en faire la demande directement à la Province. Le site Web du Nouveau-Brunswick ne permet d'obtenir qu'un sommaire mensuel ou annuel des données sur les précipitations, sur les débits et sur le niveau des eaux souterraines²².

Données sur les eaux de surface

La quantité d'eau qui s'écoule d'un bassin hydrographique est une composante importante du bilan hydrique et peut contribuer de manière significative à la compréhension des conditions hydrogéologiques. Lorsque le bassin hydrogéologique correspond généralement au bassin versant des eaux de surface, les données hydrométriques favorisent de meilleures estimations de la recharge des eaux souterraines.

20 Pour plus de détails sur les données climatiques en ligne du Québec, voir le site *Surveillance du climat* : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/surveillance/index.asp>.

21 Pour plus de détails sur les données climatiques en ligne de l'Alberta, voir le site *Alberta's River Basins* : <http://environment.alberta.ca/apps/basins/default.aspx>.

22 Pour plus de détails sur les données climatiques en ligne du Nouveau-Brunswick, voir le site *Information sur les réserves d'eau au Nouveau-Brunswick* : <http://www.gnb.ca/0009/0371/0007/0006-f.asp>.

Environnement Canada, les provinces, ainsi que certaines municipalités et entreprises, exploitent conjointement un réseau de stations hydrométriques appelé HYDAT²³. Il y a actuellement 2 844 stations en exploitation, dont environ la moitié transmettent des données en temps réel, mais les données de 5 577 stations inactives demeurent disponibles dans la base de données (RHC, 2006). La base de données est accessible par le truchement du site Web d'Environnement Canada et permet l'interrogation des données par station et par année.

La plupart des provinces comptent sur le réseau HYDAT pour tous leurs besoins de données hydrométriques des eaux de surface. Le tableau 4.4 résume les initiatives provinciales de collecte de données hydrométriques. Seuls le Québec et l'Alberta ont des stations hydrométriques en plus de celles du réseau HYDAT. Le site Web *Alberta's River Basins*, qui ne se limite pas aux stations du réseau HYDAT, est particulièrement utile pour obtenir des données en temps réel sous forme de tableaux²⁴. Le choix des emplacements des stations du réseau HYDAT s'effectue selon les besoins des partenaires qui les financent et en fonction d'objectifs précis tels que la lutte contre les inondations, la production d'hydro-électricité et l'approvisionnement municipal en eau. Du point de vue des eaux souterraines, cela signifie que de nombreux bassins versants, en particulier dans les régions nordiques du pays, mais aussi au sud, n'ont fait l'objet d'aucune mesure publique du débit, ou bien que les stations hydrométriques sont situées dans la partie amont d'un bassin versant et ne permettent pas de déterminer la quantité d'eau qui s'écoule effectivement en aval du bassin versant. De plus, il arrive rarement que les données climatiques, les données hydrologiques et le niveau des eaux souterraines proviennent du même endroit à l'intérieur d'un bassin hydrographique, ce qui rend difficile l'établissement de corrélations entre certaines données.

Qualité de l'eau souterraine

Les exigences et le degré de surveillance de la qualité de l'eau souterraine varient considérablement d'une région à l'autre du pays. En Alberta, par exemple, les foreurs de puits ne sont tenus que de transmettre les registres de forage au ministère albertain de l'Environnement. Ils peuvent indiquer que le propriétaire d'un puits devrait faire analyser la qualité de l'eau souterraine, mais cette analyse n'est pas obligatoire. Un seul échantillon sera probablement recueilli pour tester la présence de bactéries ou de coliformes. (Des tests de l'eau souterraine sont obligatoires dans

23 HYDAT est l'acronyme de *Hydrological Data* (données hydrologiques). Environnement Canada exploite un site Web (http://www.wsc.ec.gc.ca/index_f.cfm) où les données peuvent être téléchargées chaque année (depuis 1991 – les données précédentes sont disponibles sur papier) moyennant des frais de 100 \$.

24 Pour de plus amples renseignements sur les données hydrométriques en ligne de l'Alberta, voir le site Web *Alberta's River Basins* : <http://environment.alberta.ca/apps/basins/default.aspx>.

Tableau 4.4**Collecte de données hydrométriques provinciales (août 2007)**

Province	En plus du réseau HYDAT d'Environnement Canada, la Province a-t-elle un programme de collecte de données hydrométriques?	Les données sont-elles facilement accessibles et à la disposition du public?
Terre-Neuve-et-Labrador	Non	
Île-du-Prince-Édouard	Non	
Nouvelle-Écosse	Non	
New Brunswick	Non	
Québec	Oui – 158 stations exploitées par la Province.	Oui – sur demande, mais de plus en plus de données sont en ligne.
Ontario	Partiellement – Certaines autorités de conservation ont des programmes de collecte de données hydrométriques supplémentaires, mais cela n'est pas régi par la Province, et les données ne sont pas compilées à l'échelon provincial.	
Manitoba	Non	
Saskatchewan	Non	
Alberta	Oui	Oui – données en temps réel accessibles à l'aide d'un site Web; données historiques sur demande.
Colombie-Britannique	Non	

le cas du forage de puits peu profonds de méthane houiller, mais ces exigences ne visent qu'un sous-ensemble précis de puits domestiques situés dans un rayon de 0,6 kilomètre d'un puits de méthane houiller – ERBC, 2006.) Les exigences varient d'une province à l'autre quant aux données requises sur la qualité de l'eau des nouveaux puits domestiques, mais en général les seuls tests requis portent sur les bactéries ou les coliformes.

Au Nouveau-Brunswick, les tests obligatoires de la qualité de l'eau de tous les puits nouvellement forés ou forés à nouveau ont été introduits en 1994 en vertu du *Règlement sur l'eau potable* (Gouvernement du N.-B., 1989; Gouvernement du N.-B., 1993). Avant le début des travaux sur un puits, un entrepreneur agréé de forage de puits perçoit les droits de test auprès du propriétaire du puits. Celui-ci doit ensuite remettre le bon de test et un échantillon d'eau du puits après une période d'utilisation normale. L'échantillon subit dans un laboratoire provincial des tests concernant les coliformes totaux et la bactérie *E. coli*, ainsi qu'une variété de paramètres inorganiques tels que le calcium, les chlorures, le fer, les fluorures et l'arsenic. Les résultats des tests sont remis au propriétaire du puits et conservés au ministère de l'Environnement dans une base de données provinciale des eaux

souterraines, avec le *Rapport de forage du puits d'eau*. En vertu du *Règlement sur l'eau potable*, les résultats des tests sont traités comme confidentiels et ne peuvent être diffusés qu'avec la permission du propriétaire du puits ou dans des statistiques globales qui ne permettent pas d'identifier le puits d'où provient l'échantillon. Au cours de l'exercice 2006–2007, le ministère de l'Environnement a analysé des échantillons de 1 356 puits nouvellement forés ou forés à nouveau, soit 66 % des bons de test remis. Au cours de la même période, des renseignements à propos des puits, y compris sur la qualité de l'eau, ont été donnés en réponse à plus de 750 demandes de la part d'experts-conseils effectuant diverses études (MENB, 2007).

Les évaluations de la surveillance des eaux souterraines doivent faire la distinction entre la surveillance à l'échelle régionale de la qualité initiale de l'eau et un suivi propre à chaque site de contamination connue ou soupçonnée. La surveillance à l'échelle régionale met généralement l'accent sur les excès possibles de concentration de contaminants naturellement présents tels que l'arsenic ou les fluorures et, le cas échéant, de polluants agricoles de sources diffuses, par exemple les nitrates. Cette surveillance est souvent effectuée par des organismes provinciaux dans leurs réseaux régionaux de puits de surveillance en même temps que les mesures du niveau de l'eau (il n'est toutefois pas nécessaire de faire un échantillonnage chimique aussi souvent que des mesures du niveau de l'eau, étant donné la faible probabilité de modifications rapides de la qualité de l'eau dans une région).

Les programmes de surveillance propres à des sites précis sont conçus pour détecter la présence de contaminants anthropogéniques tels que des solvants ou des hydrocarbures issus de sources ponctuelles comme des installations d'élimination des déchets ou des déversements industriels. Ces programmes exigent généralement de nombreux puits de surveillance, dont certains peuvent même devoir être munis de dispositifs perfectionnés d'échantillonnage à plusieurs profondeurs. Ces réseaux de surveillance visent à quantifier la présence et le degré de contamination, ainsi qu'à éclairer le choix de mesures correctives appropriées. Ils sont généralement installés par des entrepreneurs privés, dont les services sont retenus par les propriétaires de sites, et soumis à l'examen rigoureux d'organismes provinciaux de réglementation.

La conception de réseaux de puits de surveillance qui soient efficaces et rentables dans les deux cas est une tâche difficile, et il faut faire davantage de recherche dans ce domaine. De plus, la conception et l'installation d'un puits de surveillance requièrent beaucoup de soin, afin d'éviter l'introduction de substances chimiques extérieures dans le milieu souterrain. Des protocoles appropriés ont été élaborés au cours des dernières années (Nielsen, 2006), mais ils sont coûteux en temps et en argent. La surveillance de la qualité de l'eau souterraine est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord, et il n'est pas facile d'obtenir des données fiables.

Le comité reconnaît que, même s'il faut de meilleures données sur la qualité de l'eau souterraine au pays, en particulier pour connaître les conditions initiales afin de documenter correctement l'évolution à long terme, des initiatives spécifiques de surveillance peuvent coûter très cher sans procurer de bénéfices directs correspondants. Il est probablement préférable que chaque province et les autorités locales élaborent au cas par cas des programmes de surveillance de la qualité de l'eau, même si une coordination des efforts à un certain nombre d'endroits est nécessaire pour connaître les tendances à l'échelle du pays ou de grandes régions. Il se peut que nous ayons besoin d'un réseau de surveillance clairsemé, coordonné à l'échelle nationale, pour détecter l'évolution à long terme de la qualité de l'eau souterraine liée aux modifications dans la composition chimique des précipitations à l'échelle globale ou régionale.

Les prélèvements d'eau souterraine

Comme cela est mentionné au chapitre 1, la collecte de données sur les prélèvements d'eau souterraine est variable selon les régions du pays, et de nombreux utilisateurs importants de l'eau souterraine ne sont pas tenus de rendre compte à intervalles réguliers des quantités prélevées. Cette information est pourtant essentielle à la gestion des eaux souterraines, et les coûts d'acquisition de cette information pourraient être en grande partie assumés par les utilisateurs et n'avoir qu'une faible incidence sur les budgets publics.

4.5 GESTION DE L'ACQUISITION ET DES ÉCHANGES DE DONNÉES

La gestion de l'acquisition et des échanges de données de surveillance des eaux souterraines du Canada, notamment quant à leur niveau et à leur qualité, doit être substantiellement améliorée, en particulier en ce qui concerne les conditions ambiantes et leur évolution. Comme le montrent les sections précédentes, toutes les provinces et des agences locales ont des programmes permanents de surveillance du niveau des eaux. Mais le nombre de points d'observation est généralement insuffisant, et les données sur la qualité de l'eau ne constituent pas une priorité de ces programmes. Dans de nombreux cas, aucune analyse systématique de ces données n'est effectuée, et aucun mécanisme ne permet de détecter des menaces potentielles nouvelles et à venir ou d'évaluer le besoin de mesures de suivi ou de réhabilitation, sauf de manière réactive.

Un objectif important de l'acquisition et de la gestion de données est de transcender les frontières entre organismes et entre disciplines, et de compiler une base de données intégrée et exhaustive rassemblant l'information sur la géologie, les eaux souterraines, les eaux de surface et le climat pour l'ensemble d'un bassin hydrographique. Une portée de cette ampleur témoigne du fait que la gestion de l'eau ne peut pas s'arrêter aux frontières municipales et qu'il faut recourir à une grande variété de sources de données pour appuyer un processus décisionnel crédible et une gestion

efficace à long terme des eaux souterraines. La gestion de la base de données devrait viser la saisie des données de grande qualité recueillies par des experts-conseils et qui autrement seraient enfouies dans des archives. En Ontario par exemple, on a constaté que les mêmes données étaient recueillies au même endroit, parfois à plusieurs dizaines d'années d'intervalle, simplement à cause de l'absence d'une base de données formelle pour abriter cette information.

Au Canada comme dans bien d'autres pays, la gestion de l'eau chevauche plusieurs ordres de gouvernement et plusieurs services au sein de chaque gouvernement. Les méthodes adoptées aux États-Unis et dans d'autres pays pour aborder cette fragmentation intrinsèque pourraient inspirer la gestion des données et de l'information sur les eaux souterraines au Canada. Une approche prometteuse consisterait à offrir l'accès à ces données par le truchement d'une base de données semblables au *National Water Information System* de la Commission géologique des États-Unis (encadré 4.3). Il faut pour cela une structure de base de données commune aux divers services concernés, afin de faciliter la création d'un portail commun qui permettrait de diffuser les données dans le public, de réduire le personnel de soutien nécessaire pour tenir à jour les bases de données sur les eaux souterraines et d'éliminer la duplication d'efforts d'acquisition et de mise à jour des données. Les paragraphes qui suivent présentent des initiatives canadiennes en cours à cet égard.

Le Réseau d'information sur les eaux souterraines : Un ensemble d'organismes fédéraux, provinciaux et de gestion de bassins versants travaille en partenariat avec le programme national GéoConnexions²⁵ à la mise sur pied d'un Réseau d'information sur les eaux souterraines (RIES). Le RIES élabore des normes de gestion des données, afin de faciliter l'échange d'information. La surveillance des eaux souterraines à tous les niveaux doit être davantage soutenue, et une infrastructure d'échange de données telle que le RIES doit être mise en place grâce à une collaboration fédérale-provinciale. Les universités et les experts-conseils qui recueillent des données de terrain sont encouragés à contribuer aux bases de données publiques sur les eaux souterraines, ce qu'ils ne font généralement pas à l'heure actuelle.

Le système national de cartographie et d'analyse des puits d'eau : Ce projet est une composante initiale du RIES qui cherche à enrichir l'Infrastructure canadienne de données géospatiales (ICDG) en donnant accès aux registres de plusieurs fournisseurs importants de données sur les eaux souterraines. Ce projet est issu du

25 GéoConnexions est une initiative fédérale qui vise à exploiter la puissance d'Internet pour accéder aux données scientifiques de terrain compilées par les ministères fédéraux, principalement sous forme de cartes et d'images satellite. Ce programme repose sur l'Infrastructure canadienne de données géospatiales (ICDG), qui permet d'enregistrer pratiquement toute forme d'information géoréférencée et qui donne accès à cette information.

Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine (Rivera *et al.*, 2003). L'Ontario, le Manitoba, l'Alberta, la Colombie-Britannique et la Nouvelle-Écosse ont accepté de participer au projet avec Ressources naturelles Canada (RNC) en donnant accès à leurs données sur les puits.

En élaborant une structure de données Web normalisée pour les registres de forage (appelée GWML)²⁶ et en respectant les protocoles d'accès aux données de l'ICDG, ce projet permet l'accès en ligne aux bases de données existantes sur les puits des provinces partenaires. Avec le temps, on prévoit que d'autres partenaires, par exemple les groupes et les agences qui possèdent une quantité notable de données sur des puits, se joindront au projet. En plus de donner accès à l'information sur les eaux souterraines, le projet offrira aussi des outils Web de visualisation, d'analyse et d'intégration des registres des puits, grâce à la contribution de réalisateurs de logiciels qui exploiteront les normes de données communes.

Encadré 4.3 : Gestion des données sur les eaux souterraines aux États-Unis

Les États-Unis ne possèdent pas de base de données nationale exhaustive sur les eaux souterraines. Les données sur la qualité et le niveau des eaux souterraines sont plutôt recueillies et conservées par les agences fédérales de l'eau, la plupart des agences d'État et certaines entités locales. Ces données sont en bonne partie accessibles au public par Internet. D'autre part, de grandes quantités de données liées aux eaux souterraines sont accessibles en ligne grâce à des programmes nationaux spécifiques menés par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) et la Commission géologique des États-Unis (USGS). De plus, le Consortium d'universités pour l'avancement de l'hydrologie (CUAHSI) travaille à la mise sur pied d'un portail Web.

L'EPA possède deux systèmes de gestion de données qui contiennent de l'information sur la qualité de l'eau : le *Legacy Data Center* (LDC) et STORET. Ces systèmes portent principalement sur la qualité de l'eau de surface, mais des données sur la qualité de l'eau souterraine d'environ 75 000 puits sont également disponibles²⁷.

L'USGS surveille la quantité et la qualité de l'eau dans les rivières et les aquifères du pays, évalue l'origine et l'évolution des contaminants dans les systèmes aquatiques, met au point des outils afin d'améliorer l'application de l'information hydrologique et

26 GWML (pour *GroundWater Mark-up Language* ou langage de balisage pour les eaux souterraines) est en cours de mise au point principalement au Canada, avec la contribution de collaborateurs des États-Unis, d'Europe et d'Australie. GWML est en cours de développement et non encore utilisé.

27 Pour de plus amples renseignements sur le Legacy Data Center et STORET, voir la page <http://www.epa.gov/storet>.

veille à ce que cette information et ces outils soient mis à la disposition de tous les utilisateurs potentiels. Cette vaste mission ne peut pas être remplie efficacement sans les contributions du *Cooperative Water Program* (CWP) (USGS, 2008b). Ce programme constitue depuis plus de 100 ans un partenariat très réussi entre l'USGS et des agences de l'eau d'États, de localités et de tribus. Le CWP apporte une contribution significative à la mission de l'USGS et l'aide à rester centrée sur des questions concrètes. En prise avec les ressources en eau des localités et des États, le CWP peut réagir rapidement aux nouveaux problèmes qui surgissent.

L'USGS et ses collaborateurs planifient ensemble les travaux scientifiques effectués dans le cadre du CWP, ce qui donne un programme national très pertinent et des résultats largement utilisés. Comme les rivières et les aquifères transcendent les territoires des différentes autorités, les études effectuées et les données recueillies dans un comté ou un État s'avèrent précieuses dans les territoires voisins. Grâce au CWP, l'USGS veille à ce que l'information puisse être partagée et soit comparable d'une autorité à l'autre.

Les collaborateurs du CWP choisissent de travailler avec l'USGS à cause de ses vastes compétences techniques, de ses longs antécédents de mesures et d'évaluations de grande qualité, ainsi que de son engagement à rendre accessibles au public les données recueillies dans le cadre du programme. Comme l'USGS est un organisme scientifique plutôt que de réglementation, les parties à de nombreux types de conflits de réglementation et de juridiction considèrent que ses données et analyses sont impartiales et valables.

Environ la moitié des fonds du CWP (qui ont totalisé 215 millions de dollars US en 2004, dont près des deux tiers fournis par les collaborateurs du programme) sont consacrés à la collecte de données, et le reste à des études d'interprétation. L'USGS compile et analyse l'information qui en résulte pour produire des synthèses régionales et nationales.

Le *National Water Information System* (NWIS) soutient l'acquisition, le traitement et la diffusion de données sur la quantité et la qualité de l'eau recueillies à plus de 1,5 million d'endroits aux États-Unis. Le système NWISWeb²⁸ regroupe les données compilées (dans plus de 48 systèmes locaux du NWIS) sur le niveau d'eau d'environ 800 000 puits et la qualité de l'eau de plus de 300 000 puits. Le NWIS est à la fois une application d'automatisation des processus et une base de données à long terme. Il contient des données non seulement sur la qualité et le niveau des eaux souterraines, mais aussi sur les eaux de surface (p. ex. qualité, écoulement, niveau et débit). Le NWIS donne en permanence accès aux données recueillies depuis les 100 dernières années, ainsi qu'aux

28 Pour de plus amples renseignements sur le système NWISWeb, voir la page <http://waterdata.usgs.gov/nwis/gw>.

données télémétriques sur les eaux de surface, les eaux souterraines et la qualité de l'eau. Grâce à la fonction de traitement en temps réel, les données transmises par satellite ou par d'autres moyens de télémétrie sont traitées et mises à la disposition du public dans le site Web 5 à 10 minutes suivant leur transmission. À l'heure actuelle, plus de 1 000 puits sont munis de dispositifs de mesure en temps réel du niveau des eaux souterraines. Les données de ces puits contribuent à de nombreux programmes d'État et programmes locaux tels que la déclaration de périodes de sécheresse, la surveillance de la salinité et la gestion des aires de captage. Pour faciliter la consultation des données, des systèmes Web offrent des outils de gestion qui donnent l'emplacement des puits et l'état des mesures les plus récentes. Divers réseaux nationaux ont été conçus à partir des données du système NWISWeb.

Aux États-Unis, des efforts sont actuellement en cours pour créer un fonds national plus complet des données de surveillance de l'eau. Le Comité consultatif sur l'information relative à l'eau (ACWI) représente les intérêts des utilisateurs et des professionnels de l'information sur l'eau et conseille le gouvernement fédéral en matière de programmes d'information sur l'eau (USGS, 2008a). En janvier 2007, l'ACWI a mis sur pied un sous-comité sur les eaux souterraines (SOGW), formé de représentants de l'administration fédérale, des États, d'entreprises, ainsi que d'universitaires bénévoles, afin d'encourager la mise sur pied d'un cadre national à long terme de surveillance de la quantité et de la qualité de l'eau souterraine. Cet effort est analogue à la récente initiative européenne en matière d'eaux souterraines mise sur pied dans le contexte de la *Directive-cadre dans le domaine de l'eau* de la Communauté européenne. Un rapport du SOGW paru en 2009 définit le cadre d'un « réseau de réseaux » formé à partir des réseaux de surveillance des agences d'États et de l'administration fédérale.

Le SOGW examine divers modèles de portail d'information, dont le système d'information hydrologique du Consortium d'universités pour l'avancement de l'hydrologie (CUAHSI). Le CUAHSI, qui représente plus de 100 universités américaines, est subventionné par la National Science Foundation pour mettre au point une infrastructure et des services pour l'avancement de la science et de la formation en hydrologie aux États-unis. Il a reçu des subventions visant précisément le développement du système d'information hydrologique²⁹. Ce portail vise à l'accès universel à l'information nationale sur l'eau ainsi qu'aux données originales. À l'aide de services Web, il procurera un accès transparent à un réseau géographiquement dispersé de sources de données. Les utilisateurs de ce système pourront voir l'emplacement des sources de données de diverses agences, repérer les données qui les intéressent et les obtenir en formulant une seule demande.

29 Pour de plus amples renseignements sur le système d'information hydrologique du CUAHSI, voir la page <http://www.cuahsi.org/his.html>.

La base de données nationale sur les eaux souterraines (BDNES) : La BDNES est une base de données établie et en expansion sur les eaux souterraines. Son rôle est double : (1) constituer le moteur et la structure de base de données du RIES; (2) servir d'outil de gestion de l'information pour le Programme de cartographie des eaux souterraines de la CGC. Dans le cadre de sa stratégie de gestion de l'information, les responsables de la BDNES proposent de définir des types normalisés de données, qui seront publiés, pour les divers projets du Programme de cartographie des eaux souterraines. RNC sera chargé d'ajouter des données à ces couches normalisées dans le cadre de la réalisation de ses projets.

Le Service national d'information sur les terres et les eaux : Agriculture Canada investit 100 millions de dollars sur une période de quatre ans pour mettre sur pied une source nationale accessible par le Web d'information agricole et environnementale sur l'utilisation des sols, l'eau, le climat et la biodiversité, dans le but principal d'aider les décideurs en matière d'utilisation des terres agricoles (AAC, 2009).

L'Atlas national : L'Atlas du Canada vise à intégrer les cartes des eaux souterraines de RNC ainsi que d'autres données sociales, environnementales et économiques à l'échelle nationale, continentale et mondiale. Cela fournira un contexte géographique aidant à expliquer la signification des connaissances scientifiques obtenues grâce au Programme des eaux souterraines. Diverses cartes relatives aux eaux souterraines seront incluses dans l'Atlas du Canada, initialement à l'échelle nationale.

L'Atlas national des eaux : L'Atlas du Canada fait équipe avec Environnement Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada, de même qu'avec Statistique Canada, pour créer un Atlas national des eaux, accessible par le Web, qui donnera une image à jour et fiable des eaux canadiennes à l'échelle nationale. Ces cartes auront pour but de fournir un aperçu scientifique et général de la qualité et de la quantité de l'eau au Canada. Selon le projet initial, cet atlas devrait être prêt en 2010 et sera hébergé par l'Atlas du Canada.

POINTS SAILLANTS

Connaissances scientifiques pour une gestion durable des eaux souterraines

- Quatre composantes d'étude, utilisées de manière intégrée, peuvent éclairer les décisions quant à une utilisation durable de l'eau souterraine : (1) une base de données complète sur les eaux; (2) une compréhension du cadre géologique; (3) une description quantitative du régime hydrogéologique; (4) un modèle approprié de l'écoulement des eaux souterraines.
- Des études hydrogéologiques, notamment la cartographie et la caractérisation des aquifères, constituent un moyen efficace d'intégrer la question des eaux souterraines au processus d'aménagement foncier, à condition évidemment que les études sur les eaux souterraines précèdent cet aménagement.

Modélisation des eaux souterraines

- Dans la plupart des provinces, l'application des modèles par les organismes de réglementation ne repose pas sur les développements les plus récents dans ce domaine. Par conséquent, alors que les autorités gouvernementales adoptent maintenant des stratégies durables de répartition de l'utilisation des eaux souterraines, elles doivent aussi améliorer leur capacité à utiliser des modèles hydrogéologiques de pointe pour la gestion à l'échelle des bassins hydrographiques.
- Pour être pleinement efficaces, les modèles numériques des eaux souterraines doivent fournir aux décideurs des intrants hydrogéologiques solides, ainsi qu'une documentation transparente qui mette en évidence les points forts comme les points faibles des modèles. En particulier, il est impératif que les auteurs des modèles expliquent aux décideurs les incertitudes liées aux résultats obtenus.
- L'élaboration d'un modèle doit être considérée comme un processus en constante évolution. À mesure que le nombre de données recueillies sur le terrain augmente, il faut périodiquement ajuster et caler à nouveau le modèle. Une telle approche de « modèle évolutif » convient bien à une philosophie de gestion adaptative.

État des connaissances

- Des modèles qui intègrent l'atmosphère, la surface du sol, l'hydrologie et les eaux souterraines doivent être développés pour permettre une meilleure évaluation des effets de modifications de l'utilisation des sols ainsi que des changements et variations climatiques.
- Les modèles qui tiennent compte des liens entre l'activité économique et les eaux souterraines sont rares et ont tendance à porter principalement sur l'utilisation de l'eau souterraine dans le secteur agricole.
- À l'heure actuelle, une grande partie de la recherche hydrogéologique au Canada met l'accent sur la qualité de l'eau souterraine, mais le développement durable, les liens étroits entre les eaux souterraines et les eaux de surface, ainsi que la caractérisation des aquifères, font l'objet de plus en plus d'attention.

Cartographie et caractérisation des aquifères

- La dernière évaluation exhaustive des ressources du Canada en eau souterraine a été publiée en 1967. Le Programme de cartographie des eaux souterraines dirigé par la CGC a entrepris d'évaluer 30 aquifères régionaux importants; seulement 9 évaluations sont terminées. Au rythme actuel, il faudra encore près de 20 ans pour compléter la cartographie des eaux souterraines. Étant donné l'importance de meilleures connaissances hydrogéologiques pour alimenter les modèles et améliorer de manière générale la gestion des eaux souterraines, il faut accélérer la cartographie des aquifères.

Surveillance de la qualité de l'eau souterraine

- Les exigences et le degré de surveillance de la qualité de l'eau souterraine varient considérablement d'une région à l'autre du pays. Des initiatives spécifiques de surveillance peuvent coûter très cher sans procurer de bénéfices directs correspondants. Il est préférable que chaque province et les autorités locales élaborent au cas par cas des programmes de surveillance de la qualité de l'eau, même si une coordination des efforts à un certain nombre d'endroits est nécessaire pour connaître les tendances à l'échelle du pays ou de grandes régions.

Acquisition et intégration de données sur les eaux souterraines

- D'une manière générale, les ressources affectées à la collecte systématique de données sur l'eau sont insuffisantes pour suivre la demande en matière d'aménagement foncier et elles ont même diminué dans certains cas depuis 20 ans. De plus, il y a eu peu d'efforts systématiques pour rassembler les données sur les eaux souterraines dans un système pancanadien facilement accessible de gestion de l'information. L'acquisition, la mise à jour et la gestion des données sur les eaux souterraines, ainsi que la facilité d'accès à ces données, devraient constituer une priorité dans tout le pays.
- Les méthodes adoptées aux États-Unis et dans d'autres pays pour aborder la fragmentation intrinsèque de la gestion des données et de l'information sur les eaux souterraines (par exemple, le *National Water Information System* de la Commission géologique des États-Unis) pourraient inspirer le Canada.

5 La gestion des eaux souterraines et la prise de décision

Ce chapitre aborde principalement les deux derniers objectifs d'une gestion durable des eaux souterraines : parvenir à un bien-être socio-économique, et appliquer les principes de bonne gouvernance. Une description de la répartition des compétences au Canada situe le contexte de ces objectifs. La section 5.2 présente des questions liées à la bonne gouvernance des eaux souterraines, principalement par des exemples et une discussion des pratiques provinciales et locales actuelles, dont les aspects techniques et législatifs des normes en matière d'eau potable. L'objectif de bien-être socio-économique est abordé à la section 5.3, qui insiste sur l'utilisation accrue d'instruments économiques comme moyen d'encourager une utilisation durable des eaux souterraines au Canada.

5.1 LES COMPÉTENCES EN MATIÈRE D'EAU SOUTERRAINE AU CANADA

La Constitution canadienne répartit entre les gouvernements fédéral et provinciaux les pouvoirs législatifs et les droits de propriété et de gestion. La Constitution ne mentionne pas spécifiquement l'eau comme relevant de l'un ou l'autre ordre de gouvernement. Les provinces exercent la compétence principale en la matière de par leur droit de propriété des terres publiques.

Le rôle prépondérant des provinces

Les pouvoirs législatifs issus de la Constitution confèrent aux provinces la responsabilité principale de la gestion de l'eau, et notamment l'autorité de réglementer :

- la gestion et la vente de terres publiques;
- la propriété et les droits civils;
- les travaux et entreprises de nature locale;
- les institutions municipales;
- de manière générale toutes les questions de nature locale ou privée.

À titre de principales responsables de la réglementation en matière d'eau souterraine, les provinces cartographient et surveillent la ressource, en évaluent la recharge et l'émergence ainsi que le débit d'exploitation durable, élaborent et mettent à jour des modèles, évaluent les impacts des prélèvements d'eau souterraine sur les débits et sur les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface, recueillent et compilent des données sur les eaux souterraines et assurent de manière générale la gestion des ressources en eau souterraine. La réglementation provinciale établit également les normes de construction et de fermeture des puits, ainsi que les systèmes d'émission de permis ou d'agrément pour les foreurs de puits, et spécifie les exigences relatives aux tests et aux analyses chimiques de l'eau des puits nouveaux et modifiés.

Pour accomplir ces fonctions essentielles, chaque province consacre du personnel et des ressources à la gestion des eaux souterraines. Les provinces ont des approches différentes de leurs responsabilités de gestion, et les cadres législatifs des provinces varient en conséquence (Nowlan, 2005). À titre d'exemple, l'approche du Nouveau-Brunswick est généralement considérée comme couronnée de succès. Le *Décret de désignation du secteur protégé du champ de captage du Nouveau-Brunswick* donne aux organismes de réglementation l'autorité de désigner et de protéger la totalité de la zone de recharge associée à une aire de captage en délimitant trois sous-zones. Chacune de ces sous-zones comporte des restrictions précises sur les activités d'utilisation des sols pour tenir compte des différences entre les contaminants présents dans l'environnement quant à leur persistance, à leur vitesse de déplacement et à la gravité des risques qu'ils représentent pour la santé. Des approches similaires sont adoptées dans d'autres provinces. La Saskatchewan a recours à des plans de gestion des aquifères. Depuis 2006, l'Ontario exige des plans de protection des sources d'eau potable, et le Québec protège les bassins hydrogéologiques en vertu de son *Règlement sur le captage des eaux souterraines*.

Le rôle important du gouvernement fédéral

Le gouvernement fédéral possède un pouvoir législatif et des droits de propriété qui lui permettent de gérer les eaux souterraines sur les terres fédérales, dont les parcs nationaux et les bases militaires. Les principales compétences constitutionnelles du gouvernement fédéral en matière d'eau, qui ne sont toutefois pas toujours pertinentes dans le cas des eaux souterraines, comprennent :

- les eaux limitrophes et transfrontalières Canada–États-Unis;
- les pêches sur le littoral maritime et les pêches côtières et dans les eaux continentales (y compris l'habitat des poissons);
- les cours d'eau interprovinciaux (compétence partagée avec les provinces);
- les « travaux et entreprises » de nature internationale ou interprovinciale (les tribunaux ont établi que cela comprend les pipelines);
- les travaux et entreprises du gouvernement fédéral;
- les améliorations aux canaux, aux ports, aux fleuves et rivières, de même qu'aux lacs;
- les parcs nationaux;
- les Autochtones et les terres réservées aux Indiens. (La population autochtone du Canada va bien au-delà de celle qui fait l'objet de la *Loi sur les Indiens* et comprend les Inuits, les Indiens sans statut, les Métis, ainsi que les personnes ayant le statut d'Indien et qui ne vivent pas dans une réserve. Dans le cas de ces divers groupes, le gouvernement fédéral n'a aucune responsabilité formelle en ce qui concerne l'eau.)

Le Parlement fédéral a en outre des pouvoirs étendus en matière d'environnement issus de sa responsabilité constitutionnelle d'assurer « la paix, l'ordre et le bon gouvernement » du Canada : le droit criminel, qui peut être invoqué pour protéger

la sécurité et la santé publiques; le pouvoir de négocier et d'appliquer des traités internationaux³⁰, mais seulement si l'objet du traité relève de la compétence fédérale; et le pouvoir de dépenser, peut-être le plus pertinent dans le cas de l'eau.

Accords avec les États-Unis à propos de l'eau : Les eaux limitrophes font l'objet du *Traité des eaux limitrophes internationales* conclu en 1909 avec les États-Unis, l'un des plus anciens traités du Canada en matière de ressources³¹. Parmi plusieurs dispositions, le traité stipule l'obligation de ne pas causer de pollution qui pourrait nuire à la santé ou à la propriété dans les eaux limitrophes de l'autre partie. La portée du traité est limitée aux lacs et rivières le long de la frontière Canada-États-Unis et exclut de ce fait les eaux souterraines. L'institution qui met en œuvre ce traité est la Commission mixte internationale (CMI). Même si son travail porte traditionnellement surtout sur les eaux de surface, elle a également eu à s'intéresser aux eaux souterraines dans le cadre de sa mission. La CMI a recommandé que les gouvernements du Canada et des États-Unis adoptent une approche écosystémique de la gestion des bassins versants internationaux Canada-États-Unis et qu'ils créent notamment des conseils conjoints de bassins versants, ce qui pourrait, présume-t-on, toucher la gestion des eaux souterraines.

Les autres accords entre le Canada et les États-Unis à propos de l'eau comprennent le *Traité du fleuve Columbia* de 1971, l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, conclu en 1972, et un nombre remarquablement élevé d'autres accords officiels et informels, conclus pour la plupart dans le cadre du *Traité des eaux limitrophes internationales*. En ce qui concerne les Grands Lacs, les huit États qui bordent les lacs ainsi que l'Ontario et le Québec ont conclu en décembre 2005 une entente qui a été approuvée par toutes les autorités compétentes, y compris le Congrès des États-Unis.

Cet accord vise à limiter et à réglementer les transferts d'eau vers l'extérieur du bassin des Grands Lacs et touchera les eaux souterraines de ce bassin. L'Ontario a récemment adopté la *Loi sur la sauvegarde et la durabilité des eaux de l'Ontario* (Gouvernement de l'Ontario, 2007), qui vise à mettre en œuvre les dispositions de l'entente de 2005. Une étude de cas sur les eaux souterraines du bassin des Grands Lacs est présentée au chapitre 6.

30 Le gouvernement fédéral a également le pouvoir constitutionnel d'appliquer les traités impériaux, c'est-à-dire les traités conclus à l'origine par la Grande-Bretagne au nom du Canada. Le *Traité des eaux limitrophes internationales* constitue l'exemple le plus important de ce type de traité en ce qui concerne l'eau.

31 Les eaux limitrophes sont les plans d'eau, tels que les Grands Lacs, qui font partie de la frontière internationale. Pour les fins de ce traité, les eaux limitrophes sont définies comme les eaux de terre ferme à terre ferme des lacs, fleuves et rivières et des voies d'eau qui les relient — ou les parties de ces eaux — que longe la frontière internationale entre les États-Unis et le Dominion du Canada, y compris les baies, les bras et les anses qu'elles forment. Sont toutefois exclues de la présente définition les eaux des affluents qui, dans leur cours naturel, se verseraient dans ces lacs, fleuves, rivières et voies d'eau, les eaux coulant de ces lacs, fleuves, rivières et voies d'eau, ainsi que les eaux des fleuves et rivières traversant la frontière.

Encadré 5.1 : La Directive-cadre dans le domaine de l'eau de l'Union européenne

La *Directive-cadre dans le domaine de l'eau* (DCDE) a été adoptée en octobre 2000 et a pour but d'orienter les actions nationales visant à restaurer la qualité de l'eau et à la gérer de manière durable (UE, 2000). Les principaux thèmes de la DCDE sont une action à l'échelle des bassins hydrographiques, qui requiert la collaboration des États partageant un même bassin, et l'accent mis sur la qualité de l'eau, les États devant évaluer et accorder une cote de qualité à l'eau des divers bassins hydrographiques et faire en sorte que l'eau ait la cote « bonne » d'ici 2015.

En mettant l'accent sur les bassins hydrographiques, la DCDE prévoit pour la première fois à l'échelle européenne une gestion intégrée des eaux souterraines et des eaux de surface. De plus, la directive fait spécifiquement mention de la quantité d'eau souterraine, en limitant les prélèvements à la partie de la recharge totale qui n'est pas nécessaire à l'écologie du bassin versant.

Pour ce qui est de la qualité, la directive adopte une « approche de précaution » : elle interdit tout déversement direct de contaminants dans les eaux souterraines et exige un suivi afin de documenter les déversements indirects possibles. Cette approche est fondée sur la prémisse suivante : les réserves d'eau souterraine ne devraient pas être polluées du tout. On note que les nitrates et les pesticides, dont les sources sont diffuses, sont contrôlés par des normes de qualité chimique.

D'autres lignes directrices ont été émises en 2006 dans une directive sur les eaux souterraines, qui impose entre autres aux États membres :

- de définir et de catégoriser à l'intérieur des bassins hydrographiques des masses d'eau souterraine en fonction des pressions et des impacts de l'activité humaine sur la qualité de l'eau souterraine (cela a été terminé en 2004 et 2005);
- de dresser des registres des aires protégées à l'intérieur des bassins hydrographiques pour les habitats des eaux souterraines et les espèces qui dépendent directement de l'eau (ces registres doivent inclure toutes les masses d'eau utilisées pour le captage d'eau potable ainsi que toutes les aires protégées);
- de mettre sur pied des réseaux de surveillance des eaux souterraines en fonction des résultats des analyses de classification, de manière à donner une vue d'ensemble complète de la quantité et de l'état chimique des eaux souterraines;
- de définir pour chaque bassin hydrographique un plan de gestion comprenant un sommaire des pressions et des impacts de l'activité humaine sur l'état des eaux souterraines, un suivi des résultats, une analyse économique de l'utilisation de l'eau, un programme de protection ainsi que des mesures de contrôle ou de réhabilitation;

- de tenir compte au plus tard en 2010 du principe de recouvrement des coûts pour les services d'eau, y compris les coûts de la ressource et les coûts environnementaux, conformément au principe du « pollueur payeur »;
- de mettre sur pied d'ici la fin de 2009 un ensemble de mesures visant l'atteinte des objectifs environnementaux de la DCDE – à savoir des mesures de contrôle des prélèvements et de la pollution qui devront être opérationnelles d'ici la fin de 2012.

Accords multinationaux : Les règles nationales sont influencées par le droit international. Par exemple, les traités internationaux sur la biodiversité et les changements climatiques ont des effets sur les responsabilités du Canada en matière de gestion de l'eau douce. Le comité de rédaction de la Commission du droit international des Nations Unies a proposé récemment des règles concernant les aquifères transfrontaliers, mais ces règles ne sont pas juridiquement contraignantes³². Le Canada a en outre conclu d'importants accords de libre échange qui pourraient avoir des conséquences sur la gestion de l'eau; cette question n'est toutefois pas résolue³³.

Dans certaines parties du monde, on a pu parvenir à une certaine coordination de la gestion malgré des problèmes complexes de juridiction. Un exemple digne de mention est celui de la *Directive-cadre dans le domaine de l'eau* de l'Union européenne (encadré 5.1).

Compétence partagée sur l'eau

En vertu de la Constitution canadienne, la gestion de l'eau liée à l'agriculture est officiellement un domaine à compétence partagée entre les gouvernements fédéral et provinciaux. En pratique, ces deux ordres de gouvernement ont également des compétences partagées en matière notamment de santé et de questions inter-provinciales à propos de l'eau.

La *Loi sur les ressources en eau du Canada* (Gouvernement du Canada, 1985b), adoptée à l'origine en 1970, mais rarement invoquée au cours des dernières années, permet

32 Le projet de loi sur les aquifères transfrontaliers soumis par la Commission a été adopté en première lecture en 2006 et a été soumis le premier janvier 2008 aux gouvernements, qui sont invités à faire part de leurs commentaires et observations (Nations Unies, 2008).

33 Voir Joseph Cumming, *NAFTA Chapter XI and Canada's environmental sovereignty : investment flows, article 1110 and Alberta's Water Act* (Cumming et Forochlich, 2007). Cet article aborde les effets possibles du chapitre XI de l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) sur la capacité du Canada de protéger effectivement ses ressources naturelles par la réglementation. Plus précisément, l'article présente une étude de cas à propos de la loi albertaine sur l'eau et la manière dont l'article 1110 de l'ALENA pourrait nuire aux objectifs de cette loi.

au gouvernement fédéral de conclure avec les provinces et territoires des accords portant sur la réalisation d'études exhaustives de bassins fluviaux, sur la collecte de données et l'établissement d'inventaires, ainsi que sur la désignation d'organismes de gestion de la qualité de l'eau. Cette loi donne en outre au gouvernement fédéral le pouvoir d'agir unilatéralement, pouvoir qu'il n'a pas exercé jusqu'à ce jour. Les autres lois fédérales qui se rapportent aux eaux souterraines sont : la *Loi sur les pêches* (Gouvernement du Canada, 1985c), qui interdit d'endommager les habitats des poissons et de déposer des substances délétères dans des eaux poissonneuses et qui peut contribuer à protéger les eaux souterraines essentielles à l'habitat des poissons; la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (Gouvernement du Canada, 1999), qui régit les substances toxiques et vise à prévenir la pollution; la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (Gouvernement du Canada, 1992); la *Loi sur les espèces en péril* (Gouvernement du Canada, 2002).

Dans la *Politique fédérale relative aux eaux* énoncée en 1987 (Environnement Canada, 1987), le gouvernement du Canada s'est engagé entre autres à élaborer des lignes directrices nationales d'évaluation et de protection des eaux souterraines et à prendre des mesures pour assurer une qualité appropriée des eaux souterraines transfrontalières. Cette politique énonce la philosophie et les objectifs du gouvernement fédéral sur la manière dont les eaux devraient être gérées au Canada, dans le meilleur intérêt des Canadiens, maintenant et dans l'avenir, dans le cadre d'une approche de gestion conjointe avec les provinces. Cette politique est restée en grande partie inappliquée et demeure dans le domaine public uniquement à des fins d'information (encadré 5.2).

Réglementation municipale

Les pouvoirs des municipalités leur sont délégués par les provinces. Ils comprennent en général l'aménagement foncier et la réglementation environnementale locale. Un jugement rendu en 2001 par la Cour suprême du Canada affirmait le droit des municipalités de passer des règlements afin de protéger la santé de leurs citoyens et l'environnement (CSC, 2001). Les gouvernements locaux fournissent l'eau aux utilisateurs des systèmes d'aqueduc. Ils n'émettent pas de permis de prélèvement ou d'allocation d'eau. De fait, les gouvernements locaux doivent obtenir de la Province un permis de prélèvement pour alimenter leurs propres systèmes d'aqueduc. Les gouvernements locaux sont directement concernés par la gestion des eaux souterraines lorsque celles-ci constituent une source d'approvisionnement en eau municipale, et indirectement dans le cas de décisions d'aménagement foncier qui pourraient entraîner une contamination des eaux souterraines.

Les provinces ont de plus en plus tendance à déléguer la gestion des eaux souterraines aux gouvernements locaux et à des organismes ayant de multiples parties prenantes. Cette approche est susceptible de fonctionner le mieux là où les

Encadré 5.2 : La Politique fédérale relative aux eaux formulée en 1987

La *Politique fédérale relative aux eaux* a été formulée dans la foulée d'une enquête publique sur la gestion de l'eau, dirigée par Peter Pearse, professeur à l'Université de Colombie-Britannique. L'« enquête Pearse » a marqué un changement d'orientation des politiques sur l'eau au Canada (qui s'est également produit dans de nombreux autres pays) : de moyens de développement économique, elles sont devenues des instruments d'une gestion efficace à long terme de la ressource elle-même.

Dans le cadre d'une approche de gestion conjointe et de collaboration avec les provinces, la politique avait les deux buts suivants : (1) préserver et améliorer la qualité des eaux; (2) encourager la gestion et l'utilisation rationnelles et efficaces de la ressource. Cinq stratégies ont été recommandées afin d'atteindre ces buts :

- une tarification des services d'eau reflétant la pleine valeur de la ressource et servant de moyen de contrôle de la demande;
- un rôle de direction scientifique pour promouvoir la recherche sur les problèmes actuels et nouveaux et pour développer les structures de données afin d'améliorer la base de connaissances à la disposition des décideurs;
- une planification intégrée à l'échelle des bassins hydrographiques, qui constitue la meilleure échelle de gestion et celle qui favorise le mieux la collaboration entre les ordres de gouvernement fédéral, provincial et municipal;
- le renouvellement de la législation afin de répondre aux défis relatifs à l'eau, dont les problèmes liés au partage des compétences et au contrôle des produits toxiques dans le cycle de l'eau;
- des programmes de sensibilisation du public, afin de faire connaître aux Canadiens les pressions que subissent leurs ressources en eau (et leurs conséquences pour eux-mêmes), afin de susciter l'intérêt envers l'adoption de politiques.

Les diverses politiques énoncées ont couvert les nombreuses facettes de l'utilisation et de la valeur de l'eau, entre autres la contamination des eaux souterraines, la salubrité de l'eau potable, les changements climatiques, ainsi que les besoins en matière de données et d'information.

Dans son rapport de 2005, la commissaire à l'environnement et au développement durable a reproché au gouvernement une « politique fédérale stagnante » en ce qui concerne l'eau (CEDD, 2005).

provinces s'assurent que cette délégation de responsabilité est soutenue par des ressources financières et humaines suffisantes, ainsi que par l'obligation d'adopter les mesures voulues et de rendre compte des progrès accomplis.

Le comité est d'avis que la gestion des eaux souterraines et l'aménagement foncier devraient être entièrement intégrés. On commence à voir une certaine intégration avec la délimitation des aires d'alimentation de protection des ouvrages de captage. À une échelle plus vaste, on fait de plus en plus appel à des cartes de vulnérabilité des aquifères pour guider les décisions des municipalités en matière d'utilisation du sol. L'intégration est encore toutefois souvent incomplète, à cause des facteurs suivants :

- des données inadéquates pour évaluer les effets de modifications de l'aménagement foncier sur la recharge et le ruissellement;
- la faible capacité des gouvernements municipaux d'appliquer effectivement les politiques provinciales lors de l'approbation de modifications de l'aménagement foncier;
- le peu d'application des pratiques exemplaires de gestion recommandées, ou même obligatoires, lors de l'approbation d'une modification de l'aménagement foncier ou dans la gestion du territoire agricole;
- l'existence de pressions politiques locales en vue de faciliter l'approbation de modifications de l'aménagement foncier qui ont des incidences sur la fiscalité.

Droits des Autochtones et traités relatifs à l'eau

Même s'il n'y a aucune disposition juridique spécifique concernant les droits d'utilisation de l'eau par les Autochtones, on peut raisonnablement supposer l'existence d'un droit d'utiliser l'eau pour des fins traditionnelles telles que la pêche et le transport (Bartlett, 1988). Les gouvernements tant fédéral que provinciaux ont le devoir de consulter les groupes autochtones lorsque des décisions relatives aux ressources et à l'aménagement du territoire peuvent toucher leurs droits. L'approvisionnement des collectivités autochtones en eau potable propre est au Canada un problème constant que ces collectivités et le gouvernement fédéral tentent de résoudre. (Des chiffres exacts sur le nombre de collectivités autochtones qui dépendent des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau potable ne sont pas disponibles.)

Même si un certain nombre de lois fédérales régissent l'eau et les eaux usées dans les réserves, aucune loi ne régleme entièrement ces questions. Dans un rapport publié en 2006, le Groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations a noté « l'inconvénient considérable » de la mosaïque de lois fédérales et fait ressortir les nombreux avantages d'une nouvelle législation fédérale en la matière : progrès vers l'autonomie gouvernementale, meilleure capacité des Premières Nations à traiter les problèmes relatifs à l'eau, normes uniformes pour toutes les Premières Nations, responsabilité accrue (Gouvernement du Canada, 2006a; Gouvernement du Canada, 2006b).

La compétence juridique en matière d'eaux souterraines est également compliquée par les questions en suspens en rapport avec l'eau et les Autochtones, qui comprennent des droits juridiquement reconnus, par exemple en vertu de traités, et des revendications non résolues relatives aux droits et titres ancestraux³⁴. Des jugements récents de la Cour suprême du Canada (CSC) ont affirmé l'influence significative que les peuples autochtones ont le droit d'exercer sur les processus de réglementation environnementale, ainsi qu'une nouvelle convergence des lois environnementales et de celles qui concernent les Autochtones (Cassidy et Findlay, 2007). Les causes de la nation haïda (CSC, 2004a) et de Taku River (CSC, 2004b) ont toutes deux eu leur origine dans le contexte des règlements environnementaux concernant la forêt, les mines et les évaluations environnementales. Dans deux jugements rendus simultanément en 2004, la CSC a affirmé que le gouvernement avait l'obligation de consultation des Autochtones et d'accommodement à leurs intérêts avant que leurs droits et titres ancestraux ne soient déterminés de manière définitive. Plus tard, dans une cause concernant les Cris et le traité de Mikisew, la Cour a affirmé que l'obligation de consultation et d'accommodement aux intérêts des Autochtones s'appliquent également dans le contexte d'un traité (CSC, 2005).

Fragmentation des compétences et mécanismes de coordination

Les différentes sphères de responsabilité de la gestion des eaux souterraines se recoupent et entrent donc parfois en conflit. Ce n'est pas tant la complexité qui pose problème, mais plutôt la fragmentation, souvent à l'intérieur d'une même autorité et avec un manque de coordination. Par exemple, les permis accordés par des organismes provinciaux de réglementation peuvent entraîner une diminution de l'écoulement de base des cours d'eau, qui est crucial pour l'habitat des poissons et de maintien de la biodiversité, deux domaines de compétence fédérale (Saunders et Wenig, 2006). Un autre exemple est le problème qui survient lorsque des eaux souterraines gérées à l'échelon provincial ne respectent pas les directives de salubrité de l'eau potable, ce qui affecte la capacité des municipalités d'utiliser les eaux souterraines comme source d'approvisionnement municipal en eau. Le problème se complique davantage lorsque les eaux souterraines traversent la frontière Canada-États-Unis, avec des conséquences pour les consommateurs et les agriculteurs américains, comme dans le cas de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas présenté au chapitre 6. Résoudre ces chevauchements et conflits est un préalable essentiel à une gestion durable des eaux souterraines.

Les mécanismes de coordination qui font intervenir les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux en ce qui concerne les eaux souterraines comprennent :

³⁴ Les droits ancestraux sont les droits que possèdent les peuples autochtones en rapport avec des activités qui constituent des éléments d'une pratique, coutume ou tradition qui fait partie intégrante de la culture distinctive de ces peuples. Un titre ancestral est un droit ancestral distinct à la terre.

le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), qui prépare une initiative concernant les eaux souterraines, le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, qui établit les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, et les ententes fédérales-provinciales-territoriales de collaboration en matière d'évaluation environnementale. Une coordination est également nécessaire avec les gouvernements locaux, les utilisateurs de l'eau, ainsi que les groupes communautaires et environnementaux.

Les accords interprovinciaux de coordination relatifs à l'eau qui font intervenir le gouvernement fédéral comprennent les accords relatifs à la Régie des eaux des provinces des Prairies (REPP, 2006), l'Entente-cadre sur les eaux du bassin du Mackenzie (MRBB, 1997) et l'accord Canada-Ontario concernant l'écosystème du bassin des Grands Lacs (Accord Canada-Ontario, 2007). La coordination fait également intervenir les peuples autochtones, puisque les droits ancestraux à l'eau sont complexes et contestés et qu'ils constituent une question non encore résolue ayant plusieurs incidences sur la gouvernance et la gestion de l'eau (Woodward, 1994).

Au cours des dernières années, on a vu apparaître des groupes de travail qui transcendent les ordres de gouvernement fédéral, provincial et municipal en vue de stratégies coordonnées en matière d'eau souterraine. En 2003, un Comité *ad hoc* national sur l'eau souterraine, formé d'intervenants du gouvernement fédéral, de plusieurs organismes provinciaux responsables des eaux souterraines (certaines provinces n'étaient pas représentées), ainsi que de quelques représentants du milieu universitaire et du secteur privé, a rédigé un document intitulé *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine* (RNC, 2003). Ce travail visait à rassembler de l'information et des connaissances sur les eaux souterraines, à améliorer la collaboration entre les divers organismes et agences, à établir des liens entre systèmes d'information sur les eaux souterraines et à fournir une base de ressources accessible à tous les ordres de gouvernement en vue de l'élaboration d'une politique de gestion des eaux souterraines. Certaines des collaborations préconisées dans le rapport sont en marche; d'autres ont été plus lentes à démarrer. Une rencontre des hydrogéologues du gouvernement canadien, tenue en octobre 2007 sous les auspices de la section canadienne de l'Association internationale des hydrogéologues, est une autre indication d'une nouvelle collaboration, mais il faut répartir plus clairement, et officiellement, les tâches entre les ordres de gouvernement.

Il faut également une coordination de la gestion des eaux souterraines avec les gouvernements locaux, car de nombreuses provinces délèguent à des gouvernements municipaux, ou à des organismes de gouvernance qui réunissent plusieurs autorités, des responsabilités croissantes en matière de gestion de l'eau comme la planification à l'échelle des bassins versants. Mentionnons comme exemples de tels organismes les conseils consultatifs et de planification des bassins versants de l'Alberta,

les comités de protection des sources d'eau potable dans le cadre de la *Loi sur l'eau saine* en Ontario, de même que les organisations de bassin versant du Québec (Nowlan et Bakker, 2007).

Le degré d'autorité délégué en matière de prise de décision varie selon les organismes. La plupart ont un rôle consultatif plutôt que réglementaire. La délégation peut être justifiée sur la base du principe de subsidiarité, endossé par la Cour suprême du Canada, selon lequel *« le niveau de gouvernement le mieux placé pour adopter et mettre en œuvre des législations soit celui qui est le plus apte à le faire, non seulement sur le plan de l'efficacité mais également parce qu'il est le plus proche des citoyens touchés et, par conséquent, le plus sensible à leurs besoins, aux particularités locales et à la diversité de la population »* (CSC, 2001).

Les chevauchements de compétences peuvent devenir un défi plus important pour la gestion des eaux de surface et des eaux souterraines, du fait de l'intérêt croissant envers une approche de planification fondée sur les bassins hydrographiques. La mise en œuvre d'initiatives durables en matière d'eaux souterraines exigera dans l'avenir une coordination encore plus grande pour surmonter les divisions administratives entre les institutions canadiennes de gestion des ressources en eau. De telles divisions sont courantes entre les organismes qui s'occupent de la quantité d'eau et celles qui sont chargées de la qualité de l'eau, entre les experts des eaux souterraines et les experts des eaux de surface, ainsi qu'entre les responsables scientifiques et politiques.

5.2 GOUVERNANCE ET GESTION DES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA

Certaines utilisations des eaux souterraines ne font l'objet d'aucune réglementation. Par exemple, l'utilisation privée à des fins domestiques est généralement exemptée de l'obligation de détenir un permis provincial, et la plupart des provinces n'exigent pas de permis si la quantité d'eau utilisée est inférieure à un certain seuil. (Le seuil en question varie considérablement d'une province à l'autre.) Les puits situés sur des terres privées ne sont généralement pas réglementés après leur mise en service. Les petites installations septiques font l'objet d'une réglementation locale au moment de leur installation, mais ne sont soumises qu'à une surveillance limitée par la suite. Les terres (réserves des Premières Nations³⁵, parcs nationaux, bases militaires, prisons) et organisations (lignes aériennes, banques et chemins de fer) qui relèvent du gouvernement fédéral ne font l'objet d'aucune réglementation spécifique relative à l'eau.

35 Dans un récent rapport, le Groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations a étudié les possibilités de réglementation concernant la salubrité de l'eau potable dans les réserves et a recommandé trois options possibles (Groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations, 2006a).

Instruments politiques d'une gestion durable

Un certain nombre d'instruments politiques aident à atteindre les objectifs de gestion durable des eaux souterraines. Les règlements sur la répartition des eaux souterraines et la prévention de la contamination font partie de ces instruments, mais ils varient grandement d'une province à l'autre. Des outils économiques, également créés par voie de règlement, cherchent à façonner l'environnement économique dans lequel les utilisateurs prennent des décisions quant à leur utilisation de l'eau et à leurs rejets. On peut également recourir à des moyens juridiques pour protéger l'environnement. Les codes volontaires de bonne pratique et les normes non contraignantes, dont les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, constituent une autre catégorie d'outils. Les déchets agricoles et la construction de puits peuvent être régis par des codes de bonne pratique ou des règlements dans diverses régions du Canada.

Les efforts pour réglementer la répartition de l'eau souterraine et la prévention de la contamination sont mis à mal par le manque d'information. Les prélèvements privés d'eau souterraine sont rarement mesurés, et les effets de ces prélèvements sur les niveaux et la qualité de l'eau souterraine peuvent ne pas être bien compris. Comme le disait un analyste, « *très peu de produits de base (sinon aucun) ne possèdent autant de caractéristiques idiosyncrasiques que l'eau souterraine* » (traduit de Kondouri, 2004). Peut-être pour cette raison, les politiques et règlements concernant l'eau portent généralement sur la *quantité* d'eau utilisée ou sur la *qualité* de l'eau, mais rarement les deux à la fois. Malheureusement, les publications de recherche reflètent en grande partie cette séparation artificielle. Les politiques qui visent à influencer l'allocation de quantités précises d'eau font l'objet d'une réflexion distincte de celles qui visent à atteindre un niveau donné de qualité de l'eau ou de celles qui cherchent à répondre aux modifications de la qualité de l'eau souterraine dues à des prélèvements excessifs. Comme l'énonce le cadre des cinq objectifs présenté au chapitre 2, une gestion durable de l'eau doit logiquement porter à la fois sur la quantité et sur la qualité. Ces deux aspects sont cependant traités séparément dans le contexte juridique : les lois sur l'eau régissent l'accès, la répartition et la quantité de l'eau, alors que la qualité de l'eau relève de lois sur la santé et l'environnement, ainsi que de lois sectorielles.

Aperçu des réglementations provinciales en matière d'eaux souterraines

Toutes les provinces gèrent les eaux souterraines par des règlements concernant la construction, le maintien et la désaffectation de puits, ainsi que par des exigences de permis et d'enregistrement des foreurs de puits. De nombreuses lois provinciales stipulent que les eaux souterraines sont incluses dans les plans de gestion de l'eau ou des bassins hydrographiques, mais à des degrés divers selon la province. L'Ontario a adopté en octobre 2006 une *Loi sur l'eau saine* (Gouvernement de l'Ontario, 2006) qui devrait avoir des conséquences positives pour la protection des eaux souterraines.

Cette loi vise à protéger les sources existantes et futures d'eau potable par : (1) l'évaluation des menaces à la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine dans les zones vulnérables; (2) la formation de comités multipartites de protection des sources d'eau, chargés d'élaborer des plans de protection afin de répondre à ces menaces; (3) l'adoption et la mise en œuvre par les municipalités de plans approuvés par le ministre de l'Environnement de l'Ontario. Ces plans peuvent supplanter en cas de désaccord les plans officiels et règlements de zonage municipaux. Par contre, le plan albertain de gestion du bassin de la rivière Saskatchewan Sud, approuvé en 2006, exclut du processus de planification les eaux souterraines non hydrauliquement reliées aux eaux de surface pertinentes (Ministère de l'environnement de l'Alberta, 2006).

En plus de lois portant explicitement sur l'eau, un large éventail de lois provinciales sur la santé, le développement de sources d'énergie, ainsi que la prévention et le contrôle de la pollution, servent à réglementer le captage, la répartition, la protection et l'utilisation d'eau souterraine. Une étude menée en Colombie-Britannique a recensé 39 lois provinciales touchant la planification des bassins versants (WCEL, 2004). Quelques provinces ont adopté des lois spécifiques qui imposent un régime particulier de gestion du sol dans des zones désignées d'intérêt particulier en ce qui concerne les eaux souterraines. Ce fut le cas pour la moraine d'Oak Ridges, en Ontario (voir le chapitre 6).

De nombreuses provinces exigent une évaluation environnementale de projets qui ont des conséquences significatives sur les eaux souterraines, et les procédures prévoient toujours la participation du public. Le gouvernement fédéral exige également de telles évaluations. Par exemple, un projet exige une évaluation complète en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (Gouvernement du Canada, 1992) s'il porte sur « un projet de construction, de désaffectation ou de fermeture d'une installation destinée à extraire 200 000 m³/a ou plus d'eau souterraine, ou projet d'agrandissement d'une telle installation qui entraînerait une augmentation de la capacité de production de plus de 35 % » ou si un organisme fédéral est partie prenante. Les projets qui atteignent les seuils fédéral et provincial sont soumis à une évaluation conjointe. Même s'il n'y a pas d'évaluation environnementale formelle, plusieurs provinces et territoires exigent des demandeurs de permis qu'ils informent le public de leur demande et qu'ils mènent une consultation publique³⁶.

36 De nombreuses provinces possèdent une entité administrative qui reçoit les appels de demandes de licence ou de permis, par exemple le Tribunal de l'environnement en Ontario, des commissions d'appel en matière d'environnement en Colombie-Britannique et en Alberta, ainsi que le Tribunal administratif du Québec. D'autres tribunaux administratifs prennent aussi des décisions sur des questions importantes concernant les eaux souterraines. Par exemple, en Alberta, le Conseil de l'énergie et des services publics joue un rôle central dans l'approbation de projets qui ont des impacts sur les eaux souterraines et les eaux de surface, dont les centrales thermiques au charbon et les mines associées, les sables bitumineux, les puits pétroliers et gaziers, ainsi que l'utilisation d'eau pour la récupération d'hydrocarbures.

Tableau 5.1
Tarification de l'allocation d'eau souterraine (juin 2005)

Question	Les eaux souterraines sont-elles officiellement déclarées propriété publique?	L'utilisation des eaux souterraines est-elle tarifée (si oui, à quel prix)?	Catégories d'utilisation qui donnent lieu ou non à une tarification	Recouvrement des frais administratifs	Une vérification des quantités utilisées est-elle universellement requise (p. ex. compteurs)?	Le processus décisionnel tient-il compte des préoccupations environnementales?
Province ou territoire						
Alberta	Oui	Non	S. o.	Oui, par des droits de permis	Non	Selon les cas
Colombie-Britannique	Oui	Non	S. o.	S. o.	Non	Non
Manitoba	Oui	Oui, de 1 \$ à 2 \$ par million de litres	Seules les utilisations industrielles donnent lieu à une tarification	Oui, par des droits de permis	Oui, même si la réglementation ne l'exige pas, l'installation d'un compteur fait partie des conditions administratives des permis	De manière obligatoire
Nouveau-Brunswick	Oui	Non	S. o.	Oui, par des droits de forage	Non	Non
Terre-Neuve-et-Labrador	Oui	Non	S. o.	Oui, par des droits de permis	Oui, là où il y a des permis	De manière obligatoire
Territoires du Nord-Ouest	Oui	Oui, de 1,50 \$ à 2 \$ par million de litres	Une tarification est appliquée là où un permis est requis (ce qui touche 8 types d'utilisation)	Oui, par des droits de permis	Oui, c'est généralement une condition d'octroi de permis	De manière obligatoire
Nouvelle-Écosse	Oui	Oui, de 0,35 \$ à 0,43 \$ par million de litres	Une tarification est appliquée là où un permis est requis (utilisation supérieure à 23 000 litres par jour)	Oui, par des droits de permis et des droits annuels	Oui, là où il y a des permis	De manière obligatoire
Nunavut	Oui	Oui, de 1,50 \$ à 2 \$ par million de litres	Une tarification s'applique à toutes les utilisations, sauf les usages domestiques et les services d'urgence	Oui, par des droits de permis	Oui, c'est généralement une condition d'octroi de permis	De manière obligatoire
Ontario*	Non	À venir	S. o.	Oui, par des droits de forage et de permis pour plus de 50 000 litres par jour	Non	De manière obligatoire
Île-du-Prince-Édouard	Non	Non	S. o.	Oui, par des droits de forage	Oui	De manière obligatoire
Québec**	Oui	À venir	S. o.	Oui, par des droits de permis	Non	Selon les cas
Saskatchewan	Oui	Oui, de 0 à 12,53 \$ par million de litres	Seules les utilisations industrielles donnent lieu à une tarification	Oui, par des droits de permis	Oui, là où il y a des permis	Selon les cas
Territoire du Yukon	Oui	Oui, de 1,50 \$ à 2 \$ par million de litres	Exemption pour moins de 100 m ³ par jour	Oui, par des droits de permis	Oui, c'est généralement une condition d'octroi de permis	De manière obligatoire

* Depuis le premier janvier 2009, une tarification de 3,71 \$ par million de litres s'applique aux utilisateurs commerciaux et industriels qui prélèvent plus de 50 000 litres d'eau souterraine par jour. ** Le Québec envisage l'instauration d'un système de redevances.

(Source : Nowlan, 2005)

De nombreuses provinces ont en outre élaboré des stratégies non réglementaires relatives à l'eau telles que la politique nationale de l'eau du Québec (*L'eau. La vie. L'avenir*), le programme *Water for Life* de l'Alberta et la stratégie *Living Water Smart* de la Colombie-Britannique. Certaines politiques sectorielles concernent spécifiquement les eaux souterraines, par exemple la politique d'allocation d'eaux souterraines pour des fins d'injection dans les champs pétrolifères en Alberta. Cependant, peu de provinces ont élaboré une stratégie exhaustive en matière d'eaux souterraines, mais l'Alberta a un projet en marche à ce chapitre (Eckert, 2007).

Réglementation des prélèvements d'eau souterraine

Les lois et règlements provinciaux relatifs à l'eau stipulent à qui un droit d'utilisation de l'eau souterraine peut être accordé, par exemple sous forme de licence ou de permis, comment allouer l'eau entre des utilisateurs concurrents et comment retirer ou restreindre des droits. Dans toutes les provinces à l'exception de la Colombie-Britannique, les eaux souterraines et les eaux de surface sont régies par le même régime de permis. La Colombie-Britannique demeure la seule autorité au Canada qui n'exige aucun permis pour le captage d'eau souterraine au-delà d'un seuil établi. Dans un mémoire présenté au comité, la Colombie-Britannique a indiqué que l'absence de cadre juridique constitue un défi. Elle a aussi noté en général le manque de compréhension et de sensibilisation au fait que les organismes des autres provinces et les gouvernements locaux qui prennent des décisions pouvant affecter les eaux souterraines doivent gérer ou protéger les eaux souterraines dans le cadre de leurs activités. En 2008, le gouvernement de la Colombie-Britannique a publié son rapport *Living Water Smart*, (Gouvernement de la C.-B., 2008), dans lequel il promet de remédier d'ici 2012 à 2014 à certaines des lacunes du cadre réglementaire actuel. L'absence de mandat à l'échelle de la province pour la mise en œuvre de ce rapport demeure toutefois un problème.

Huit des treize provinces et territoires (tous sauf la Colombie-Britannique, la Saskatchewan, le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard) ont un système d'émission de permis qui fixe des règles de priorité d'utilisation fondées sur des critères tels que la date d'obtention du permis (allocations antérieures) ou sur des catégories définies telles que l'approvisionnement municipal, agricole ou industriel, ou encore la production d'électricité (Nowlan, 2005). La plupart des provinces et territoires accordent la première priorité aux besoins humains essentiels – généralement désignés par le terme « usages domestiques » dans la réglementation. Les critères d'émission de permis d'utilisation de l'eau souterraine varient d'une province à l'autre, mais il vaut la peine de noter qu'aucune province n'utilise comme critère de décision la valeur économique de l'utilisation proposée de l'eau. De plus, lorsqu'un coût est associé à un permis de prélèvement d'eau, les sommes demandées ne servent qu'à défrayer les coûts administratifs et ne constituent pas un incitatif à la conservation. Le tableau 5.1 résume ces données.

Pour limiter l'impact environnemental des prélèvements d'eau souterraine, les organismes de réglementation font couramment appel à la définition de critères d'émission de licences ou de permis. Ces critères risquent toutefois de ne tenir compte que d'une manière limitée des impacts cumulatifs et de la protection des écosystèmes. L'étude de cas des sables bitumineux de l'Athabasca illustre ce manque d'évaluation des impacts cumulatifs. Un autre cas est celui du manque d'évaluation des impacts cumulatifs par la Province de l'Ontario (l'évaluation se fait plutôt sur une base locale; voir l'étude de cas au chapitre 6) pour l'aménagement d'un certain nombre de terrains de golf dans la région de la moraine d'Oak Ridges (Garfinkel *et al.*, 2008). À l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode normalisée pour inclure la protection des apports vers les cours d'eau dans les lois et règlements, mais un certain nombre de provinces examinent des moyens de combler cette lacune (encadré 5.3). Les évaluations environnementales et approbations d'activités industrielles comprennent également des exigences écologiques, comme le montrent des études de cas du chapitre 6, dont celle des sables bitumineux de l'Athabasca. Les provinces peuvent recourir à des moratoires pour restreindre les prélèvements d'eau souterraine lorsque les conditions l'exigent (p. ex. allocations existantes excessives). Par exemple, à l'Île-du-Prince-Édouard, un moratoire portant sur l'émission de permis pour de nouveaux puits d'irrigation est actuellement en vigueur depuis 2001 (voir l'étude de cas de l'Île-du-Prince-Édouard, au chapitre 6).

Encadré 5.3 : Émission de permis en Ontario et au Québec

Les critères d'émission de permis de prélèvement d'eau en Ontario et au Québec s'appliquent aux eaux souterraines et aux eaux de surface. Ils exigent de prendre en considération la protection des fonctions naturelles des écosystèmes, la disponibilité de l'eau, l'utilisation de l'eau (y compris l'impact connu ou potentiel sur le bilan hydrique et le débit d'exploitation durable des aquifères) et d'autres facteurs, dont la situation de quiconque a un intérêt dans le prélèvement d'eau (Gouvernement de l'Ontario, 2004).

En Ontario, la réglementation permet de refuser un permis si le prélèvement d'eau est projeté dans un bassin versant fortement exploité selon la carte des débits annuels moyens et si le prélèvement est destiné à certaines utilisations spécifiées telles que l'embouteillage et la transformation de granulats, à moins que certaines conditions ne soient remplies. Les obligations de l'Ontario en vertu de la *Charte des Grands Lacs* doivent également être prises en considération.

Au Québec, une demande de permis doit être accompagnée d'études hydrogéologiques quantifiant les impacts sur les écosystèmes et les autres utilisateurs locaux (Parlement du Québec, 2002).

Réglementation de la qualité de l'eau souterraine

La qualité de l'eau souterraine est protégée par les lois sur l'eau potable et la santé aquatique, par les évaluations environnementales exigées aux échelons provincial et fédéral, ainsi que par les approbations requises pour des activités telles que le forage de puits, la mise en valeur de ressources géothermiques et énergétiques, de même que la réhabilitation des sites contaminés. Malgré les programmes existants de tous les ordres de gouvernement, les mesures de gestion et la réglementation visant la réhabilitation en cas de contamination et la prévention d'une dégradation plus importante demeurent inadéquates pour une gestion durable des eaux souterraines. L'objectif de protection des eaux souterraines contre la contamination et de réhabilitation des eaux souterraines déjà touchées exige une action sur plusieurs fronts.

La qualité de l'eau souterraine est également protégée par des lois provinciales relatives à l'environnement. Celles-ci exigent généralement des entreprises qui émettent des contaminants dans l'air ou dans l'eau, ou qui éliminent des déchets, d'obtenir des permis des services provinciaux pertinents ou du ministère de l'Environnement. Ces lois ne font pas la distinction entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Il existe différentes approches pour limiter la pollution de l'eau, mais une approche courante au Canada est celle du « point de rejet », qui limite la concentration ou la quantité d'une substance chimique donnée déposée dans une masse d'eau par une source donnée. Même si les réglementations provinciales comportent en général de nombreuses dispositions relatives aux études, inspections, contraventions et pénalités, ces dispositions sont rarement invoquées en pratique. Par contre, aux États-Unis, la *Clean Water Act* (Gouvernement des États-Unis, 1972) utilise l'approche de la « charge quotidienne totale », qui détermine la quantité maximale d'un polluant qu'une masse d'eau peut tolérer dans une journée et limite en conséquence la somme des rejets de toutes sources.

Les eaux souterraines sont menacées par des sources de pollution ponctuelles concentrées comme les eaux usées d'origine industrielle, ainsi que par des sources diffuses telles que le ruissellement urbain et la contamination agricole. Des concentrations élevées de nitrates, principalement de sources agricoles diffuses, persistent encore dans un certain nombre d'aquifères importants de diverses régions du pays. Même si le problème est bien connu, une approche de pratiques exemplaires de gestion a eu peu de succès dans la réduction des charges en nitrates et de leur concentration dans nos ressources en eau souterraine. Les mesures volontaires de contrôle du ruissellement agricole, même appuyées par des incitatifs, n'ont pas connu de succès. Des mesures innovatrices de contrôle des eaux pluviales sont prometteuses quant à la recharge des eaux souterraines, mais leur impact sur la qualité de l'eau souterraine n'est pas bien connu.

Les eaux souterraines comme source d’approvisionnement en eau potable

La principale relation entre la qualité de l’eau souterraine et la santé humaine tient à l’utilisation d’eaux souterraines comme source d’approvisionnement en eau potable. Réglementée de manière adéquate, l’eau souterraine possède certaines caractéristiques avantageuses :

- elle est accessible là où une eau de surface de qualité n’est pas disponible en quantité suffisante;
- sa composition est constante dans le temps; la qualité de l’eau souterraine évolue généralement beaucoup plus lentement que celle de l’eau de surface, ce qui laisse plus de temps pour ajuster les procédés de traitement de l’eau en réponse aux modifications des caractéristiques de qualité (mais en contrepartie, une fois que l’eau souterraine est contaminée, il faut beaucoup de temps et des ressources considérables pour la réhabiliter);
- ses longs trajets et sa filtration naturelle dans le sous-sol permettent l’élimination d’une partie souvent importante des agents pathogènes.

Dans le cas de l’approvisionnement privé, la disponibilité de l’eau est le principal critère de choix de la source, peu importe la qualité, parce que d’autres sources d’approvisionnement en eau de surface sont souvent non disponibles. Lorsqu’une eau souterraine de qualité médiocre constitue la seule possibilité d’un approvisionnement privé en eau, il faut recourir à une technologie de traitement au point d’entrée ou au point d’utilisation³⁷. Dans le cas de l’approvisionnement d’une collectivité, la quantité et la qualité de l’eau souterraine disponible sont toutes deux importantes par rapport aux sources possibles d’approvisionnement en eau de surface. Les technologies de traitement au point d’entrée ou au point d’utilisation sont souvent beaucoup plus coûteuses à l’échelle d’une collectivité que la technologie de traitement conventionnelle³⁸.

Toutes les provinces exigent l’échantillonnage régulier de l’eau potable tirée de puits municipaux. Même si l’échantillonnage met l’accent sur l’eau traitée, un échantillonnage de l’eau brute est généralement nécessaire. Dans certaines provinces, les analyses de la qualité de l’eau doivent être conformes aux *Recommandations pour la qualité de l’eau potable au Canada* formulées par Santé Canada (encadré 5.4). Lorsque des plans de protection des aires de captage ou des sources sont en place pour ces puits, ces plans comprennent généralement l’installation de puits de surveillance qui sont régulièrement échantillonnés afin d’assurer qu’il n’y a eu aucune pénétration d’eau souterraine contaminée dans la zone protégée.

37 Le traitement au point d’entrée se fait à l’entrée dans un bâtiment. Le traitement au point d’utilisation se fait là où l’on se sert de l’eau, par exemple un robinet de cuisine.

38 On considère généralement que la technologie conventionnelle comporte une coagulation chimique, une filtration rapide bicouche et une désinfection par chloration.

Encadré 5.4 : Réglementation de la qualité de l'eau potable au Canada

Le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable adopte une approche « à barrières multiples » pour que l'utilisateur bénéficie d'une eau potable salubre. Cette approche consiste à évaluer et à mettre en place des moyens pour assurer une qualité élevée de l'eau potable, et ce dans toutes les composantes du système d'approvisionnement en eau, depuis l'environnement naturel en général jusqu'au réseau de distribution, en passant par l'aquifère ou le réservoir d'approvisionnement et l'usine de traitement. L'approche à barrières multiples n'est pas appliquée de manière constante dans tout le pays.

Un élément important de cette approche est constitué par les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, publiées par Santé Canada depuis 1968, qui définissent les concentrations maximales acceptables de certains contaminants après le traitement de l'eau. Ces recommandations sont non contraignantes et ne résultent pas d'une loi nationale régissant l'eau potable. Elles sont plutôt incluses de différentes manières dans des lois provinciales³⁹. Les lois provinciales exigent des fournisseurs d'eau qu'ils veillent à ce que l'eau qu'ils procurent soit potable en satisfaisant à des normes minimales de traitement et de qualité. Ces lois prescrivent en outre une surveillance et des tests de la qualité de l'eau, l'approbation des projets de construction, l'agrément des exploitants et des laboratoires, ainsi que des avis publics en cas de problèmes de qualité de l'eau.

Un second aspect de l'approche à barrières multiples est la protection des ouvrages de captage. Pour protéger les sources souterraines d'eau potable, les lois provinciales peuvent exiger un plan de gestion de l'eau, par exemple un plan de délimitation des aires d'alimentation des ouvrages de captage, qui peut entre autres fixer des limites aux prélèvements. Chaque province a ses propres dispositions en matière de planification relative à l'eau. Par exemple, la nouvelle *Loi sur l'eau saine* de l'Ontario est à ce jour la seule loi au Canada qui exige la préparation de plans de protection des sources d'eau potable pour la plus grande partie de la province.

Toutes les provinces réglementent les puits principalement pour préserver la qualité de l'eau en protégeant les zones qui entourent les puits, mais aussi pour conserver les

39 Le site Web d'Environnement Canada sur l'eau douce contient des liens vers les politiques et les lois des provinces et territoires canadiens en ce qui concerne l'eau. Pour de plus amples renseignements, voir la page http://www.ec.gc.ca/water/fr/policy/prov/f_prov.htm. Une liste récente (2006) ou une comparaison des réglementations provinciales et territoriales concernant l'eau potable est disponible à l'Annexe C du *Rapport du groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations* (Gouvernement du Canada, 2006a).

eaux souterraines en contrôlant et parfois en limitant les taux de prélèvement. À titre d'exemple, les propriétaires de puits artésiens peuvent être obligés d'en arrêter ou d'en contrôler le débit.

L'eau embouteillée est considérée comme un aliment et est réglementée en vertu du Titre 12 du *Règlement sur les aliments et drogues*. Les installations d'embouteillage étaient soumises à des inspections effectuées par l'Agence canadienne d'inspection des aliments, y compris certaines analyses de la qualité de l'eau (Santé Canada, 2007b). Cependant, l'Agence a annoncé pour 2005-2006 la fin de ces inspections en raison d'une amélioration de la conformité des installations d'embouteillage⁴⁰.

Grâce à une gestion serrée par les municipalités, sous la surveillance et avec la collaboration des autorités provinciales, et grâce au rôle du Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, la qualité de l'eau potable municipale tirée des eaux souterraines est généralement excellente dans toutes les régions du Canada. Par contre, les cas fréquents de contamination microbienne dans les puits privés et des petites collectivités, notamment ceux des Premières Nations, demeurent inacceptables et nuisent à la santé d'un certain nombre de Canadiens. Il faut renforcer les conditions de la réglementation de l'eau potable au Canada.

Aux fins de la réglementation, les eaux souterraines sont subdivisées en deux catégories principales : (1) les eaux souterraines qui sont sous l'influence directe d'eaux de surface (ESIDES); (2) les eaux souterraines « sûres » (qui exigent moins de traitement). Un approvisionnement en eau potable à partir d'une source d'ESIDES⁴¹ est généralement soumis aux mêmes exigences de traitement que les sources d'eau de surface. Les eaux souterraines plus « sûres » sont souvent exemptées des coûteuses exigences en matière de filtration.

La liste des concentrations maximales acceptables des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (Santé Canada, 2008) contient actuellement 67 paramètres microbiologiques, chimiques ou physiques (plus 78 radionucléides). La plupart de

40 Voir le tableau 2.5, RMR 2004-2005, à la page http://www.tbs-sct.gc.ca/rma/dpr1/04-05/CFIA-ACIA/cfia-aciad4502_f.asp.

41 Il y a différentes définitions des ESIDES, mais le concept est illustré par le texte réglementaire suivant : « une eau qui se trouve sous la surface du sol et présente (i) une concentration significative d'insectes et autres macroorganismes, d'algues, de débris organiques ou d'agents pathogènes de gros diamètre comme *Giardia lamblia*, et *Cryptosporidium*, ou (ii) des transformations significatives et relativement rapides de ses caractéristiques, comme la turbidité, la température, la conductivité ou le pH, qui correspondent de près aux conditions climatologiques ou à celles des eaux de surface » (cité et traduit de l'EPA – Agence américaine de protection de l'environnement – par Santé Canada, à la page http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-scmf/pubs/water-eau/turbidity/chap_3-fra.php).

ces paramètres figurent dans la liste à titre de précaution, c'est-à-dire que si ces substances étaient présentes à des concentrations substantiellement plus élevées que celles qui sont recommandées, cela pourrait représenter un risque pour la santé des consommateurs. Il y a aussi une liste beaucoup plus courte de contaminants dont on sait que leur présence dans l'eau potable a entraîné des effets néfastes et qui peuvent constituer une menace envahissante à la salubrité de l'eau potable. Parmi les principaux contaminants de l'eau potable qui présentent des risques prouvés pour la santé humaine, mentionnons les microbes pathogènes (virus, bactéries et protozoaires), l'arsenic, les nitrates et les fluorures (OMS, 2007).

Microbes pathogènes : Ils constituent depuis toujours le risque pour la santé le plus envahissant lié à la consommation d'eau potable⁴². De tous les microbes pathogènes (virus, bactéries et protozoaires), les virus sont les plus petits et les plus susceptibles de traverser les milieux granulaires. Ils constituent donc le risque le plus élevé de contamination des eaux souterraines. Les virus ne font pas l'objet d'une surveillance de routine dans les eaux souterraines, mais des recherches récentes financées par le Réseau canadien de l'eau ont permis de détecter occasionnellement des virus entériques dans des puits municipaux d'approvisionnement en eau potable au Canada (Locas *et al.*, 2007; Locas *et al.*, 2008; voir aussi l'étude de cas du bassin des Grands Lacs, au chapitre 6).

Heureusement, les cas de mortalité liés à une eau contaminée par des microbes pathogènes sont maintenant rares au Canada. Une tragique exception a été le cas de l'épidémie de Walkerton, en mai 2000, où une mauvaise gestion du système municipal de traitement de l'eau a permis à des eaux souterraines contaminées par un pathogène provenant de la bouse de vache d'entrer dans le système d'approvisionnement en eau. Plus de 2 300 personnes ont été malades, et sept d'entre elles sont décédées (encadré 5.5). Les microbes pathogènes à l'origine de l'éclosion de maladies hydriques proviennent généralement d'excréments humains, du bétail et d'animaux sauvages, par ordre décroissant de probabilité. La principale mesure d'urgence dont disposent les autorités de santé publique suite à la découverte d'une contamination microbienne est l'émission d'un avis (ou un d'ordre, dans le cas d'installations commerciales qui desservent le public) d'ébullition de l'eau. Une enquête (Eggertson, 2008b) publiée dans le *Journal de l'Association médicale canadienne* (JAMC) faisait état de 1 766 avis d'ébullition en vigueur au Canada au 31 mars 2008. Il faut ajouter à cela les avis en vigueur dans les collectivités autochtones, au nombre de 93 en février 2006 (Eggertson, 2008a). On ignore quelle proportion de

42 À l'heure actuelle, selon l'Organisation mondiale de la santé, « chaque année, 1,8 million de personnes, dont 90 % d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques, et 88 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse. » (OMS, 2004).

ces avis portait sur des sources d'eau souterraine, et le nombre total élevé correspondait au fait que certaines provinces, par exemple l'Ontario (679 avis d'ébullition), incluaient des installations comme les parcs de maisons mobiles, les terrains de camping, les camps saisonniers et les stations-service. Par contre, les chiffres d'autres provinces comme l'Alberta (13 avis d'ébullition) ne couvraient pas tout le territoire ou n'incluaient pas les très petits systèmes. La Colombie-Britannique possède un grand nombre de très petits systèmes collectifs d'approvisionnement (plus de 3 500), d'où un nombre disproportionné d'avis d'ébullition (530) par rapport à sa population, tout comme à Terre-Neuve-et-Labrador (228). De nombreux avis d'ébullition sont en vigueur depuis des années, ce qui signifie qu'ils servent de solution de rechange à un traitement adéquat ou à une protection des sources d'approvisionnement. Ce problème est lié au fait que l'approvisionnement dépend en grande partie de très petits systèmes qui ne jouissent pas des moyens qui leur permettraient de disposer des compétences requises pour constamment livrer une eau potable salubre (Hrudey, 2008b; Hrudey, 2008a).

Arsenic : Même si l'arsenic peut être un sous-produit de nombreux processus industriels, la source la plus commune de contamination de l'eau potable par l'arsenic est constituée de minéraux naturellement présents dans les matériaux géologiques. L'arsenic est abondant dans la croûte terrestre et présent à des taux élevés dans les eaux souterraines à bien des endroits au Canada. Les cas de concentration élevée d'arsenic dans l'eau potable dans le monde sont principalement le fait d'une présence naturelle dans les eaux souterraines (eau de puits). En général, les eaux de surface contiennent des concentrations d'arsenic inférieures au seuil recommandé par l'Organisation mondiale de la santé et Santé Canada de 10 microgrammes (μg) par litre. Les données de tous les réseaux publics canadiens de distribution d'eau montrent que la concentration d'arsenic est inférieure au seuil de 10 μg par litre. Cependant, dans certaines régions circonscrites comme les comtés d'Halifax et de Guysborough en Nouvelle-Écosse, on relève des concentrations d'arsenic supérieures à 10 μg par litre dans des puits privés.

Azote : Les composés azotés, qu'ils soient d'origine naturelle ou qu'ils proviennent de l'application d'engrais ou d'une mauvaise exploitation d'installations septiques, s'oxydent facilement pour former des nitrites et des nitrates. Ils peuvent donc entraîner des concentrations élevées de nitrates et de nitrites dans les eaux souterraines. Les ions nitrate et nitrite sont hautement solubles dans l'eau et facilement transportés dans le sol et les aquifères. L'exposition à des taux élevés de nitrite dans l'eau potable peut entraîner un taux élevé de nitrite dans le sang, qui peut causer une affection due à une diminution de la capacité de transport d'oxygène par l'hémoglobine (méthémoglobinémie). Les bébés nourris au biberon sont particulièrement à risque. Les eaux souterraines peuvent contenir des concentrations élevées de nitrates dues à l'utilisation locale du sol et aux conditions hydrogéologiques.

Fluorures : L'ingestion d'une quantité excessive de fluorures peut causer la fluorose, une affection qui touche d'abord les dents. Une exposition plus importante peut affecter

les os et entraîner la fluorose osseuse, qui peut être une affection invalidante. Dans une grande partie du Canada, on ajoute du fluor en quantité soigneusement contrôlée dans l'eau potable, à titre de mesure de santé publique pour renforcer l'émail des dents et prévenir la carie dentaire. Les taux de fluorure qui en résultent ne sont pas nocifs pour la santé. Par contre, des fluorures peuvent être naturellement présents dans les eaux souterraines à des concentrations supérieures à celles qui ont des effets bénéfiques sur la santé dentaire et qui peuvent entraîner les effets indésirables de la fluorose (OMS, 2008).

Autres contaminants : De nombreux contaminants potentiels de l'eau ont, à des doses suffisamment élevées, la capacité intrinsèque d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine, même si l'on n'a pas rapporté d'écllosion de maladie liée à l'exposition à ces substances dans l'eau potable. Il faut faire attention à ces contaminants pour veiller à ce qu'ils ne posent pas un problème de santé publique. Dans le cas des eaux souterraines, les contaminants les plus communs pour lesquels il faut prendre des précautions comprennent : les radionucléides (résultant de l'activité naturelle ou humaine); l'uranium (résultant de l'activité naturelle ou humaine), en raison de sa toxicité chimique pour le fonctionnement des reins; les pesticides; les hydrocarbures semi-solubles (résultant de l'activité humaine); les solvants halogénés (résultant de l'activité humaine), dont le trichloréthylène et le perchloréthylène; les sources mixtes de contaminants telles que les lixiviats de dépotoirs et les activités d'élimination des déchets. Ces contaminants sont difficiles à traiter et pourraient entraîner la fermeture de aires de captage municipales. Il faut des mesures proactives visant à identifier les contaminants d'origine naturelle ou humaine qui pourraient rendre l'eau souterraine impropre à la consommation et à informer les résidents de leur présence. Des levés de reconnaissance, la publication de l'information et des tests obligatoires des puits privés dans les zones suspectes sont nécessaires pour protéger la santé des habitants des régions rurales.

Enfin, une qualité médiocre de l'eau peut se traduire par des facteurs esthétiques ou des nuisances liées par exemple à l'odeur, au goût, à l'apparence ou à une dureté excessive. Même si ces éléments n'ont généralement pas d'effets nocifs pour la santé, les caractéristiques désagréables d'une telle eau peuvent amener les utilisateurs à rechercher des sources qui procurent une eau plus esthétique mais moins sûre. À titre d'exemple, dans le cas de Walkerton, le puits peu profond et vulnérable qui a causé l'épidémie lorsqu'il a été contaminé par des microbes pathogènes avait été mis et maintenu en service parce que son eau était beaucoup moins dure que celle des autres puits, plus profonds et plus sûrs, qui desservaient la municipalité.

Dans l'avenir, on s'attend à ce que l'utilisation à grande échelle de la technologie de traitement de l'eau en vue d'amener l'eau souterraine aux normes de l'eau potable constitue pour les municipalités une solution de plus en plus intéressante sur le plan économique et qu'elle permette d'exploiter les eaux souterraines comme source d'eau potable dans les milieux urbains. La Municipalité régionale de Waterloo agit déjà dans ce sens pour remettre en service l'un de ses principaux puits (communication personnelle, 2008).

Encadré 5.5 : Walkerton – Les événements de mai 2000

En mai 2000, la municipalité de Walkerton, en Ontario, a connu une épidémie de maladie hydrique qui a tué 7 personnes et en a rendu plus de 2 000 gravement malades. Cet événement a attiré l'attention du pays à cause de la tragédie humaine qu'il représentait et du choc venant du fait que l'approvisionnement en eau d'une collectivité pouvait entraîner la mort et la maladie des consommateurs dans la province la plus peuplée du Canada au début du XXI^e siècle. L'Ontario a mis sur pied une commission d'enquête publique, présidée par le juge Dennis O'Connor, qui a produit deux rapports détaillés : le premier sur ce qui s'était passé à Walkerton (O'Connor, 2002a) et le second sur ce que l'Ontario devrait faire pour éviter que de semblables événements ne se reproduisent (O'Connor, 2002b). Malgré la clarté et le niveau de détail de ces rapports, de nombreux Canadiens, dont des professionnels qui s'intéressent à l'eau, s'en sont tenus aux comptes rendus partiels donnés par les médias, de sorte que cette tragédie fait encore l'objet de beaucoup de désinformation.

En mai 2000, Walkerton était desservie par trois puits. Le puits ultimement tenu pour responsable de l'épidémie s'appelait le puits n° 5. Il avait été foré en 1978 et aboutissait dans du calcaire fracturé, la zone aquifère allant de 5,5 à 7,4 mètres de profondeur. L'épidémie a eu lieu après qu'une forte pluie de printemps (une tempête comme il en survient une en 60 ans) eut entraîné la contamination du puits n° 5 par des agents pathogènes provenant du fumier d'une ferme avoisinante. La manière exacte dont les agents pathogènes ont atteint le puits n° 5 à partir de la ferme n'a jamais été établie avec certitude, mais les conditions de karst (conduits résultant de la dissolution de la roche en place carbonatée) de cet aquifère peu profond favorisaient la propagation rapide de la contamination une fois qu'elle atteignait l'aquifère. L'exploitant de la ferme avait des pratiques exemplaires et a été mis hors de cause par l'enquête. Lorsque le puits n° 5 a été mis en service en 1978, les essais de pompage ont révélé une contamination par des coliformes fécaux au bout de 24 heures. Le rapport de l'hydrogéologue avertissait les autorités des risques de contamination, précisait que la chloration était nécessaire et recommandait à la municipalité d'acheter une zone tampon pour protéger le puits n° 5, mais rien n'a été fait en ce qui concerne les recommandations d'aménagement foncier. La surveillance sur les plans de la microbiologie et de la turbidité au cours des années suivantes a confirmé que le puits n° 5 était susceptible d'être contaminé.

La seule barrière de traitement imposée par le ministère ontarien de l'Environnement consistait en une chloration donnant une concentration de chlore libre résiduel de 0,5 mg par litre après une durée de contact de 15 minutes. Si cette seule exigence avait été respectée de manière constante, plus de 99 % des agents pathogènes auraient été inactivés. Même si le superviseur du système était censé mesurer le chlore libre résiduel une fois par jour, l'enquête a établi que, la plupart des jours, le chlore libre résiduel n'était pas mesuré et que des mesures fictives étaient consignées sur les fiches quotidiennes d'exploitation.

Le défaut de mesurer le chlore libre résiduel a été un facteur crucial, parce que la contamination a le plus probablement atteint le puits n° 5 le 12 mai, une semaine avant que l'écllosion de la maladie dans la collectivité ne devienne évidente. Lorsqu'on lui a demandé les 19 et 20 mai s'il y avait des problèmes de qualité de l'eau potable, le directeur général du réseau d'alimentation en eau a assuré aux autorités locales de la santé que l'eau était satisfaisante, même s'il avait reçu le 17 mai des résultats défavorables d'analyses microbiologiques du réseau de distribution de Walkerton. Un avis d'ébullition n'a été émis que le 21 mai, lorsque les autorités de la santé ont conclu que l'eau devait être en cause. La première victime est décédée le 22 mai. Au moins huit jours sans surveillance valable de la concentration de chlore libre résiduel s'étaient écoulés entre la contamination et l'avis d'ébullition émis alors que la maladie s'était déjà largement répandue.

La charge organique due à la contamination par le fumier aurait saturé la dose fixe insuffisante de chlore, ne laissant aucun chlore libre résiduel ou capacité de désinfection susceptible d'inactiver les agents pathogènes pénétrant dans le système de distribution. La mesure du chlore libre résiduel aurait permis de détecter immédiatement le problème, mais aucune mesure n'a été effectuée au cours de la période critique.

L'enquête a révélé des lacunes de plusieurs ordres : surveillance réglementaire inefficace, réductions du financement de la surveillance provinciale de l'eau, protection inadéquate des bassins hydrographiques, gestion et exploitation médiocres du réseau d'alimentation (traitement de l'eau et surveillance des barrières face aux risques courus par cette source vulnérable d'eau souterraine), formation inadéquate des opérateurs.

Parmi les conceptions erronées répandues à propos de la tragédie de Walkerton, les extrêmes consistaient à jeter tout le blâme aux opérateurs ou à faire retomber tout le blâme au système de réglementation. Les opérateurs ont menti et falsifié les registres, ce qui était certainement inexcusable, mais l'enquête a révélé que ces opérateurs n'avaient aucune idée des risques qu'ils faisaient courir à leurs concitoyens. Ils ont continué eux-mêmes à boire l'eau pendant l'épidémie. Les opérateurs ont été accusés en vertu du Code criminel, mais en recevant leur plaidoyer de culpabilité, la Couronne a accepté l'affirmation que les opérateurs n'auraient rien pu faire une fois que le réseau avait été contaminé. Cette affirmation fautive ignore le point critique que le fait de surveiller le taux de chlore libre résiduel comme cela était exigé aurait révélé en temps réel que l'eau de Walkerton était contaminée. On aurait pu fermer le réseau d'alimentation et émettre un avis d'ébullition dans les 24 heures, au lieu de laisser les résidents consommer pendant huit jours de plus une eau fortement contaminée, comme ce fut ultimement le cas. La situation était d'autant plus tragique que l'hôpital local recommandait aux parents de faire boire davantage leurs enfants atteints de diarrhée, ce qui a augmenté leur exposition à l'eau contaminée pendant cette période.

La catastrophe de Walkerton plaide de manière éloquentes en faveur de multiples garde-fous pour garantir une eau potable sûre. Ce désastre ne prouve toutefois pas que les eaux souterraines constituent une source intrinsèquement peu sûre d'approvisionnement en eau potable. Le puits n° 5 était reconnu depuis le début comme un puits peu profond vulnérable (les eaux souterraines étant sous l'influence directe des eaux de surface), et des données probantes montraient constamment qu'il était susceptible d'être contaminé. Il ne faut donc pas généraliser à toutes les sources d'eau souterraine le cas de ce puits vulnérable et de cette situation mal gérée du début à la fin. Comme les épidémies dues à l'eau potable demeurent rares au Canada, en particulier par comparaison avec le Tiers Monde, on a souvent tendance à négliger les dangers des agents pathogènes contenus dans l'eau. Il n'en reste pas moins que les maladies hydriques dues à des microbes pathogènes constituent un risque constant, parce que ces agents pathogènes sont présents dans les excréments humains et dans ceux du bétail, des animaux de compagnie et des animaux sauvages, et que l'eau potable risque donc d'être contaminée avant ou même après son traitement (si une source de bactéries y est introduite après le traitement).

Application de la réglementation

Les paragraphes qui précèdent décrivent le cadre de la réglementation existante en ce qui concerne la préservation de la quantité et de la qualité de l'eau souterraine, mais les meilleurs règlements demeurent inefficaces s'ils ne sont pas adéquatement appliqués. Le comité croit qu'une application plus stricte des règlements et contrôles existants améliorerait la gestion durable des eaux souterraines. La comptabilité précise et régulière des prélèvements autorisés d'eau souterraine, le respect d'exigences plus strictes pour la surveillance de la qualité de l'eau, une documentation complète des caractéristiques géologiques liées à la construction et à l'abandon de puits, ainsi que le respect en temps voulu des conditions de nettoyage et de réhabilitation des sites contaminés, comptent parmi les aspects de l'application de la réglementation qui ont le plus besoin d'être améliorés.

5.3 AUTRES APPROCHES DE LA RÉGLEMENTATION DES EAUX SOUTERRAINES

La discussion qui précède fait ressortir ce que l'on pourrait appeler le « contexte réglementaire » de la gestion des eaux souterraines jusqu'à ce jour au Canada. L'ensemble des décisions prises par les gouvernements en matière de réglementation constituent le cadre dans lequel des intervenants privés comme les fermiers, les ménages et les entreprises prennent eux-mêmes des décisions. Ce contexte réglementaire a surtout défini des limites quantitatives quant aux prélèvements d'eau ou au rejet de déchets et, plus rarement, établi des normes technologiques à respecter. Une caractéristique importante de ce cadre réside dans les incitatifs ou les signaux qu'il envoie

aux décideurs à propos de l'utilisation de l'eau ou du rejet de déchets. Les limites quantitatives ont pour la plupart fourni aux décideurs peu de raisons d'innover, d'utiliser l'eau de manière conservatrice ou de considérer explicitement les coûts (sous forme de chute du débit d'exploitation des aquifères) que leurs actions imposent à d'autres.

De plus, peu importe le cadre réglementaire existant, on a plusieurs motifs de s'attendre à ce que des décisions privées concernant l'utilisation de l'eau souterraine soient inefficaces et peut-être même insoutenables. Plusieurs de ces motifs sont liés au fait que les eaux souterraines ont parfois les caractéristiques d'une « copropriété », comme on le décrit à l'encadré 5.6. Quoi qu'il en soit, l'efficacité économique de la gestion des eaux souterraines est rarement prise en considération dans le contexte canadien. Les méthodes actuelles d'allocation de l'eau souterraine ne font pas appel à des mesures incitatives fondées sur le marché telles que la tarification, des subventions et des systèmes d'échange susceptibles de modifier les allocations en faveur des utilisations à valeur élevée et de favoriser de manière générale la conservation. Avec des mesures incitatives appropriées, on pourrait faire en sorte que les décisions des utilisateurs aillent dans le sens d'une utilisation efficiente et durable des eaux souterraines. La mise en place d'instruments économiques exigera l'établissement d'une structure de redevances, l'intégration de ces instruments à la réglementation actuelle et la collecte à l'échelle locale de l'information requise pour concevoir et mettre en œuvre ces instruments.

Le terme *efficience* est employé par les économistes pour décrire une affectation de ressources productives qui maximise le bien-être pour la société. Autrement dit, la société obtient les meilleurs résultats possibles dans la limite de ses ressources. La notion d'utilisation efficiente est communément comprise dans le contexte de la minimisation du gaspillage. À cet égard, il y a beaucoup de place pour davantage d'applications de la technologie disponible et pour des recherches plus poussées visant à améliorer l'utilisation efficiente de l'eau dans de nombreux secteurs industriels et domestiques, l'exploitation des sables bitumineux en étant un exemple patent. On peut également devoir envisager la mise en œuvre de mesures incitatives économiques, et dans certains cas d'une réglementation.

Les conditions requises pour atteindre l'efficience, dans le sens de bien-être maximal que lui donnent les économistes, ont fait l'objet d'une attention considérable, particulièrement dans le domaine de l'utilisation de ressources naturelles telles que les eaux souterraines (Griffin, 2006; Kondouri, 2004). Un prélèvement d'eau souterraine ne peut être efficient que si les utilisateurs sont conscients de tous les coûts et bénéfices de leurs actions. Le défi réside dans la définition et la mesure des notions pertinentes et dans l'élaboration d'un environnement réglementaire où chaque utilisateur des eaux souterraines est conscient de ces notions. Ces observations ont conduit certains analystes à étudier de nouveaux contextes réglementaires qui pourraient inciter davantage à l'innovation et à la conservation (Kolstad et Freeman, 2007).

Encadré 5.6 : Problèmes de copropriété

Les aquifères peuvent chevaucher les limites de plusieurs propriétés et même les frontières politiques. Cette caractéristique, ajoutée au fait qu'il est souvent difficile de surveiller les prélèvements d'eau dans un aquifère, suggère que l'exploitation des aquifères peut connaître les problèmes courants d'autres ressources communes telles que les pâturages, les ressources halieutiques côtières et les aires de conservation de la nature. Les prélèvements effectués dans un aquifère par un utilisateur à un moment donné peuvent entraîner des coûts pour d'autres au cours de la même période ou dans l'avenir. Des coûts peuvent être imposés à d'autres au cours de la même période si les prélèvements d'un utilisateur abaissent le niveau de l'eau dans l'aquifère et augmentent donc les coûts de pompage pour les autres, ou encore lorsque les prélèvements d'un utilisateur ont pour effet de diminuer la qualité de l'eau dans l'aquifère et donc sa valeur pour les autres utilisateurs. De plus, des coûts peuvent être imposés aux utilisateurs futurs de l'eau du fait qu'une unité d'eau souterraine prélevée maintenant peut ne pas être disponible plus tard. Enfin, dans le cas des ressources en eau souterraine peu profondes, il peut y avoir des interactions hydrologiques entre les eaux de surface et les eaux souterraines, de sorte que les prélèvements d'eau souterraine peuvent diminuer le débit des eaux de surface, et donc entraîner des coûts supplémentaires d'utilisation des eaux de surface et avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes locaux. Diverses études empiriques sur le sujet sont présentées dans Kondouri, 2004.

En l'absence de règlements qui obligent chaque utilisateur à tenir compte de tous les coûts et bénéfices futurs liés à l'utilisation des eaux souterraines, on a de bonnes raisons de croire que les prélèvements d'eau souterraine ne seront pas efficaces ou durables. De manière générale, les utilisateurs sont tout à fait conscients des avantages de l'utilisation de l'eau pour eux-mêmes, mais seulement partiellement conscients des coûts (ils connaissent peut-être leurs propres coûts de pompage, mais non les coûts imposés aux autres). Par conséquent, chaque utilisateur surestime les bénéfices nets (les bénéfices moins les coûts) et donc prélève trop d'eau d'un aquifère. Comme tous les utilisateurs ont tendance à commettre la même erreur, la surexploitation collective de la ressource commune – dans le cas présent, un aquifère commun – peut entraîner un épuisement dommageable.

L'ampleur réelle de l'inefficacité et ses conséquences sur la durabilité de la ressource dépendent d'un certain nombre de paramètres tels que les caractéristiques physiques de l'aquifère et l'ampleur des coûts imposés à autrui, par rapport aux bénéfices qu'en tire l'utilisateur.

En particulier, l'un de ces contextes possibles fait intervenir de manière plus importante la modification des facteurs économiques pour les utilisateurs de l'eau, par l'introduction d'une tarification de l'eau et l'établissement d'un marché de l'eau. Dans le passé, les gouvernements du Canada (mis à part quelques exceptions récentes, notamment en Alberta) ont évité ces approches, et il vaut donc la peine de considérer brièvement ce que l'on sait à propos de l'efficacité potentielle de ces « instruments économiques ».

Il y a très peu d'études empiriques de la demande d'eau au Canada, et pratiquement aucune de celles-ci ne porte spécifiquement sur la demande d'eau souterraine (Renzetti et Dupont, 2007). Nos connaissances actuelles sur les caractéristiques économiques de la demande d'eau souterraine au Canada doivent donc être déduites d'études existantes à propos de la demande d'eau de surface au Canada ou d'études empiriques sur la demande d'eau souterraine effectuées à l'extérieur du pays (encadré 5.7).

Établissement d'une tarification de l'eau souterraine

Une tarification de l'eau souterraine pourrait être mise en place à deux échelons d'autorité. Le premier est l'échelon municipal, où certaines agences responsables de l'eau dépendent en tout ou en partie des eaux souterraines pour approvisionner leurs clients en eau potable. Le second est l'échelon provincial, où les provinces pourraient établir une tarification pour les prélèvements directs par les fermes, les installations industrielles, les services publics et d'autres gros utilisateurs des eaux souterraines.

Tarification municipale : La tarification municipale peut être conçue de manière à promouvoir une utilisation durable de l'eau souterraine (figure 5.1). Une première étape importante consiste à faire en sorte que l'agence locale responsable de l'eau comptabilise la totalité des coûts de fourniture de l'eau potable. Cela n'a pas été le cas jusqu'à maintenant, cette comptabilité se limitant généralement aux coûts d'exploitation et à une partie des coûts d'immobilisation (Renzetti et Kushner, 2004), ce qui constitue une subvention implicite aux utilisateurs et un encouragement à une utilisation non durable de l'eau. Par contre, une législation récente de l'Ontario (Gouvernement de l'Ontario, 2002b; Gouvernement de l'Ontario, 2006) exigera des fournisseurs locaux qu'ils rendent compte de tous les coûts encourus pour l'exploitation, les immobilisations ainsi que la protection des sources d'approvisionnement et qu'ils recouvrent ces coûts grâce à une tarification appropriée. Même si ces initiatives n'ont peut-être pas défini les « coûts totaux » de l'approvisionnement en eau comme le fait la *Directive-cadre dans le domaine de l'eau* de l'Union Européenne (qui inclut également les coûts environnementaux – voir l'encadré 5.1), elles constituent un pas important vers la promotion des principes de gestion de la demande et donc vers une utilisation durable de l'eau souterraine.

Tarification provinciale : Le second échelon de tarification des eaux souterraines est l'échelon provincial⁴³. Les données empiriques disponibles sur les caractéristiques économiques de l'eau suggèrent que la perception d'une redevance ou d'une taxe sur les prélèvements d'eau souterraine entraînera une diminution de ces prélèvements.

43 Plusieurs provinces perçoivent déjà des frais administratifs pour l'émission de permis d'extraction. Les bases de calcul de ces frais et leurs effets sur les utilisateurs ne sont pas clairs. Voir le rapport du Fonds de défense juridique Sierra (Nowlan, 2005).

Encadré 5.7 : Qu'est-ce qui détermine la demande d'eau?

Les ressemblances socio-économiques et climatiques entre des villes canadiennes et américaines permettent de faire certaines déductions à partir d'études empiriques effectuées aux États-Unis. Dans une récente méta-analyse de 124 estimations de l'élasticité de la demande résidentielle par rapport au prix, Espey *et al.* (1997) ont établi à $-0,5^*$ la valeur de l'élasticité. De plus, comme on pourrait s'y attendre, il y a une corrélation positive entre la demande d'eau pour des fins résidentielles et le revenu, le nombre de membres de la famille, la taille de la maison, la grandeur du terrain et la température estivale (Griffin, 2006; Renzetti, 2002). Certaines données indiquent qu'il y a une corrélation positive entre, d'une part, la demande d'eau des ménages canadiens et, d'autre part, la qualité et la fiabilité de l'approvisionnement municipal (Adamowicz *et al.*, 2007; Rollins *et al.*, 1997).

On a constaté que l'utilisation industrielle de l'eau est sensible à divers facteurs économiques tels que le prix de l'eau, les prix d'autres intrants et le niveau des extrants de l'entreprise. Par exemple, Dupont et Renzetti (2001) ont appliqué un modèle économétrique fonction du coût aux données de l'enquête d'Environnement Canada sur les utilisations industrielles de l'eau et ont conclu que l'élasticité moyenne de la demande d'eau par rapport au prix est de $-0,8$. De plus, on a constaté une corrélation positive entre, d'une part, l'apport d'eau et, d'autre part, le niveau des extrants et le prix de la recirculation interne de l'eau (de Gispert, 2004). Cette dernière corrélation indique que de nombreuses entreprises manufacturières considèrent l'apport d'eau et la recirculation de l'eau comme interchangeable. Une partie des effluents liquides des installations industrielles et des usines municipales d'épuration des eaux usées peuvent aboutir dans les aquifères. Les caractéristiques économiques de ces activités sont particulièrement mal comprises. Par contre, il y a peu d'indications empiriques que des instruments économiques (comme la tarification des effluents) et les règlements environnementaux amènent les entreprises manufacturières et les gouvernements municipaux à réduire leurs déchets (Dupont et Renzetti, 2001; Renzetti, 1999).

Selon des études américaines, la demande d'eau du secteur agricole pour l'irrigation est moins sensible au prix que la demande industrielle ou résidentielle. Par contre, elle est liée de manière positive à la valeur des cultures et au degré d'évapotranspiration (Griffin, 2006). Là où les agriculteurs ont accès à un approvisionnement à la fois en eau souterraine et en eau de surface, des données montrent qu'ils peuvent considérer les eaux souterraines comme un tampon face aux incertitudes de l'approvisionnement en eau de surface.

*Une valeur d'élasticité de $-0,5$ de la demande par rapport au prix signifie que la demande d'eau d'un ménage devrait diminuer de 0,5 % lorsque le prix de l'eau augmente de 1 % (tous les autres facteurs étant égaux par ailleurs).

Plusieurs pays européens ont mis en place de tels frais, et certaines données tendent à montrer que, en plus de permettre le financement de programmes environnementaux, les redevances ont amené les entreprises industrielles et les autres utilisateurs de l'eau souterraine à innover et à réduire leur consommation (Speck, 2005).

Le défi important d'une telle tarification est la difficulté de déterminer le taux de redevance approprié. Dupont et Renzetti (1999) donnent un exemple d'évaluation à partir de données canadiennes. En principe, la tarification devrait correspondre au coût public marginal de l'utilisation des eaux souterraines, celui-ci dépendant à son tour d'un grand nombre de paramètres hydrologiques, écosystémiques et économiques (Kondouri, 2004). En théorie, pour favoriser une utilisation efficace et durable des eaux souterraines, la redevance devrait être spécifique au lieu et au moment du prélèvement.

En principe, la tarification des prélèvements directs pourrait s'étendre aux activités qui modifient la qualité de l'eau souterraine. Par exemple, une « taxe à la pollution » pourrait être imposée dans le cas d'activités, entre autres agricoles ou industrielles, qui amènent des polluants dans les aquifères. Cette taxe serait conçue pour décourager de telles activités et pour compléter la réglementation environnementale.

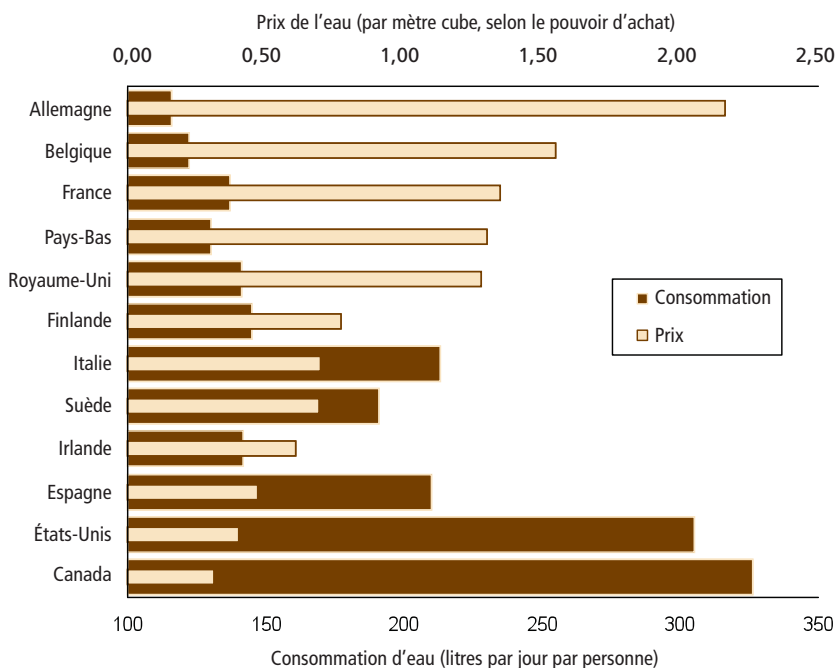


Figure 5.1

Consommation et tarification de l'eau municipale

(Cela suppose qu'une certaine quantité des polluants spécifiés peut être assimilée sans danger par les aquifères en question.⁴⁴) L'établissement d'une tarification pour les sources ponctuelles de pollution des eaux souterraines est en principe une tâche semblable à celle qui consiste à réglementer les prélèvements d'eau souterraine. Cependant, l'acquisition de l'information nécessaire pour mettre un prix à la pollution des eaux souterraines représenterait un défi majeur parce qu'elle exigerait une compréhension des impacts actuels et futurs de l'activité polluante et des dommages économiques correspondants. La pollution agricole de l'eau possède plusieurs caractéristiques particulièrement problématiques pour les organismes de réglementation. Mentionnons les incertitudes concernant la source des émissions, la quantité des émissions de chaque source, le lien entre les actions des pollueurs et les émissions, ainsi que la relation entre les émissions et la qualité environnementale ambiante de l'eau de surface et de l'eau souterraine. En outre, étant donné l'importance cruciale des conditions physiques (p. ex. type de sol, interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface, conditions météorologiques), l'analyse de la pollution diffuse et la définition de politiques visant à la contrôler au moindre coût se feront probablement au cas par cas.

Création d'un marché de l'eau souterraine

Un autre instrument économique possible repose sur la création d'un cadre juridique et commercial dans lequel des intervenants privés échangent leurs droits d'utilisation de l'eau. De très nombreuses publications (résumées dans Griffin, 2006) montrent qu'un marché de l'eau bien conçu peut améliorer l'efficacité de la répartition des ressources en eau de surface, même s'il subsiste des préoccupations quant aux effets négatifs involontaires sur le débit des cours d'eau et sur des tierces parties touchées par les transactions sur l'eau. Horbulyk et Lo (1998) et Mahan *et al.* (2002) ont réalisé des simulations utiles du fonctionnement des marchés des eaux de surface sous le régime précédent de crédits du Sud de l'Alberta. Les résultats numériques des simulations montrent qu'un marché de l'eau entraîne une amélioration sensible de l'efficacité des allocations d'eau (par rapport aux allocations actuelles). L'*Alberta Water Act* (loi albertaine sur l'eau, 1999) autorise le transfert d'une allocation d'eau obtenue dans le cadre d'un permis, sous réserve de l'approbation d'un directeur au gouvernement provincial. Un certain nombre de permis concernant des eaux de surface ont été transférés, principalement dans le Sud de l'Alberta, et d'autres transferts devraient survenir dans l'avenir. Aucun permis d'utilisation de l'eau souterraine n'a été transféré à ce jour, mais de tels transferts sont effectivement autorisés par la loi.

La redistribution de permis d'utilisation de l'eau souterraine par la mise sur pied de marchés pourrait en principe faire partie d'un cadre d'échange englobant les eaux de

44 Aux États-Unis, par exemple, il y a un nombre limité d'instruments économiques fondés sur l'allocation d'une « charge quotidienne maximale totale » de certains polluants dans les bassins d'eau de surface (Hoag et Hughes-Popp, 1997; Keplinger, 2003).

surface ou être complètement indépendante. Cependant, la création d'un marché des droits de prélèvement de l'eau souterraine présente des défis considérables (Garduno *et al.*, 2003; Griffin, 2006; Kemper *et al.*, 2003). Griffin énumère un certain nombre de raisons pour lesquelles les marchés des eaux souterraines pourraient avoir de la difficulté à produire les mêmes gains d'efficacité que ceux obtenus dans le cas des eaux de surface. La principale raison est l'ensemble des effets que l'utilisation des eaux souterraines par un intervenant peut avoir sur les autres utilisateurs actuels ou futurs (encadré 5.7). Par exemple, un rythme accru de pompage par un utilisateur (qui pourrait résulter de l'achat ou de la location de droits d'exploitation de l'eau souterraine) peut augmenter les coûts de pompage et de traitement d'autres utilisateurs actuels et abaisser le niveau d'un aquifère pour les futurs utilisateurs.

Tout comme la tarification de l'eau souterraine peut être ajustée de manière à tenir compte des impacts des utilisateurs sur la qualité de l'eau, un marché de l'eau souterraine pourrait également tenir compte des préoccupations relatives à la qualité de l'eau. De fait, des chercheurs ont envisagé l'utilisation de permis échangeables pour le contrôle de la pollution diffuse. Par exemple, les agriculteurs d'un bassin hydrographique pourraient se voir attribuer ou devoir acheter des permis pour l'épandage de phosphore ou d'azote sur leurs cultures. Un système d'échanges visant à limiter les décharges de phosphore dans la rivière Nation Sud a été mis en place en Ontario (Sawyer *et al.*, 2005). Les agriculteurs qui parviennent à réduire leur utilisation d'une substance réglementée auront des permis excédentaires qu'ils pourront vendre à d'autres agriculteurs, à des municipalités et à des entreprises dont les coûts de réduction sont plus élevés. La mise en place de systèmes d'échange dans le cas de la pollution diffuse présente un double défi. Premièrement, les dommages liés à une quantité donnée d'émissions dépendent d'une variété de facteurs. Par conséquent, les organismes de réglementation ne sont généralement pas indifférents au moment, au lieu et aux modalités d'épandage de l'azote ou du phosphore. Ces facteurs peuvent limiter les échanges possibles, et donc restreindre les gains d'efficacité potentiels du système d'échange. Deuxièmement, il faut que les organismes de réglementation puissent surveiller et mesurer l'utilisation des substances réglementées afin de veiller à ce que les agriculteurs ne dépassent pas les quantités allouées.

En résumé, de très nombreuses données montrent que le recours plus intensif à des instruments économiques tels que la tarification de l'eau, les redevances de prélèvement et un système d'échange de permis, est susceptible de favoriser une utilisation durable de l'eau souterraine. Parmi les principaux obstacles à la mise en place de tels instruments, mentionnons le manque d'expérience en la matière des gouvernements au Canada, une compréhension insuffisante des caractéristiques économiques des demandes des utilisateurs de l'eau souterraine et de leurs effets dans le temps, ainsi que la nécessité de coordonner l'introduction d'instruments fondés sur le marché avec les cadres de réglementation existants.

5.4 AFFECTATION DE RESSOURCES À LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

De nombreux aspects de la gestion des eaux souterraines sont mieux maîtrisés à l'échelon local, où la connaissance des conditions locales permet de prendre des décisions au jour le jour quant à l'aménagement foncier, tout en satisfaisant aux exigences de la planification à long terme. Cependant, l'étude de réseaux complexes d'aquifères ainsi que l'élaboration et le calage de systèmes de modélisation sont coûteux et exigent une somme considérable de compétences techniques. L'affectation de personnel et de fonds à la gestion des eaux souterraines n'a pas suivi la croissance de la demande pour cette ressource, de sorte que de nombreux bassins hydrographiques du Canada ne bénéficient pas des compétences et de la capacité de gestion voulues. Plusieurs exemples montrent qu'une collaboration entre les trois ordres de gouvernement donne des résultats positifs, en combinant les ressources disponibles dans une seule approche de gestion concentrée géographiquement et intégrée verticalement (voir au chapitre 6 les études de cas des Basses-Laurentides et de la moraine d'Oak Ridges).

Il y a actuellement une pénurie d'hydrogéologues au Canada, et le besoin de scientifiques et de gestionnaires compétents ira en augmentant à mesure que les eaux souterraines seront gérées de manière plus rigoureuse. Les programmes universitaires et collégiaux axés sur l'étude des eaux souterraines en tant que ressource dans un cadre intégrant les sciences hydrologiques, la durabilité des écosystèmes, la gestion des bassins hydrographiques, ainsi que les aspects économiques et juridiques des ressources en eau, seront de plus en plus en demande (encadré 5.8).

Encadré 5.8 : La formation en hydrogéologie au Canada

Les professionnels des eaux souterraines sont généralement des ingénieurs ou géoscientifiques agréés, mais l'hydrogéologie n'est pas en soi une profession réglementée au Canada. À cause de cela, il est difficile d'évaluer le nombre de professionnels des eaux souterraines en activité au Canada. En effet, des compétences en matière d'eau souterraine peuvent être acquises dans diverses disciplines telles que le génie géologique, civil ou environnemental, les sciences de l'environnement, la géographie physique et peut-être d'autres. Néanmoins, l'hydrogéologie est le plus souvent considérée comme une sous-discipline des sciences de la Terre. De plus, une reconnaissance en tant qu'hydrogéologue exige généralement un diplôme d'études supérieures (maîtrise ou doctorat) avec une formation spécialisée en hydrogéologie.

Parmi les 36 universités canadiennes qui offrent des programmes en sciences de la Terre, près de la moitié offrent des diplômes d'études supérieures avec spécialisation en hydrogéologie. La taille et la portée des divers programmes varient considérablement,

mais la plupart comprennent des cours sur les fondements de l'hydrogéologie, la géochimie environnementale et la modélisation mathématique. Une formation pertinente est également disponible dans plusieurs autres universités, par le truchement d'un ou deux cours d'introduction au niveau du baccalauréat, et dans les programmes de nombreux collèges en environnement. Même si la formation dispensée au niveau du baccalauréat et dans les collèges est pertinente, son ampleur et son intensité ne sont généralement pas suffisantes pour que les diplômés soient considérés comme des professionnels des eaux souterraines. On peut acquérir une formation supplémentaire au moyen de séminaires et de cours de courte durée offerts dans le secteur privé ou dans des universités, ou encore par l'intermédiaire d'associations professionnelles comme la section canadienne de l'Association internationale des hydrogéologues et la Société canadienne de géotechnique.

Étant donné l'émergence de la qualité de l'eau souterraine à titre de préoccupation environnementale majeure au moment où de nombreux programmes de formation en matière d'eau souterraine ont été mis sur pied (il y a environ 30 ans), l'enseignement et la recherche universitaires ont fortement mis l'accent sur l'hydrogéologie des contaminants. Plus récemment toutefois, peut-être en réponse à une plus grande sensibilisation envers les pénuries d'eau dans le monde, les changements climatiques et le besoin d'une approche mieux intégrée de la gestion de l'eau, on insiste davantage sur le développement des ressources en eau souterraine.

Des estimations établies à partir des statistiques d'associations professionnelles montrent qu'il pourrait y avoir entre 700 et 1 000 professionnels des eaux souterraines en activité au Canada, au premier chef dans des entreprises privées de services-conseils. Selon des renseignements anecdotiques obtenus au hasard de conversations avec des dirigeants de cabinets de services-conseils, il y aurait à l'heure actuelle une grave pénurie de spécialistes des eaux souterraines (une entreprise de taille moyenne a indiqué qu'elle souhaiterait embaucher 40 hydrogéologues au cours des deux prochaines années). Même s'il est incomplet et seulement partiellement pertinent ici, un récent rapport (ECO Canada, 2008) donne un portrait utile de la situation des ressources humaines dans une composante du marché environnemental, à savoir l'étude et la réhabilitation de sites contaminés. Ce rapport indique qu'il y aura 11 500 postes vacants au cours des 12 prochains mois et que les géologues et hydrogéologues sont parmi les plus difficiles à recruter. La pénurie de ressources humaines amène certaines entreprises à refuser des occasions de contrat, ralentit le rythme du nettoyage de sites et nuit au développement de ce secteur de l'économie. Certaines entreprises qui ont des problèmes d'eau souterraine (dans le secteur pétrolier, par exemple) recrutent des hydrogéologues salariés. La *Loi sur l'eau saine* en Ontario entraînera inévitablement une demande accrue d'hydrogéologues de la part des organismes provinciaux, des municipalités, des autorités de conservation et des firmes d'experts-conseils. Par conséquent, alors qu'il y a actuellement une pénurie d'hydrogéologues, on a des raisons de croire que la demande va continuer de dépasser l'offre. Même si de nombreuses universités canadiennes forment des hydrogéologues, il s'agit en général d'une formation post-diplôme, et le nombre de diplômés par année

est relativement restreint. Pour répondre à la demande actuelle et future d'hydrogéologues, il est clair qu'il faudra davantage de ressources afin d'accroître la capacité de nos programmes de formation.

Pour répondre aux cinq objectifs du développement durable, il faut une formation spécialisée dans plusieurs domaines, dont l'hydrogéologie, l'hydrologie, la chimie de l'environnement, l'écologie de l'eau douce, la gestion des ressources, l'économie, la planification, le droit de l'environnement et probablement d'autres disciplines. De fait, l'atteinte des objectifs d'une gestion durable des eaux souterraines est un défi hautement pluridisciplinaire. Même s'il faut clairement des spécialistes des différentes disciplines, il faut aussi des personnes ayant une formation plus générale, capables d'établir la communication et les ponts de nature technique entre les diverses disciplines, en particulier entre les sciences exactes et les sciences sociales. Les hydrogéologues ont besoin de formation et d'expérience dans la communication de leurs connaissances aux organismes de réglementation, aux tribunaux décisionnels et au public, afin que la contribution de la science soit prise en considération de manière appropriée dans les décisions en matière de gestion de l'eau.

POINTS SAILLANTS

Les compétences en matière d'eaux souterraines au Canada

- Les provinces, propriétaires des ressources naturelles, ont la compétence juridique principale de la réglementation des eaux souterraines. Le gouvernement fédéral possède un pouvoir législatif et des droits de propriété qui lui permettent de gérer les eaux souterraines sur les terres fédérales. Il a aussi des domaines de compétence et un pouvoir de dépenser qui peuvent avoir des conséquences sur la gestion durable des eaux souterraines. Dans plusieurs domaines pertinents tels que l'agriculture et l'environnement, la responsabilité est partagée entre le gouvernement du Canada et les provinces.
- La *Loi sur les ressources en eau du Canada*, adoptée à l'origine en 1970, permet au gouvernement fédéral de conclure avec les provinces et territoires des accords portant sur la réalisation d'études exhaustives de bassins fluviaux, sur la collecte de données et l'établissement d'inventaires, ainsi que sur la désignation d'organismes de gestion de la qualité de l'eau.
- Dans la *Politique fédérale relative aux eaux* énoncée en 1987, le gouvernement du Canada s'est engagé entre autres à élaborer des lignes directrices nationales d'évaluation et de protection des eaux souterraines, ainsi qu'à prendre des mesures pour assurer une qualité appropriée des eaux souterraines transfrontalières. Cette politique est restée en grande partie inappliquée.
- Le *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine*, formulé en 2003 par un comité *ad hoc* d'intervenants, encourage la collaboration, mais il faut néanmoins répartir plus clairement, et officiellement, les tâches entre les ordres de gouvernement.

Gestion locale

- Comme c'est à l'échelon local que l'on assume le mieux certains aspects de la gestion des eaux souterraines, les provinces ont de plus en plus tendance à déléguer la gestion des eaux souterraines aux gouvernements locaux et à des organismes ayant de multiples parties prenantes. Cette approche est susceptible de fonctionner le mieux là où les provinces s'assurent que cette délégation de responsabilité est soutenue par des ressources financières et humaines suffisantes, ainsi que par l'obligation d'adopter les mesures voulues et de rendre compte des progrès accomplis.
- Il y a actuellement une pénurie d'hydrogéologues au Canada, et le besoin de scientifiques et de gestionnaires compétents ira en augmentant à mesure que les eaux souterraines seront gérées de manière plus rigoureuse.

Méthodes de gestion des eaux souterraines

- Les politiques et la réglementation relatives à l'eau portent typiquement sur la *quantité* d'eau utilisée ou sur la *qualité* de l'eau, mais rarement sur les deux à la fois.

- Les critères d'émission de licences ou de permis d'exploitation des eaux souterraines risquent de ne tenir compte que d'une manière limitée des impacts cumulatifs et de la protection des écosystèmes. De plus, il n'existe à l'heure actuelle aucune méthode normalisée pour inclure la protection des apports vers les cours d'eau dans les lois et règlements, mais certaines provinces examinent des moyens de combler cette lacune.
- Aucune province n'utilise comme critère de décision la valeur économique de l'utilisation proposée de l'eau. Lorsqu'un coût est rattaché à un permis de prélèvement d'eau, les sommes demandées ne servent qu'à défrayer les coûts administratifs et ne constituent pas un incitatif à la conservation.

Gestion de la qualité de l'eau souterraine

- La qualité de l'eau souterraine est protégée par les lois sur l'eau potable et la santé aquatique et par les évaluations environnementales exigées aux échelons provincial et fédéral. Malgré les programmes existants de tous les ordres de gouvernement, les mesures de gestion et la réglementation visant la réhabilitation en cas de contamination et la prévention d'une dégradation plus importante demeurent inadéquates pour une gestion durable des eaux souterraines.
- Les organismes de réglementation ont fait des progrès en vue de limiter la pollution ponctuelle par des entreprises, par exemple de pâtes et papiers. Par contre, les pratiques exemplaires de gestion visant à contrôler la pollution diffuse liée à l'agriculture ou au ruissellement urbain ont eu peu de succès, et une réglementation plus sévère ou de nouvelles approches techniques devraient être envisagées.
- Grâce à une gestion serrée par les municipalités, sous la surveillance et avec la collaboration des autorités provinciales et grâce au rôle du Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, la qualité de l'eau potable *municipale* tirée des eaux souterraines est généralement excellente dans toutes les régions du Canada. Par contre, les cas fréquents de contamination microbienne dans les puits privés et des petites collectivités, notamment ceux des Premières Nations, demeurent inacceptables. Il faut donc une gestion plus efficace de la salubrité de l'eau potable dans le cas des systèmes individuels, de petite taille ou éloignés des grands centres.
- Les cas de mortalité liés à une eau contaminée par des microbes pathogènes sont maintenant rares au Canada. L'épidémie de Walkerton en mai 2000 constitue une tragique exception. Cette catastrophe plaide de manière éloquente en faveur de multiples garde-fous pour garantir une eau potable salubre. La contamination de l'eau souterraine à l'origine de la tragédie survenue à Walkerton en 2000 *ne peut être vue comme une démonstration* que les eaux souterraines constituent une source intrinsèquement peu sûre d'approvisionnement en eau potable. Elle démontre qu'une violation systématique des règles de gouvernance peut toucher l'approvisionnement en eau, peu importe qu'il s'agisse d'eau souterraine ou de surface.

Importance de l'application de la réglementation

- Une application plus stricte des règlements et contrôles existants améliorerait la gestion durable des eaux souterraines. La comptabilité précise et régulière des prélèvements autorisés d'eau souterraine, le respect d'exigences plus strictes pour la surveillance de la qualité de l'eau, une documentation complète des caractéristiques géologiques liées à la construction et à l'abandon de puits, ainsi que le respect en temps voulu des conditions de nettoyage et de réhabilitation des sites contaminés, comptent parmi les aspects de l'application de la réglementation qui ont le plus besoin d'être améliorés.

Possibilités et défis d'instruments fondés sur le marché

- À l'heure actuelle, la tarification municipale et provinciale de l'eau ne reflète pas les coûts réels de son utilisation et favorise donc la surconsommation tout en nuisant à l'innovation et à la conservation. À cet égard, le Canada accuse un retard important par rapport aux pratiques exemplaires à l'échelle internationale.
- Les méthodes actuelles d'allocation de l'eau souterraine au Canada font rarement appel à des mesures incitatives fondées sur le marché. Pourtant, de très nombreuses données montrent que le recours plus intensif à des instruments économiques tels que la tarification de l'eau, les redevances de prélèvement et un système d'échange de permis, est susceptible de favoriser une utilisation durable de l'eau souterraine. Parmi les principaux obstacles à la mise en place de tels instruments, mentionnons le manque d'expérience en la matière des gouvernements au Canada, une compréhension insuffisante des caractéristiques économiques des demandes des utilisateurs de l'eau souterraine et la nécessité de coordonner l'introduction d'instruments fondés sur le marché avec les cadres de réglementation existants.

Affectation de ressources à la gestion des eaux souterraines

- L'affectation de personnel et de fonds à la gestion des eaux souterraines n'a pas suivi la croissance de la demande pour cette ressource, de sorte que nombreux bassins hydrographiques du Canada ne bénéficient pas des compétences et de la capacité de gestion voulues. Plusieurs exemples montrent qu'une collaboration entre les trois ordres de gouvernement donne des résultats positifs, en combinant les ressources disponibles dans une seule approche de gestion concentrée géographiquement et intégrée verticalement.

6 Évaluation de la gestion durable des eaux souterraines – Études de cas

Étant donné l'immensité du pays et l'extraordinaire variété des contextes hydrogéologiques, une évaluation nationale exhaustive de la durabilité des eaux souterraines au Canada serait une tâche colossale. Cette tâche serait de plus compliquée par la fragmentation des compétences et de la réglementation, le manque de cohérence dans l'espace et dans le temps de la collecte et de l'archivage des données, ainsi que par le niveau inégal des connaissances des bassins hydrogéologiques d'une région à l'autre du pays. Afin de donner un portrait de la situation canadienne et une brève comparaison avec des exemples des États-Unis, le comité a plutôt choisi de présenter un certain nombre d'études de cas. La figure 6.1 montre l'emplacement des cas choisis.



(Conseil des académies canadiennes, 2009)

Figure 6.1
Emplacement des cas étudiés

Collectivement, ces études de cas illustrent la plupart des problèmes de développement durable abordés dans les chapitres précédents et couvrent les aspects scientifiques, réglementaires et juridiques de la gestion des eaux souterraines. Cependant, chaque étude de cas met l'accent sur un aspect particulier. Ces études montrent que des progrès ont été accomplis en ce qui concerne chacun des cinq objectifs du développement durable, sauf peut-être le quatrième objectif (celui du bien-être socio-économique). Les cinq objectifs n'ont été atteints à la fois dans aucun de ces cas.

Les cas choisis portent sur des régions du pays où les connaissances sur les eaux souterraines sont relativement développées. Ils peuvent donc ne pas refléter fidèlement la situation à l'échelle nationale. Dans bien des cas cités ici, le degré de connaissance et de gestion n'a été atteint qu'après l'apparition de conflits. Dans d'autres cas, les connaissances sont relativement médiocres et les objectifs du développement durable n'ont pas été atteints. Les problèmes abordés comprennent les impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau souterraine, ainsi que l'extraction d'énergie, le développement urbain, la gestion à l'échelle des bassins hydrographiques et les eaux souterraines transfrontalières.

6.1 L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD : CONSÉQUENCES DE LA CHARGE EN NUTRIMENTS D'ORIGINE AGRICOLE SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES ÉCOSYSTÈMES CONNEXES

Le cas de l'Île-du-Prince-Édouard (figure 6.2) a été choisi pour illustrer les problèmes de quantité et de qualité liés au captage et à l'écoulement de l'eau souterraine, ainsi qu'à la charge en nutriments d'origine agricole. En particulier :

- le gouvernement provincial a mis en place un moratoire sur les nouveaux puits d'irrigation à grande capacité jusqu'à ce que l'on comprenne mieux leurs impacts potentiels sur les écosystèmes aquatiques;
- malgré les exigences de rotation des cultures et les pratiques exemplaires de gestion en matière agricole, la qualité de l'eau souterraine continue d'être affectée dans de nombreuses parties de la province par des nutriments d'origine agricole;
- le transport des nitrates par les eaux souterraines vers les cours d'eau et les estuaires a provoqué une dégradation environnementale des estuaires peu profonds, avec des conséquences négatives sur la récolte des coquillages ainsi que sur le tourisme et les activités récréatives aquatiques;
- étant donné les préoccupations à l'échelle de la province, une commission indépendante représentant des intérêts variés a été mise sur pied afin d'établir un plan visant à traiter le problème de la contamination des eaux souterraines par les nitrates.



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.2

L'Île-du-Prince-Édouard

Contexte

L'Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.-É.) est la seule province qui dépend des eaux souterraines pour la presque totalité de son approvisionnement en eau douce. Quelque 45 % des 136 000 habitants sont desservis par des réseaux municipaux alimentés par des eaux souterraines, et les autres sont alimentés par des puits domestiques individuels. Les ruisseaux et rivières de la province reçoivent en général environ 70 % de leur débit moyen annuel sous forme d'écoulement de base d'eaux souterraines (Randall *et al.*, 1988). Cette dépendance de la population et des écosystèmes aquatiques envers les eaux souterraines se situe dans le contexte d'une économie en grande partie agricole (figure 6.3).

L'Î.-P.-É. possède essentiellement un seul aquifère (5 680 km²) composé de formations de roches sédimentaires, surtout du grès. Le volume d'eau souterraine consommé à l'échelle provinciale représente une petite fraction de la recharge annuelle. On estime à seulement 1 à 3 % de la recharge annuelle la quantité d'eau prélevée dans l'aquifère de l'Î.-P.-É. (Jiang *et al.*, 2004). À l'échelle régionale, le pompage n'a pas entraîné de baisse significative des niveaux de la nappe phréatique à l'Î.-P.-É. L'aquifère de l'Î.-P.-É. a des caractéristiques inhérentes qui le rendent vulnérable à la contamination : des taux annuels de recharge relativement élevés, les températures fraîches des eaux souterraines (~ 10° C) qui entravent les processus microbiens et chimiques de décomposition, ainsi



(Gracieuseté de Kerry MacQuarrie)

Figure 6.3

Paysage d'une région agricole du centre de l'Île-du-Prince-Édouard

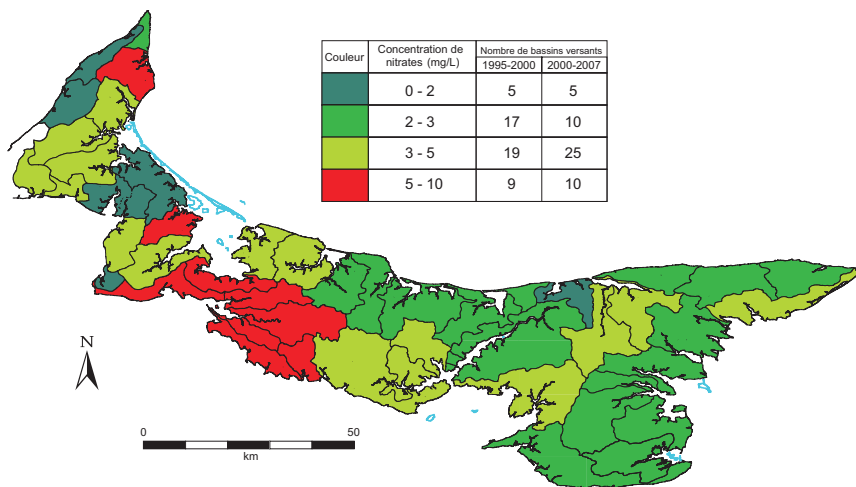
qu'une conductivité hydraulique générale relativement élevée dans les dépôts superficiels et le roc peu profond fracturé. Ces facteurs, auxquels s'ajoute une utilisation significative du sol à des fins agricoles, ont eu des effets relativement importants sur la qualité de l'eau souterraine (voir p. ex. Savard et Somers, 2007).

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : De manière générale, le captage d'eau souterraine n'est réglementé que pour des puits donnant plus de 330 m³ par jour (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2007a). Un permis de prélèvement est accordé par le gouvernement provincial une fois qu'il a été démontré que le prélèvement projeté n'a pas d'effet indésirable sur les autres utilisateurs de l'eau souterraine et sur l'environnement. Les quantités allouées sont fonction de la recharge annuelle moyenne du bassin hydrographique, la somme des prélèvements autorisés étant limitée à un maximum de 50 % de la recharge annuelle (Jiang *et al.*, 2004).

Étant donné les préoccupations à propos de prélèvements croissants d'eau souterraine pour l'irrigation, dont la demande est typiquement la plus élevée pendant les périodes sèches de l'année (où le débit des cours d'eau est faible), le gouvernement provincial a imposé un moratoire sur l'émission de permis pour des puits d'irrigation à grande capacité (CBCL Limited, 2003). Ce moratoire constituait en fait une application du

principe de précaution, en donnant le temps de faire des évaluations hydrogéologiques plus complètes des impacts cumulatifs à long terme sur l'écoulement de base des cours d'eau. Des modèles de l'écoulement des eaux souterraines ont été élaborés pour plusieurs bassins versants représentatifs. Ils ont été calés à partir de données existantes sur les eaux souterraines et l'écoulement de base des cours d'eau (Jiang *et al.*, 2004) et ont servi à tester des scénarios de prélèvement. Même avec ces études plus détaillées, le moratoire sur les puits d'irrigation à grande capacité reste en vigueur parce qu'il n'y a pas actuellement assez d'information pour déterminer les débits nécessaires à la viabilité et à l'intégrité des écosystèmes aquatiques (communication personnelle du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Foresterie de l'Île-du-Prince-Édouard).



(Traduit, adapté et reproduit de Savard et Somers, 2007, avec les autorisations requises)

Figure 6.4

Concentration moyenne de nitrates dans l'eau souterraine, établie à partir de données des puits domestiques

Qualité de l'eau souterraine : On a établi un lien entre les pratiques actuelles de production de pommes de terre à l'Î.-P.-É. et les concentrations élevées de nitrates (plus de 3 mg d'azote par litre) dans les eaux souterraines (Benson *et al.*, 2006). La présence de nitrates dans les eaux souterraines peut représenter un risque pour la santé humaine lorsque la concentration est supérieure au maximum acceptable de 10 mg d'azote par litre (Santé Canada, 1995). Dans certains bassins versants (figure 6.4), jusqu'à 20 % des puits dépassent la concentration maximale acceptable de nitrates (Savard et Somers, 2007). Certaines études ont porté sur les effets pour la santé humaine (Bukowski *et al.*, 2001).

Les concentrations de nitrates dans plusieurs rivières alimentées en bonne partie par l'écoulement des eaux souterraines ont augmenté d'environ 0,5 mg d'azote par litre par décennie pendant les années 1980 et 1990 (Somers *et al.*, 1999). Ces cours d'eau et l'émergence directe d'eaux souterraines déchargent de l'azote dissous dans les nombreux petits estuaires des côtes de l'Î.-P.-É. Cela a contribué à l'augmentation des cas d'anoxie, d'odeurs nauséabondes et de croissance excessive d'algues dans de nombreux estuaires de la côte Nord de l'Î.-P.-É. (communication personnelle du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Foresterie de l'Île-du-Prince-Édouard).

La Province a récemment mis sur pied une commission sur les nitrates dans l'eau souterraine, afin d'élaborer une stratégie de réduction de la concentration en nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008). Cette stratégie vise à faire en sorte :

- que la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines par les nitrates soit ramenée le plus tôt possible à un niveau acceptable;
- que la population puisse compter sur une eau potable naturelle de grande qualité;
- que les ruisseaux, les rivières, les étangs et les estuaires puissent entretenir une saine variété d'espèces aquatiques.

D'autre part, le réseau de fractures présent dans le roc de l'Î.-P.-É. augmente la vulnérabilité de l'aquifère à la contamination par des microbes pathogènes; cependant, très peu de données étaient disponibles pour évaluer la situation actuelle. Même si la contamination bactérienne des eaux de surface est préoccupante, Somers *et al.* (1999) ont noté qu'une évaluation adéquate de la contamination bactérienne des eaux souterraines est impossible à cause de la dispersion des points d'échantillonnage et en raison de facteurs liés à des sites précis comme l'intégrité incertaine des puits. Selon les données présentées par Fairchild *et al.* (2000), les tests ont été positifs pour les coliformes totaux dans 5 puits sur 42 (probablement domestiques); cependant, les données rapportées avaient été recueillies en 1990 et 1991.

Conséquences socio-économiques : La Commission sur les nitrates dans l'eau souterraine (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008) a reconnu les conséquences socio-économiques suivantes de l'apport de nutriments dans les systèmes aquatiques :

- des pertes économiques dans les domaines de la pêche commerciale et récréative et de la pêche de coquillages;
- une diminution des possibilités de tourisme et d'activités récréatives aquatiques;
- des coûts importants de réhabilitation des habitats endommagés;
- une baisse de la valeur des propriétés immobilières.

Par contre, aucune évaluation n'est disponible pour connaître l'ampleur économique de ces impacts.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Tous les secteurs d'activité s'entendent sur le fait qu'il faut réduire le lessivage des nitrates vers les eaux souterraines tout en maintenant une agriculture viable (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2007b). Les stratégies possibles comprennent une gestion optimisée des engrais, par exemple à l'aide de produits à libération contrôlée ou par une modification des cultures à l'intérieur de la rotation afin de mieux gérer les nitrates (communication personnelle d'Agriculture et Agroalimentaire Canada). Ces stratégies font toujours l'objet de recherches dans le contexte de la production de pommes de terre à l'Î.-P.-É.

La rotation des cultures a été inscrite dans les lois de la province en 2002, mais on ne sait pas bien jusqu'à quel point elle est pratiquée ou appliquée. En 2001, 40 % de la superficie servant à la production de pommes de terre avait un cycle de rotation inférieur à la recommandation minimale de trois ans et était donc en contravention potentielle de la loi. Le pourcentage élevé de terres non gérées sur un cycle de trois ans était attribué aux pressions croissantes des années 1990 des cultures à haut rendement sur une superficie agricole limitée (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2003).

L'un des objectifs énoncés dans la loi sur la rotation des cultures (*Agricultural Crop Rotation Act*) est de « *maintenir et améliorer la qualité de l'eau souterraine* » (traduit de Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2004a). Étant donné que la loi mentionne spécifiquement la pomme de terre comme « culture réglementée », il est clair que la rotation dans le cas de la production de pommes de terre vise à réduire le lessivage de nutriments dans les eaux souterraines. En effet, la Commission sur les nitrates dans l'eau souterraine (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008) a récemment recommandé fortement que le gouvernement provincial « *mette en place une rotation obligatoire de trois ans des cultures dans les terres produisant une culture réglementée, sans possibilité d'exemption* » (traduction). La Commission a identifié d'autres sources de nitrates, dont des installations septiques et l'utilisation d'engrais à des fins esthétiques. Cependant, parmi les 30 recommandations de la Commission, les plus importantes ont trait à la réduction du lessivage des nitrates à partir des terres agricoles, en particulier pour la culture de la pomme de terre.

Des plans de protection des aires de captage des puits municipaux doivent être élaborés à partir du concept d'aire de captage des puits, de l'identification de sources possibles de contamination dans les aires de captage, ainsi que de mesures de contrôle pouvant comprendre des règlements de zonage, des accords contraignants avec des propriétaires fonciers, ou encore l'achat ou la location de terres sensibles afin de prévenir la contamination de l'eau souterraine dans les aires de captage (Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2004b). Pour toutes les municipalités de la province,

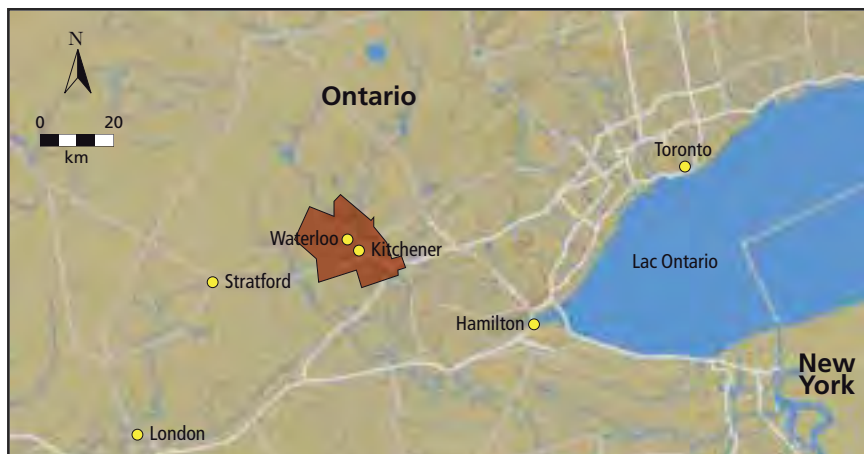
les aires de captage ont été déterminées par des hydrogéologues du gouvernement provincial, et les résultats transmis aux gouvernements municipaux. L'élaboration de plans et de calendriers de mise en place de la protection des aires de captage en est à des étapes différentes selon les municipalités (communication personnelle du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Foresterie de l'Île-du-Prince-Édouard).

Leçons apprises

La baisse à long terme du niveau des eaux souterraines dans les diverses régions ne constitue pas actuellement un problème à l'Î.-P.-É. Le premier objectif de développement durable du comité est donc atteint, et les analyses récentes des bassins hydrogéologiques constituent un progrès important dans la gestion des eaux souterraines. Par contre, le comité considère que la situation actuelle de contamination à grande échelle par les nitrates et les effets qui en résultent sur les écosystèmes aquatiques vont à l'encontre des objectifs de qualité de l'eau souterraine et de viabilité des écosystèmes (deuxième et troisième objectifs). Les modifications apportées avec relativement peu de restrictions à l'utilisation des sols, qui ont entraîné l'expansion ou l'intensification de l'agriculture dans de nombreux bassins versants, montrent les faiblesses d'une gestion non intégrée des terres et des eaux souterraines. À cause de la lenteur du transport des contaminants dans les bassins hydrogéologiques, il a fallu des décennies pour que les effets des modifications de l'utilisation des sols se manifestent dans les eaux de surface et dans les réserves plus profondes d'eau souterraine. Malheureusement, il faudra probablement autant de temps pour que les mesures correctives donnent les bénéfices environnementaux escomptés.

La résolution de ces problèmes à long terme de qualité de l'eau souterraine exigera probablement une collaboration entre plusieurs organismes, comme le montrent de récentes études sur les changements climatiques et les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines (voir p. ex. Savard et Somers, 2007; Somers *et al.*, 2007; Vigneault *et al.*, 2007). Les efforts actuels d'élaboration de plans intégrés de gestion à l'échelle des bassins hydrographiques, menés par des comités d'intervenants locaux avec l'appui d'organismes provinciaux et fédéraux, semblent constituer un bon point de départ pour aborder les impacts relativement étendus des pratiques actuelles d'utilisation du sol. Cependant, même avec l'application des meilleures connaissances scientifiques et une longue liste de recommandations bien intentionnées (voir p. ex. Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008), les efforts visant à réduire la contamination à grande échelle des eaux souterraines canadiennes par les nitrates n'ont pas été particulièrement couronnés de succès (voir plus loin l'étude de cas de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas).

Le maintien du moratoire sur les puits d'irrigation à grande capacité met en lumière la mauvaise compréhension des liens entre les bassins hydrogéologiques et les écosystèmes des eaux de surface qui dépendent de l'émergence des eaux



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.5

La région de Waterloo

souterraines ou qui sont influencés par cette émergence. La détermination des apports nécessaires vers les estuaires et des charges de nutriments acceptables donne deux exemples de questions scientifiques qui se situent à la frontière de l'hydrogéologie et de l'écologie et qui amèneront ultimement la société à se poser des questions difficiles à propos du développement durable. La gestion des apports vers les cours d'eau peut devoir se faire par itérations : permettre le prélèvement d'une partie de la quantité demandée d'eau souterraine, puis surveiller et évaluer les effets écologiques de ce prélèvement avant d'allouer une quantité plus importante, conformément aux principes de gestion adaptative. Une telle façon de procéder tiendrait mieux compte du long temps de réaction de certains bassins hydrogéologiques et de l'incertitude concernant la réponse des écosystèmes.

L'existence à l'Île-du-Prince-Édouard d'un milieu réglementaire peu fragmenté, où un seul ordre de gouvernement assure l'essentiel de la gestion des ressources en eau, devrait constituer pour le Canada un bon test d'une gestion mieux intégrée des eaux souterraines et des eaux de surface.

6.2 LA MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE WATERLOO, EN ONTARIO : MISE EN APPLICATION À L'ÉCHELON MUNICIPAL DE POLITIQUES CONCERNANT LES EAUX SOUTERRAINES

Le cas de Waterloo a été choisi pour illustrer les défis que les municipalités doivent relever afin de gérer les eaux souterraines d'une manière durable face aux prévisions de croissance, aux règlements contraignants et aux contaminants hérités d'anciennes industries.

Contexte

La Municipalité régionale de Waterloo est l'utilisateur le plus important d'eau souterraine pour l'approvisionnement municipal en Ontario. Elle comprend les municipalités de Cambridge, Kitchener et Waterloo, ainsi que les cantons de North Dumfries, Wellesley, Wilmot et Woolwich. Sa superficie est d'environ 1 380 km², dont à peu près le tiers est urbanisé. Sa population d'environ 507 000 habitants devrait croître de plus de 40 % pour atteindre les 729 000 d'ici 2031 (Région de Waterloo, 2008).

La consommation actuelle d'eau municipale est de 260 000 m³ par jour et devrait atteindre 300 000 m³ par jour d'ici 2041. Quelque 25 % de cette eau est tirée de la rivière Grand, et les 75 % restants (environ 200 000 m³ par jour) des ressources locales en eau souterraine. Un système hautement intégré d'approvisionnement a été mis sur pied, comprenant plus de 120 puits et une prise d'eau de surface (Région de Waterloo, 2008).

La région est située dans la partie centrale du bassin de la rivière Grand. Sur le plan topographique, elle est dominée par des structures de moraine glaciaire, caractérisée par des dépôts perméables de sable et de gravier ainsi que par un relief de vallonné à moutonné. Les dépôts morainiques donnent de nombreux aquifères à pression géostatique et à débit d'exploitation élevé. Le terrain moutonné et les sols perméables permettent en outre une recharge élevée des eaux souterraines. Les dépôts morainiques sont très complexes, avec une succession de couches de sable et gravier et de couches semi-perméables, ce qui rend difficile la cartographie et la caractérisation des aquifères. Les aquifères de la roche en place sont associés aux formations Guelph et Amabel, deux dépôts de roche calcaire, et constituent une excellente source d'eau souterraine pour la ville de Cambridge (Région de Waterloo, 2007a).

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : À partir du bilan hydrique de 2008, on estime que les prélèvements d'eau souterraine représentent environ 25 % de la recharge sur l'ensemble de la région. Cette proportion pourrait toutefois être localement beaucoup plus importante, pouvant atteindre jusqu'à 50 % (Région de Waterloo, 2007a). La région connaît pendant les mois secs de l'été des pénuries d'eau qui entraînent souvent des restrictions d'arrosage. Même si l'infrastructure d'approvisionnement constitue un facteur, les baisses saisonnières du niveau de l'eau dans les puits sont souvent en cause même si, à quelques exceptions près, les données de surveillance des puits en production et des puits d'observation indiquent que les niveaux d'eau se sont stabilisés (Région de Waterloo, 2007a).

Dans le contexte plus large de la viabilité des écosystèmes et au vu de la demande rapidement croissante, la durabilité est moins certaine. La Municipalité régionale

reconnaît qu'il faut maintenir une émergence adéquate des eaux souterraines dans les cours d'eau et les milieux humides. Par contre, les effets des prélèvements actuels sont incertains, et les critères scientifiques du maintien de la viabilité et de l'intégrité des écosystèmes sont mal définis.

Qualité de l'eau souterraine : La région est confrontée aux problèmes habituels de contamination, principalement anthropogénique. Les contaminants comprennent les nitrates, en particulier dans les zones rurales dont les sols sont perméables, les sels de déglçage et, localement, les lixiviats de sites d'enfouissement, des produits pétroliers, des solvants à base de chlorure et d'autres produits chimiques industriels.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Étant donné la complexité des réseaux d'aquifères, la diversité d'utilisation des sols, la forte demande d'eau et la population croissante, la région fait face à un éventail de problèmes techniques et de gestion en matière d'eau souterraine. Une équipe de sept hydrogéologues à plein temps assure une interaction constructive et éclairée avec les paliers supérieurs de gouvernement, maintient des normes techniques élevées dans les études données à contrat à des experts-conseils et effectue un examen technique approfondi des projets de développement susceptibles de modifier l'utilisation du sol ou de l'eau dans la région.

La Municipalité régionale administre un programme public d'éducation et de conservation, qui comprend des mesures incitatives telles que des rabais pour l'installation de toilettes à faible débit d'eau. L'objectif du programme est de parvenir d'ici 2015 à des économies de 14 000 m³ par jour (environ 5 % de la consommation municipale actuelle). Par contre, on prévoit que 40 000 m³ par jour supplémentaires seront nécessaires d'ici 2041 (Région de Waterloo, 2007a). Ils seront fournis par :

- le stockage et la récupération d'eau dans les aquifères : pompage et stockage dans les aquifères à partir de la rivière Grand pendant les périodes de fort débit, puis récupération pendant les périodes de faible débit;
- des puits supplémentaires de prélèvement d'eau souterraine;
- un pipeline jusqu'au lac Huron ou au lac Érié d'ici 2035⁴⁵.

45 Au premier abord, la solution qui consiste à construire un pipeline à partir d'un plan d'eau comme le lac Érié ou le lac Huron pour desservir une collectivité qui dépend des eaux souterraines semble évidente, mais de tels pipelines ont des implications importantes, notamment les suivantes :

- i) comme l'eau est transportée, parfois sur une distance considérable, et traverse différentes municipalités, il y a souvent des problèmes pour déterminer une répartition juste et appropriée des coûts d'infrastructure et d'entretien liés à la livraison et au traitement de l'eau, et donc pour établir la tarification de l'eau; on peut faire valoir que le transport de l'eau par pipeline favorise le développement dans des zones où celui-ci aurait été limité ou contraint en raison de la non-disponibilité de l'eau;

Par suite de la découverte de n-nitrosodiméthylamine dans des puits en production d'Elmira en 1989, la Municipalité régionale a mis sur pied des programmes de réduction des risques afin de mieux gérer les aires de captage dans les zones de contamination industrielle antérieure (Région de Waterloo, 2007a). Un relevé des sites potentiellement contaminés, fondé en grande partie sur des bases de données provinciales et municipales, a été effectué en 1996 et est périodiquement mis à jour. Les résultats de cette étude ont servi à caractériser les sites contaminés et potentiellement contaminés dans chaque zone de protection des puits. Les niveaux de risque pour l'approvisionnement en eau souterraine sont déterminés à l'aide d'une procédure d'indexation qui tient compte du nombre de sources potentielles de contamination, de l'ampleur et de la gravité de chaque source, de la vulnérabilité de l'aquifère touché et de la proximité des sources de contamination par rapport à l'aire de captage. La délimitation des zones de protection repose en grande partie sur des modèles numériques en trois dimensions qui déterminent les aires de captage et les limites de parcours autour de chaque puits sur des périodes de deux ans et de dix ans (Région de Waterloo, 2007a).

En ce qui concerne les sources diffuses de contamination, la Municipalité régionale offre aux agriculteurs des incitatifs financiers afin de diminuer l'épandage d'engrais azotés et encourage l'adoption de pratiques exemplaires de gestion. Elle a aussi des programmes visant une moindre utilisation des sels de déglacage (Région de Waterloo, 2007a). Malgré ces efforts, la contamination des eaux souterraines par les nitrates et les sels de déglacage constituera un problème de gestion durable pour de nombreuses années à venir.

Leçons apprises

L'exactitude des risques liés aux utilisations antérieures du sol est limitée par la qualité et l'exhaustivité des données historiques. Les registres de transfert de propriété omettent souvent d'inclure la liste complète des produits chimiques qui ont été utilisés

-
- ii) le trajet du pipeline peut devenir une question importante, puisque les collectivités ayant accès au pipeline pourraient mieux assurer leur croissance, alors que celles situées plus loin du trajet pourraient être désavantagées; tout cela conduit à l'épineuse question de savoir quelles collectivités devraient ou non avoir accès au pipeline;
 - iii) avec la multiplication des pipelines, il se peut que l'on néglige ou sous-estime leur impact sur les lacs qui fournissent l'eau, bien que plusieurs considèrent même les Grands Lacs comme une ressource en eau qui n'est pas infinie;
 - iv) d'autre part, avec le développement de collectivités approvisionnées en eau par pipeline, des problèmes vont surgir à propos du traitement des eaux usées;
 - v) lorsqu'une municipalité se rend compte que l'approvisionnement en eau pose un problème, elle accorde souvent une valeur accrue aux mesures de conservation, ce qui sensibilise la population à la valeur de l'eau. Ces efforts pourraient être contrecarrés si l'eau est importée d'une source distante de telle sorte qu'on ait l'impression qu'il n'y a pas de problème d'approvisionnement.

dans une propriété. Faute de moyens efficaces à la disposition de la Municipalité régionale pour surveiller ou limiter l'utilisation de produits chimiques, une incertitude subsiste à propos des risques liés aux pratiques actuelles et à venir. Les conséquences possibles de contaminations antérieures encore non découvertes demeurent une source d'incertitude et de préoccupation.

La définition de zones visant la protection de la qualité de l'eau comporte un degré élevé d'incertitude, en particulier dans les zones complexes sur le plan hydrogéologique que comporte la région. La réduction des risques suppose souvent des restrictions sur l'utilisation du sol ou l'achat pur et simple de propriétés, qui ont tous deux des conséquences économiques substantielles. L'application dans ces circonstances du principe de précaution pourrait se traduire par des exigences très coûteuses et en fait impossibles à satisfaire en pratique.

En raison de la complexité géologique des aquifères, les projections de débit d'exploitation durable sont incertaines ainsi que, par conséquent, le degré avec lequel le débit d'exploitation potentiel de nouveaux puits peut être atteint. Les pressions du développement dans les zones de recharge et les effets possibles de modifications de l'aménagement foncier ajoutent à la difficulté de prévoir la disponibilité future de l'eau souterraine. Enfin, les effets des prélèvements actuels sur la santé des écosystèmes sont incertains, et les critères scientifiques du maintien de la viabilité et de l'intégrité des écosystèmes sont mal définis.

6.3 LA MORAINÉ D'OAK RIDGES, EN ONTARIO : GESTION RÉGIONALE CONJOINTE DES EAUX SOUTERRAINES

Le cas de la moraine d'Oak Ridges a été choisi pour illustrer les mérites d'une approche commune et intégrée de la gestion des eaux souterraines sur un ensemble régional de bassins semblables sur les plans hydraulique et écologique. En particulier :

- les municipalités et les agences de conservation de la région de Toronto ont formé un partenariat et ont mis en commun leurs ressources pour une approche scientifique régionale de leurs ressources collectives en eau souterraine;
- le programme de caractérisation a mis sur pied un système de gestion de données, une information géologique complète à propos de la moraine ainsi que des simulations numériques de l'écoulement des eaux souterraines. Ces outils sont fréquemment mis à jour et sont effectivement évolutifs;
- le programme entretient des liens étroits avec les planificateurs partenaires, afin de tenir compte des possibilités et des risques concernant les eaux souterraines dans les décisions d'aménagement foncier;
- le programme a fait appel aux contributions scientifiques des trois ordres de gouvernement.



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.6

La moraine d'Oak Ridges, en Ontario

Contexte

La moraine d'Oak Ridges s'étend sur quelque 160 kilomètres dans le Sud de l'Ontario, du voisinage de Trenton à l'est jusqu'à l'escarpement du Niagara à l'ouest (figure 6.6). Elle constitue les hauteurs qui séparent les bassins hydrographiques orientés vers le sud en direction du lac Ontario et ceux qui s'écoulent dans le lac Simcoe et d'autres lacs du réseau de lacs Kawartha au nord. La moraine d'Oak Ridges est reconnue comme une zone régionale de recharge des eaux souterraines, fournissant de l'eau à des aquifères exploités par des municipalités et à de nombreux cours d'eau qui prennent leur source sur les flancs de la moraine (Howard *et al.*, 1995).

Les bassins hydrogéologiques sont généralement peu profonds et étroitement liés aux eaux de surface, en raison du relief peu accidenté et du climat humide. De nombreux cours d'eau de surface dépendent pendant une bonne partie de l'année de l'émergence des eaux souterraines pour maintenir leur écoulement de base, et les écosystèmes aquatiques dépendent de la qualité et de la quantité d'eau souterraine qui alimente ces cours d'eau (Bradford, 2008).

Considérations relatives à la gestion durable

En ce qui concerne les eaux souterraines, la moraine d'Oak Ridges fait depuis longtemps l'objet d'une attention soutenue des municipalités, des autorités de conservation, du gouvernement de l'Ontario ainsi que du public, pour les raisons suivantes :

- la reconnaissance de la moraine comme une région naturelle où les processus hydrologiques, notamment les nombreuses sources d'eau froide qui émergent

des flancs de la moraine, sont considérés comme une part importante du patrimoine naturel de l'Ontario;

- l'utilisation à grande échelle des eaux souterraines de la région pour l'approvisionnement municipal, comme à Newmarket, Aurora, Caledon et Uxbridge, ainsi qu'à des fins domestiques (environ 65 000 puits domestiques privés dans les seules régions de York Peel et de Durham), industrielles (p. ex. le lavage des agrégats) et récréatives (p. ex. la moraine d'Oak Ridges compte quelque 38 terrains de golf – Garfinkel *et al.*, 2008);
- les pressions du développement des collectivités rapidement croissantes du pourtour de Toronto, qui empiète sur la moraine et qui a pour effet de diminuer la recharge des eaux souterraines et d'en altérer la qualité.

L'attention du public envers ces facteurs a mené à l'adoption de la *Loi de 2001 sur la conservation de la moraine d'Oak Ridges* et au *Plan de conservation de la moraine d'Oak Ridges* qui en découle. Ces documents visent une meilleure gestion du développement sur la moraine d'Oak Ridges, prescrivent le recours à des modèles pour dresser des bilans hydriques des bassins versants issus de la moraine et, pour la première fois en Ontario, mettent en place des restrictions sur l'utilisation du sol dans les zones de protection des puits.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Depuis 2000, les municipalités de York, Peel, Durham et Toronto (YPDT) et les neuf autorités de conservation ayant juridiction sur la moraine d'Oak Ridges (désignées collectivement sous le nom de Conservation Authorities Moraine Coalition ou CAMC) ont formé un partenariat ayant pour but d'établir un programme de gestion des eaux souterraines de la moraine (voir le site Web YPDT-CAMC). Étant donné que la plupart des décisions d'aménagement foncier qui affectent les ressources en eau souterraine sont appliquées à l'échelon local par les gouvernements municipaux et les autorités de conservation, c'est à cet échelon qu'il faut mettre en place les processus décisionnels concernant les ressources en eau souterraine. Les gouvernements provincial et fédéral ont apporté un soutien technique ou financier.

Ce partenariat s'est consacré principalement (Holysh *et al.*, 2003) à la compréhension de l'écoulement des eaux souterraines comme des eaux de surface. Qu'il s'agisse de gestion des nutriments, d'émission de permis de prélèvement, d'approbation de développements fonciers, d'effets des sites d'enfouissement ou de l'utilisation de sels de déglacage, ou encore de toute autre décision d'aménagement du territoire affectant les ressources en eau souterraine, il est crucial pour prendre les bonnes décisions de bien comprendre comment l'eau se déplace dans les bassins versants et comment les développements projetés peuvent affecter le déplacement ou la qualité de l'eau.

Ce programme a produit trois résultats principaux : (1) une base de données sur l'eau; (2) un modèle géologique (Kassenaar *et al.*, 2003); (3) un modèle numérique de l'écoulement des eaux souterraines (Wexler *et al.*, 2003). Ces produits sont utilisés par les partenaires pour planifier et évaluer le développement et ils continuent d'être perfectionnés pour répondre aux besoins croissants du partenariat. Cependant, pour gérer de manière efficace les eaux souterraines, il faut traduire en politiques et décisions sensées les connaissances techniques fournies par la science. Le programme a donc établi des liens étroits avec les planificateurs des organismes partenaires. Par exemple, une étude récente a porté sur les meilleurs moyens de traduire les conclusions d'études techniques sur les bassins versants et hydro-géologiques en politiques d'un plan officiel qui orientent les décisions d'aménagement foncier dans la région (Ogilvie et Usher, 2005).

Les coûts de fonctionnement du partenariat, qui sont répartis entre les partenaires, sont de 400 000 \$ par année, soit environ 0,08 \$ par habitant, plus des subventions provinciales non récurrentes totalisant environ 2 000 000 \$.

Base de données exhaustive sur l'eau : L'un des premiers projets du programme YPDT-CAMC a consisté à constituer une base de données exhaustive informatisée, destinée à servir de fondement non seulement à l'élaboration d'un modèle d'écoulement, mais aussi à une gestion à long terme des eaux souterraines.

Un important objectif de cet exercice était d'établir des ponts à la fois entre les partenaires et entre les disciplines, en réalisant une base de données complète et intégrée contenant de l'information sur la géologie, les eaux souterraines, les eaux de surface et le climat dans une région étendue. Une telle portée témoigne du fait que la gestion de l'eau ne peut pas se limiter aux frontières municipales et qu'un vaste éventail de sources de données doit être mis à contribution pour appuyer la prise de décisions crédibles en matière d'eaux souterraines et une gestion à long terme efficace de la ressource. La base de données est constamment mise à jour : à titre d'exemple, les données consignées à de nombreux sites de surveillance sont régulièrement ajoutées à la base de données⁴⁶.

La gestion de la base de données vise en outre à surmonter une lacune courante des processus d'acquisition de données, où des données de grande qualité sont recueillies à grands frais par des experts-conseils qualifiés, sont rapportées dans diverses études, puis ensuite tout simplement perdues dans des archives sur papier au sein des divers organismes.

⁴⁶ La base de données contient des renseignements sur environ 300 000 puits, 4 500 stations hydrométriques et 580 stations climatiques, ainsi que des descriptions de cultures et des détails sur les permis de prélèvement d'eau. De plus, près de 50 millions de lectures de niveau et de qualité de l'eau, de débit de pompage, de données climatiques et de débit sont associées à leurs points respectifs de mesure.

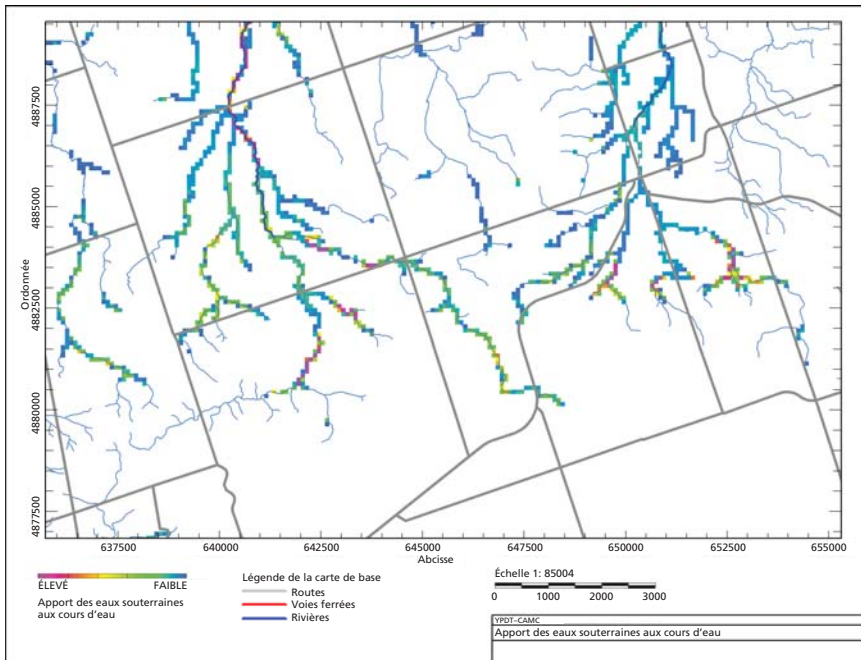
Cadre conceptuel et modèle géologique détaillé : La Commission géologique du Canada (CGC) a étudié la moraine d’Oak Ridges pendant les années 1990 et a fait ressortir entre autres le besoin de comprendre la sédimentologie de la région pour les études sur les eaux souterraines (voir p. ex. Russell *et al.*, 2001).

La deuxième réalisation importante du programme YPDT-CAMC a consisté à utiliser les travaux de la CGC pour terminer la construction numérique des couches géologiques à l’échelle régionale, afin de représenter les entités géologiques et hydrogéologiques du sous-sol. Les sédiments glaciaires déposés dans le Centre-Sud de l’Ontario forment les principaux aquifères de la région, et il est crucial de connaître leur morphologie pour comprendre l’écoulement des eaux souterraines à différentes échelles (Barnett *et al.*, 1998).

Modélisation numérique des eaux souterraines : Le troisième objectif du programme YPDT-CAMC était d’utiliser la base de données et la représentation des couches géologiques pour élaborer des modèles numériques de l’écoulement des eaux souterraines, afin d’éclairer la prise de décisions en matière de gestion de l’eau. La modélisation régionale de la totalité de la moraine d’Oak Ridges a reposé sur un modèle à cinq couches formé d’environ 3,3 millions de cellules correspondant chacune à un carré de 240 mètres de côté. Le résultat a démontré que des modèles régionaux des eaux souterraines peuvent être des outils efficaces de gestion des eaux souterraines (Kassenaar et Wexler, 2006).

Étant donné que, dans la partie amont de la moraine, les cours d’eau sont particulièrement sensibles aux changements de niveau des eaux souterraines, l’évaluation complète des effets d’un projet de développement exigeait une simulation de l’interaction entre les eaux souterraines et les nombreux ruisseaux dans la partie amont de la moraine. On a donc entrepris une modélisation à l’échelle locale (centrée sur les régions de Toronto et de York), ce qui a exigé huit couches et 7,1 millions de cellules correspondant à des carrés de 100 mètres de côté (Kassenaar et Wexler, 2006). Des cellules plus petites que dans le cas précédent étaient nécessaires pour mieux représenter l’interaction entre les cours d’eau et les aquifères et pour évaluer les baisses de pression autour des puits municipaux. Par contre, la taille du modèle a posé des défis techniques, dont l’optimisation de la mémoire informatique, l’incorporation de centaines de kilomètres de cours d’eau, le traitement des entités non confinées, ainsi que l’attribution de valeurs de conductivité hydraulique dans une région aussi vaste à partir d’une faible quantité de données de pompage.

La figure 6.7 illustre (par des couleurs) l’émergence prédite par le modèle pour chacune des cellules de 100 mètres de côté le long de tributaires de la partie amont de la moraine dans des conditions naturelles. En faisant une comparaison cellule par cellule avec les valeurs d’émergence simulées sous différentes conditions d’utilisation du sol et de pompage, on peut obtenir des cartes de la modification



(Traduit, adapté et reproduit de Kassenar et Wexler, 2006, avec les autorisations requises)

Figure 6.7

Résultats d'un modèle local donnant l'apport des eaux souterraines vers les cours d'eau de la partie amont de la moraine d'Oak Ridges

prévue de l'apport des eaux souterraines vers les cours d'eau. Ce n'est qu'en incorporant tous les cours d'eau dans le modèle et en calant ce dernier en fonction de l'écoulement de base observé qu'une évaluation d'impact est envisageable à cette échelle sur les cours d'eau. Les municipalités et les autorités de conservation peuvent utiliser ce genre d'analyse pour cibler des tributaires ou des segments précis de cours d'eau qui feront l'objet d'études de surveillance et d'analyses de sensibilité plus poussées, afin d'aider à déterminer l'effet des changements de niveau prévus des eaux souterraines sur les cours d'eau.

Leçons apprises

On croit que l'échelle locale – où l'on a besoin de données, d'information et d'outils pour prendre au jour le jour des décisions concernant la gestion de l'eau – est la plus appropriée pour les activités du programme de la moraine d'Oak Ridges. La connaissance intime acquise à l'aide des analyses et des études qui alimentent la prise de décisions au jour le jour procure la connaissance voulue pour tirer des conclusions crédibles.

Leçons sur le plan technique

- Une bonne compréhension des processus de sédimentation du sous-sol est importante pour élaborer un cadre conceptuel et construire la représentation des couches géologiques dans un modèle de l'écoulement des eaux souterraines.
- L'élaboration d'un modèle de l'écoulement des eaux souterraines tenant compte en détail du réseau des cours d'eau a permis de faire des estimations de l'impact possible des changements de niveau des eaux souterraines sur les débits en surface.
- Même si on ne l'effectue que de manière ponctuelle et irrégulière, la mesure des débits de cours d'eau en dehors de l'influence de précipitations ou de la fonte des neiges peut donner de précieuses indications sur les liens entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Les sommes dépensées pour combler les lacunes des données par de telles mesures ont porté fruit.
- Il est crucial de communiquer avec soin les résultats de modèles d'écoulement des eaux souterraines ainsi que l'incertitude inhérente à ces résultats afin d'obtenir le soutien voulu envers l'utilisation de modèles complexes pour aborder les questions relatives aux eaux souterraines.

Leçons sur le plan de la gestion

- Dans les zones urbaines qui dépendent des eaux souterraines, la clé d'une gestion durable des eaux souterraines réside dans les compétences des municipalités.
- L'intégration et la facilité d'accès aux données sont d'une aide précieuse pour les études et la prise de décisions typiques à l'échelon local. Par exemple, pour répondre à une plainte concernant un puits, le recours à la base de données du programme YPDT-CAMC pour représenter rapidement sur un même graphique le niveau des eaux souterraines dans les puits avoisinants et les précipitations enregistrées dans les stations météorologiques situées à proximité permet aux gestionnaires de savoir si la sécheresse est ou non un facteur à prendre en considération.
- Cependant, si le but et les résultats d'une base de données régionale sont valables, la coordination des données fournies par les partenaires constitue une lourde tâche. De plus, la diffusion de l'information est souvent gênée par les exigences de confidentialité de certaines données, en particulier celles qui peuvent avoir un effet sur la valeur des propriétés.
- Pendant la durée du programme, les modèles géologiques différents proposés par les chercheurs ont entraîné des modifications de la compréhension du cadre géologique, avec des effets en cascade sur tous les aspects du programme.
- Un aspect important du programme vient du fait que le modèle de l'écoulement des eaux souterraines est considéré comme un « modèle évolutif » et régulièrement mis à jour. Néanmoins, le modèle a parfois été mal appliqué par des experts-conseils travaillant pour les organismes partenaires, et des résultats ont été mal interprétés en l'absence d'une compréhension totale du modèle ou de l'incertitude concernant ses résultats.

- Les liens entre, d'une part, la science et les connaissances acquises grâce au programme et, d'autre part, le processus de planification contribuent à la crédibilité du programme et au soutien dont il bénéficie du fait qu'il contribue à la pertinence des initiatives adoptées.
- Pour faciliter le processus, le personnel technique doit avoir la passion de comprendre les déplacements de l'eau à la surface et dans le sous-sol. Il doit posséder la capacité de poser les bonnes questions à propos des données, de leur interprétation et du modèle numérique. Il doit avoir la capacité de synthétiser l'information afin de répondre aux questions. Il doit enfin communiquer les réponses et leur signification de manière efficace. Ce personnel technique est difficile à trouver, tout comme des spécialistes de la géologie du Quaternaire, des bassins hydrogéologiques régionaux et des modèles numériques.

6.4 LES SABLES BITUMINEUX DE L'ATHABASCA : DÉFIS DES MÉGA-DÉVELOPPEMENTS POUR LA GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

Le cas de l'Athabasca a été choisi pour illustrer le genre de défis à surmonter afin de veiller à ce qu'une réglementation applicable et des objectifs de gestion, fondés sur la connaissance scientifique des ressources en eau souterraine à l'échelle d'une région, soient en place avant l'arrivée d'un méga-développement rapide. Comme le montre cette étude de cas, et à la lumière des critères de développement durable présentés dans ce rapport, le coût et le succès d'une réponse réglementaire lente sont au mieux incertains, et une gestion durable des eaux souterraines est impossible à réaliser à ce jour. Ce qui suit a été rédigé à partir de l'information disponible en août 2007.

Contexte

Les réserves de pétrole de l'Alberta sont les deuxièmes en importance dans le monde, et la plus grande partie d'entre elles sont sous forme de gisements de sables bitumineux. Les sables bitumineux sont situés dans trois régions importantes du Nord de l'Alberta, d'une superficie totale d'environ 140 000 km². On prévoit que la production de pétrole à partir de ces trois gisements aura triplé entre 2005 et 2020, passant de un à trois millions de barils par jour, et pourrait atteindre cinq millions de barils par jour d'ici 2030 (Ministère de l'Énergie de l'Alberta, 2008). Située près de Fort McMurray, la région des sables bitumineux de l'Athabasca, d'une superficie de plus de 40 000 km², constitue le réservoir de bitume brut le plus important au monde (figure 6.8) (OSDC, 2008b). On estime qu'elle contient entre 1 700 et 2 500 milliards de barils de bitume, dont environ 10 % sont récupérables dans l'état actuel des prix et de la technologie (OSDC, 2008a). Malgré des efforts pour recycler l'eau, le traitement du bitume consomme typiquement de 2,0 à 4,5 m³ d'eau, tirée surtout de la rivière Athabasca, pour produire 1 m³ de pétrole brut synthétique (Griffiths *et al.*, 2006).



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.8

La région des sables bitumineux de l'Athabasca

Le gisement de l'Athabasca constitue le seul réservoir de sables bitumineux au monde qui se prête à l'extraction à ciel ouvert, mais la plus grande partie ne peut être exploitée qu'à l'aide de la technologie plus récente de l'extraction *in situ*. Comme environ 500 km² de terres ont déjà été modifiées par l'extraction à ciel ouvert de sables bitumineux, les bassins hydrogéologiques locaux ont été sérieusement perturbés par l'enlèvement de mort-terrain sur une hauteur allant jusqu'à 75 mètres et par la création de grandes cavités dans le sol. Ces cavités finissent par devenir des bassins à résidus remplis d'eaux usées, de matériau sableux ou argileux et de bitume résultant de l'extraction minière et du traitement des sables bitumineux. Les bassins à résidus couvrent déjà une superficie de plus de 50 km² et font partie des structures de fabrication humaine les plus grandes de la planète (Peachey, 2005).

Les méthodes d'extraction *in situ* servent à extraire le bitume à des profondeurs généralement supérieures à 75 m. La technique d'extraction la plus employée fait appel à l'injection de vapeur (drainage par gravité au moyen de vapeur, ou DGMV). La vapeur est le plus souvent produite à partir d'un mélange d'eau souterraine salée et non salée. Même si de 90 à 95 % de l'eau utilisée pour produire la vapeur est réutilisée, il faut quand même environ 0,2 m³ d'eau souterraine supplémentaire pour produire 1 m³ de bitume (NEB, 2008). La plus grande partie de l'eau souterraine

utilisée pour l'injection de vapeur ou pour le traitement du bitume finit par être injectée dans des puits profonds ou stockée dans des bassins à résidus. Cette eau souterraine est considérée comme perdue pour des fins de consommation.

Environnement hydrogéologique

La couverture végétale de la région des sables bitumineux de l'Athabasca est surtout constituée de milieux humides et de forêt boréale, sur un mort-terrain d'épaisseur variable constitué de divers matériaux grossiers dans des vallées enfouies ou de dépôts glaciaires et de dépôts organiques modernes posés sur des tills argileux et sableux. Le mort-terrain est ponctué verticalement de canaux d'eau de fusion glaciaire et post-glaciaire qui creusent le sol ainsi que de cours d'eau modernes (Parks, 2004).

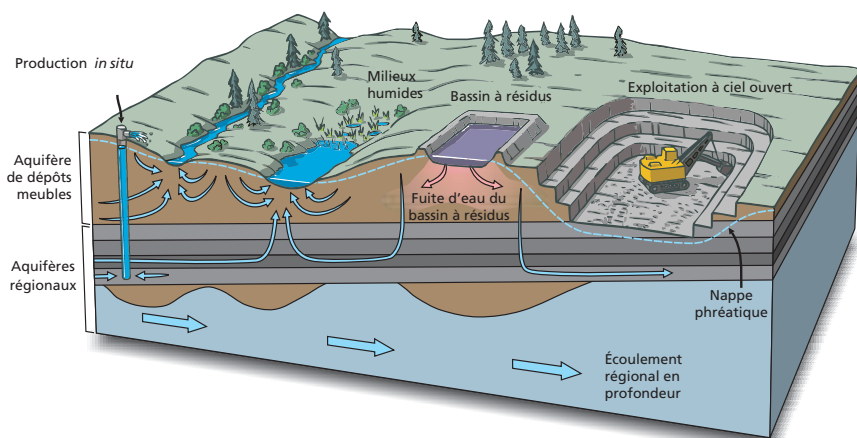
Les sables bitumineux de l'Athabasca reposent principalement sur la formation crétacée de McMurray, du groupe de Mannville. Une coupe hydrostratigraphique typique du groupe de Mannville peut être subdivisée en quatre aquifères séparés par trois aquitards intercalaires. Ces aquitards intercalaires sont le grès de McMurray moyen et supérieur saturé de bitume, ainsi que les shales de Wabiskaw et de Clearwater (Barson *et al.*, 2001).

Au nord de Fort McMurray, les sables bitumineux sont exposés près des rives de la rivière Athabasca, alors que plus au sud, on les trouve à de plus grandes profondeurs, jusqu'à 400 mètres sous le niveau du sol. Les gisements de sables bitumineux, constitués de grès faiblement cimenté, peuvent atteindre une épaisseur de 80 à 85 mètres dans certaines zones. Les sables bitumineux se comportent comme des aquitards parce qu'ils sont fortement saturés de bitume visqueux.

Plusieurs entités hydrogéologiques servent ou pourraient servir de source d'eau souterraine. Une entité importante est l'aquifère de sable basal de la formation de McMurray, dont l'eau est saumâtre, dans des zones à faible contenu en bitume. Cet aquifère sert à l'extraction *in situ*, mais là où il est moins profond, il est asséché pendant les opérations d'extraction à ciel ouvert. Des aquifères de vallées glaciaires enfouies, comme celui de la vallée Wiau, avec un débit cumulatif de près de 8 000 m³ par jour des sources mesurées le long de la rivière Athabasca (Stewart, 2002), ainsi que des aquifères de canaux glaciaires, pourraient aussi constituer d'importantes sources d'eau souterraine.

Considérations relatives à la gestion durable

L'ampleur et le rythme de croissance des opérations d'exploitation des sables bitumineux ont entraîné des modifications importantes des ressources en eau souterraine de la région. La figure 6.9 illustre les principaux problèmes concernant les eaux souterraines. Ces problèmes sont abordés à la lumière des critères de développement durable exposés plus haut.



(Traduit, adapté et reproduit de Conseil de recherches de l'Alberta, 2007, avec les autorisations requises)

Figure 6.9

Illustration schématique des principaux problèmes concernant les eaux souterraines dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca

Quantité d'eau souterraine : L'extraction à ciel ouvert a modifié de manière importante et sur de grandes étendues le paysage naturel : enlèvement du mort-terrain sur une hauteur pouvant atteindre 75 mètres, pompage de l'eau souterraine pour prévenir l'inondation de la carrière ouverte, avec pour résultat la création de nouveaux bassins hydrogéologiques peu profonds. Les données de terrain cruciales pour comprendre ces modifications des bassins hydrogéologiques sont difficiles à obtenir à proximité des sites d'extraction, parce que les puits de surveillance et les puits en production ont généralement une durée de vie limitée à cause du déplacement du front de mine. De plus, les essais de pompage visant à déterminer les caractéristiques des aquifères à distance des sites d'extraction sont incomplets, parce que l'eau qui émerge est salée et requiert donc la présence d'installations appropriées (Baxter, 2002).

Sur environ 80 % de la superficie concernée, les sables bitumineux sont à des profondeurs qui exigent le recours à des méthodes d'extraction *in situ* conçues pour accroître la mobilité du bitume visqueux afin qu'il puisse être capté dans des puits de production (le procédé DGMV est couramment employé). Lorsque l'eau est recyclée, la quantité nette d'eau requise par ce procédé est d'environ 0,2 m³ par mètre cube de bitume produit (NEB, 2008). Comme plus des quatre cinquièmes des réserves totales de bitume de l'Alberta ne sont exploitables que par des méthodes *in situ*, la demande totale d'eau souterraine pour l'extraction *in situ* pourrait atteindre ou dépasser la demande d'eau de surface pour l'extraction à ciel ouvert, à moins que l'on adopte de nouveaux procédés d'extraction (adapté de Griffiths *et al.*, 2006).

Une compréhension à l'échelle régionale et un modèle hydrogéologique conceptuel de la région demeurent incomplets en l'absence d'études coordonnées et ciblées. Dans le cas des aquifères enfouis préglaciaires et des aquifères des canaux glaciaires, qui pourraient être des sources d'eau douce, on ne possède que des estimations grossières des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface à l'échelle régionale, malgré plus de trois décennies d'études hydrogéologiques (Parks, 2004). Les évaluations existantes de l'hydrogéologie de la région, tant dans les descriptions publiées que dans les rapports de l'industrie, portent surtout sur les aquifères rocheux au détriment des aquifères peu profonds mais variables du Quaternaire qui, même s'ils sont difficiles à décrire, sont susceptibles de subir une bonne partie des impacts des activités d'exploitation. On ne sait pas si les aquifères de la région des sables bitumineux de l'Athabasca peuvent supporter ces demandes et ces pertes d'eau souterraine.

Le défi est d'autant plus grand que, même si elle est publique, l'information acquise pour répondre aux exigences de la réglementation n'est pas disponible sous une forme cohérente et intégrée. Il est donc difficile pour les intervenants d'intégrer les études, d'utiliser les travaux déjà effectués, d'échanger des données, et plus généralement de veiller à ce que suffisamment de recherches soient intégrées au processus de réglementation qui conduit aux décisions de gestion. De la même manière, étant donné l'absence d'une base de données commune et intégrée sur les eaux souterraines, la modélisation des effets des puits d'approvisionnement sur les caractéristiques des eaux de surface est limitée par la disponibilité des données permettant de caractériser les divers aquifères de la région.

Qualité de l'eau souterraine : Il faut extraire environ deux tonnes de sables bitumineux pour produire un baril de pétrole, et ce sable et l'eau utilisée pour le traitement se retrouvent dans de grands bassins à résidus. Les digues des bassins à résidus peuvent être construites à partir d'une partie du sable traité. On s'inquiète de ce que cela a produit des zones plus perméables dans les digues, qui peuvent donner lieu à des fuites et permettre la migration des contaminants dans l'eau des résidus. La faible distance entre les bassins à résidus et la rivière Athabasca est particulièrement préoccupante, à cause des effets nocifs possibles sur la santé humaine et celle des écosystèmes en aval.

On ne connaît pas entièrement les paramètres hydrauliques du procédé d'extraction par DGMV, qui sont pourtant cruciaux pour contenir les liquides injectés et utilisés pour la production et pour prévenir les migrations d'une formation à l'autre et la contamination d'aquifères productifs. Les paramètres clés qui régissent l'ampleur des fuites, les pressions de confinement des couches supérieures, l'intégrité des aquitards et la présence de pentes sont généralement difficiles à mesurer de manière complète et sont donc mal connus. Il faut mieux connaître le degré de connectivité hydraulique entre le bitume et les fissures et stries glaciaires souvent enfouies ainsi

que le lit des rivières modernes avant d'approuver d'autres sites d'injection souterraine (Barson *et al.*, 2001; Baxter, 2002). Les opérations de DGMV les plus vulnérables aux fuites d'une formation à l'autre sont celles qui sont situées dans des zones d'émergence proches des vallées. Des puits d'extraction *in situ* mal cimentés, ou construits ou abandonnés de manière inappropriée, pourraient entraîner une migration vers le haut de liquides injectés et utilisés pour la production, ce qui constitue un risque supplémentaire. Une connexion hydraulique pourrait en outre se former entre des zones en profondeur après l'extraction du bitume, ce qui pourrait entraîner une migration de substances à partir des couches peu profondes (Barson *et al.*, 2001).

Impacts sur les écosystèmes : Le gouvernement de l'Alberta n'oblige pas les exploitants à restaurer le terrain dans son « état original », mais seulement avec une « capacité équivalente », c'est-à-dire de telle sorte que l'on puisse y exercer une gamme d'activités semblable à celles pratiquées avant l'exploitation des sables bitumineux. Cependant, lorsqu'ils sont récupérés, on s'attend à ce que les sites exploités à ciel ouvert comportent moins de milieux humides, plus de lacs et presque aucune tourbière (NEB, 2006). De plus, comme cela est mentionné plus haut, les écosystèmes aquatiques sont vulnérables aux fuites des bassins à résidus situés près de la rivière Athabasca.

Gouvernance : Le ministère albertain de l'Environnement et l'Energy Resources Conservation Board (autrefois l'Alberta Energy Utilities Board) sont les deux principaux organismes de réglementation du gouvernement provincial responsables des questions liées aux eaux souterraines pour les sables bitumineux de l'Athabasca. Les deux principaux outils de réglementation sont les évaluations des impacts environnementaux (EIE) et les diverses approbations requises pour les opérations de développement, détournement, exploitation, ainsi que de restauration ou réhabilitation. Pêches et Océans Canada joue également un rôle de réglementation, principalement en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE). Les demandes d'exploitation des sables bitumineux ont fait l'objet d'évaluations conjointes (provinciales et fédérales) dans un processus combinant EIE et LCEE.

L'approche de l'Alberta en matière de gestion des risques environnementaux liés à des projets de développement pourrait être interprétée comme tolérant les impacts négatifs sur les aquifères s'il n'y a pas d'utilisateur, par exemple si aucun puits d'eau n'est installé. Cette interprétation a prévalu dans les commentaires du comité conjoint d'évaluation du projet Algar (à 80 kilomètres au sud de Fort McMurray), où les effets du pompage sur l'aquifère ont été considérés comme « non pertinents » car il n'y avait aucun utilisateur connu dans la zone étudiée, mis à part un autre exploitant de sables bitumineux (Millennium EMS, 2007).

Les quantités d'eau souterraine sont actuellement allouées sur la base du débit d'exploitation durable estimatif des puits, plutôt que sur la base des détournements acceptables à partir d'un aquifère. Barson *et al.* (2001) rapportent que « *la recherche et l'utilisation constante des volumes d'eau douce (souterraine) requis pour la production de vapeur, sans mettre en péril les ressources en eau souterraine dans la région, constituent un défi qui pourrait limiter l'exploitation commerciale à grande échelle des sables bitumineux* » (traduction). Le processus actuel d'attribution de permis sur la foi d'évaluations des impacts environnementaux met l'accent sur des zones d'étude régionales qui ne vont pas bien au-delà des territoires exploités, plutôt que sur les bassins hydrographiques régionaux.

Le groupe de travail sur les eaux de surface de la Cumulative Environmental Management Association (CEMA), organisme multipartite mis sur pied pour établir des lignes directrices, des objectifs et des seuils d'une gestion environnementale efficace, notait « *que l'industrie ne mène actuellement aucun projet de recherche en collaboration* ». Le fait que la CEMA peine à suivre le développement de l'exploitation des sables bitumineux (voir p. ex. Kennett, 2007) et a été incapable d'inclure les eaux souterraines dans son plan initial de travail constitue une source de préoccupation. Les groupes environnementalistes se sont retirés de cet organisme parce que certaines recommandations adoptées par « consensus » n'ont pas été acceptées par l'industrie.

Les exploitants retiennent les services d'experts-conseils pour mener les études, y compris sur la demande d'eau souterraine et les impacts hydrogéologiques, dont les résultats sont soumis aux organismes de réglementation et sont accessibles au public. On ne sait pas avec certitude si le personnel de ces organisations a les connaissances voulues en hydrogéologie et la liberté d'évaluer si les rapports environnementaux et la surveillance assurée sont adéquats pour assurer une gestion durable des eaux souterraines.

Approches visant à améliorer la gestion durable des ressources en eau souterraine

Les questions ci-dessous, cruciales en ce qui concerne une gestion durable des ressources en eau souterraine, demeurent en grande partie sans réponse (traduit et adapté du Conseil de recherches de l'Alberta, 2007).

- Comment l'étiage de la rivière Athabasca affecte-t-il les eaux souterraines peu profondes, et comment l'assèchement des aquifères dû aux activités d'extraction affecte-t-il le régime des eaux de surface?
- Quels sont les effets de l'augmentation de l'activité minière, de la modification de la couverture végétale ou des détournements d'eaux souterraines vers l'extérieur des zones d'exploitation sur la recharge des eaux souterraines?
- L'augmentation de l'exploitation des sables bitumineux aura-t-elle pour effet d'assécher les aquifères d'eau douce ou d'en réduire le débit d'exploitation et entraînera-t-elle des baisses de pression des aquifères d'eau salée ou leur assèchement?

- Comment les modifications de qualité de l'eau résultant des perturbations des aquifères et des fuites à partir des bassins à résidus affectent-elles la qualité des ressources en eau souterraine et en eau de surface?
- Quelles données sont nécessaires pour appuyer l'affirmation selon laquelle l'injection de vapeur en profondeur n'a pas d'effet négatif sur les réseaux d'aquifères régionaux et locaux? Ces données sont-elles disponibles?
- Quels sont les objectifs minimaux à l'échelle régionale pour assurer une gestion durable des eaux souterraines?
- Les développements projetés ont-ils des impacts négatifs sur les ressources en eau des territoires voisins (p. ex. les Territoires du Nord-Ouest ou la Saskatchewan) et sur les écosystèmes situés en aval?

Pour combler ces lacunes en matière de gouvernance et de recherche et pour relever les défis évoqués ci-dessus concernant les données et les connaissances hydrogéologiques, on pourrait effectuer des études scientifiques détaillées, organisées dans un cadre régional de gestion (Kennett, 2007). Ce cadre comporterait des objectifs précis de gestion durable des eaux souterraines, définis à l'échelle régionale et tenant compte des effets cumulatifs, et serait établi avant l'approbation de projets d'exploitation des sables bitumineux. La mise sur pied d'outils régionaux de planification fondés sur les impacts cumulatifs a été endossée par le comité ministériel de stratégie du gouvernement de l'Alberta sur les sables bitumineux (2006). L'adoption de cette approche aurait pour effet de modifier le processus d'EIE et d'approbation projet par projet.

Plusieurs initiatives récentes du gouvernement et de l'industrie témoignent d'une reconnaissance croissante des conséquences critiques du rythme de croissance et de l'échelle de l'exploitation des sables bitumineux sur la durabilité des ressources en eau souterraine dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Mentionnons :

- l'étude du ministère albertain de l'Environnement sur la qualité de l'eau souterraine dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca et la première phase (conception d'un programme de surveillance) d'un réseau régional de surveillance de la qualité de l'eau souterraine;
- un nouveau projet de loi sur la gestion des effets cumulatifs, présenté par le ministère albertain de l'Environnement, et un cadre de gestion intégrée du sol mis de l'avant par le ministère albertain du Développement durable des ressources (Ministère albertain de l'Environnement, 2007; Ministère albertain de l'Environnement, 2005);
- une initiative régionale de modélisation des eaux souterraines destinées au DGVM;
- le regroupement de données de divers exploitants en vue d'une interprétation à une échelle plus étendue;
- des études sur les eaux souterraines entreprises par des exploitants au-delà des exigences réglementaires.

Une prochaine étape cruciale serait l'élaboration d'un cadre stratégique visant à identifier et à évaluer les domaines de recherche ainsi que les connaissances et la technologie nécessaires pour aborder les problèmes futurs de gestion durable des eaux souterraines dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Il faut notamment déterminer ce qui est nécessaire au développement durable à long terme – dont un examen des effets cumulatifs dans une région – et ce qu'il faut pour répondre aux problèmes locaux actuels et à court terme.

Enfin, la question demeure de savoir qui devrait voir à ce que tout cela soit mis en place sur la base de connaissances scientifiques solides. La demande d'experts en hydrogéologie est forte en Alberta, ce qui met à l'épreuve la capacité des organismes de réglementation de recruter des hydrogéologues expérimentés. L'Alberta Water Research Institute s'est vu confier le mandat d'accroître le nombre de ses chercheurs, avec l'espoir que cela comprendra des hydrogéologues.

Leçons apprises

Des incertitudes subsistent à propos de la capacité des ressources en eau souterraine de la région des sables bitumineux de l'Athabasca à répondre aux besoins des exploitants des sables bitumineux et à propos des impacts de cette exploitation sur les eaux souterraines, les eaux de surface qui y sont reliées et les milieux aquatiques. Ces incertitudes font ressortir le besoin d'améliorer les connaissances et la gouvernance relatives aux ressources en eau souterraine, tant à l'échelle locale que régionale, ainsi que de tenir compte des effets cumulatifs des développements projetés.

La définition d'objectifs clairs en ce qui concerne les eaux souterraines (quantité allouée, qualité requise) est essentielle avant l'approbation de projets d'exploitation des sables bitumineux. Ces objectifs doivent reposer (1) sur une connaissance adéquate des bassins hydrogéologiques actuels ainsi que de leurs liens avec l'utilisation des sols et les milieux des eaux de surface, (2) sur des prévisions précises et à jour des effets cumulatifs futurs des projets d'exploitation sur ces systèmes. Cette approche améliorera la capacité des parties prenantes à déterminer jusqu'à quel point les développements proposés sont acceptables.

Pour ce qui est des projets déjà approuvés, les efforts visant à atténuer leur impact sur les eaux souterraines requièrent la collaboration de nombreux intervenants et d'un nombre suffisant d'hydrogéologues aux divers paliers de gouvernement, dans les instituts de recherche et dans le secteur privé.

6.5 L'AQUIFÈRE D'ABBOTSFORD-SUMAS, EN COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON : EXPLORATION DE MOYENS DE RÉDUIRE LA PRESSION AGRICOLE

Le cas de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas a été choisi pour montrer que la gestion de ressources locales en eau souterraine peut avoir une dimension internationale et pour faire ressortir l'importance d'une intégration verticale de nos systèmes de gestion et de nos structures de gouvernance. En particulier, l'aquifère d'Abbotsford-Sumas met en évidence la complexité des problèmes de contamination transfrontaliers et le rôle de l'équité dans la protection des eaux souterraines contre une détérioration plus grave.

Contexte

L'aquifère d'Abbotsford-Sumas couvre une superficie d'environ 200 km² dans le sous-sol de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington. Il constitue une source importante d'eau pour des fins domestiques, municipales, agricoles et industrielles de part et d'autre de la frontière. Il alimente environ 1 10 000 personnes au Canada et aux États-Unis et il est la seule source d'approvisionnement pour des collectivités comme celle de Clearbrook, en Colombie-Britannique.



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.10
L'aquifère d'Abbotsford-Sumas

L'aquifère d'Abbotsford-Sumas est peu profond. Il est formé d'une mince couche, perméable et en grande partie non confinée, de sable et de gravier d'origine fluvio-glaciaire. La nappe phréatique est près de la surface du sol et exposée à la contamination due aux pratiques d'utilisation du sol, principalement l'agriculture qui domine des deux côtés de la frontière. De manière générale, l'eau souterraine s'écoule du nord au sud, avec pour conséquence que les pratiques d'utilisation du sol en Colombie-Britannique affectent la qualité de l'eau potable dans la région voisine de l'État de Washington.

La contamination de l'aquifère est une source d'inquiétude depuis les années 1950. Des échantillons d'eau souterraine sont prélevés à intervalles réguliers depuis le milieu des années 1970 et de manière plus intensive depuis le milieu des années 1990. La situation demeure préoccupante malgré un certain nombre d'initiatives coercitives et volontaires adoptées de part et d'autre de la frontière depuis une quinzaine d'années. La production de framboises et les pratiques de gestion des déchets liées à l'élevage de volaille (16 millions d'oiseaux qui produisent environ 600 000 m³ de fumier par année) sont les deux sources principales de contamination de l'aquifère par les nitrates (ASASE, 2007). Les nitrates sont facilement lessivés dans le sol et les eaux souterraines parce qu'ils sont solubles dans l'eau et mobiles dans le sol.

Les comtés et le gouvernement de l'État de Washington s'inquiètent du fait que les nitrates provenant du côté canadien ont atteint les aires de captage de leurs puits d'eau potable. L'aquifère est classé comme « l'un des plus gravement contaminés » de l'État (ASASE, 2007). Les accords relatifs aux eaux transfrontalières comprennent le *Traité des eaux limitrophes internationales* conclu en 1909 et le protocole d'entente de 1996 entre la Province de Colombie-Britannique et l'État de Washington sur le traitement des demandes de permis d'utilisation de l'eau, qui prévoit des consultations préalables à l'émission de permis portant sur l'allocation de quantités d'eau de l'aquifère.

Considérations relatives à la gestion durable

Qualité de l'eau souterraine : Les échantillons prélevés dans les puits ont révélé une augmentation des surplus de composés azotés entre 1971 et 1991, attribuée au remplacement de la production laitière par la production de volaille et par des cultures qui demandent plus d'azote. Environ 70 % des échantillons d'eau prélevés entre 1991 et 2007 dépassaient la norme de 10 mg d'azote par litre d'eau potable, certaines mesures allant jusqu'à 91,9 mg par litre (Environnement Canada, 2004a). Des concentrations élevées de nitrates ont été plus souvent mesurées dans les zones où l'agriculture constituait la principale utilisation du sol et où la nappe phréatique était près de la surface (Hii *et al.*, 2006).

En 1995, une étude menée à l'aide d'isotopes radioactifs de l'azote a montré que les nitrates venaient principalement du fumier de volaille utilisé comme engrais.

Même si la mise en place de pratiques exemplaires de gestion (PEG) s'est traduite par une réduction de 80 à 90 % de la quantité de fumier de volaille atteignant l'aquifère, l'adoption d'engrais inorganiques n'a fait que changer la source de contamination par les nitrates, comme en témoigne le fait que les jeunes eaux souterraines portent de plus en plus la signature isotopique d'engrais azotés inorganiques (ASASE, 2007). Selon des recherches récentes, l'épandage d'engrais inorganiques au printemps peut constituer une situation idéale pour le lessivage rapide des nitrates (ASASE, 2007), une situation qui n'est actuellement pas couverte par les PEG. Après une décennie de sensibilisation intense du public et la mise en place de PEG, l'augmentation importante de la concentration de nitrates depuis cinq ans est un résultat surprenant et décevant.

Systèmes de gouvernance : Les modifications récentes de la réglementation ont surtout porté sur la limitation des impacts de l'agriculture sur l'environnement. Le gouvernement de la Colombie-Britannique a produit en 1996 un règlement sur la gestion des déchets agricoles, accompagné d'un code de pratique, qui énonce des exigences minimales visant à contrer le lessivage du fumier, à le stocker dans des installations fermées et à couvrir les tas de fumier pendant la saison des pluies. L'État de Washington a voté en 1998 une loi (*Dairy Nutrient Management Act*) obligeant les exploitants de fermes laitières à faire approuver et à mettre en œuvre avant la fin de 2003 un plan de gestion des nutriments.

De nombreux efforts ont également été consentis sur une base volontaire pour réduire les concentrations de nitrates, dont la formation de groupes de coordination et d'auto-surveillance. Mentionnons entre autres :

- un comité fédéral-provincial canadien de coordination en matière d'eaux souterraines, actif depuis 1992;
- l'Abbotsford-Sumas Aquifer Stakeholder Group (ASASG), actif depuis 1995, formé de représentants d'organismes des gouvernements fédéral, provincial et locaux, de groupes d'agriculteurs et d'industriels, d'ONG et de participants de l'État de Washington. L'ASASG a parrainé une campagne d'éducation du public comportant une signalisation, des brochures de promotion de l'environnement et des exposés dans les écoles;
- le comité provincial de partenariat gouvernement-industrie sur l'agriculture, qui vise à réduire les impacts de l'agriculture sur l'environnement;
- le groupe de travail international sur l'aquifère d'Abbotsford-Sumas, comité consultatif sectoriel binational mis sur pied en 1992; ses objectifs sont de recueillir et de coordonner les données scientifiques, de gérer les activités qui constituent une menace pour l'aquifère et de donner des conseils en matière de législation et de politiques; chaque autorité politique conserve le pouvoir décisionnel et la responsabilité de mettre en œuvre les recommandations du groupe de travail;

- une étude du Réseau canadien de l'eau sur le recours à des pratiques exemplaires de gestion (PEG);
- des programmes d'auto-surveillance de l'industrie, constitués de PEG mises de l'avant par le comité d'orientation de l'industrie et ses sous-comités tels que le Sustainable Poultry Farming Group, et des plans environnementaux qui permettent aux producteurs de déterminer les améliorations possibles de leur exploitation sur le plan environnemental.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Une masse de données scientifiques a été recueillie sur une période de plusieurs décennies. De nombreuses cartes hydrogéologiques ont été produites aux États-Unis et au Canada, et l'on a fait un effort pour intégrer ces connaissances dans un modèle numérique régional des eaux souterraines. Ce modèle élaboré au Canada est utilisé conjointement par des chercheurs américains et canadiens, y compris pour des simulations des effets des changements climatiques et du transport des nitrates.

Les nombreuses initiatives en matière de gouvernance et de politiques n'ont pas réussi à ce jour à diminuer la contamination. Beaucoup d'intervenants dans la gestion de l'aquifère reconnaissent que les programmes à participation volontaire ne suffiront pas à réduire l'ampleur du problème. Des pratiques exemplaires de gestion ont été élaborées avec succès pour certains secteurs, par exemple les recycleurs de véhicules automobiles, mais le succès n'a pas été le même avec les producteurs agricoles. Les organismes de réglementation notent que dans certains cas la mise en place de PEG a amélioré la qualité de l'eau souterraine à l'échelle d'un aquifère, que le code provincial de pratiques agricoles est très peu appliqué et que les plans environnementaux volontaires des exploitations agricoles ne semblent pas encore avoir d'effets. Il se pourrait qu'un contrôle plus strict des producteurs agricoles, des installations industrielles et des ménages soit nécessaire, mais l'heure n'est pas à la mise sur pied d'une réglementation plus stricte, et il y a peu de ressources pour l'application des règlements existants.

La gouvernance a des lacunes persistantes, en particulier dans la coordination des nombreux organismes chargés de la gestion de l'aquifère. Environnement Canada est responsable de la gestion d'ensemble des effets transfrontaliers des pratiques canadiennes sur les États-Unis. Les ministères provinciaux ainsi que les organismes et conseils régionaux œuvrant dans les domaines de la santé et de l'environnement ont également des responsabilités partielles. Le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique est chargé de la prévention et du contrôle de la pollution. L'Autorité de la santé de la vallée du Fraser est responsable de l'eau potable et de la santé communautaire. La Ville d'Abbotsford est responsable du zonage et de l'aménagement foncier, ainsi que de l'approvisionnement en eau potable. Le ministère provincial de l'Environnement, Pêches et Océans Canada et

Environnement Canada gère conjointement les impacts environnementaux des prélèvements et de la contamination de l'eau souterraine (Hoover *et al.*, 2006).

De plus, il n'existe aucun cadre institutionnel de gestion des effets cumulatifs sur l'aquifère. Les gestionnaires canadiens des eaux souterraines sont intéressés à diriger de nouveaux mécanismes de gouvernance. La zone de gestion des eaux souterraines de la vallée de la Willamette Sud, en Oregon, qui est semblable géographiquement et qui est le théâtre d'une forte activité agricole, fait partie des modèles possibles bien que la toile de fond juridique soit dans ce cas bien différente.

Leçons apprises

Une meilleure gestion de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas dépend des moyens trouvés pour que les connaissances accumulées se traduisent par des changements sur le terrain. La recherche a révélé plusieurs facteurs de succès d'un modèle de délégation de la gouvernance de l'eau (Nowlan et Bakker, 2007). Trois de ces facteurs sont notamment absents des structures actuelles de gouvernance de l'aquifère.

- Un financement durable est un facteur clé de succès. Les organismes actuels de coordination ont des ressources minimales.
- Un mécanisme de rétroaction est un autre facteur de succès. On entend par là un mécanisme officiel par lequel des décisions peuvent entraîner des changements de politiques précis dans des domaines et dans des conditions bien définis. Dans le cas de l'aquifère, les recommandations sont souvent ignorées. Par exemple, les recommandations formulées à l'issue d'une réunion de la Commission de coopération environnementale entre la Colombie-Britannique et l'État de Washington en 2005 – où l'on avait remarqué que l'intensité de l'agriculture constituait le principal problème de l'aquifère, qu'il fallait mettre en place une réglementation plus sévère et mieux la faire respecter et qu'il fallait modifier la réglementation de contrôle des déchets agricoles en Colombie-Britannique – n'ont pas été mises en œuvre (CCE, 2005).
- Enfin, l'engagement des participants augmente les chances de succès d'un partenariat visant une meilleure gouvernance relative à l'eau et cet engagement dépend en partie du degré d'équité entre les différents groupes de participants. Cependant, les producteurs agricoles de la région de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas notent des injustices dans la manière dont les producteurs sont traités. Par exemple, les producteurs du district municipal de Delta, en Colombie-Britannique, reçoivent des subventions du gouvernement fédéral pour préserver l'habitat des oiseaux, alors que les producteurs de framboises d'Abbotsford qui protègent la qualité du sol et préviennent la contamination ne reçoivent aucune compensation. Le problème de l'équité des versements pour les services de protection des écosystèmes constitue une lacune dans le contexte de gestion actuel.

6.6 LE BASSIN DES GRANDS LACS : GESTION À GRANDE ÉCHELLE D'EAUX TRANSFRONTALIÈRES

Le cas des Grands Lacs (figure 6.11) a été choisi pour montrer que, bien que la gestion des eaux souterraines à l'échelle locale soit importante, les problèmes des bassins hydrographiques étendus exigent une gestion et des recherches en propre, en particulier s'il y a des questions transfrontalières entre provinces ou pays. Il faut une intégration verticale des organismes de gestion, de l'échelon local à l'échelon international.

Contexte

On estime que l'émergence « indirecte » des eaux souterraines dans le bassin des Grands Lacs représente environ 22 % de l'apport venant des États-Unis au lac Érié. Cette proportion est de 42 % pour les lacs Huron et Ontario, de 35 % pour le lac Michigan et de 33 % pour le lac Supérieur. Cet apport vient surtout de l'écoulement de base des ruisseaux et rivières qui se jettent dans les lacs (Grannemann *et al.*, 2000). Du côté ontarien, on estime qu'environ 20 % de l'apport d'eau vient



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.11
Le bassin des Grands Lacs

des eaux souterraines. Les estimations des échanges directs entre les eaux souterraines et les lacs sont totalement inadéquates (Grannemann *et al.*, 2000).

Cette émergence indirecte et directe dans les Grands Lacs a des conséquences sur le niveau des eaux, la composition chimique et les systèmes biotiques, dont certains dépendent entièrement des eaux souterraines (Grannemann *et al.*, 2000). L'eau souterraine, tout comme l'eau de surface, peut être contaminée par des polluants tels que des nutriments ou des pesticides provenant de terres agricoles ou de zones urbanisées, mais elle est en général de bonne qualité. À une époque où les eaux se réchauffent à cause des changements climatiques, l'apport d'eau souterraine fournit souvent un habitat essentiel pour les poissons d'eau froide et d'autres biotes.

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : De manière générale, on croit que l'approvisionnement en eau est assuré en totalité par l'émergence d'eau souterraine, mais il y a quelques endroits où la baisse de pression des eaux souterraines entraîne un écoulement à partir des lacs dans les aquifères. Sur la rive Ouest du lac Michigan, il y a des prélèvements massifs d'eau dans le réseau d'aquifères cambrien-ordovicien de la région métropolitaine de Chicago-Milwaukee. Le pompage à grande échelle a produit des cônes de dépression dans les aquifères sous les deux villes, et la baisse du niveau des eaux souterraines a atteint 274 et 114 mètres respectivement (Grannemann *et al.*, 2000). Après 1980, les taux de pompage ont été réduits dans la région de Chicago, et la remontée du niveau des eaux a atteint jusqu'à 76 mètres à certains endroits. Par contre, le niveau a continué de baisser dans certaines zones du sud-ouest de la région métropolitaine de Chicago. Là où le pompage et la baisse du niveau des eaux souterraines sont importants, l'eau s'écoule probablement en sens inverse, ce qui entraîne une baisse du niveau du lac, qui est légère jusqu'à maintenant. Le pompage de l'eau souterraine dans ce secteur a également affecté la qualité de l'eau, avec une hausse des concentrations de radium et de radon (Grannemann *et al.*, 2000). On sait peu de choses des taux de pompage et de la baisse du niveau des eaux souterraines ailleurs dans le bassin des Grands Lacs. Cependant, étant donné les bas niveaux records récents (2007) du lac Supérieur et les niveaux très bas des lacs Michigan et Huron, toute chute de pression supplémentaire, même minime, est une source de préoccupation majeure.

En général donc, les données disponibles (Grannemann *et al.*, 2000) donnent à penser que, dans le bassin des Grands Lacs, les eaux souterraines sont importantes pour les lacs ainsi que les rivières et ruisseaux qui s'y jettent. Par contre, on n'arrive pas à bien quantifier les effets sur les plans de la quantité et de la qualité, à cause de lacunes majeures dans les mesures effectuées et dans nos connaissances.

Dans son rapport de 2000, la Commission mixte internationale résumait comme suit les principales lacunes de nos connaissances (traduit de CMI, 2000) :

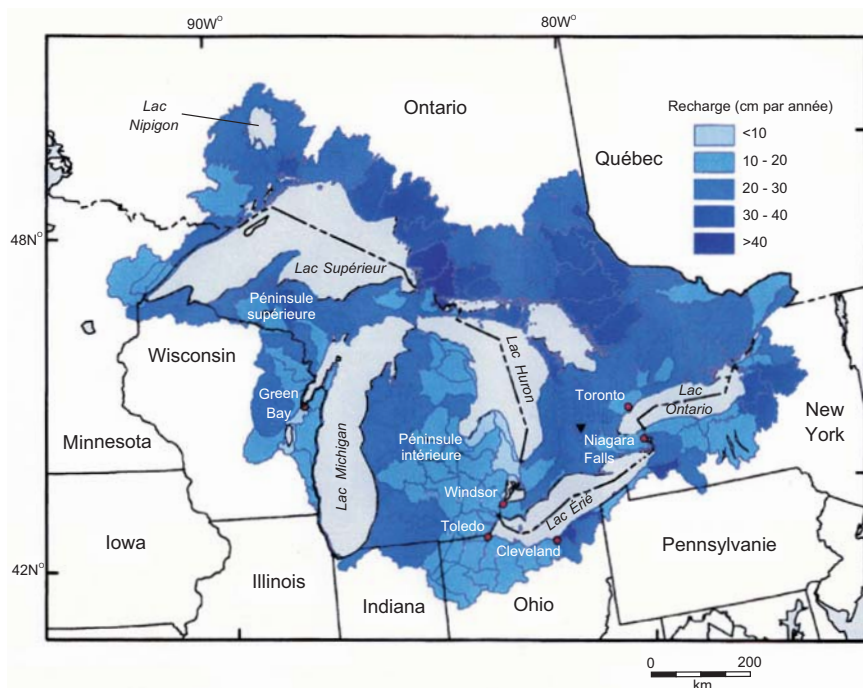
- Il n'y a pas de cartes unifiées et uniformes des entités hydrogéologiques limitrophes et transfrontalières.
- Il n'y a aucune description complète du rôle des eaux souterraines dans le soutien des écosystèmes.
- Même si une certaine information quantitative sur la consommation de l'eau est disponible, dans bien des cas les chiffres reposent sur des estimations générales et ne reflètent pas de manière fiable le niveau réel et l'étendue de la consommation.
- Il n'y a pas de méthodes simplifiées permettant de recenser les activités importantes de captage d'eau souterraine à proximité des limites des bassins hydrologiques.
- Il faut faire des estimations des effets des changements apportés à l'aménagement du territoire et de la croissance de la population sur la disponibilité et la qualité des eaux souterraines.
- L'information sur l'émergence des eaux souterraines dans les cours d'eau de surface de même que sur l'émergence directe dans les Grands Lacs est inadéquate.
- Il n'y a pas d'estimation systématique des zones de recharge naturelle.

Les connaissances présentent de sérieuses lacunes de part et d'autre de la frontière, mais il y a beaucoup moins d'information utile et fiable au Canada qu'aux États-Unis. La Commission géologique des États-Unis a entrepris des études importantes dans la partie américaine du bassin (Holtchag et Nicholas, 1998), mais les travaux effectués par des organismes fédéraux et provinciaux et des universitaires au Canada sont beaucoup plus sporadiques et moins intensifs.

En 2004, la CMI a examiné les progrès accomplis quant aux recommandations qu'elle avait formulées dans son rapport de 2000. Elle a fait remarquer que la nouvelle *Annexe à la charte des Grands Lacs*, signée par les huit États et les deux provinces (l'Ontario et le Québec) concernés par le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, exige des deux pays une meilleure connaissance et une meilleure conservation des ressources en eau souterraine et en eau de surface. Par contre, la CMI a noté que si certaines études hydrogéologiques supplémentaires étaient visiblement en cours, aucune à sa connaissance n'était encore terminée (CMI, 2004).

La CMI poursuit ainsi : « *La Commission souhaite insister sur l'importance décisive de la recommandation ci-dessus, selon laquelle les gouvernements devraient lancer un projet de cartographie et de caractérisation de toutes les nappes souterraines du bassin des Grands Lacs. Ce projet permettrait d'améliorer spectaculairement (sic) la capacité de gestion de ces eaux vitales et de promouvoir les connaissances scientifiques sur ces ressources invisibles.* » (CMI, 2004).

En 2005, la Commission géologique des États-Unis (USGS) a entrepris un programme de cinq ans visant à améliorer les connaissances fondamentales du bilan hydrique du bassin des Grands Lacs, y compris les flux et les réserves d'eau



(Reproduit avec l'autorisation de Neff *et al.*, 2005)

Figure 6.12

Taux de recharge des eaux souterraines peu profondes dans le bassin des Grands Lacs

ainsi que les prélèvements humains. Les conclusions préliminaires suggèrent que des estimations cohérentes et exactes de la recharge des eaux souterraines sont nécessaires pour comprendre les effets de cette recharge sur la disponibilité et l'utilisation de l'eau souterraine. L'USGS et Environnement Canada (Neff *et al.*, 2005) ont produit en collaboration la première étude intégrée de la recharge moyenne à long terme des eaux souterraines dans les aquifères peu profonds de la région des Grands Lacs aux États-Unis et au Canada. D'autres études ont porté sur la partie américaine du bassin. Sheets et Simonson ont déterminé les limites des bassins hydrogéologiques afin de cartographier la région dont les eaux souterraines alimentent les Grands Lacs et de montrer les différences entre les bassins hydrogéologiques et les bassins versants (Sheets, 2006).

Ces différences rendent plus difficile l'évaluation des diverses composantes du bilan hydrique. Coon et Sheets ont produit une estimation des réserves d'eau souterraine du bassin des Grands Lacs à partir des données hydrogéologiques des analyses régionales des réseaux d'aquifères menées par l'USGS de 1978 à 1995 (Coon et Sheets, 2006). Hodgkins *et al.* ont analysé l'évolution historique des précipitations et des débits dans la partie américaine du bassin des Grands Lacs de 1915 à 2004.

Ils ont attribué à l'influence humaine, dont l'urbanisation, l'augmentation du ruissellement annuel minimal sur une période de 7 jours observée de 1955 à 2004 (Hodgkins *et al.*, 2007). À l'heure actuelle l'USGS travaille à la mise au point d'un modèle de l'écoulement des eaux souterraines pour le bassin hydrogéologique du lac Michigan.

En 2004, dans le cadre de son Programme des eaux souterraines, le Secteur des sciences de la Terre de Ressources naturelles Canada a lancé un projet d'élaboration d'un cadre conceptuel hydrogéologique du Sud de l'Ontario, qui comprend le bassin des Grands Lacs (figure 6.12). Ce projet a conduit à la cartographie et à une évaluation complète de l'un des aquifères régionaux du bassin – celui de la moraine d'Oak Ridges. Cependant, à cause du manque de ressources, le Secteur des sciences de la Terre a dû limiter ses travaux aux endroits où une quantité considérable de données est déjà disponible et où la collaboration avec les provinces est possible.

Qualité de l'eau souterraine : Dans sa version révisée en 1987, l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* reconnaît le potentiel de l'écoulement de l'eau souterraine dans les Grands Lacs. L'annexe 16, intitulée *Pollution causée par les eaux souterraines contaminées*, insiste sur la coordination des « programmes actuels de lutte contre les eaux souterraines contaminées qui influent sur la qualité des eaux limitrophes du bassin des Grands Lacs » (CMI, 1978). Dans le cadre de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, l'annexe 16 appelle les parties à « identifier les sources actuelles et potentielles d'eaux souterraines contaminées qui alimentent les Grands Lacs » (CMI, 1978). Même si sa portée est bien précise, cette annexe est unique en ce qu'elle constitue l'un des rares accords internationaux et bilatéraux qui définit explicitement des obligations concernant les eaux souterraines. En vertu de cet accord, les parties doivent « cartographier les conditions hydrogéologiques à proximité des sources actuelles et potentielles d'eaux souterraines contaminées » et « élaborer une méthode normalisée et des procédés convenus pour l'échantillonnage et l'analyse des contaminants des eaux souterraines, afin d'évaluer et de caractériser l'ampleur de la contamination; et d'estimer les apports de contaminants ». L'annexe 16 demande en outre aux parties de « contrôler les sources de contamination des eaux souterraines et les eaux contaminées elles-mêmes, lorsque le problème a été constaté » (CMI, 1978).

En 2006, un certain nombre de groupes de travail ont passé en revue l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* et ont fait rapport sur l'état et les recommandations de l'accord et de ses annexes (États-Unis et Canada, 2006). En ce qui concerne l'annexe 16, un groupe de travail a constaté entre autres que cette annexe ne reflète pas les défis environnementaux auxquels les Grands Lacs sont confrontés quant à la qualité de l'eau souterraine et aux interactions entre la qualité et la quantité d'eau souterraine. Il a en outre constaté que la cartographie des ressources en eau souterraine du bassin des Grands Lacs est insuffisante. Le groupe de travail a

recommandé de réviser l'annexe 16 de manière à ce qu'elle tienne compte de la réalité de l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface, ainsi que de la contamination des eaux souterraines par des sources diffuses. Il a également recommandé que l'annexe comprenne des « *programmes de cartographie des ressources en eau souterraine qui représentent leurs multiples couches et les divers schémas d'écoulement dans le bassin* ». Le groupe affirme aussi que la gestion de la qualité de l'eau des Grands Lacs « *est étroitement liée à la gestion de la quantité d'eau des Grands Lacs, et notamment à la gestion de la quantité et de l'écoulement des eaux souterraines* » (traduit de États-Unis et Canada, 2006).

Un rapport subséquent du Conseil consultatif scientifique des Grands Lacs sur les problèmes de qualité de l'eau était disponible au moment de la rédaction du présent rapport, mais non le rapport complet sur les eaux souterraines. Les questions abordées par le Conseil consultatif scientifique des Grands Lacs (CMI, 2008) sont notamment les suivantes :

- Les virus d'origine fécale humaine sont communément présents dans les eaux souterraines en raison du mauvais fonctionnement d'installations septiques et de filtration ainsi que de fuites du réseau d'égouts sanitaires. Il n'y a pas de bonne corrélation entre les mesures de bactéries et la contamination virale.
- Des enquêtes menées en Ontario dans les années 1990 ont montré que 14 % des puits contenaient des composés azotés en quantité supérieure aux normes et que cette proportion atteignait 34 % dans le cas des bactéries.
- Les systèmes de traitement sur site des déchets humains prolifèrent même si, selon les estimations, environ 20 % de ces systèmes ne traitent pas adéquatement les déchets. En Ontario, 25 000 systèmes de traitement sur site nouveaux ou de remplacement sont installés chaque année.
- Le bassin des Grands Lacs compte probablement au moins un million de réservoirs souterrains (10 000 en Ontario), dont 5 à 35 % laissent échapper des substances toxiques telles que de l'huile, de l'essence, du carburant diesel, des solvants et d'autres déchets liquides.
- La quantité de contaminants de l'industrie chimique rejetés dans les eaux souterraines et qui se retrouvent dans la rivière Niagara, et donc dans le lac Ontario, ne semble pas diminuer.
- On estime à 500 000 le nombre de puits pétroliers et gaziers abandonnés en Ontario. Cependant, un inventaire complet de ces puits n'est pas disponible, et les obligations de reddition de compte « posent des problèmes ».
- Les autorités ontariennes accordent des subventions pour la mise hors service ou l'amélioration des puits d'approvisionnement en eau et pour la mise à niveau des installations septiques.

Les travaux dans ce domaine se poursuivent. La deuxième phase du Programme des eaux souterraines (2006–2009) porte entre autres sur l'acquisition de connaissances

sur la dynamique des eaux souterraines dans le bassin des Grands Lacs, l'établissement de bilans hydriques généraux dans tout le Sud de l'Ontario, ainsi que sur les recherches en hydrogéologie à mener en vue de la planification et de l'établissement de priorités dans le bassin des Grands Lacs (Rivera, 2006). Certains travaux conjoints de la Commission géologique des États-Unis et du Secteur des sciences de la Terre sont également en cours (Rivera, 2007).

Leçons apprises

Malgré les appels lancés par les commissaires à l'environnement et au développement durable (CEDD, 2001; CEDD, 2008) et par la Commission mixte internationale (CMI, 2004), et malgré les récentes initiatives du Secteur des sciences de la Terre de Ressources naturelles Canada, on peut légitimement affirmer que seules des enquêtes et analyses limitées ont été effectuées sur les eaux souterraines de la partie canadienne du bassin des Grands Lacs depuis la fin de 2007, et que nos connaissances actuelles sont en bonne partie fragmentées et incomplètes. Par conséquent, même si beaucoup de travaux de qualité ont été effectués par la Commission géologique des États-Unis, une évaluation exhaustive du rôle des eaux souterraines dans le bassin des Grands Lacs et de leurs effets sur la quantité et la qualité de l'eau de ces lacs demeure un objectif difficile à atteindre.

6.7 LES BASSES-LAURENTIDES, AU QUÉBEC : CONTRIBUTION DE LA SCIENCE À LA GESTION DES CONFLITS ET À LA PLANIFICATION DE L'UTILISATION DE L'EAU SOUTERRAINE

Le cas des Basses-Laurentides a été choisi pour montrer comment un projet de cartographie des eaux souterraines pourrait aider les gestionnaires et les planificateurs à résoudre des conflits et à planifier l'utilisation de l'eau souterraine. Ce cas met en lumière les mérites de projets de caractérisation des eaux souterraines menés conjointement par des municipalités et plusieurs ordres de gouvernement, de même que les besoins à combler à l'échelon municipal pour élaborer des systèmes de soutien aux décisions en matière d'aménagement foncier à partir de cette caractérisation.

Contexte

Située au nord-ouest et à proximité de Montréal, la région des Basses-Laurentides couvre une superficie d'environ 1 500 km². Elle est administrée par quatre municipalités régionales de comté (figure 6.13). Sa population est d'environ 250 000 habitants, dont le quart s'approvisionne exclusivement à partir des eaux souterraines d'aquifères de la région.

Les municipalités régionales de comté avaient le sentiment de manquer d'information pour bien gérer l'utilisation du sol, exploiter de manière optimale les eaux souterraines de la région et résoudre les conflits entre utilisateurs de l'eau. Un projet triennal d'hydrogéologie a donc été mis sur pied en 1999, sous la direction de la Commission géologique du Canada (CGC) et en partenariat étroit avec les quatre



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.13

La région des Basses-Laurentides, au Québec

municipalités régionales de comté (Savard *et al.*, 2002). Ces dernières ont participé à la définition des objectifs du projet, pour veiller à ce que les résultats les aident à mieux gérer leurs problèmes d'eau. Des universités, d'autres ministères fédéraux, des organismes provinciaux et la Commission géologique des États-Unis ont apporté un soutien financier et technique. L'objectif général du projet était d'améliorer les connaissances scientifiques sur la quantité et la qualité de l'eau souterraine, afin d'aider à planifier l'utilisation de l'eau souterraine et d'établir les limites de prélèvement durable d'eau souterraine. Les trois ordres de gouvernement se sont partagé le coût du projet d'environ 3,6 millions de dollars.

Les aquifères de la région sont des roches sédimentaires recouvertes de dépôts non consolidés du Quaternaire, principalement de l'argile faiblement perméable qui couvre 75 % de la zone étudiée. À cause de leur faible perméabilité, ces dépôts limitent l'infiltration de l'eau et la recharge des aquifères et rendent ceux-ci captifs dans la roche en place. Un till d'épaisseur et de perméabilité variables couvre le reste de la région étudiée et héberge les principales zones de recharge. La recharge des aquifères de la roche en place varie de zéro à environ 300 mm par année selon les endroits. La recharge moyenne sur l'ensemble de la région étudiée est de 45 mm par année, soit moins de 5 % des précipitations annuelles moyennes de 1 040 mm (Hamel, 2002).

Une compilation des données sur l'utilisation de l'eau souterraine a montré que les prélèvements annuels totaux sont de $18 \times 10^6 \text{ m}^3$, soit environ 18 % de la recharge estimative des aquifères (Nastev *et al.*, 2006). Les usages domestiques à partir de puits municipaux et privés représentent environ 31 % des prélèvements totaux, et les activités agricoles environ 14 %. Le captage d'eau souterraine par des carrières représente plus de la moitié des prélèvements, contre moins de 3 % pour le captage par des entreprises d'embouteillage d'eau.

Considérations relatives à la gestion durable

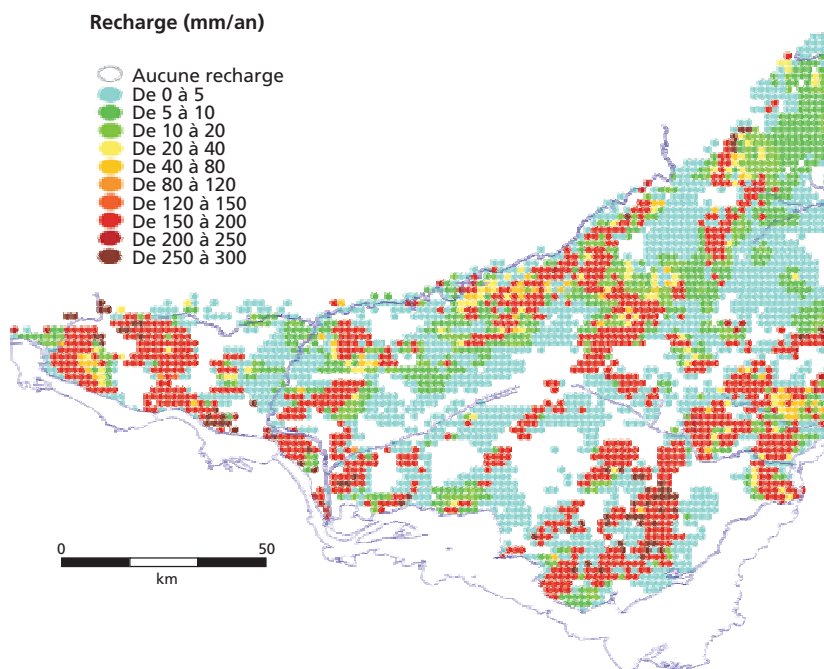
Quantité d'eau souterraine : Des niveaux d'eau souterraine voisins de la surface et le grand nombre de puits jaillissants ont donné l'impression que l'eau souterraine était abondante dans la région. Cependant, à partir des années 1990, on a noté une baisse graduelle du niveau de l'eau dans certains puits privés, une diminution du nombre de puits jaillissants et la disparition de certaines sources. Les agriculteurs prétendaient avoir des droits acquis en matière d'eau souterraine et s'inquiétaient de sa disponibilité à long terme. Des tensions entre utilisateurs des eaux souterraines ont fait leur apparition, et les embouteilleurs d'eau ont été ciblés comme responsables en partie des problèmes des eaux souterraines. Ces événements ont coïncidé avec des périodes de précipitations inférieures à la moyenne, mais ils ont également coïncidé avec l'arrivée sur le marché d'entreprises d'embouteillage d'eau et avec une augmentation générale des taux de prélèvement d'eau souterraine.

Qualité de l'eau souterraine : Des cas isolés de contamination des eaux souterraines et la présence de plusieurs sites d'enfouissement ont contribué à l'inquiétude de la population à propos de la qualité à long terme de l'eau souterraine. L'analyse d'échantillons montre que l'eau souterraine satisfait dans presque tous les cas aux normes provinciales de qualité de l'eau potable, et qu'il y a très peu de signes de contamination humaine (Cloutier *et al.*, 2006). Des concentrations élevées de sel ont été relevées dans certains échantillons et sont attribuées au mélange de l'eau de l'ancienne mer Champlain et d'eau de recharge.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

La CGC a élaboré un plan de travail pour étudier et comprendre la recharge des aquifères captifs dans la roche en place ainsi que la répartition spatiale des eaux souterraines quant à la qualité et à la quantité. Ce plan de travail comprenait des mesures du niveau de l'eau, des essais de pompage, des tests d'injection à charge constante, des essais de débit spécifique et une analyse de la composition chimique d'échantillons d'eau souterraine. Les données ont été compilées dans une base de données et distribuées aux municipalités.

Pour des fins d'aménagement foncier et pour mettre en évidence le rôle des zones de recharge, les eaux souterraines ont fait l'objet d'une évaluation par la méthode



(Gracieuseté d'Andréanne Hamel (Hamel, 2002))

Figure 6.14

Répartition spatiale de la recharge des aquifères de roc fracturé des Basses-Laurentides

DRASTIC⁴⁷, qui tient compte de la nature des entités géologiques proches de la surface du sol dans le calcul d'un indice de vulnérabilité (Savard *et al.*, 2002). On a constaté l'existence d'une bonne corrélation entre les zones très vulnérables et les zones de recharge illustrées à la figure 6.14. Selon les cartes produites au cours de ces travaux, l'aménagement foncier doit tenir compte d'une recharge et d'une vulnérabilité élevées des eaux souterraines sur environ 35 % de la superficie de la région étudiée (Savard *et al.*, 2002).

Un modèle numérique de l'écoulement des eaux souterraines de la région, qui calcule la baisse de pression moyenne dans l'aquifère pour divers taux moyens de prélèvement, a été mis au point pour évaluer la durabilité des prélèvements futurs d'eau souterraine (Nastev *et al.*, 2006).

47 DRASTIC est probablement la méthode la plus employée pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines. DRASTIC est l'acronyme formé à partir des sept facteurs considérés par la méthode : Distance entre l'eau et la surface du sol, Recharge nette, milieu qui constitue l'Aquifère, milieu qui constitue le Sol, Topographie, Impact du milieu de la zone vadose, Conductivité hydraulique (Aller *et al.*, 1985).

Selon le modèle, le taux actuel de prélèvement de $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ par année donne une baisse de pression annuelle de 0,6 mètre par rapport à l'absence de prélèvement. Cette baisse de pression est inférieure aux fluctuations saisonnières du niveau de l'eau dans l'aquifère et est donc considérée comme compatible avec une exploitation durable. D'après le modèle, un taux de prélèvement de $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ par année donnerait une baisse de pression de 2,2 mètres, également compatible avec une exploitation durable, étant donné les fluctuations annuelles du niveau de l'eau dans l'aquifère. Un taux de prélèvement situé entre 24 et $51 \times 10^6 \text{ m}^3$ par année serait acceptable, mais exigerait une surveillance rigoureuse. Selon le modèle, un taux de prélèvement supérieur à $51 \times 10^6 \text{ m}^3$ par année serait incompatible avec une exploitation durable, puisque la baisse de pression moyenne dans l'aquifère serait de plus de 8 mètres. Étant donné la géologie de surface, on a estimé que l'écoulement de base vers les ruisseaux et les rivières n'est pas affecté par le captage de l'eau souterraine, et le modèle n'a pas tenu compte de l'écoulement des eaux de surface.

Pour éclairer les décisions d'aménagement foncier, un indice de pertinence du prélèvement d'eau souterraine en fonction du lieu a été mis au point. Cet indice combine les cartes de simulation de la baisse de pression, de qualité de l'eau souterraine et de vulnérabilité des aquifères pour indiquer quelles zones conviennent le mieux aux prélèvements futurs d'eau souterraine.

À l'issue du projet, la CGC a formulé les recommandations ci-dessous à l'intention des municipalités pour la mise en œuvre des conclusions de l'étude (Savard et Somers, 2007) :

- intégrer les cartes de vulnérabilité des eaux souterraines à la planification de l'aménagement foncier;
- faire du maintien de la qualité de l'eau souterraine une priorité, et notamment surveiller à intervalles réguliers la qualité de l'eau souterraine dans les puits municipaux;
- déterminer des zones de protection pour tous les puits municipaux;
- tenir à jour la base de données des eaux souterraines et l'utiliser pour les travaux hydrogéologiques locaux;
- accroître les capacités techniques et scientifiques locales;
- mettre sur pied un comité régional de gestion des eaux souterraines, afin d'intégrer la gestion des eaux souterraines et l'aménagement foncier.

À ce jour, une des municipalités régionales de comté a intégré à l'aménagement foncier les résultats du projet régional d'hydrogéologie (MRC d'Argenteuil, 2005). Elle indique que la protection des eaux souterraines est une priorité et que l'aménagement foncier en tiendra compte. La base de données du projet est accessible aux employés municipaux, et des mises à jour sont prévues. On rapporte toutefois que les municipalités n'ont pas les compétences ou les ressources voulues pour appliquer les connaissances qui résultent de l'étude régionale.

Leçons apprises

Le projet régional d'hydrogéologie a nécessité des techniques et des outils conçus spécifiquement pour des aquifères de roc fracturé, mais ces outils ne sont pas facilement accessibles aux experts-conseils ou aux professionnels en hydrogéologie. La capacité et l'équipement de la CGC et des organismes partenaires a donc constitué un important facteur de succès du projet.

Ce projet a permis d'obtenir un portrait beaucoup plus clair de l'hydrogéologie de la région, dont la qualité et la vulnérabilité de l'eau souterraine, la recharge des aquifères et les modèles d'utilisation. On manque par contre de données locales suffisamment détaillées, par exemple à l'échelle d'un puits municipal en production.

Le partenariat entre les organismes gouvernementaux, les universités et les autorités locales s'est avéré efficace, puisque les partenaires ont davantage bénéficié de leur investissement que s'ils avaient mené un ensemble de projets indépendants. Les principales conclusions de ce projet sont les suivantes :

- La cartographie d'une région est coûteuse, en particulier lorsqu'elle exige des travaux sur le terrain. La plupart des municipalités n'ont pas les fonds et les compétences techniques voulues pour produire de telles cartes.
- La caractérisation des aquifères de roc fracturé fait appel à des outils et à des méthodes spécifiques, qui existent mais qui ne sont pas répandus dans la pratique.
- Contrairement à la croyance populaire, les embouteilleurs d'eau ne prélèvent qu'une très petite fraction des eaux souterraines de la région, et les impacts de leur exploitation sont limités à des effets locaux.

6.8 LES EAUX SOUTERRAINES DES PRAIRIES

Le cas des eaux souterraines des Prairies montre l'importance et la vulnérabilité des eaux souterraines dans la plus vaste région agricole du Canada (figure 6.15), ainsi que la gravité possible des impacts des changements climatiques prévus.

Contexte

Les eaux souterraines constituent la source d'approvisionnement en eau à usage domestique de plus de 1,4 million d'habitants des Prairies, soit environ 30 % de la population de la région (Statistique Canada, 2003). Leur importance est encore plus grande dans les zones rurales, puisque 90 % de l'eau utilisée à des fins domestiques provient du sous-sol (Plaster et Grove, 2000). La part des eaux souterraines dans l'approvisionnement en eau est de 43 % en Saskatchewan, de 30 % au Manitoba et de 23 % en Alberta. Ces proportions différentes reflètent l'influence des grands centres urbains qui s'approvisionnent à partir des eaux de surface. À l'échelle locale, la présence inégale d'aquifères à haut débit d'exploitation dont la qualité de l'eau

est acceptable limite le développement et stimule l'alimentation par pipeline à partir d'eaux de surface, dans le cadre de programmes comme ceux qui sont offerts par la Saskatchewan Water Corporation. Les effets de la sécheresse, par exemple les pannes de puits au cours de la récente sécheresse (1999–2003) dans la zone résidentielle rurale en forte croissance au sud de Saskatoon, ont entraîné la construction de pipelines pour amener de l'eau traitée de rivières aux résidences rurales, là où la densité de la population et l'incertitude de l'approvisionnement en eau souterraine le justifient. Le cas le plus remarquable est celui de la ville de Regina, qui est passée d'un approvisionnement substantiel en eau souterraine à un approvisionnement par pipeline à partir du lac Diefenbaker dans le bassin de la rivière Saskatchewan Sud. L'hydrologie des Prairies est caractérisée par de faibles précipitations, un ruissellement intermittent, des réserves relativement importantes en raison du sol profond, de nombreux aquifères de grande taille et une topographie post-glaciaire avec un drainage médiocre. L'évaporation et le ruissellement sont limités par le climat froid semi-aride à sub-humide. Les chutes de neige et la fonte qui s'ensuit provoquent ruissellement et évaporation au printemps, mais en été, la plus grande partie de l'eau de pluie s'infiltré dans le sol pour être ensuite absorbée par les racines des plantes et évaporée par transpiration. Cela signifie que, à l'échelle locale, les ressources en eau peuvent être limitées et très sensibles aux changements climatiques, à l'utilisation du sol et au drainage artificiel. La perception d'abondance que donne la vue de l'eau dans les lacs, les étangs et les milieux humides des Prairies au cours des années humides ne correspond pas à la réalité des faibles débits dans le cycle hydrologique.



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.15

Les eaux souterraines des Prairies

Le climat semi-aride à sub-humide des Prairies et la présence de sols lourds à bien des endroits limitent la recharge des eaux souterraines aux zones où le sol a une texture grossière ou aux étangs saisonniers situés dans les dépressions du relief (Fang et Pomeroy, 2008; Hayashi *et al.*, 2003; Lissey, 1971). De plus, de nombreux cours d'eau des prairies sont sur un till lourd. Ils ont très peu de liens avec des eaux souterraines et ont donc un écoulement de base faible. Mis à part le cas de quelques sources naturelles, le ruissellement se produit lorsque les pluies ou la fonte des neiges dépassent la capacité d'infiltration du sol (Pomeroy *et al.*, 2007). De nombreux cours d'eau d'ordre 1 s'assèchent complètement peu après la période de fonte des neiges, à cause de la contribution insuffisante des eaux souterraines.

Par contre, là où les eaux souterraines émergent sur des pentes (Hood *et al.*, 2006) et dans le fond de vallées profondes, elles soutiennent d'importantes biocénoses végétales et un abri boisé qui contraste avec les plaines semi-arides dépourvues d'arbres. Les eaux souterraines peuvent jouer un rôle important dans le maintien en été et pendant les périodes de sécheresse de l'écoulement de base des cours d'eau issus des hautes terres des Prairies comme les Cypress Hills, les monts Moose, Wood et Riding, ainsi que l'escarpement du Manitoba. Une diminution de l'émergence des eaux souterraines provenant de ces hautes terres à cause d'une sécheresse prolongée ou de changements climatiques aurait des conséquences négatives sur la vie aquatique non seulement dans les cours d'eau qui dépendent de l'écoulement de base, mais aussi dans les écosystèmes ripicoles.

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : La consommation d'eau dans les Prairies est surtout concentrée dans le Sud, alors que les sources d'approvisionnement sont surtout situées dans le Nord ou constituées de rivières qui traversent les Prairies en provenance de régions plus humides des montagnes, des parcs et des hautes terres. Dans le Sud, des sécheresses passées ont montré que de nombreuses sources locales d'approvisionnement en eau de surface ne sont pas fiables. Les autres sources d'approvisionnement possibles sont des pipelines provenant de rivières plus importantes ou les eaux souterraines locales. Un pompage intensif dans des aquifères qui dépendent en grande partie de la recharge en provenance de zones humides peut entraîner l'assèchement de ces zones humides, de même que l'assèchement de sources et d'autres zones humides qui leur sont associées (Van der Kamp et Hayashi, 1998).

Le drainage artificiel de zones humides dans les parties centrale et orientale des Prairies s'est accompagnée d'un débit plus grand des cours d'eau et a entraîné une réduction spectaculaire de la superficie des zones humides et des étangs. Comme beaucoup de ces zones humides constituent les principales zones de recharge des eaux souterraines des Prairies, on s'attend à ce qu'il y ait des effets à long terme sur les aquifères. Cependant, les systèmes d'observation actuels ne permettent pas d'évaluer l'ampleur de ces effets.

Les aquifères de vallées profondément enfouies ont été considérés comme une importante source d'approvisionnement en eau pour l'agriculture en période de sécheresse. Cependant, comme l'ont montré Maathuis et van der Kamp (1998), le pompage intensif à partir de ces aquifères entraîne d'importantes baisses de pression jusqu'à des dizaines de kilomètres du lieu de pompage, et la restauration des niveaux d'origine peut prendre de quelques dizaines à plusieurs centaines d'années. Ces aquifères demeurent précieux en période de sécheresse, mais il faut une gestion appropriée pour en assurer la restauration par la suite.

Qualité de l'eau souterraine : Au cours des dernières décennies, on a assisté à un accroissement spectaculaire de l'élevage intensif (parcs d'engraissement) et du forage de puits pétroliers et gaziers. On a attribué à ces facteurs la contamination d'aquifères à nappe libre ou partiellement captifs dans certaines parties des Prairies (Bruce Henning⁴⁸, communication personnelle).

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Implications sur le plan technique : Les trois provinces des Prairies ont produit des cartes complètes et détaillées des eaux souterraines pour la plus grande partie de la zone agricole exploitée, mais non pour tous les aquifères. Sauf pour la région du delta de l'Assiniboine, ces cartes ne sont pas reliées pour former une base de données géographiques d'un territoire continu, ni mises en correspondance avec les bassins des principales rivières pour des fins d'évaluation exhaustive des ressources en eau. Cela complique tant l'évaluation des ressources en eau de surface que l'estimation d'une exploitation durable de certains aquifères. Comme les solutions à des problèmes d'approvisionnement insuffisant en eau souterraine peuvent exiger le détournement d'eau de bassins hydrographiques, il faut évaluer la durabilité des eaux souterraines à l'échelle étendue des bassins d'eaux de surface. Comme certains des grands aquifères chevauchent les frontières et les limites des bassins versants, il est important de comprendre les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines pour exploiter l'eau de façon durable dans la région, dans un contexte où l'utilisation de l'eau augmente avec la population et la croissance économique.

Toutes les provinces utilisent des réseaux de puits de surveillance pour tenir à jour l'état des principaux aquifères, mais aucune comparaison n'est effectuée à l'échelle de la région. De telles comparaisons permettraient de détecter sur une grande échelle les changements climatiques ou les impacts de l'utilisation du sol sur la recharge, ou encore les effets d'une surexploitation régionale qui pourrait affecter les approvisionnements interprovinciaux en eau de surface à partir des zones

48 Bruce Henning, de la société Henning Drilling Ltd., est un foreur de puits du Sud de l'Alberta qui a plus de 40 ans d'expérience et plus de 2 000 puits à son actif. Il a maintenu pendant cette période des registres détaillés de l'évolution de l'état des eaux souterraines.

sources. Il est souhaitable d'intégrer les bases de données provinciales dans le cas des aquifères transfrontaliers là où la demande d'eau est susceptible d'augmenter (p. ex. à la frontière entre l'Alberta et la Saskatchewan).

Les aquifères à nappe libre peu profonds sont les plus affectés par les changements d'hydrologie de surface dus aux cycles d'humidité et de sécheresse. Une gestion durable de ces aquifères exige donc une surveillance plus étroite et des comptes rendus plus fréquents. Davantage d'information sur les taux de recharge des aquifères captifs est également nécessaire si ces aquifères font l'objet du genre d'exploitation plus intense permise par les systèmes d'épuration des eaux.

Certains aquifères à nappe libre, par exemple celui du delta de l'Assiniboine dans le Sud du Manitoba, connaissent des taux élevés de recharge comme de prélèvement. Ils peuvent donc être affectés par les cycles de sécheresse et de temps humide. Les fluctuations du climat ont des effets sur les précipitations et l'apport d'eau vers le delta, de même que sur les prélèvements par évaporation et pour l'irrigation destinée à l'agriculture intensive de la région. Les changements climatiques et le drainage des zones humides en amont, qui affectent la qualité du débit des cours d'eau, ajoutent à l'incertitude quant à la durabilité de ces aquifères. Pour évaluer la dynamique des aquifères peu profonds, il faut faire une simulation complète des intrants atmosphériques ainsi que de l'hydrologie des eaux de surface et des eaux souterraines. Des chercheurs de l'Université du Manitoba travaillent dans le cadre d'une initiative de recherche sur la sécheresse (Drought Research Initiative) (Loukili *et al.*, 2006) à l'élaboration de nouveaux modèles qui intègrent l'atmosphère, l'hydrologie, la surface du sol et les eaux souterraines. Ces modèles peuvent exploiter les résultats des modèles climatiques. Des modèles intégrés sont grandement nécessaires pour mieux prédire une utilisation durable de l'eau d'aquifères tels que celui du delta de l'Assiniboine.

Implications sur le plan de la gestion : À l'heure actuelle, la plupart des allocations d'eau souterraine dans les provinces des Prairies sont fondées sur des prélèvements en un seul point. Par contre, sauf pour quelques aquifères, les provinces ne disposent pas d'une information de gestion des aquifères assez détaillée pour pouvoir pleinement tenir compte de la disponibilité de la recharge naturelle, et donc du débit d'exploitation durable des aquifères. Même si les promoteurs doivent démontrer que l'utilisation proposée de l'eau est durable et doivent tenir compte des utilisateurs actuels dans leur analyse, il est difficile de prendre en considération les impacts cumulatifs des prélèvements, et donc d'allouer des quantités d'eau compatibles avec un développement durable, en l'absence d'une information et de connaissances suffisantes.

Avec les augmentations prévues de la consommation d'eau pour les zones urbaines, les champs pétrolifères, l'élevage et l'irrigation dans le Sud de l'Alberta et de la

Saskatchewan, d'autres sources d'approvisionnement en eau seront envisagées, et cela comprendra inévitablement les eaux souterraines. Avec l'amélioration des techniques d'épuration et le manque d'eau de surface, les réserves d'eau souterraine contenant des solides dissous en concentrations élevées (qui ne sont pas acceptables à l'heure actuelle) pourraient être considérées comme de nouvelles sources viables d'approvisionnement en eau. Cela pourrait entraîner des augmentations substantielles des prélèvements d'eau souterraine dans le Sud de l'Alberta et certaines parties de la Saskatchewan. Un grand nombre de ces aquifères ont fait l'objet d'une utilisation durable uniquement parce que les prélèvements étaient très limités. Ils pourraient donc ne pas pouvoir soutenir l'exploitation plus intensive qui deviendrait possible. Comme les concentrations élevées de solides dissous sont des indicateurs de faibles taux de recharge et de longues durées de séjour dans le sous-sol, il faudra surveiller avec soin la recharge de ces aquifères et gérer l'utilisation de l'eau de manière à en assurer une exploitation durable.

Des programmes intégrés de mesure de la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine sont nécessaires afin de mieux évaluer les menaces actuelles et à venir sur la qualité de l'eau souterraine. Dans certains cas, on peut devoir réévaluer les lois actuelles, ou simplement les appliquer, afin de contrôler de manière adéquate la contamination des réserves d'eau souterraine. Dans certains cas par exemple, l'élaboration de solutions à la contamination des eaux souterraines est laissée aux associations locales de bassin versant ou aux municipalités, sans mise en application rigoureuse appuyée sur des données scientifiques probantes (communication personnelle de la Smith Creek Watershed Association).

Le développement et la mise en œuvre de pratiques exemplaires de gestion et de règlements dans les secteurs agricole et pétrolier afin de réduire le plus possible la contamination des eaux souterraines peuvent contribuer à atténuer ces problèmes avant que des mesures de réhabilitation ne soient nécessaires. Par exemple, la mise au point de modèles de culture continue et de systèmes de préparation superficielle du sol dans les Prairies a entraîné une utilisation plus efficace des précipitations pour la croissance des cultures, mais aussi une diminution de la quantité d'eau excédentaire disponible pour la recharge des eaux souterraines à partir des zones humides ou des lacs drainés. La diminution de la superficie en jachère d'été au cours des vingt dernières années et la conversion de terres cultivées en pâturages ont entraîné une diminution de la formation de congères ainsi que du ruissellement de l'eau de fonte des neiges vers les zones humides (Fang et Pomeroy, 2008; Van der Kamp *et al.*, 2003).

Depuis longtemps, les conseils provinciaux de recherche et des universités des Prairies mènent d'importantes activités de recherche et de surveillance des eaux souterraines. Cependant, ces activités sont indépendantes sur le plan institutionnel des organismes responsables de la réglementation et de la gestion des eaux souterraines (en général

Encadré 6.1 : Le rôle de l'Accord sur la Régie des eaux des provinces des Prairies

En 1948, l'Alberta, la Saskatchewan, le Manitoba et le gouvernement du Canada ont signé l'*Accord sur la Régie des eaux des provinces des Prairies*. Cet accord a institué la Régie des eaux des provinces des Prairies (REPP), dont le rôle est de formuler des recommandations sur l'utilisation optimale des eaux interprovinciales et sur la répartition des ressources entre les provinces (REPP, 2005). Actuellement, les eaux souterraines ne sont pas réparties entre les provinces parce qu'un approvisionnement suffisant en eau de surface a généralement été disponible dans les régions transfrontalières. Comme les prélèvements d'eau souterraine étaient faibles, leur répartition n'a pas été une priorité. De toute manière, les connaissances disponibles sur les aquifères transfrontaliers n'étaient en général pas suffisantes pour servir de base à des décisions de répartition. La REPP peut étudier des projets et activités liés aux eaux souterraines qui ont des implications interprovinciales et faire des recommandations aux gouvernements sur ces questions. Par contre, la REPP n'a pas encore formulé d'objectifs ou de lignes directrices sur la répartition des eaux souterraines.

La REPP possède un comité sur les eaux souterraines qui traite les questions liées à l'utilisation et à la qualité de l'eau souterraine commune aux provinces. L'un des objectifs de la REPP est de veiller à ce que les aquifères interprovinciaux soient protégés et utilisés d'une manière durable. Pour atteindre cet objectif, la REPP a entrepris de définir et de quantifier les aquifères limitrophes et transfrontaliers au cas par cas selon les besoins et d'élaborer une méthode de répartition de l'eau des aquifères transfrontaliers. Cependant, aucun accord n'a été conclu sur une formule de répartition des aquifères communs.

Néanmoins, étant donné l'importance grandissante des eaux souterraines, la REPP souhaite prévenir d'éventuels problèmes transfrontaliers en élaborant des formules de gestion et de répartition des aquifères interprovinciaux. Plaster et Grove (2000) ont fait remarquer que tout accord futur de répartition des eaux souterraines entre les provinces des Prairies devrait être fondé sur les principes suivants : l'obligation de ne pas causer de tort appréciable, l'utilisation équitable et raisonnable des eaux communes, l'obligation de donner un préavis pour toute exploitation des ressources en eau et le devoir de négocier de bonne foi. L'utilisation équitable et raisonnable des eaux communes constitue le principe le plus essentiel. D'autres facteurs doivent en outre être pris en considération dans toute formule de répartition :

- les priorités d'utilisation;
- le débit d'exploitation durable de l'aquifère;
- la répartition conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines;
- la définition des lieux de pompage et des quantités allouées;
- l'accord actuel de répartition de la REPP;
- les méthodes provinciales de répartition.

La REPP doit actuellement relever les défis suivants :

- l'eau est une responsabilité partagée entre diverses autorités;
- les actions d'une autorité peuvent en affecter une autre;
- le volume d'eau et le régime des cours d'eau issus des Prairies sont très variables selon l'époque de l'année et d'une année à l'autre;
- l'eau utilisée et consommée dans le Sud de l'Alberta et le Sud-Ouest de la Saskatchewan représente un fort pourcentage de la quantité disponible;
- la population et l'activité économique sont en croissance;
- les changements climatiques auront des effets sur la quantité d'eau disponible et sa répartition dans le temps;
- la surveillance doit être rationalisée à l'intérieur des budgets actuels;
- les menaces à la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine sont de plus en plus grandes;
- il faut mieux connaître les aquifères transfrontaliers.

Afin de relever certains de ces défis, le comité de la REPP sur les eaux souterraines a proposé la mise sur pied d'un projet de plan conceptuel des aquifères (REPP, 2006). Ce projet permettrait de mieux comprendre le genre d'information nécessaire pour répartir les eaux de surface et les eaux souterraines dans le cadre d'un bilan hydrologique complet au voisinage des frontières. Le comité discute à l'heure actuelle des méthodes à employer pour calculer les débits d'exploitation durables et quantifier les interactions entre eaux souterraines et eaux de surface.

Certains aquifères interprovinciaux situés près de Cold Lake, en Alberta, pourraient être affectés par le développement de l'exploitation des sables bitumineux (voir la section 6.4). Des projets d'exploitation des sables bitumineux ont été proposés en Saskatchewan près de sites d'exploitation actuels situés en Alberta. L'exploitation de gisements limitrophes et transfrontaliers de sables bitumineux posera probablement de nouveaux défis. La REPP aura besoin de plus d'information que celle qu'elle possède actuellement pour pouvoir veiller à une utilisation équitable et raisonnable des bassins hydrogéologiques communs.

les ministères de l'Environnement et de l'Agriculture). Cette situation a été réglée dans certains cas par la mise sur pied d'autorités ou services provinciaux englobant toutes les questions relatives à l'eau. La mise sur pied récente d'une régie de l'eau (Manitoba Water Stewardship) au Manitoba, qui intègre toutes les activités du gouvernement du Manitoba concernant l'eau, et de la Saskatchewan Watershed Authority, chargée de la surveillance des eaux souterraines qui relevait auparavant du Conseil de recherches de la Saskatchewan, sont des exemples de consolidation de la surveillance et de la

gestion des eaux souterraines. Le programme *Water for Life* de l'Alberta tente d'asseoir la gestion de l'eau sur des bases scientifiques plus solides. D'autres efforts sont nécessaires pour établir des canaux de communication clairs entre les chercheurs, les décideurs et les organismes de réglementation en matière d'eau souterraine.

Dans les Prairies, la gestion de l'eau à l'échelle locale est assurée dans la plupart des cas par des associations ou autorités de bassin versant. Ces autorités locales ont certains pouvoirs décisionnels en ce qui concerne l'irrigation, le drainage et la contamination et elles ont une connaissance approfondie des problèmes locaux de gestion de l'eau. Certaines de leurs décisions ont des conséquences sur l'approvisionnement et la gestion des eaux souterraines. Dans bien des cas, ces autorités ne disposent pas de compétences suffisantes en hydrogéologie pour assurer une gestion durable des ressources en eau souterraine. Une gestion durable est encore davantage compromise lorsque les aquifères s'étendent au-delà de petits bassins versants et ne peuvent pas être gérés de manière efficace par les autorités locales de bassin versant. Cet hiatus entre la gestion de bassins versants et l'étendue des aquifères va à l'encontre d'une évaluation exhaustive combinant les eaux souterraines et les eaux de surface et nuit à une bonne gestion des ressources tant en eau de surface qu'en eau souterraine. Pour assurer une gestion durable des eaux souterraines, on pourrait par exemple établir des liens entre autorités de bassin versant ou regrouper celles-ci en autorités à l'échelle des aquifères possédant de meilleures compétences en hydrogéologie.

Leçons apprises

Les Prairies dépendent fortement des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau en milieu rural. Par contre, la recharge des eaux souterraines est limitée et, dans certains cas, très sensible aux changements du régime des eaux de surface et du climat. Les provinces des Prairies ne disposent pas d'une information de gestion des aquifères assez détaillée pour pouvoir pleinement tenir compte de la disponibilité de la recharge naturelle, et donc du débit d'exploitation durable des aquifères. De meilleurs modèles prédictifs des eaux de surface et des eaux souterraines seront nécessaires étant donné la vulnérabilité particulière des eaux souterraines à la sécheresse, aux modifications de l'utilisation du sol et aux changements climatiques. Une gestion durable et globale des ressources en eau des Prairies réussira d'autant mieux qu'une information fiable sur la recharge des aquifères évaluée dans le contexte des bassins de rivières importantes sera disponible, et que les cartes et bases de données des caractéristiques des aquifères seront cohérentes de chaque côté des frontières provinciales.

La contamination due à l'exploration et à l'exploitation gazières et pétrolières ainsi qu'à l'élevage intensif peut menacer la qualité de l'eau souterraine dans certaines régions, d'où la nécessité d'une surveillance attentive et d'une réglementation plus sévère.

D'autres efforts sont nécessaires pour établir des canaux de communication clairs entre les chercheurs, les décideurs et les organismes de réglementation en matière d'eau souterraine. On pourrait améliorer substantiellement la gestion des eaux souterraines en établissant des liens entre autorités de bassin versant ou en les regroupant en autorités à l'échelle des aquifères ayant de meilleures compétences en hydrogéologie.

6.9 L'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LE COMTÉ D'ORANGE, EN CALIFORNIE : DES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA PROTECTION ET L'AMÉLIORATION DES AQUIFÈRES

Cette étude de cas porte sur une situation où l'on n'avait pas réussi à protéger les sources d'approvisionnement en eau contre l'épuisement et la contamination, mais où les connaissances scientifiques, l'innovation et l'ingénierie ont engendré un système durable.

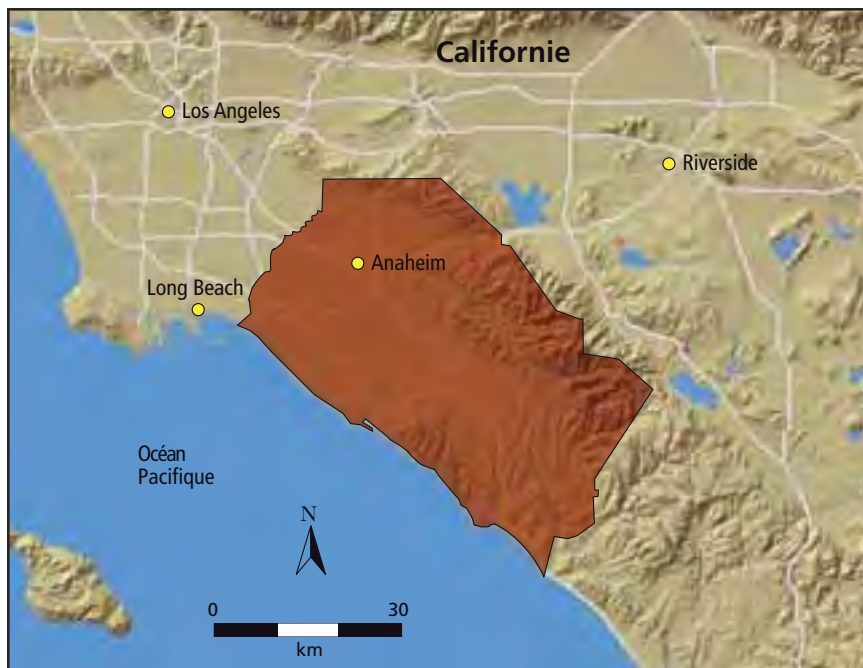
Contexte

Le comté d'Orange, en Californie, est situé dans la partie sud-ouest de la grande région métropolitaine de Los Angeles (figure 6.16). La partie septentrionale du comté repose sur le bassin hydrogéologique du comté d'Orange, qui est géré par l'Orange County Water District (OCWD). Environ 2,3 millions de personnes vivent sur le territoire de ce bassin, où les précipitations annuelles ne sont que de 33 à 38 cm. Malgré le climat semi-aride et une longue histoire de prélèvement d'eau souterraine, le bassin hydrogéologique fournit plus de la moitié de l'eau utilisée dans le district.

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : À partir de la fin du XIX^e siècle, les colons ont fait du comté d'Orange un centre agricole prospère et ont utilisé les eaux souterraines en complément du fleuve Santa Ana pour l'irrigation. Au début des années 1890, des centaines de puits avaient été forés dans le bassin, et en 1933 la demande accrue d'eau souterraine avait suffisamment abaissé le niveau de la nappe phréatique pour que l'assemblée législative de la Californie crée l'OCWD afin de protéger et de gérer le bassin. Avant 1960, des années de pompage intensif avaient abaissé la nappe phréatique en dessous du niveau de la mer, et l'eau salée de l'océan Pacifique avait pénétré jusqu'à huit kilomètres dans les terres. Les cartes du sous-sol montraient que cette intrusion se faisait principalement dans une section de sept kilomètres de la côte du Pacifique appelée « Talbert Gap », à travers des sédiments déposés sous forme de cône alluvial il y a des millions d'années.

Qualité de l'eau souterraine : Avec l'augmentation de la population dans la région située à l'est du comté d'Orange au cours des années 1980 et 1990, il est devenu évident que les eaux usées et le ruissellement provenant de ces collectivités situées en amont augmenteraient de manière importante le débit du fleuve Santa Ana. De fait, l'eau du fleuve est en général composée principalement d'eaux usées



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.16
Le comté d'Orange, en Californie

provenant de ces sources situées en amont après avoir subi un traitement tertiaire. Tout en reconnaissant que cette eau pourrait représenter une importante nouvelle source d'approvisionnement si elle pouvait être captée et stockée, l'OCWD a aussi compris qu'elle contiendrait des taux élevés de nitrates, de matières organiques dissoutes, de métaux lourds, d'hydrocarbures pétroliers et d'autres polluants.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Quantité d'eau souterraine : La numérisation et l'interprétation des données de centaines de forages, les données sur le niveau et l'émergence de l'eau provenant d'un vaste réseau de puits de surveillance, ainsi que d'autres intrants, ont permis de bien caractériser les propriétés du bassin hydrogéologique du comté. Cette information a servi à créer et à tenir à jour un modèle numérique « adaptatif » qui joue un rôle important dans la gestion durable de l'eau.

La menace que faisait peser l'intrusion d'eau salée sur l'approvisionnement en eau a amené l'OCWD et l'Orange County Sanitation District (OCS D) à concevoir un système de barrière hydraulique pour empêcher de nouvelles intrusions d'eau salée et protéger le bassin hydrogéologique. Diverses sources susceptibles de fournir l'eau

nécessaire pour créer cette barrière ont été évaluées : eau de puits profonds, eau importée d'autres bassins, eau de récupération et eau de mer dessalée. La source d'eau finalement adoptée a été un mélange d'eau de puits profonds et d'effluents secondaires recyclés. La première eau mélangée et récupérée à l'usine qui porte maintenant le nom de Water Factory 21 a été injectée dans la barrière côtière en 1976, et l'usine produit maintenant chaque jour environ 85 600 m³ d'eau de grande qualité pour la recharge.

L'eau de récupération a été choisie pour de nombreuses raisons : le coût, la moindre dépendance à l'égard de l'eau importée du bassin du fleuve Colorado et d'ailleurs en Californie, une disponibilité essentiellement constante malgré la sécheresse ou les situations d'urgence, ainsi que la diminution de la décharge d'eaux usées dans l'océan.

À l'heure actuelle, 23 puits d'injection situés à 7 kilomètres de l'océan rechargent les aquifères en eau douce. Cette eau s'écoule à la fois vers l'intérieur des terres et en direction de l'océan, bloquant l'intrusion d'eau salée dans le bassin hydrogéologique tout en réapprovisionnant les aquifères qui donnent de l'eau potable.

Qualité de l'eau souterraine : De nombreuses années de recherches et de négociations avec les autorités responsables de l'eau, de la santé publique et de la gestion de la faune ont conduit à la mise sur pied d'un réseau d'étangs construits derrière Prado Dam dans le comté de Riverside, à l'est du comté d'Orange. Ces milieux humides réduisent les taux de nitrates sous les normes actuelles relatives à l'eau potable et améliorent la qualité de l'eau sous d'autres aspects. Cette eau, ainsi que celle qui est importée du fleuve Colorado et du State Water Project, est ensuite captée le long d'une section de 10 kilomètres du fleuve Santa Ana qui appartient à l'OCWD. Un réseau de digues de sable entrelacées ralentit le cours du fleuve, de sorte qu'une plus grande quantité d'eau peut percoler dans le fond du lit du fleuve. De plus, des structures de détournement canalisent l'eau dans neuf bassins de recharge, dont la profondeur varie de 15 à 47 mètres et qui résultent de l'exploitation antérieure de carrières de sable et de gravier.

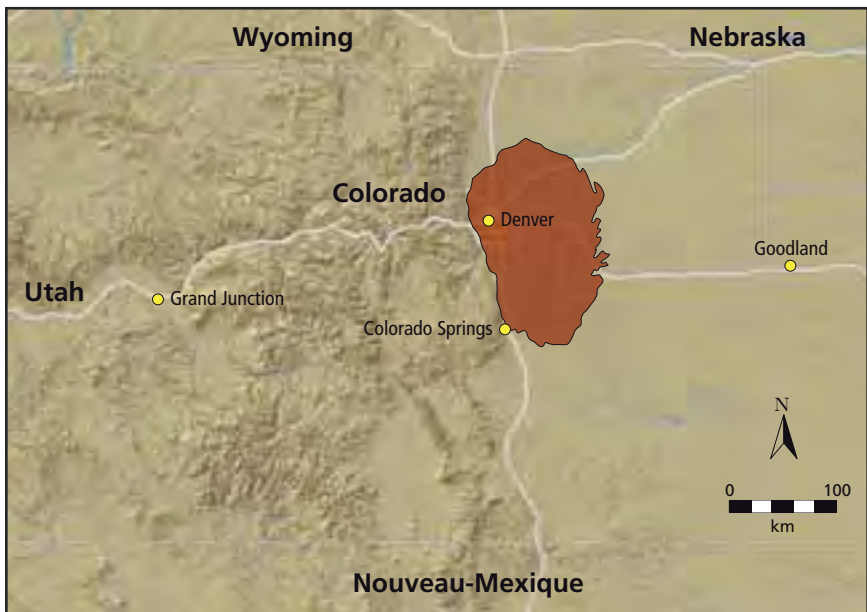
Leçons apprises

L'utilisation à grande échelle d'eaux usées recyclées pour l'approvisionnement en eau du comté d'Orange a soulevé certaines inquiétudes sérieuses à propos de la présence possible d'agents pathogènes et de contaminants organiques. Pour aborder cette question, l'OCWD a réuni de temps à autre des experts dans des domaines tels que l'hydrogéologie, la toxicologie, l'épidémiologie et la géochimie, et leur a donné beaucoup de latitude pour orienter les recherches du District dans ces domaines. Cela a donné lieu à d'importants travaux sur les durées de séjour des agents pathogènes (facteur clé en ce qui concerne la survie des virus) et les transformations géochimiques des composés organiques dans le sous-sol. Cet investissement majeur dans la science a eu aussi comme avantage indirect de bâtir la confiance des utilisateurs de l'eau envers les institutions.

Le coût du traitement supplémentaire, du stockage souterrain et de la récupération des eaux usées du comté d'Orange est de l'ordre de 0,30 à 0,50 \$ US par m³, ce qui est relativement élevé. Mais la solution de remplacement la plus économique, à savoir l'achat et le transport d'eau du Metropolitan Water District of Southern California, coûte environ 0,53 \$ US par m³, et les autres possibilités comme le dessalement de l'eau de mer sont encore plus coûteuses. Dans le comté d'Orange, l'eau est destinée à des usages domestiques, industriels et commerciaux, qui ont tous une valeur relativement élevée par rapport à la plupart des usages en irrigation, en particulier pour la culture de denrées fourragères comme le foin. L'évaluation de projets d'approvisionnement en eau doit tenir compte non seulement des coûts d'autres sources possibles, mais aussi de la valeur des usages auxquels l'eau produite est destinée (NRC, 2008).

6.10 LE BASSIN DE DENVER, AU COLORADO

Ce cas montre que la gouvernance peut favoriser des objectifs socio-économiques au détriment des objectifs de maintien du niveau des eaux, en particulier dans le cas d'aquifères qui ont une faible recharge et un rôle écosystémique limité.



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.17

Le bassin de Denver, au Colorado

Contexte

Le bassin de Denver (figure 6.17) est une source importante et essentiellement non renouvelable d'eau souterraine destinée à des usages municipaux, industriels, agricoles et domestiques dans les huit comtés de la zone métropolitaine de Denver (qui regroupe 56 % de la population du Colorado, soit un peu plus de 2,4 millions d'habitants d'après le recensement de 2000). La pénurie de permis d'utilisation des eaux de surface et une croissance urbaine accélérée ont entraîné une exploitation à grande échelle des aquifères du bassin de Denver, tant comme source principale que supplémentaire d'approvisionnement en eau (Topper *et al.*, 2003).

Le système hydrogéologique du bassin de Denver est constitué d'une succession épaisse d'aquifères sédimentaires en couches qui s'étend sur une superficie d'environ 18 000 km² sur le versant Est des Rocheuses dans le Nord-Ouest du Colorado. Ces aquifères, captifs dans la plus grande partie du bassin, sont au nombre de quatre : Dawson, Denver, Arapahoe et Laramie-Fox Hills. L'aquifère de Dawson est essentiellement à nappe libre. Les autres sont en très grande partie captifs et ne sont pas en contact direct avec les eaux de surface. On peut obtenir de l'eau à partir de toutes les entités sédimentaires, mais l'aquifère d'Arapahoe est le plus productif et le plus souvent exploité par les municipalités.

Le climat de la région de Denver est semi-aride, et le potentiel annuel d'évaporation y est d'environ cinq fois les précipitations annuelles. La plus grande partie de la recharge du réseau d'aquifères du bassin de Denver est assurée par les zones d'affleurement en altitude. Les principales voies d'émergence sont les prélèvements par des puits et les mouvements de l'eau entre aquifères de la roche en place vers les aquifères alluviaux (Robson et Banta, 1995).

Dans l'Ouest des États-Unis, les eaux de surface sont généralement régies par la doctrine juridique de « première appropriation », en vertu de laquelle des droits aux eaux de surface sont accordés pour tout « usage bénéfique ». Ces droits sont accordés dans l'ordre des demandes, donc selon la règle du « premier arrivé, premier servi ». Au Colorado, la loi qui régit les eaux souterraines est complexe mais, de manière générale, elle définit toutes les eaux souterraines comme des « tributaires » des eaux de surface (elle suppose un lien avec un cours d'eau). Les eaux souterraines sont donc soumises à la doctrine de première appropriation, à moins qu'elles ne soient identifiées comme « non tributaires », autrement dit isolées de tout cours d'eau. Des règles supplémentaires s'appliquent lorsque les eaux souterraines sont isolées du réseau des eaux de surface. Comme toutes les ressources en eau de surface du Colorado sont appropriées, le sort des eaux souterraines des aquifères non tributaires a fait l'objet d'intenses débats au cours des années.

Considérations relatives à la gestion durable

Quantité d'eau souterraine : Des forages dans la région de Denver ont produit des puits artésiens jaillissants dès 1884. Avant 1890, la pression artésienne faisait fonctionner les fontaines de la gare Union et la soufflerie de l'orgue à l'église méthodiste de la Trinité. La pression a commencé à baisser au milieu des années 1890, mais ce n'est que dans les années 1950 que la nouvelle technologie, la croissance de la population et la sécheresse ont forcé la réglementation des eaux souterraines (Topper et Reynolds, 2007).

Selon les estimations actuelles, le bassin de Denver contient des réserves de $250 \times 10^9 \text{ m}^3$ d'eau exploitable. Même si moins de 1 % de ce volume a été prélevé des aquifères depuis le début de leur exploitation, le niveau des eaux baisse au rythme d'environ 9 mètres par année dans les zones où le pompage est le plus intensif. Dans l'aquifère d'Arapahoe, au sud de Denver, le niveau des eaux a baissé de près de 90 mètres. Des simulations informatiques du bassin hydrogéologique prédisent que l'aquifère d'Arapahoe pourrait devenir à nappe libre d'ici 2020. L'avenir de cet aquifère constitue une source majeure de préoccupation pour les gestionnaires de l'eau (Topper et Reynolds, 2007).

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Les eaux de surface du bassin étant totalement attribuées, il y a un besoin constant d'eau pour répondre à la demande d'une population croissante. En 1985, une loi de l'État a défini des règles spéciales de répartition de l'eau souterraine profonde du bassin de Denver. Dans le cadre de cette loi, l'État reconnaissait qu'il était acceptable d'exploiter les aquifères « non tributaires » du bassin de Denver en prélevant une quantité d'eau supérieure à la recharge, même s'il en résultait des conséquences négatives.

La loi de 1985 définissait les eaux souterraines non tributaires comme « *les eaux qui, sur une période de 100 ans, ne vont pas diminuer le débit d'un cours d'eau naturel à un rythme supérieur à 0,1 % de la consommation annuelle du puits* » (traduction). La loi reconnaissait en outre que certains aquifères profonds du bassin de Denver n'étaient pas complètement isolés des cours d'eau de la surface et qu'on ne pouvait donc pas les qualifier de non tributaires. Ces aquifères du bassin de Denver ont généralement été classés comme « non tributaires » dans les zones d'affleurement. Par définition, les eaux souterraines « non tributaires » ne sont pas directement reliées aux eaux de surface, mais certains liens peuvent exister sur une longue période. Par conséquent, 2 % des eaux souterraines non tributaires utilisées doivent être remplacées (Topper et Reynolds, 2007).

Les lois de l'État présument que la période productive du système hydrogéologique du bassin de Denver durera au moins 100 ans, et les permis de forage de puits sont émis sur la base du pompage de 1 % par année du volume de l'aquifère sous-jacent.

Évidemment, ce volume a été déterminé à l'aide d'estimations hydrogéologiques. Ces estimations reposent sur les niveaux d'eau mesurés et sur les propriétés d'entreposage de chacun des aquifères du bassin. Des recherches d'eau souterraine se poursuivent dans le bassin de Denver afin de repérer la ressource, de mieux comprendre le système hydrogéologique et d'évaluer la nouvelle information obtenue dans une approche de « modèle évolutif ».

Leçons apprises

On a accepté les baisses du niveau de l'eau comme une conséquence inévitable de l'utilisation de l'eau souterraine du bassin de Denver, et ces eaux souterraines sont exploitées d'une manière non durable. Ultimement, la disponibilité future des eaux souterraines dans le bassin de Denver pourrait être fondée sur des considérations économiques plutôt que sur la loi ou sur le volume restant en réserve. Avec la baisse du niveau de l'eau en raison du pompage excessif et de l'interférence entre les puits, les débits diminuent, les puits doivent être plus profonds, et les coûts de pompage augmentent. Le coût de l'eau pourrait augmenter au point d'atteindre un seuil où il ne serait plus économiquement faisable de la produire. L'État du Colorado a compromis la disponibilité future de l'eau souterraine en autorisant son utilisation pour permettre le développement dans des régions qui n'ont pas à l'heure actuelle d'autre source d'approvisionnement en eau, en espérant que d'autres possibilités d'approvisionnement voient le jour dans l'avenir.

6.11 LE BASSIN DE LA RIVIÈRE BIG, DANS LE RHODE ISLAND

Le cas de la rivière Big a été choisi pour montrer que les progrès des méthodes de modélisation des eaux souterraines permettent d'optimiser dans le temps et l'espace le captage d'eau souterraine afin de protéger les écosystèmes ripicoles.

Contexte

Tout donne à penser que les ressources en eau sont suffisantes dans le Nord-Est des États-Unis. La région regorge de cours d'eau et de lacs. Les précipitations sont relativement abondantes, de l'ordre de 100 à 125 cm par année, et réparties de manière assez uniforme entre les saisons. L'exemple choisi dans le Rhode Island (figure 6.18) illustre un problème qui se présente souvent à propos de l'exploitation des eaux souterraines dans le Nord-Est des États-Unis, malgré les ressources en eau relativement abondantes et la présence d'aquifères productifs.

La demande d'eau est en croissance partout dans le Rhode Island, et le Rhode Island Water Resources Board (RIWRB), responsable de l'exploitation et de la protection des principales ressources en eau de l'État, s'inquiète du fait que la demande pourrait devenir supérieure à la capacité des sources actuelles d'approvisionnement. Le RIWRB a calculé qu'il fallait augmenter d'environ 60 000 m³ par jour



(Traduit d'une carte de référence fournie par Earth-To-Map GIS Inc.)

Figure 6.18

Le bassin de la rivière Big, dans le Rhode Island

l'approvisionnement en eau dans la région du bassin de la rivière Big au sud-ouest de Providence pour répondre à la croissance future de la population et du développement économique dans le centre du Rhode Island. Un réservoir projeté depuis les années 1960 n'a pas été approuvé. Les gestionnaires de l'eau ont dû se tourner vers les eaux souterraines pour répondre aux besoins prévus.

Considérations relatives à la gestion durable

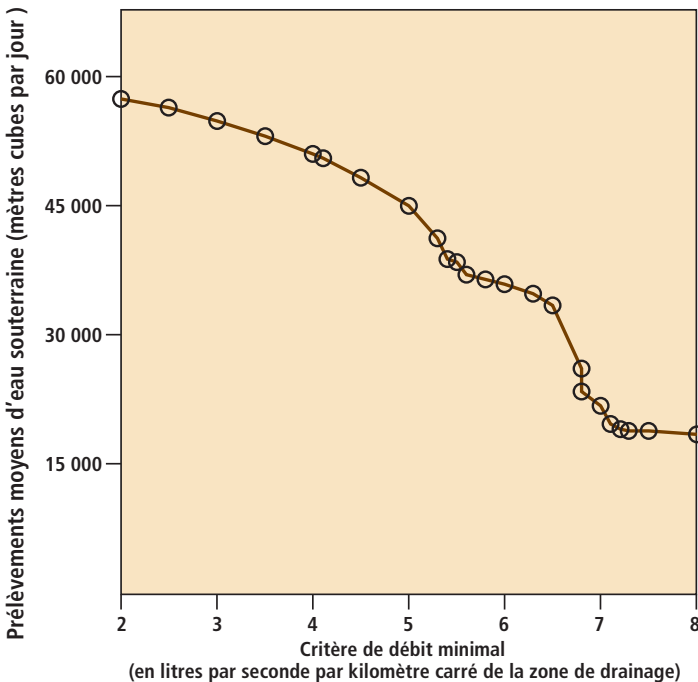
Protection des écosystèmes : Des aquifères peu profonds de sable et de gravier, dont le débit d'exploitation est élevé, constituent une importante source d'eau pour de nombreuses collectivités. Le plus souvent, les puits alimentés par ces aquifères sont situés près de cours d'eau qui sont directement reliés au réseau hydrogéologique sous-jacent. Le pompage par ces puits réduit le débit des cours d'eau en captant une eau souterraine qui autrement émergerait dans ces cours d'eau et, dans certains cas, en retirant des cours d'eau de l'eau qui va dans les aquifères voisins.

Approches visant à améliorer l'utilisation durable de l'eau souterraine

Des études antérieures ont montré qu'il n'était pas possible d'exploiter les eaux souterraines sans diminuer le débit des cours d'eau. Par contre, on ne savait pas quel taux de pompage pourrait être soutenu sans conséquences inacceptables pour les cours d'eau. Où devrait-on situer les puits pour que la baisse de débit soit minimale, et à quel moment cette baisse surviendrait-elle?

L'USGS, en collaboration avec le RIWRB, a récemment mis au point un modèle de simulation et d'optimisation du bassin, afin de déterminer la quantité maximale d'eau souterraine que l'on pourrait pomper à partir de 13 puits répartis dans le bassin, tout en maintenant un débit minimal des cours d'eau à quatre emplacements dans le bassin. Les valeurs de débit minimal ont servi de variables dans une série d'exécutions du modèle, dans le but de mettre à l'épreuve plusieurs critères de gestion qui étaient envisagés par l'État (Granato et Barlow, 2005).

On a calculé le taux de pompage des eaux souterraines dans plusieurs situations simulées. Les critères de débit minimal sont exprimés dans la figure 6.19 comme le débit minimal requis à chacun des quatre emplacements par kilomètre carré de la zone de drainage correspondante. Pour les différentes valeurs de ce critère représentées dans la figure, les taux moyens de pompage calculés par le modèle allaient d'un minimum d'environ 19 000 m³ par jour pour le critère le plus restrictif à un maximum d'environ 57 000 m³ par jour pour le critère le moins restrictif. Le graphique indique



(Traduit, adapté et reproduit de Barlow, 2005, avec les autorisations requises)

Figure 6.19

Relation entre le critère de débit minimal et les prélèvements totaux d'eau souterraine calculés par le modèle d'optimisation du bassin de la rivière Big, dans le Rhode Island. (Chaque cercle de la figure représente une exécution du modèle.)

que des variations relativement petites du critère de débit minimal peuvent entraîner des différences importantes dans les taux de pompage calculés par le modèle. Le graphique est non linéaire, en raison des caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques propres au bassin de la rivière Big et à cause du choix précis d'emplacement des puits et des points de mesure de débit adoptés pour le modèle de simulation et d'optimisation (Barlow, 2005).

Leçons apprises

L'expérience du bassin de la rivière Big illustre la complexité de la relation entre les eaux souterraines et les eaux de surface. L'ajout de critères précis quant au débit des cours d'eau complique encore davantage les stratégies d'exploitation.

L'intégration et le traitement d'un bassin hydrologique dans un modèle informatique permettent aux hydrogéologues d'évaluer de plusieurs manières la disponibilité des eaux souterraines et d'ajuster ces évaluations en fonction des décisions de la société quant à l'évolution de la gestion de l'eau. Il n'aurait pas été possible d'évaluer de nombreuses stratégies de gestion sans la modélisation des eaux souterraines. Cette comparaison aurait été difficile avec une gestion manuelle de multiples simulations. Les modèles de simulation et d'optimisation poussent la modélisation des eaux souterraines un cran plus loin en automatisant et en quantifiant la simulation de nombreuses situations permettant de tester les effets de diverses contraintes hydrologiques, par exemple l'emplacement des puits ou les taux de pompage, sur le débit des cours d'eau. Les modèles de simulation et d'optimisation se sont avérés l'approche la plus efficace pour l'évaluation des différentes options de gestion.

Une connaissance détaillée du réseau d'aquifères et les récentes améliorations apportées aux techniques de simulation ont permis de mieux comprendre les besoins des écosystèmes aquatiques. Par ailleurs, de nouvelles exigences réglementaires ont permis de fixer des normes de débit minimal, et les organismes de réglementation ont pu ainsi définir le degré d'exploitation maximal acceptable du réseau d'aquifères.

7 Conclusions du comité : un cadre de gestion durable des eaux souterraines au Canada

7.1 L'IMPORTANCE GRANDISSANTE D'UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

L'eau souterraine constitue la principale source d'eau pour près de **dix millions de Canadiens**. Elle est cruciale pour la santé humaine, pour des secteurs importants de l'économie et pour la viabilité de nombreux écosystèmes aquatiques. L'eau souterraine constitue souvent la source d'approvisionnement préférentielle des collectivités, des fermes et des ménages, car elle peut être à proximité des utilisateurs, elle est relativement peu coûteuse et souvent de meilleure qualité que l'eau de surface fortement sollicitée. À mesure que les eaux de surface deviendront moins fiables dans un climat en évolution, on comptera peut-être davantage sur les eaux souterraines. Étant donné le besoin d'un développement durable des eaux souterraines et l'émergence de nombreux problèmes qui constitueront autant d'obstacles sur la voie du développement durable, il faut impérativement agir en vue d'améliorer la gestion des eaux souterraines au Canada.

Voici les **menaces** qui pèsent sur les eaux souterraines :

- L'urbanisation rampante,
- les changements climatiques,
- la production croissante d'énergie,
- l'intensification de l'agriculture,
- la contamination de diverses sources.

Même s'il n'y a pas encore de « crise » nationale, les eaux souterraines font l'objet de menaces croissantes et nouvelles, et le Canada devra rapidement évoluer vers une exploitation plus durable de cette ressource vitale. Les cas de surexploitation et de contamination des eaux souterraines dans d'autres pays donnent des leçons dont il faut tenir compte.

Les **écosystèmes aquatiques**, qui dépendent de la contribution des eaux souterraines émergeant dans les rivières et les lacs, requièrent davantage d'attention et de protection dans l'attribution de quotas de prélèvement des eaux souterraines.

Les **liens de plus en plus étroits entre l'énergie et l'eau** exigent une attention particulière. L'exploitation des sables bitumineux, l'extraction de méthane houiller, l'irrigation de cultures destinées à la production de biocarburants et le recours de plus en plus grand à l'énergie géothermique exigent tous une gestion attentive des ressources en eau souterraine et des mesures visant à utiliser l'eau de manière plus efficace.

La **persistance de la contamination de l'eau potable**, dont témoignent les avis d'ébullition et les maladies hydriques, constitue une menace constante pour la santé. De fortes précipitations ont précédé les deux tiers des éclosions de maladie hydrique en Amérique du Nord (dont la tragédie de Walkerton), et une conséquence prévue du réchauffement climatique est l'augmentation de la fréquence d'orages violents. Dans de nombreuses régions agricoles, la présence de nitrates dans les eaux souterraines constitue un problème persistant qui pourrait menacer la santé des nourrissons. S'ils migrent dans l'eau souterraine et font émergence dans les eaux de surface, les nitrates pourraient aussi avoir des effets nocifs sur les espèces aquatiques.

La **recharge des aquifères** est menacée dans certaines régions par le développement urbain tentaculaire et, plus généralement, par les changements climatiques.

Les problèmes actuels des **aquifères transfrontaliers** et l'impact des eaux souterraines sur les eaux de surface communes au Canada et aux États-Unis prendront de l'importance avec l'augmentation de la population et de l'utilisation de l'eau. Même si la Commission mixte internationale (Canada-États-Unis) a interprété à certaines occasions le *Traité des eaux limitrophes internationales* pour y inclure les eaux souterraines, il s'agit d'un traité imparfait en la matière. L'Assemblée générale des Nations Unies étudie un projet de convention sur les aquifères transfrontaliers, et le Canada et les États-Unis devraient envisager de l'adopter. L'aquifère d'Abbotsford-Sumas et le bassin des Grands Lacs, décrits au chapitre 6, illustrent certains problèmes transfrontaliers portant sur les eaux souterraines.

D'autre part, l'**attitude de la population** évolue, car elle accorde une place de plus en plus grande aux valeurs environnementales. La qualité et la disponibilité de l'eau sont donc plus importantes que jamais pour les Canadiens.

7.2 RÉSUMÉ DES RÉPONSES DU COMITÉ AUX QUESTIONS DE SON MANDAT

La question posée au comité était la suivante « *Du point de vue scientifique, que faut-il pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine du Canada?* ». Les réponses à cette question que tout le monde se pose, et aux quatre sous-questions incluses dans le mandat du comité, constituent la plus grande partie de ce rapport. La suite de cette section est un résumé, extrait du corps du rapport, des réponses du comité aux questions de son mandat.

Question principale :

Du point de vue scientifique, que faut-il pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine du Canada?

Objectifs de développement durable

Qu'entend-on par une gestion durable des eaux souterraines? Autrefois, le seul objectif des utilisateurs et des organismes de gestion était d'éviter la surexploitation et la baisse de niveau de la nappe phréatique qui en résulte. Les objectifs suivants de développement durable élaborés par le comité pour guider son évaluation reflètent une conception plus large du rôle des eaux souterraines :

- **Protéger les sources d'eau souterraine contre l'épuisement** : Le développement durable exige que les prélèvements puissent se poursuivre indéfiniment sans diminuer de manière significative la quantité d'eau disponible à long terme dans une région.
- **Maintenir la qualité de l'eau souterraine en la protégeant contre la contamination** : Le développement durable exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques.
- **Préserver la viabilité des écosystèmes** : Le développement durable exige que les prélèvements n'affectent pas de manière significative la contribution des eaux souterraines aux apports d'eau de surface et à la santé des écosystèmes.
- **Parvenir à un bien-être socio-économique** : Le développement durable exige que la répartition de l'eau souterraine maximise sa contribution potentielle au bien-être de la société (sur les plans économique et autres).
- **Appliquer les principes de bonne gouvernance** : Le développement durable exige que les décisions sur l'utilisation de l'eau souterraine soient prises de manière transparente, avec une participation éclairée du public et en tenant pleinement compte des besoins des écosystèmes, de l'équité intergénérationnelle et du principe de précaution.

Chacun de ces cinq objectifs est nécessaire, mais aucun n'est suffisant à lui seul. De plus, ces objectifs sont tous reliés entre eux. Déterminer ce qui est « significatif » ou non dans le contexte des trois premiers objectifs relève du jugement et, au bout du compte, d'une décision de la société qui devrait être éclairée par des connaissances scientifiques et des principes de développement durable, dont le principe de précaution. Ces objectifs visent en outre à orienter l'acquisition de données, la modélisation et la gestion des eaux souterraines, ainsi que la prise de décisions de nature économique.

Des données probantes – par exemple celles qui sont présentées au chapitre 6 dans les études de cas portant sur le Canada – montrent que les autorités canadiennes n'ont pas encore adopté de cadre exhaustif de gestion durable des eaux souterraines. L'adoption par les gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux d'un tel cadre fondé sur les objectifs ci-dessus représenterait un pas en avant important pour orienter la gestion des eaux souterraines.

Les mesures de la durabilité au regard de ces objectifs ou d'autres objectifs semblables restent encore à élaborer. Plus précisément, une évaluation de la durabilité exige généralement la définition de plusieurs mesures indépendantes qui soient représentatives et faciles à obtenir à partir des bases de données de programmes. Ces mesures devraient être conçues pour permettre la comparaison avec des objectifs de développement durable et des valeurs, intervalles ou seuils de référence, et donc pour pouvoir servir au besoin de déclencheurs d'une action.

Le besoin d'une gestion intégrée

Le développement durable exige de caractériser et gérer conjointement les eaux souterraines et les eaux de surface, à l'échelle des bassins versants ou des bassins hydrogéologiques et dans le contexte du cycle hydrologique complet. Dans de nombreuses collectivités publiques, les eaux souterraines et les eaux de surface, de même que la qualité et la quantité de l'eau, sont traitées de manière indépendante. Des efforts particuliers sont nécessaires pour surmonter ce problème.

Pour permettre une utilisation durable de l'eau souterraine, le processus d'aménagement foncier doit tenir compte de la disponibilité et de la vulnérabilité à long terme des ressources locales en eau souterraine, de même que des impacts cumulatifs possibles. Les études hydrogéologiques constituent un moyen efficace d'intégrer la question des eaux souterraines au processus d'aménagement foncier, à condition évidemment que les études sur les eaux souterraines précèdent cet aménagement. Il est préférable que ces études portent sur l'ensemble d'un bassin versant ou d'un bassin hydrogéologique, ce qui exige une connaissance détaillée des conditions de recharge, de débit d'exploitation durable et d'urgence.

Dans bien des cas, la gestion des eaux souterraines est une responsabilité partagée par plusieurs ordres de gouvernement, et le public a un rôle à y jouer. Les cas de la moraine d'Oak Ridges, des Basses-Laurentides, de la municipalité régionale de Waterloo et de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas sont de bons exemples de coordination et de collaboration entre divers ordres de gouvernement et méritent d'être davantage imités.

Première sous-question :

Quelles lacunes actuelles de nos connaissances limitent notre capacité à évaluer la quantité et les emplacements de cette ressource, ainsi que les incertitudes liées à ces évaluations?

Un cadre d'analyse et de compréhension

Quatre composantes, utilisées de manière intégrée, devraient conduire à des prévisions crédibles du comportement des eaux souterraines dans un contexte de développement durable : (1) une base de données complète sur les eaux, comprenant des données géologiques et des données sur les eaux souterraines et sur les pressions qu'elles

subissent (prélèvements, climat, écoulement); (2) une compréhension du cadre géologique dans lequel s'écoulent les eaux souterraines; (3) une description quantitative du régime hydrogéologique, dont l'étendue des principales entités hydrogéologiques ainsi que des paramètres comme la conductivité hydraulique; (4) un modèle approprié de l'écoulement des eaux souterraines.

Le manque de données de base

Voir plus loin la réponse à la troisième sous-question.

Le besoin de comprendre l'écoulement de l'eau souterraine

Au Canada, les connaissances de la dynamique à grande échelle des eaux souterraines (recharge, débit d'exploitation durable, émergence), qui sont essentielles à une gestion durable, souffrent de lacunes importantes. Il faut élaborer un cadre commun pour catégoriser les aquifères à différents échelons (provincial, régional ou local). Un tel cadre permettrait d'établir un lien entre les études locales et des évaluations provinciales et nationales, afin d'en arriver à une meilleure compréhension des bassins hydrogéologiques à l'échelle nationale.

La dernière évaluation exhaustive des ressources du Canada en eau souterraine a été publiée en 1967. Le Programme de cartographie des eaux souterraines dirigé par la Commission géologique du Canada (CGC) a entrepris d'évaluer 30 aquifères régionaux importants. Au rythme actuel, il faudra encore près de 20 ans pour compléter la cartographie des eaux souterraines. Étant donné l'importance de meilleures connaissances hydrogéologiques pour alimenter les modèles et améliorer de manière générale la gestion des eaux souterraines, il faut accélérer la cartographie des aquifères.

Les besoins des écosystèmes en eau souterraine

Étant donné le faible état d'avancement de la recherche sur les exigences de base des écosystèmes, notamment en ce qui concerne les débits minimums et la température requis dans les cours d'eau, il est difficile de trouver au Canada des exemples où la gestion des eaux souterraines permet de maintenir la santé d'un écosystème, et donc de déterminer la quantité d'eau que l'on peut capter d'un aquifère d'une manière durable. En particulier, il n'existe pas de méthode normalisée pour inclure la protection des apports vers les cours d'eau dans les lois et règlements, mais un certain nombre de provinces examinent des moyens de combler cette lacune.

Effets des développements dans le domaine de l'énergie sur les eaux souterraines

Des objectifs clairs en ce qui concerne les eaux souterraines (quantité allouée, qualité requise) devraient être définis avant toute approbation de nouveaux projets d'extraction dans le domaine de l'énergie. Ces objectifs devraient reposer (1) sur

une connaissance adéquate des bassins hydrogéologiques actuels et de leurs liens avec les sols et les eaux de surface, (2) sur des prévisions précises et régulièrement mises à jour des effets cumulatifs futurs des projets d'exploitation sur ces bassins. À l'heure actuelle, on ne sait pas bien si les aquifères de la région des sables bitumineux de l'Athabasca pourront répondre aux demandes et aux pertes d'eau souterraine des projets d'exploitation envisagés.

Impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines

La diminution de la recharge dans la plupart des régions du Sud du Canada et l'augmentation de la demande d'eau due au réchauffement climatique auront un effet sur le niveau des eaux souterraines au cours des prochaines décennies. Il faut de manière urgente effectuer beaucoup plus de recherches sur cette question, afin d'assurer un approvisionnement durable et d'évaluer les conséquences pour les écosystèmes. Par exemple, des modèles qui intègrent l'atmosphère, la surface du sol, l'hydrologie et les eaux souterraines doivent être développés pour permettre une meilleure évaluation des effets de changements climatiques et de modifications de l'utilisation des sols.

Deuxième sous-question :

Qu'avons-nous besoin de comprendre pour préserver la qualité de l'approvisionnement en eau souterraine, afin de protéger la santé publique et les autres utilisations de cette ressource?

Protection de la qualité de l'eau potable

La qualité de l'eau potable municipale tirée des eaux souterraines est généralement excellente dans toutes les régions du Canada. Par contre, les cas fréquents de contamination microbienne dans des puits privés et des petites collectivités, notamment ceux des Premières Nations, demeurent inacceptables et nuisent à la santé d'un nombre important de Canadiens. Il faut probablement renforcer les conditions de la réglementation de l'eau potable destinée aux collectivités au Canada et appuyer ces mesures avec des ressources adéquates et la formation de ceux qui travaillent à l'approvisionnement en eau.

Les autorités canadiennes reconnaissent que la protection de la qualité de l'eau potable repose tout d'abord sur la protection des aires d'alimentation des aquifères et des ouvrages de captage. Les données disponibles sont cependant généralement insuffisantes pour déterminer de manière appropriée ces aires d'alimentation et de protection, en particulier pour les aquifères complexes. Une meilleure connaissance des paramètres géologiques est clairement nécessaire pour améliorer l'exactitude des modèles qui servent à délimiter les aires d'alimentation et de protection des ouvrages de captage.

Surveillance de la qualité de l'eau souterraine

Les exigences et le degré de surveillance de la qualité de l'eau souterraine varient considérablement d'une région à l'autre du pays. Les exigences varient d'une province à l'autre quant aux données requises sur la qualité de l'eau des nouveaux puits domestiques, mais en général les seuls tests requis portent sur les bactéries ou les coliformes.

Il n'y a aucune évaluation nationale des *tendances* en ce qui concerne la qualité de l'eau souterraine; cependant, l'Institut national de recherche sur les eaux et la Commission géologique du Canada collaborent maintenant à l'acquisition de l'information nécessaire. Il se peut que nous ayons besoin d'un réseau (sélectif) de surveillance, coordonné à l'échelle nationale, pour détecter l'évolution à long terme de la qualité de l'eau souterraine liée aux changements qui touchent les précipitations à l'échelle globale ou régionale, la composition chimique ou d'autres facteurs d'ampleur continentale.

Identification des contaminants de l'eau souterraine

Des mesures proactives sont nécessaires, à l'échelle locale, pour détecter les substances susceptibles de rendre l'eau souterraine impropre à la consommation et informer la population de leur présence. L'arsenic, le radon et les fluorures sont des exemples de telles substances naturellement présentes dans l'eau souterraine. Des levés de reconnaissance, la publication de l'information et des tests obligatoires des puits privés dans les zones suspectes sont nécessaires pour protéger la santé des habitants des régions rurales. La contamination d'origine humaine peut être due à l'agriculture, aux sites contaminés, ainsi qu'aux fuites de réservoirs souterrains et d'égouts sanitaires. Ces sources doivent être détectées, inventoriées dans des bases de données provinciales et réhabilitées là où c'est possible, et il faut alerter les utilisateurs de l'eau souterraine. On sait peu de choses sur le transport et l'évolution dans les milieux souterrains de nouvelles formes de contamination qui peuvent être présentes dans les eaux usées épurées, par exemple les produits pharmaceutiques et de soins personnels. Il faut remédier à cette lacune. Les ressources affectées à la surveillance de telles menaces à la qualité de l'eau souterraine n'ont pas suivi l'augmentation des besoins.

Contamination persistante par les nitrates

Des concentrations élevées de nitrates, principalement d'origine agricole, continuent de persister dans de nombreux aquifères importants au Canada. Même si le problème est bien connu, peu de succès ont été enregistrés en vue d'une réduction significative de cette contamination. Le milieu agricole n'a pas adopté de pratiques exemplaires de gestion suffisantes pour répondre de manière adéquate à ce problème qui pourrait menacer la santé des nourrissons. Davantage d'efforts sont donc nécessaires pour s'attaquer aux facteurs techniques, réglementaires et économiques responsables de cette situation.

Qualité de l'eau souterraine en milieu rural

Étant donné la piètre qualité actuelle de l'eau de nombreux puits ruraux, les programmes de surveillance inadéquats, le manque de cohérence des programmes éducatifs de promotion et d'assurance de la qualité de l'eau de puits, le fait que la plupart des initiatives de délimitation des aires d'alimentation et de protection sont centrées sur les puits municipaux, ainsi que les perspectives d'intensification des activités agricoles, il est clair que la qualité de l'eau souterraine en milieu rural doit faire l'objet d'une attention accrue, notamment par des programmes communautaires d'information sur les puits et les aquifères.

Troisième sous-question :

Quelles techniques et quelle information sont nécessaires pour surveiller les réserves et la qualité de l'eau souterraine? Quel est l'état actuel des connaissances et des pratiques, et qu'avons-nous besoin de développer au Canada?

Le besoin de meilleures données

Bien que toutes les provinces et des agences locales aient des programmes permanents de surveillance du niveau des eaux, le nombre de points d'observation est généralement insuffisant, et les données sur la qualité de l'eau ne constituent pas une priorité de ces programmes. Dans de nombreux cas, aucune analyse systématique de ces données n'est effectuée, et aucun mécanisme ne permet de détecter des menaces potentielles nouvelles et à venir ou d'évaluer le besoin de mesures de suivi ou de réhabilitation, sauf de manière réactive. D'une manière générale, la quantité de ressources affectées à la collecte systématique de données sur l'eau n'est pas arrivée à suivre la demande en matière de développement foncier depuis 20 ans. À titre d'exemple, le nombre de stations hydrométriques au Canada est passé de 3 600 à environ 2 900.

Données sur les prélèvements d'eau souterraine

Il y a un manque critique de données sur les quantités d'eau souterraine allouées, notamment à des fins municipales, industrielles et agricoles, sur les prélèvements réels d'eau souterraine, ainsi que sur les volumes d'eau restitués ou réutilisés. Sans ces données, il est impossible de gérer efficacement les eaux souterraines, peu importe à quel niveau, et les organismes responsables devraient donc accorder une priorité élevée à l'obtention de telles données. L'enquête d'Environnement Canada sur l'eau potable et les eaux usées des municipalités constitue à l'heure actuelle la meilleure source de données nationales sur les prélèvements d'eau souterraine à des fins domestiques et municipales. Cependant, en raison du faible taux de réponse des petites municipalités à cette enquête à participation volontaire, elle est incomplète dans de vastes régions du pays. Pour mieux documenter l'utilisation de l'eau souterraine au Canada, il faudra mettre sur pied des initiatives visant à améliorer

le taux de réponse, en aidant les municipalités à répondre à l'enquête et en complétant les données recueillies avec l'information que possèdent les provinces sur les réseaux d'aqueduc municipaux.

Données climatiques

Les réseaux actuels de stations météorologiques sont incapables de fournir un compte rendu annuel des précipitations ou de la température pour de nombreux aquifères. L'incertitude accrue qui résulte de cet état de fait pourrait entraîner des décisions inappropriées en matière de gestion des eaux souterraines, surtout dans les zones au relief accentué et dans les régions éloignées, par exemple en Colombie-Britannique et dans le Nord canadien.

Intégration des données

Les organismes de surveillance devraient mettre en place des systèmes de surveillance hydrologique qui saisissent et intègrent des données sur le climat, les eaux de surface, les eaux souterraines, les prélèvements et la consommation. Les registres provinciaux des puits ne contiennent généralement pas des données de très bonne qualité provenant de certains types de forages, notamment ceux effectués par des experts-conseils dans le cadre d'études hydrogéologiques ou géotechniques.

Structure visant à faciliter la gestion et les échanges de données

Bien que de nombreuses données hydrogéologiques soient recueillies, peu d'efforts systématiques visent à les rassembler dans une base de données collective dans le but d'améliorer la connaissance des eaux souterraines. Par exemple, une quantité considérable de données précieuses liées aux eaux souterraines est inutilisée ou inaccessible, notamment celles qui sont contenues dans divers rapports de recherche et autres rapports produits par des cabinets d'experts-conseils, des universités et des organismes non gouvernementaux.

Étant donné le piètre état de la gestion des données sur les eaux souterraines au Canada, il est crucial que l'acquisition, la mise à jour et la gestion de données sur les eaux souterraines, ainsi que la facilité d'accès à ces données, constituent une priorité partout au pays. Même si le Canada n'a pas besoin d'une base de données nationale exhaustive des eaux souterraines, il est important de s'entendre sur une structure et un ensemble de pratiques exemplaires (fondées peut-être sur une conception et des méthodes semblables à celles du *National Water Information System* de la Commission géologique des États-Unis), afin de faciliter l'échange de données entre provinces et entre les provinces et le gouvernement fédéral. Le Réseau d'information sur les eaux souterraines (RIES, voir le chapitre 4) élabore des normes de gestion des données en vue de faciliter l'échange d'information. La surveillance des eaux souterraines à tous les niveaux doit être davantage soutenue, et une infrastructure d'échange de données telle que le RIES doit être mise en place grâce à une collaboration fédérale-provinciale.

Quatrième sous-question :

Quelles autres connaissances scientifiques et socio-économiques sont nécessaires pour gérer de manière durable les aquifères situés au Canada et ceux que nous partageons avec les États-Unis?

Mieux comprendre la valeur des eaux souterraines

Une meilleure compréhension de la valeur de la contribution des eaux souterraines à l'économie, à l'environnement et à la société de notre pays pourrait favoriser un processus décisionnel plus efficace concernant la répartition des ressources en eau, les infrastructures liées à l'eau, les dépenses engagées pour délimiter les aires d'alimentation et de protection des puits, ainsi que la réhabilitation des eaux contaminées. Malgré les techniques empiriques d'estimation disponibles et les efforts consentis dans d'autres pays pour attribuer une valeur à leurs ressources en eau, relativement peu de recherches ont été menées au Canada sur la valeur de l'eau. Il n'y a en réalité aucune information sur l'évaluation des eaux souterraines par leurs utilisateurs.

Instruments fondés sur le marché pour appuyer le développement durable

Les méthodes actuelles d'allocation de l'eau souterraine au Canada font rarement appel à des mesures incitatives fondées sur le marché. Pourtant, de très nombreuses données montrent que le recours plus intensif à des instruments économiques tels que la tarification de l'eau, les redevances de prélèvement et un système d'échange de permis, est susceptible de favoriser une utilisation durable de l'eau souterraine. Parmi les principaux obstacles à la mise en place de tels instruments, mentionnons le manque d'expérience en la matière des gouvernements au Canada, une compréhension insuffisante des caractéristiques économiques des demandes des utilisateurs de l'eau souterraine et de leurs effets dans le temps, ainsi que la nécessité de coordonner l'introduction d'instruments fondés sur le marché avec les cadres de réglementation existants.

En principe, le recours à des instruments économiques pourrait concerner des activités qui modifient la qualité de l'eau souterraine; cependant, l'information nécessaire pour mettre un prix à la pollution de l'eau souterraine représente un défi majeur. L'analyse de la pollution diffuse (liée par exemple à l'activité agricole) et la définition de politiques visant à la contrôler au moindre coût se feront probablement au cas par cas.

L'intégration de modèles économiques et hydrologiques procurerait aux gestionnaires un outil puissant pour promouvoir une utilisation durable de l'eau souterraine. À ce jour, les modèles qui reflètent les liens entre l'activité économique et les eaux souterraines portent principalement sur l'utilisation de l'eau souterraine en agriculture.

Encourager une utilisation efficiente de l'eau

La tarification municipale peut être conçue de manière à promouvoir une utilisation durable de l'eau souterraine. Une première étape importante consiste à faire en sorte que l'agence locale responsable de l'eau comptabilise la totalité des coûts de fourniture de l'eau potable. Jusqu'à maintenant, cette comptabilité s'est généralement limitée aux coûts d'exploitation et à une partie des coûts d'immobilisation, ce qui constitue une subvention implicite aux utilisateurs et un encouragement à une utilisation non durable de l'eau.

Il faudrait encourager l'application de la technologie disponible et des recherches plus poussées visant à améliorer l'utilisation efficiente de l'eau dans de nombreux secteurs industriels et domestiques, l'exploitation des sables bitumineux en étant un exemple patent. On peut également devoir envisager la mise en œuvre de mesures incitatives économiques et dans certains cas d'une réglementation.

Attribution d'une valeur aux avantages écosystémiques

Les méthodes qui permettent d'attribuer une valeur aux avantages écosystémiques des eaux souterraines sont mal comprises et incomplètes. Pour que les processus de gouvernance parviennent à un juste équilibre entre les besoins socio-économiques et ceux des écosystèmes, il faut des procédures comptables comparables dans les deux domaines pour quantifier la valeur de l'eau. Si l'on ne tient pas pleinement compte de la valeur des fonctions des écosystèmes, les processus de gouvernance vont probablement favoriser les intérêts socio-économiques au détriment de ceux des écosystèmes.

7.3 CONSIDÉRATIONS JURIDIQUES ET INSTITUTIONNELLES

Un niveau adéquat de connaissances scientifiques est nécessaire mais non suffisant pour gérer de manière durable les eaux souterraines. Comme on l'a vu dans l'ensemble du rapport, plusieurs des défis les plus importants relèvent de facteurs institutionnels et politiques, dont la fragmentation et le chevauchement des compétences et des responsabilités, des priorités en concurrence, ainsi que des méthodes et façons de penser traditionnelles.

Gouvernance et gestion coordonnées

Les provinces, propriétaires et responsables de la réglementation des ressources naturelles, ont la compétence juridique principale en matière d'eaux souterraines. Le gouvernement fédéral possède un pouvoir législatif et des droits de propriété qui lui permettent de gérer les eaux souterraines sur les terres fédérales. Il a aussi des domaines de compétence et un pouvoir de dépenser qui peuvent avoir des conséquences sur la gestion durable des eaux souterraines. Dans plusieurs domaines pertinents tels que l'agriculture et l'environnement, la responsabilité est

partagée entre le gouvernement du Canada et les provinces. Les gouvernements locaux ont également une influence importante en matière de protection des eaux souterraines, du fait de leurs pouvoirs dans le domaine de l'aménagement foncier.

La *Loi sur les ressources en eau du Canada*, adoptée à l'origine en 1970, permet au gouvernement fédéral de conclure avec les provinces et territoires des accords portant sur la réalisation d'études exhaustives de bassins fluviaux, sur la collecte de données et l'établissement d'inventaires, ainsi que sur la désignation d'organismes de gestion de la qualité de l'eau. Elle a été rarement invoquée au cours des dernières années, mais elle pourrait dans l'avenir jouer un rôle bénéfique dans la gestion des eaux souterraines. Le *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine*, formulé en 2003 par un comité de représentants des gouvernements fédéral et provinciaux, encourage la collaboration, mais il faut néanmoins répartir plus clairement, et officiellement, les tâches entre les ordres de gouvernement.

Considérant le fait que la gestion des eaux souterraines relève de plusieurs compétences, et à la lumière des expériences positives de collaboration entre diverses autorités exposées dans plusieurs études de cas au chapitre 6, le comité recommande :

- que les organismes provinciaux responsables des eaux souterraines contribuent à la mise sur pied et au soutien d'agences locales, en fonction de priorités provinciales définies à partir d'analyses à l'échelle des bassins hydrogéologiques;
- que les agences locales – à l'échelle du bassin versant ou de l'aquifère – conçoivent des programmes sur le terrain, recueillent des données, élaborent et utilisent des modèles dans un style de gestion adaptative, et prennent des décisions ou appuient les décisions provinciales en matière de répartition de la ressource, de protection des sources et d'aménagement foncier;
- que les organismes fédéraux soutiennent la recherche fondamentale et appliquée requise pour appuyer une gestion durable des eaux souterraines; que, d'un commun accord avec les autorités provinciales et locales (y compris les Premières Nations), ils travaillent à élaborer les connaissances hydrogéologiques et environnementales spécifiques nécessaires pour mettre en œuvre des stratégies de développement durable; qu'ils appliquent des principes de développement durable à la gestion des eaux souterraines sur les terres fédérales ainsi que des eaux limitrophes et transfrontalières.

Amélioration des lois et règlements

La protection juridique de la quantité et de la qualité de l'eau souterraine pourrait être améliorée sous plusieurs aspects mentionnés dans le rapport, notamment : la protection des apports vers les cours d'eau, la lutte contre la

contamination par les nitrates et d'autres impacts des activités agricoles, la prévention de la contamination des eaux souterraines et l'évaluation des impacts cumulatifs des activités qui affectent les eaux souterraines.

Importance de l'application de la réglementation

Une application plus stricte des règlements et contrôles existants améliorerait la gestion durable des eaux souterraines. La comptabilité précise et régulière des prélèvements autorisés d'eau souterraine, le respect d'exigences plus strictes pour la surveillance de la qualité de l'eau, une documentation complète des caractéristiques géologiques liées à la construction et à l'abandon de puits, ainsi que le respect en temps voulu des conditions de nettoyage et de réhabilitation des sites contaminés, comptent parmi les aspects de l'application de la réglementation qui ont le plus besoin d'être améliorés.

Renforcement des capacités de soutien du développement durable

Renforcement des capacités locales : L'affectation de personnel et de fonds à la gestion des eaux souterraines n'a pas suivi la croissance de la demande pour cette ressource, de sorte que de nombreux bassins hydrographiques du Canada ne bénéficient pas des compétences et de la capacité de gestion voulues. La gestion locale des eaux souterraines par une municipalité régionale ou une agence responsable d'un bassin versant ne sera couronnée de succès que si elle est soutenue par des ressources financières et humaines suffisantes, ainsi que par l'obligation d'adopter les mesures voulues et de rendre compte des progrès accomplis. Plusieurs exemples montrent qu'une collaboration entre les trois ordres de gouvernement donne des résultats positifs, en combinant les ressources disponibles dans une seule approche de gestion concentrée géographiquement et intégrée verticalement.

Techniques de modélisation à jour : Dans la plupart des provinces, l'application des modèles hydrogéologiques par les organismes de réglementation ne repose pas sur les développements les plus récents dans ce domaine. Par conséquent, alors que les autorités gouvernementales adoptent maintenant des stratégies durables de répartition de l'utilisation des eaux souterraines, elles doivent aussi améliorer leur capacité à utiliser des modèles hydrogéologiques de pointe pour la gestion à l'échelle des bassins hydrographiques.

Besoin de personnes compétentes : Il y a actuellement une pénurie d'hydrogéologues au Canada, et le besoin de scientifiques et de gestionnaires compétents ira en augmentant à mesure que les eaux souterraines seront gérées de manière plus rigoureuse. Il y a un besoin de programmes de formation qui intègrent les sciences hydrologiques, la durabilité des écosystèmes, la gestion des bassins versants, ainsi que les aspects économiques et juridiques des ressources en eau.

7.4 RECHERCHES À MENER

Ce rapport a fait ressortir un certain nombre de sujets qui demandent davantage de recherche. La mise sur pied, l'accélération et le financement de ces activités de recherche doivent faire l'objet d'une attention prioritaire de la part des organismes concernés du gouvernement fédéral, notamment les conseils de recherche, des provinces et de leurs instituts de recherche, ainsi que du milieu universitaire. Une collaboration entre les gouvernements et les universités peut être productive dans ce domaine. La liste qui suit n'est pas exhaustive, mais elle énumère, sans ordre de priorité, des domaines de recherche identifiés par le comité dans le cours de ses travaux :

- améliorer les méthodes de caractérisation hydrogéologique et réduire leurs coûts;
- améliorer les techniques d'analyse et de transmission des données sur la quantité, la qualité et l'utilisation de l'eau souterraine;
- élaborer ou améliorer les lignes directrices et les techniques d'évaluation de la quantité, de la qualité (y compris la température) et de la chronologie de l'écoulement de l'eau souterraine, afin de soutenir de façon durable les écosystèmes aquatiques;
- évaluer les effets des changements climatiques en cours sur la quantité et la qualité de l'eau souterraine, y compris les impacts de la dégradation du pergélisol sur les eaux souterraines, et sur la conception de stratégies d'adaptation appropriées;
- élaborer des modèles qui intègrent l'atmosphère, la surface du sol, l'hydrologie et les eaux souterraines, pour permettre une meilleure évaluation des effets de modifications de l'utilisation des sols ainsi que des changements et variations climatiques;
- améliorer les techniques de délimitation des zones de recharge et de protection des sources d'eau souterraine, à des fins d'aménagement foncier;
- identifier les facteurs techniques, réglementaires et économiques responsables de la persistance de concentrations élevées de nitrates dans des aquifères importants;
- évaluer et rapporter la concentration dans les eaux souterraines de contaminants naturellement présents dans les eaux souterraines mais potentiellement dangereux (p. ex. arsenic, radon) et de substances omniprésentes telles que les produits pharmaceutiques, ainsi que de la contamination bactérienne et virale;
- améliorer la compréhension du transport et de l'évolution des contaminants, ainsi que la réhabilitation des eaux souterraines;
- augmenter l'efficacité dans l'utilisation de l'eau pour de nombreux secteurs industriels et domestiques, en particulier la production d'énergie;
- concevoir et mettre en place des instruments économiques, dont la tarification, afin de promouvoir une utilisation durable de l'eau souterraine.

7.5 REDDITION DE COMPTES

Le gouvernement fédéral, en collaboration avec les provinces et les territoires, devrait produire un rapport sur l'état actuel des eaux souterraines au Canada et les progrès accomplis en vue d'une gestion durable de cette ressource. Ce rapport devrait être terminé d'ici deux ans, puis mis à jour à intervalles réguliers, par exemple tous les cinq ans.

À cet égard, il faudra poursuivre la mise au point de moyens de mesure et d'indicateurs appropriés des principaux aspects de la gestion durable des eaux souterraines, afin d'en orienter la gestion et de noter les progrès accomplis.

Bibliographie

- AAC, 2009 – AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA. *Le Service national d'information sur les terres et les eaux*. Adresse URL : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1226330737632&lang=fra>.
- Accord Canada-Ontario, 2007 – GOUVERNEMENT DU CANADA et GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *L'Accord Canada-Ontario de 2007 concernant l'écosystème du bassin des Grands Lacs*.
- ACRH, 1994 – ASSOCIATION CANADIENNE DES RESSOURCES HYDRIQUES. *Sustainability Principles for Water Management in Canada: A Policy of the Canadian Water Resources Association*, Ottawa.
- Adamowicz *et al.*, 2007 – ADAMOWICZ, W., D. DUPONT, A. J. KRUPNICK et J. ZHANG. « Valuation of Cancer and Microbial Disease Risk Reductions in Municipal Drinking Water: An Analysis of Risk Context Using Multiple Valuation Methods », *RFF Discussion Paper*, vol. 7 n° 39, p. 1-21.
- AIH, 2007 – ASSOCIATION INTERNATIONALE DES HYDROGÉOLOGUES. *XXXV IAH Congress*, Lisbonne, Association internationale des hydrogéologues.
- Aller *et al.*, 1985 – ALLER, L., T. BENNETT, J. H. LEHR et R. J. PETTY. *DRASTIC – A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. Environmental Protection Agency.
- Alley *et al.*, 1999 – ALLEY, W. M., T. E. REILLY et O. L. FRANKE. « Sustainability of Ground-Water Resources », *US Geological Survey Circular 1186*, Denver, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- ASASE, 2007 – ABBOTSFORD-SUMAS AQUIFER SCIENCE FORUM. « Executive Summary », *Proceedings of the Abbotsford-Sumas Aquifer Science Forum*, Abbotsford (Colombie-Britannique), 26 avril 2007.
- Bakker et Cameron, 2002 – BAKKER, K., et D. CAMERON. *Good Governance in Municipal Restructuring of Water and Wastewater Services in Canada*, Munk Centre for International Studies, Université de Toronto.
- Barlow, 2005 – BARLOW, P. M. « Use of Simulation-Optimization Modeling to Assess Regional Ground-Water Systems », *US Geological Survey Fact Sheet* (3095).
- Barnett *et al.*, 1998 – BARNETT, P. J., D. R. SHARPE, H. A. J. RUSSELL, T. A. BRENNAND, G. GORRELL, F. KENNY et A. PUGIN. « On the Origin of the Oak Ridges Moraine », *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 35, p. 1152-1167.
- Barson *et al.*, 2001 – BARSON, D., S. BACHU et P. ESSLINGER. « Flow Systems in the Mannville Group in the East-Central Athabasca Area and Implications for Steam-Assisted Gravity Drainage (SAGD) Operations for *in Situ* Bitumen Production », *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, vol. 49, n° 3, p. 376-392.
- Bartlett, 1988 – BARTLETT, R. H. *Aboriginal Water Rights in Canada: A Study of Aboriginal Title to Water and Indian Water Rights*, Calgary, Institut canadien du droit des ressources.
- Baxter, 2002 – BAXTER, K. C. « Management of the Basal McMurray Watersand During Bitumen and Heavy Oil Extraction », *Proceedings of the 75th Anniversary of Canadian Society of Petroleum Geologists' Convention*.

- Benson *et al.*, 2006 – BENSON, V. S., J. A. VANLEEUEWEN, J. SANCHEZ, I. R. DOHOO et G. H. SOMERS. « Spatial Analysis of Land Use Impact On Ground Water Nitrate Concentrations », *Journal of Environmental Quality*, vol. 35, p. 421-432.
- Birnie et Boyle, 2002 – BIRNIE, P., et A. BOYLE. *International Law and the Environment*, 2^e édition, New York, Oxford University Press.
- Block et Forrest, 2005 – BLOCK, R. W., et J. FORREST. « A Gathering Storm: Water Conflict in Alberta », *Alberta Law Review*, vol. 43, n^o 1, p. 1-286.
- Bradford, 2008 – BRADFORD, A. « Water Policy for Ecosystem Integrity: Oak Ridges Moraine Conservation Plan », *Water International*, vol. 33, n^o 3, p. 320-332.
- Bredehoeft *et al.*, 1982 – BREDEHOEFT, J. D., S. S. PAPADOPULOS et H. H. COOPER JR. « Groundwater: The Water Budget Myth », *Scientific Basis of Water Resource Management*, G.S.C. Geophysics Research Forum, Washington, D.C., National Academy Press.
- Brentwood et Robar, 2004 – BRENTWOOD, M., et S. F. ROBAR, réd. *Managing Common Pool Groundwater Resources, An International Perspective*, Westport, CT, Greenwood Publishing Group.
- Brown, 1967 – BROWN, I. C. « Groundwater In Canada », *Economic Geology Report*, vol. 24, p. 228.
- Bukowski *et al.*, 2001 – BUKOWSKI, J., G. SOMERS et J. BRYANTON. « Agricultural Contamination of Groundwater as a Possible Risk Factor for Growth Restriction or Prematurity », *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 43, n^o 4, p. 377-383.
- Burchi et Mechlem, 2005 – BURCHI, S., et K. MECHLEM. « Les eaux souterraines et le droit international – Compilation de traités et autres instruments juridiques », *Études législatives de la FAO n^o 86*, Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Burn *et al.*, 2008 – BURN, D. H., J. M. BUTTLE, D. CAISSIE, G. MACCULLOCH, C. SPENCE et K. STAHL. « The Processes, Patterns and Impacts of Low Flows Across Canada », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 33, p. 107-124.
- Canton de Langley, 2007 – TOWNSHIP OF LANGLEY. *Annual Report*, Langley (Colombie-Britannique).
- Canton de Langley, 2008 – TOWNSHIP OF LANGLEY. *Water Management Plan*, Langley (Colombie-Britannique).
- Carrara *et al.*, 2008 – CARRARA, C., C. J. PTACEK, W. D. ROBERTSON, D. W. BLOWES, M. C. MONCUR, E. SVERCO et S. BACKUS. « Fate of Pharmaceuticals and Trace Organic Compounds in Three Septic System Plumes », *Environmental Science & Technology*, vol. 42, n^o 8, p. 2805-2811.
- Cassidy et Findlay, 2007 – CASSIDY, P., et C. FINDLAY. « The Confluence of Environmental and Aboriginal Law », *Environmental Law: The Year in Review*, Aurora, Canada Law Book.
- CBCL Limited, 2003 – CBCL LIMITED. *Analyse des questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture – Nouvelle-Écosse, Nouveau-Brunswick, Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve-et-Labrador*, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- CCE et Gouvernement du Canada, 2006 – COMMISSION DE COOPÉRATION ENVIRONNEMENTALE ET GOUVERNEMENT DU CANADA. *La santé des enfants et l'environnement en Amérique du Nord – Premier rapport sur les indicateurs et les mesures disponibles*, Montréal, Commission de coopération environnementale.

- CCME, 2002 – CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT. *Science de l'eau et politiques : Qualité des eaux souterraines*. Adresse URL : http://www.ccme.ca/assets/pdf/2002_grndwtrqlty_wkshp_f.pdf.
- CEDD, 2001 – COMMISSAIRE À L'ENVIRONNEMENT ET AU DÉVELOPPEMENT DURABLE. *Rapport de la Commissaire à l'environnement et au développement durable*, Ottawa, Bureau du vérificateur général du Canada.
- CEDD, 2005 – COMMISSAIRE À L'ENVIRONNEMENT ET AU DÉVELOPPEMENT DURABLE. *Rapport de la Commissaire à l'environnement et au développement durable*, Ottawa, Bureau du vérificateur général du Canada.
- CEDD, 2008 – COMMISSAIRE À L'ENVIRONNEMENT ET AU DÉVELOPPEMENT DURABLE. *Rapport du Commissaire à l'environnement et au développement durable*, Ottawa, Bureau du vérificateur général du Canada.
- Cloutier *et al.*, 2006 – CLOUTIER, V., R. LEFEBVRE, M. SAVARD, E. BOURQUE et R. THERRIEN. « Hydrogeochemistry and Groundwater Origin of The Basses-Laurentides Sedimentary Rock Aquifer System, St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada », *Hydrogeology Journal*, vol. 14, n° 4, p. 573-590.
- CMI, 1978 – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. *Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, Ottawa et Washington.
- CMI, 2000 – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. *Protection of The Waters of The Great Lakes – Final Report To The Governments of Canada and The United States*, Ottawa et Washington.
- CMI, 2004 – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. *Protection des eaux des Grands Lacs – Examen des recommandations du rapport de février 2000 de la CMI*, Ottawa et Washington.
- CMI, 2008 – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. *Draft Report On The Status of Groundwater in The Great Lakes Basin*, Conseil consultatif scientifique des Grands Lacs.
- CNCG, 2007 – COMITÉ NATIONAL DES COMMISSIONS GÉOLOGIQUES. *Accord géoscientifique intergouvernemental*, Commission géologique du Canada.
- Cohen, 1997 – COHEN, S. J. *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie*, Environnement Canada.
- Conseil de recherches de l'Alberta, 2007 – ALBERTA RESEARCH COUNCIL. *A Regional Water Cycle Approach To Managing Groundwater Resources in The Athabasca Oil Sands Area*.
- Coon et Sheets, 2006 – COON, W. F., et R. A. SHEETS. « Estimate of Ground Water in Storage in The Great Lakes Basin, United States, 2006 », *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report*.
- Corkal *et al.*, 2004 – CORKAL, D., W. C. SCHUTZMAN et C. R. HILLIARD. « Rural Water Safety From the Source to the On-Farm Tap », *Journal of Toxicology and Environmental Health*, vol. 67 n° 20-22, p. 1619-1642.
- CSC, 2001 – COUR SUPRÊME DU CANADA. *114957 Canada Liée (Spraytech, Société d'arrosage) c. Hudson (Ville)*, 2001 CSC 40.
- CSC, 2004a – COUR SUPRÊME DU CANADA. *Nation haïda c. Colombie-Britannique (Ministre des Forêts)*, 2004 SCC 73.
- CSC, 2004b – COUR SUPRÊME DU CANADA. *Première Nation Tlingit de Taku River c. Colombie-Britannique (Directeur d'évaluation de projet)*, 2004 SCC 74.

- CSC, 2005 – COUR SUPRÊME DU CANADA. *Première nation crie Mikisew c. Canada (Ministre du Patrimoine canadien)*, 2005 SCC 69.
- Cumming et Foroehlich, 2007 – CUMMING, J., et R. FOROEHLICH. « NAFTA chapter XI and Canada's environmental sovereignty: investment flows, article 1110 and Alberta's Water Act », *University of Toronto Faculty of Law Review* 64.
- CWIC, 2008 – CANADIAN WATER ISSUES COUNCIL. *A Model Act for Preserving Canada's Waters*, Toronto, Munk Centre for International Studies, Université de Toronto.
- D'Aliesio, 2008 – D'ALIESIO, R. « Water Rights Battle Hits Court », *Calgary Herald*, 22 avril 2008.
- de Gispert, 2004 – DE GISPERT, C. « The Economic Analysis of Industrial Water Demand: A Review », *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 22, p. 15-30.
- de Loë *et al.*, 2007 – DE LOË, R., J. VARGHESE, C. FERREYRA et R. KREUTZWISER. *Water Allocation and Water Security in Canada: Initiating a Policy Dialogue for The 21st Century*, Water Management Group, Université de Guelph.
- Demuth et Pietroniro, 2003 – DEMUTH, M. N., et A. PIETRONIRO *The Impact of Climate Change on the Glaciers of The Canadian Rocky Mountain Eastern Slopes and Implications for Water Resource Adaptation in the Canadian Prairies*, Fonds d'action pour le changement climatique – Collectif des prairies pour la recherche en adaptation, rapport final du projet P55, plus annexes techniques, 162 p.
- Devlin et Sophocleous, 2005 – DEVLIN, J. F., et M. SOPHOCLEOUS. « The Persistence of The Water Budget Myth and Its Relationship To Sustainability », *Hydrogeology Journal*, vol. 13 n° 4, p. 549-554.
- Dupont et Renzetti, 1999 – DUPONT, D., et S. RENZETTI. « An Assessment of The Impact of A Provincial Water Charge », *Analyse de politiques*, vol. 25, n° 3, p. 361-378.
- Dupont et Renzetti, 2001 – DUPONT, D., et S. RENZETTI. « The Role of Water in Manufacturing », *Environmental and Resource Economics*, vol. 18, n° 4, p. 411-432.
- ECC, 2005 – ENVIRONMENTAL COOPERATION COUNCIL. « Record of Discussion for ECC Meeting: October 28, 2005 », *22nd Meeting of the BC/WA Environmental Cooperation Council*. Victoria.
- Eckert, 2007 – ECKERT, C. *Alberta Water Act Regulation and Policy*. Bow Riverkeeper Webinar.
- ECO Canada, 2008 – ECO CANADA. *When Supply Does Not Meet Demand: Labour Gaps and Issues in Canada's Contaminated Sites Sector*.
- Eggertson, 2008a – EGGERTSON, L. « Despite Federal Promises, First Nations' Water Problems Persist », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 178, n° 8.
- Eggertson, 2008b – EGGERTSON, L. « Investigative Report: 1766 Boil-Water Advisories Now in Place Across Canada », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 178, n° 10.
- Ehsanzadeh et Adamowski, 2007 – EHSANZADEH, E., et K. ADAMOWSKI. « Detection of Trends in Low Flows Across Canada », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 32, n° 4, p. 251-264.

- Environnement Canada, 1987 – ENVIRONNEMENT CANADA. *Politique fédérale relative aux eaux*.
- Environnement Canada, 2004a – ENVIRONNEMENT CANADA. *Teneurs en nitrate dans l'aquifère d'Abbotsford : un indicateur de la contamination de l'eau souterraine dans la vallée du bas Fraser*.
- Environnement Canada, 2004b – ENVIRONNEMENT CANADA. *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*, rapport n° 3 d'évaluation scientifique de l'INRE et document n° 1 d'évaluation de la science de la DGSAC, Burlington (Ontario), Institut national de la recherche sur les eaux.
- Environnement Canada, 2007 – ENVIRONNEMENT CANADA. « Utilisation de l'eau par les municipalités : statistiques de 2004 », *Rapport de 2007 sur l'utilisation municipale de l'eau*.
- Environnement Canada, 2008a – ENVIRONNEMENT CANADA. *Aquifères et puits*. Adresse URL : <http://www.ec.gc.ca/water/images/nature/grdwtr/a5f3f.htm>.
- Environnement Canada, 2008b – ENVIRONNEMENT CANADA. *Contamination des eaux souterraines par une décharge*. Adresse URL : <http://www.ec.gc.ca/Water/images/nature/grdwtr/a5f8f.htm>.
- Environnement Canada, 2008c – ENVIRONNEMENT CANADA. *Prix types de l'eau fournie par les municipalités au Canada et dans d'autres pays*. Adresse URL : <http://www.ec.gc.ca/water/images/manage/use/a4f3f.htm>.
- Environnement Canada, 2008d – ENVIRONNEMENT CANADA. *Les eaux souterraines – trésors cachés de la nature*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/water/fr/info/pubs/FS/f_FSA5.htm.
- ERCB, 2006 – ENERGY RESOURCES CONSERVATION BOARD. *Baseline Water Well Testing Requirement for Coalbed Methane Wells Completed Above the Base of Groundwater Protection*. Adresse URL : <http://www.ercb.ca/docs/documents/directives/directive035.pdf>.
- Espey *et al.*, 1997 – ESPEY, M., J. ESPEY et W. D. SHAW. « Price Elasticity of Residential Demand for Water: A Meta-Analysis », *Water Resources Research*, vol. 33, n° 6, p. 1369-1374.
- États-Unis et Canada, 2006 – ÉTATS-UNIS et CANADA. *Review of The Canada-U.S. Great Lakes Water Quality Agreement, GLWQA Reviewers Assembly – Sharing Our Findings*, Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, Toronto.
- Fairchild *et al.*, 2000 – FAIRCHILD, G. L., D. A. J. BARRY, M. J. GOSS, A. S. HAMILL, P. LAFRANCE, P. H. MILBURN, R. R. SIMARD et B. J. ZEBARTH. « Qualité de l'eau souterraine », *La santé de l'eau – Vers une agriculture durable au Canada*, D.R. Coote et L.J. Gregorich, réd., Ottawa, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Fang et Pomeroy, 2008 – FANG, X., et J. W. POMEROY. « Drought Impacts on Canadian Prairie Wetland Snow Hydrology », *Hydrological Processes*, vol. 22, n° 15, p. 2858-2873.
- Farber, 2002 – FARBER, S. « Ecological Economics Regarding Freshwater Resources », *Water and the Future of Life on Earth*, Graduate School of Public and International Affairs, Université de Pittsburg.
- Fernandes *et al.*, 2007 – FERNANDES, R., V. KOROLEVYCH et S. WANG. « Trends in Land Evapotranspiration Over Canada for the Period 1960-2000 Based on in Situ Climate Observations and a Land Surface Model », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, p. 1016-1030.

- Fitzgerald *et al.*, 1997 – FITZGERALD, D. A., D. A. KIELY, R. D. NELSON, S. SHAW, R. J. AUDETTE, M. PRIOR, E. ASHTON et E. ALLISON. *Alberta Farmstead Water Quality Survey: Technical report submitted to the Canada-Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Agreement*, Edmonton, Alberta Agriculture, Food and Rural Development.
- Freeze et Cherry, 1979 – FREEZE, R. A., et J. A. CHERRY. *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Galloway *et al.*, 1999 – GALLOWAY, D., D. R. JONES et S. E. INGEBRITSEN. « Land Subsidence in the United States », *US Geological Survey Circular 1182*, Denver, US Geological Survey.
- Garduno *et al.*, 2003 – GARDUNO, H., S. FOSTER, C. DUMARS, K. KEMPER, A. TUINHOF et M. NANNI. *Briefing Note 5 – Groundwater Abstraction Rights: From Theory to Practice*, World Bank Global Water Partnership Associate Program.
- Garfinkel *et al.*, 2008 – GARFINKEL, J., J. KOHLER, A. LINTNER et H. WILKINS. *Ontario's Water Hazard – The Cumulative Impact of Golf Courses on Our Water Resources*, Earthfoots.
- Gartner Lee Ltd., 2002 – GARTNER LEE LTD. *Best Practices for Assessing Water Taking Proposals*, Toronto, Ministère de l'Environnement de l'Ontario.
- Gerber et Holysh, 2007 – GERBER, R., et S. HOLYSH. *Application of the numerical groundwater flow model – considerations*, C.A.M. Coalition and Regional Municipalities of York, Peel, Durham and the City of Toronto (YPDT).
- GIEC, 2005 – GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. *Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, Rapport spécial du GIEC.
- GIEC, 2007 – GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. *Changements climatiques 2007 – Rapport de synthèse*.
- Gleick, 1996 – GLEICK, P. « Water Resources », *Encyclopaedia of Climate and Weather*, S.H. Schneider, réd., New York, Oxford University Press.
- Gleick, 2007 – GLEICK, P. « Time to Rethink Large International Water Meetings », *The World's Water 2006 7: The Biennial Report on Freshwater Resources*, P. Gleick, réd., Island Press.
- Glennon, 2005 – GLENNON, R. « Water Scarcity, Marketing and Privatization », *Texas Law Review*, vol. 83, n° 7, p. 1873-1902.
- Globalis Canada, 2005 – GLOBALIS CANADA. *Canada: Urban Population*. Adresse URL : http://globalis.gvu.unu.edu/indicator_detail.cfm?IndicatorID=30&Country=CA.
- Goss *et al.*, 1998 – GOSS, M. J., D. A. J. BARRY et D. L. RUDOLPH. « Contamination in Ontario Farmstead Domestic Wells and its Association with Agriculture: Results from Drinking Water Wells », *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 32, n° 3-4, p. 267-293.
- Gouvernement de la C.-B., 2007 – GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. *Progress on the Action Plan for Safe Drinking Water in British Columbia*, Office of the Provincial Health Officer.
- Gouvernement de la C.-B., 2008 – GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. *Living Water Smart*, Water Stewardship Division, Vancouver.
- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2003 – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. *État de l'environnement*, Ministère des Pêches, de l'Aquaculture et de l'Environnement.

- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2004a – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. *Agricultural Crop Rotation Act*, A 8.01.
- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2004b – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. « Part V: Well Field Protection Requirements », *Royal Gazette of Prince Edward Island*, vol. CXXX, n° 51, p. 1.
- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2007a – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. *Groundwater Exploration and Extraction Permits*. Adresse URL : <http://www.gov.pe.ca/envengfor/index.php3?number=1015765&lang=E>.
- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2007b – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. *Politique des ressources durables*. Ministère de l'Agriculture et des Forêts.
- Gouvernement de l'Î.-P.-É., 2008 – GOUVERNEMENT DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD. *Rapport de la Commission sur les nitrates dans l'eau souterraine*, Charlottetown.
- Gouvernement de l'Ontario, 1990 – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *Loi sur les ressources en eau de l'Ontario*, L.R.O, 1990, CHAPITRE O.40.
- Gouvernement de l'Ontario, 2002a – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. « Recommendation Report and Supporting Documents for the Former CWML Site Smithville Ontario », *Smithville Phase IV Bedrock Remediation Program*, Smithville, Ontario.
- Gouvernement de l'Ontario, 2002b – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *Loi de 2002 sur la durabilité des réseaux d'eau et d'égouts*, L.O, 2002, CHAPITRE 29.
- Gouvernement de l'Ontario, 2004 – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *Water Taking and Transfer*, Ontario regulation 387/04.
- Gouvernement de l'Ontario, 2006 – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *Loi de 2006 sur l'eau saine*, L.O. 2006, CHAPITRE 35.
- Gouvernement de l'Ontario, 2007 – GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO. *Loi de 2007 sur la sauvegarde et la durabilité des eaux de l'Ontario*, L.O, 2007, CHAPITRE 12.
- Gouvernement des États-Unis, 1972 – UNITED STATES GOVERNMENT. *Federal Water Pollution Control Amendments of 1972* 33 U.S.C. § 1251.
- Gouvernement du Canada, 1985a – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi sur le vérificateur général*, L.R., 1985, ch. A-17.
- Gouvernement du Canada, 1985b – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi sur les ressources en eau du Canada*, L.R., 1985, ch. C-11.
- Gouvernement du Canada, 1985c – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi sur les pêches*, L.R., 1985, ch. F-14.
- Gouvernement du Canada, 1992 – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*, 1992, ch. 37.
- Gouvernement du Canada, 1999 – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, 1999, ch. 33.
- Gouvernement du Canada, 2002 – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Loi sur les espèces en péril*, 2002, ch. 29.

- Gouvernement du Canada, 2004 – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Cadre de gestion de l'eau pour le gouvernement fédéral*.
- Gouvernement du Canada, 2005 – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Agir pour assainir les sites contaminés fédéraux : une priorité environnementale et économique*, Groupe de travail sur la gestion des lieux contaminés.
- Gouvernement du Canada, 2006a – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Rapport du groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations*, vol. 1 – Traiter les lacunes en matière de ressources comme condition préalable à un cadre réglementaire.
- Gouvernement du Canada, 2006b – GOUVERNEMENT DU CANADA. *Rapport du groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des Premières Nations*, vol. 2 – Consultations sur les options législatives.
- Gouvernement du Manitoba, 2007 – GOUVERNEMENT DU MANITOBA. *Gestion des ressources hydriques Manitoba – Rapport annuel 2006-2007*, Winnipeg, Manitoba Water Stewardship Program.
- Gouvernement du N.-B., 1989 – GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK. *Loi sur l'assainissement de l'eau*, L.N.-B. 1989, ch. C-6.1.
- Gouvernement du N.-B., 1993 – GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK. *Règlement sur l'eau potable – Loi sur l'assainissement de l'eau*, Règl. du N.-B. 93-979.
- Granato et Barlow, 2005 – GRANATO, G. E., et P. M. BARLOW. « Effects of alternative instream-flow criteria and water-supply demands on ground-water development options in the Big River Area, Rhode Island », *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5301*.
- Grannemann *et al.*, 2000 – GRANNEMANN, N. G., R. J. HUNT, J. R. NICHOLAS, T. E. REILLY et T. C. WINTER. « The Importance of Ground Water in the Great Lakes Region », *US Geological Survey Water Resources Investigations Report 00-4008*.
- Griffin, 2006 – GRIFFIN, R. *Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects*, Cambridge, MIT Press.
- Griffiths *et al.*, 2006 – GRIFFITHS, M., A. TAYLOR et D. WOYNILLOWICZ. *Troubled Waters, Troubling Trends*, Edmonton, Institut Pembina.
- GW MATE, 2006 – GW MATE. « Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools », *GW-MATE Briefing Note Series*, Washington, Banque Mondiale.
- Hall, 2004 – HALL, M. « Transboundary Groundwater Management: Opportunities Under International Law for Groundwater Management in the United States-Mexico Border Region », *Arizona Journal of International & Comparative Law*, vol. 21, n° 3, p. 873-911.
- Hamel, 2002 – HAMEL, A. *Évaluation de la recharge et des patrons d'écoulement régionaux des aquifères de roc fracturé du sud-ouest du Québec*, Université Laval.
- Hayashi *et al.*, 2003 – HAYASHI, M., G. VAN DER KAMP et R. SCHMIDT. « Focused Infiltration of Snowmelt Water in Partially Frozen Soil Under Small Depressions », *Journal of Hydrology*, vol. 270, p. 214-229.
- Hii *et al.*, 2006 – HII, B., M. ZUBEL, D. SCOVILL, G. GRAHAM, S. MARSH et O. TYSON. *Groundwater Quality Survey - Nitrate and Bacteria, Abbotsford Aquifer, British Columbia, Canada 2004*.

- Hilliard, 2007 – HILLIARD, C. « Study Shows Water Well Contamination Occurs Close to Home », *Prairie Water News*, vol. 17, n° 2, p. 3-4.
- Hoag et Hughes-Popp, 1997 – HOAG, D. L., et J. S. HUGHES-POPP. « Theory and Practice of Pollution Credit Trading, Water Quality Management », *Review of Agricultural Economics*, vol. 1, n° 2, p. 252-262.
- Hodge *et al.*, 1995 – HODGE, R. A., S. HOLTZ, C. SMITH et K. HAWKE-BAXTER. *Les sentiers de la viabilité : mesurer les progrès*, Ottawa, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie.
- Hodgkins *et al.*, 2007 – HODGKINS, G. A., R. W. DUDLEY et S. S. AICHELE. *Historical Changes in Precipitation and Streamflow in The U.S. Great Lakes Basin, 1915-2004*, United States Geological Survey.
- Holtschag et Nicholas, 1998 – HOLTSCHAG, D. J., et J. R. NICHOLAS. *Indirect Groundwater Discharge To The Great Lakes: Open-File Report*, United States Geological Survey.
- Holysh *et al.*, 2003 – HOLYSH, S., S. DAVIES, L. LEMON, B. JEFFREY, A. KORNIUK, A. WARREN, S. BANZ, B. GOLAS, C. DARLING, L. RIVIERRE, B. SNODGRASS, D. GOODYEAR, D. FORD, S. MEEK, G. SOO CHAN, R. POWELL, M. PEACOCK, M. MAJCHROWSKI, R. GERBER et H. BRETTON. « Groundwater Management Through Cooperation – An Example of Local Government Leadership From The Oak Ridges Moraine – Southern Ontario », *Proceedings of the International Association of Hydrogeologists Canadian National Chapter Meeting*, Winnipeg.
- Homer-Dixon, 2001 – HOMER-DIXON, T. *The Ingenuity Gap: Can We Solve The Problems Of The Future*, Toronto, Vintage Canada.
- Hood *et al.*, 2006 – HOOD, J., J. ROY et M. HAYASHI. « Importance of Groundwater in The Water Balance of An Alpine Headwater Lake », *Geophysical Research Letters*, vol. 33.
- Hoover *et al.*, 2006 – HOOVER, G., A. HOWATSON, J. CHURCHILL et J. ROBERTS. *Navigating The Shoals: Assessing Water Governance and Management in Canada*, Ottawa, Conference Board du Canada.
- Horbulyk et Lo, 1998 – HORBULYK, T., et L. LO, réd. « Welfare Gains From Potential Water Markets in Alberta, Canada », K. EASTER, M. ROSEGRANT ET A. DINAR, *Markets for Water: Potential and Performance*, Boston, Kluwer Academic Press.
- Howard *et al.*, 1995 – HOWARD, K. W. F., N. EYLES, P. J. SMART, J. I. BOYCE, R. E. GERBER, S. L. SALVATORI et M. DOUGHTY. « The Oak Ridges Moraine of Southern Ontario: A Ground-Water Resource at Risk », *Geoscience Canada*, vol. 22, n° 3, p. 101-120.
- Hrudey, 2008a – HRUDEY, S. E. « Canada must pay the true cost of safe drinking water », *The Globe and Mail*, 25 avril 2008.
- Hrudey, 2008b – HRUDEY, S. E. « Safe Water? Depends on where you live », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 178, n° 8, p. 975.
- Hutson *et al.*, 2004 – HUTSON, S. S., N. L. BARBER, J. F. KENNY, K. S. LINSEY, D. S. LUMIA et M. A. MAUPIN. « Estimated Use of Water in the United States in 2000 », *Geological Survey Circular 1268*, Denver, US Geological Survey.

- Jenkins *et al.*, 2004 – JENKINS, M. W., J. R. LUND, R. E. HOWITT, A. J. DRAPER, S. M. MSANGI, S. K. TANAKA, R. S. RITZEMA et G. F. MARQUES. « Optimization of California's Water System: Results and Insights », *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 130, n° 4, p. 271-280.
- Jiang *et al.*, 2004 – JIANG, Y., G. SOMERS et J. P. MUTCH. « Application of Numerical Modeling To Groundwater Assessment and Management in Prince Edward Island », *Proceedings of the 5th Joint Canadian Geotechnical Society and International Association of Hydrogeologists-Canadian National Chapter Groundwater Conference*, Québec.
- Kassem *et al.*, 1994 – KASSEM, A. M., D. M. TATE et P. A. DOSSETT. *Water Use Analysis Model (Wuam) Demonstration*.
- Kassem *et al.*, 2005 – KASSEM, A., T. MCRAE et M. SYDOR. « Using An Integrated Water Use and Supply Planning Model To Inform Decision-Makers On The Impacts of Climate Change and Variability On Irrigated Agriculture in Canada's South Saskatchewan River Basin », *OECD Workshop On Agriculture and Water: Sustainability, Markets and Policies*, Adelaide (Australie).
- Kassenaar *et al.*, 2003 – KASSENAAR, J. D. C., S. HOLYSH et R. GERBER. « Integrated 3d Hydrostratigraphic Interpretation in Complex Aquifer Systems », *Proceedings of the International Association of Hydrogeologists Canadian National Chapter Meeting*, Winnipeg.
- Kassenaar et Wexler, 2006 – KASSENAAR, J. D. C., et E. J. WEXLER. « Groundwater Modelling of The Oak Ridges Moraine Area », *CAMC-YPDT Technical Report #01-06*.
- Kelso *et al.*, 1973 – KELSO, M., W. E. MARTIN et L. MACK. *Water Supplies and Economic Growth in An Arid Environment: An Arizona Case Study*, Tucson, University of Arizona Press.
- Kemper *et al.*, 2003 – KEMPER, K., S. FOSTER, H. GARDUÑO, N. M. et A. TUINHOF. *Briefing Note 7: Economic Instruments for Groundwater Management: Using Incentives To Improve Sustainability*, Washington, Banque Mondiale.
- Kennett, 2007 – KENNETT, S. A. « Next Steps for Cumulative Effects Management in Alberta's Athabasca Oil Sands Region », *Resources*, Institut canadien du droit des ressources.
- Keplinger, 2003 – KEPLINGER, K. « The Economics of Total Maximum Daily Loads », *Natural Resources Journal*, vol. 43, n° 4.
- Kolpin *et al.*, 2002 – KOLPIN, D. W., E. T. FURLONG, M. T. MEYER, E. M. THURMAN, S. D. ZAUGG, L. B. BARBER et H. T. BUXTON. « Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999-2000: A National Reconnaissance », *Environmental Science & Technology*, vol. 36, p. 1202-1211.
- Kolstad et Freeman, 2007 – KOLSTAD, C., et J. FREEMAN. *Moving To Markets in Environmental Regulation: Lessons From Twenty Years of Experience*, New York, Oxford University Press.
- Kondouri, 2004 – KONDOURI, P. « Current Issues in the Economics of Groundwater Resource Management », *Journal of Economic Surveys*, vol. 18, n° 5, p. 703-740.
- Kulshreshtha et C. Grant, 2007 – KULSHRESHTHA, S. N., et C. GRANT. « An Estimation of Canadian Agricultural Water Use », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 32, n° 2, p. 137-148.

- Lawrence, 2007 – LAWRENCE, J. *Environment Canada's Groundwater Science: Potential for Federal Collaboration*.
- Lefebvre *et al.*, 2005 – LEFEBVRE, A., W. EILERS et B. CHUNN. *L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*, Ottawa, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Lillebuen, 2005 – LILLEBUEN, S. « Native Groups Sue Government over Oilsands », *Edmonton Journal*.
- Lissey, 1971 – LISSEY, A. « Depression-Focussed Transient Groundwater Flow Patterns in Manitoba », *Geological Survey of Canada Special Paper*, vol. 9, p. 333-349.
- Locas *et al.*, 2007 – LOCAS, A., C. BARTHE, B. BARBEAU, A. CARRIERE et P. PAYMENT. « Virus occurrence in municipal groundwater sources in Québec, Canada », *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 53, n° 6, p. 688-694.
- Locas *et al.*, 2008 – LOCAS, A., C. BARTHE, A. B. MARGOLIN et P. PAYMENT. « Groundwater microbiological quality in Canadian drinking water municipal wells », *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 54, n° 6, p. 472-478.
- Loukili *et al.*, 2006 – LOUKILI, Y., A. D. WOODBURY et K. R. SNELGROVE. « An Enhancement of The Canadian Land Surface Scheme for Climate Assessment Over The Prairies », *Proceedings of the American Geophysical Union, Fall Meeting 2006*, San Francisco, 11-15 décembre 2006.
- Maathuis, 2005 – MAATHUIS, H. *Groundwater Observation Well Networks in Canada*, Saskatoon, Saskatchewan Research Council.
- Maathuis et Van der Kamp, 1998 – MAATHUIS, H., et G. VAN DER KAMP. *Evaluation of Pumping and Recovery Data for The Estevan Valley and Tableland Aquifers*, Saskatoon, Saskatchewan Research Council.
- Mahan *et al.*, 2002 – MAHAN, R., T. HORBULYK et J. ROWSE. « Market Mechanisms and The Efficient Allocation of Surface Water Resources in Southern Alberta », *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 36, n° 1, p. 25-49.
- Meehl *et al.*, 2007 – MEEHL, G. A., T. F. STOCKER, W. D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, A. T. GAYE, J. M. GREGORY, A. KITO, R. KNUTT, J. M. MURPHY, A. NODA, S. C. B. RAPER, I. G. WATTERSON, A. J. WEAVER et Z. C. ZHAO. « Global Climate Projections », *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S.D.Q. Solomon, Martin Manning, Melinda Marquis, Kristen Averyt, Melinda M. B. Tignor et Henry LeRoy Miller, réd., New York, Cambridge University Press.
- Meisner *et al.*, 1988 – MEISNER, J. D., J. S. ROSENFELD et H. A. REGIER. « The Role of Groundwater in The Impact of Climate Warming On Stream Salmonines », *Fisheries*, vol. 13, n° 3, p. 2-8.
- Meranger *et al.*, 1984 – MERANGER, J. C., K. S. SUBRAMANIAN et R. F. MCCURDY. « Arsenic in Nova Scotian Groundwater », *Science of The Total Environment*, vol. 39, n° 1-2, p. 49-55.
- Millennium EMS, 2007 – MILLENNIUM EMS. *Hydrogeological Baseline and Environmental Assessment Algar Project*, Edmonton, M.E.S. Ltd., Great Divide Oil Corporation.

- Ministère de l'Énergie de l'Alberta, 2008 – ALBERTA ENERGY. *Oil Sands*. Adresse URL : <http://www.energy.gov.ab.ca/oilsands/oilsands.asp>.
- Ministère de l'Environnement de la C.-B., 2007 – BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF ENVIRONMENT. *Observation Well Information*. Adresse URL : http://www.env.gov.bc.ca/wsd/data_searches/obswell/wellindex.html.
- Ministère de l'Environnement de l'Alberta, 2005 – ALBERTA ENVIRONMENT. *Integrated Land Management Project Charter*, Gouvernement de l'Alberta.
- Ministère de l'Environnement de l'Alberta, 2006 – ALBERTA ENVIRONMENT. *South Saskatchewan River Basin Approved Water Management Plan*. Adresse URL : <http://www3.gov.ab.ca/env/water/regions/ssrb/index.asp>.
- Ministère de l'Environnement de l'Alberta, 2007 – ALBERTA ENVIRONMENT. *Cumulative effects management*, Gouvernement de l'Alberta.
- Ministère de l'Environnement du N.-B., 2005 – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK. *Protection des sources municipales d'eau potable – Survol du Programme de protection des champs de captage du Nouveau-Brunswick*, Fredericton, Direction de la planification durable.
- Ministère de l'Environnement du N.-B., 2007 – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK. *Rapport annuel 2006-2007*.
- Ministère de l'Environnement et du Travail de la N.-É., 2002 – NOVA SCOTIA DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND LABOUR. *A Drinking Water Strategy for Nova Scotia: A Comprehensive Approach to the Management of Drinking Water*, Halifax, Province de la Nouvelle-Écosse.
- Mitchell, 2004 – MITCHELL, B. *Resource and environmental management in Canada : addressing conflict and uncertainty*, 3^e édition, Don Mills, Oxford University Press.
- MRBB, 1997 – MACKENZIE RIVER BASIN BOARD. *Mackenzie River Basin Transboundary Waters Master Agreement*.
- MRC D'Argenteuil, 2005 – MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ D'ARGENTEUIL. *Le Développement de la MRC D'Argenteuil dans une Stratégie D'aménagement : La Deuxième Proposition De Schéma D'aménagement et de Développement Révisé*. Adresse URL : <http://www.argenteuil.qc.ca>.
- Municipalité régionale de Waterloo, 2007a – REGIONAL MUNICIPALITY OF WATERLOO. *Guiding Source Water Protection: Water Resources Protection Master Plan*, Waterloo (Ontario).
- Municipalité régionale de Waterloo, 2007b – REGIONAL MUNICIPALITY OF WATERLOO. *Supplementary Tech Memo: Updated Cost Estimates*, Waterloo (Ontario).
- Municipalité régionale de Waterloo, 2008 – REGIONAL MUNICIPALITY OF WATERLOO. *Region of Waterloo*. Adresse URL : <http://www.region.waterloo.on.ca/web/region.nsf/fmFrontPage?OpenForm>.
- Nastev *et al.*, 2006 – NASTEV, M., R. LEFEBVRE, A. RIVERA et R. MARTEL. « Quantitative Assessment of Regional Rock Aquifers, South-Western Québec, Canada », *Water Resources Management*, vol. 20, p. 1-18.
- Nations Unies, 2008 – ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Ressources naturelles partagées – Le droit des aquifères transfrontières*, A/CN.4/L.724.

- Nature Conservancy, 2008 – THE NATURE CONSERVANCY OF CANADA. *The Nature Conservancy of Canada*. Adresse URL : http://www.natureconservancy.ca/site/PageServer?page_name=ncc_main.
- Neff *et al.*, 2005 – NEFF, B. P., A. R. PIGGOTT et R. A. SHEETS. *Estimation of Shallow Ground-Water Recharge in the Great Lakes Basin*. Adresse URL : http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5284/pdf/SIR_2005_5284-Web.pdf.
- Nielsen, 2006 – NIELSEN, D. M. *Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Groundwater Monitoring*, 2^e édition, L. Taylor & Francis Group, réd., Boca Raton, FL, CRC Press.
- Novokowski *et al.*, 2006 – NOVOKOWSKI, K., B. BEATTY, M. J. CONBOY et J. LEBEDIN. « Water Well Sustainability in Ontario: Expert Panel Report », *Sustainable Water Well Initiative*, Ministère de l'Environnement de l'Ontario.
- Nowlan, 2005 – NOWLAN, L. *Buried treasure : Groundwater Permitting and Pricing in Canada*, Toronto, Walter and Duncan Gordon Foundation.
- Nowlan et Bakker, 2007 – NOWLAN, L., et K. BAKKER. *Delegating Water Governance: Issues and Challenges in The BC Context, Report for BC Water Governance Project*, Fraser Basin Council, Ministère de l'Environnement, Fraser Salmon and Watershed Program, Georgia Basin Living Rivers Program et Pêches et Océans Canada, réd., UBC Program on Water Governance.
- NRC, 1994 – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. « Alternatives for Ground Water Cleanup », *Report of The National Academy of Science Committee On Ground Water Cleanup Alternatives*, Washington.
- NRC, 1997 – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. « Valuing Ground Water: Economic Concepts and Approaches », *Report of The Committee On Valuing Groundwater*, Washington.
- NRC, 2008 – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. « Water Implications of Biofuels Production in The United States », *Committee on Water Implications of Biofuels Production in the United States*, Washington.
- O'Connor, 2002a – O'CONNOR, D. R. *Report of The Walkerton Inquiry. Part 1. The Events of May 2000 and Related Issues*, Toronto, Ministère du Procureur général de l'Ontario.
- O'Connor, 2002b – O'CONNOR, D. R. *Report of The Walkerton Inquiry. Part 2. A Strategy for Safe Water*, Toronto, Ministère du Procureur général de l'Ontario.
- OCDE, 1995 – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES. *Examens environnementaux de l'OCDE – Canada*, Paris.
- OCDE, 1999 – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES. *Le prix de l'eau – Les tendances dans les pays de l'OCDE*, Paris.
- OCDE, 2004 – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES. *Données OCDE sur l'environnement : Compendium 2004*, Paris.
- Ogilvie et Usher, 2005 – OGIHVIE et USHER. *Watershed Planning: From Recommendations To Municipal Policies, A Guidance Document*, The York, Peel, Durham, Toronto Groundwater Study, and Conservation Authorities Moraine Coalition, réd., Ogilvie, Ogilvie & Company et Anthony Usher Planning Consultant.
- OMS, 2004 – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *L'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé – Faits et chiffres*, Genève.

- OMS, 2007 – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Chemical Safety of Drinking Water: Assessing Priorities for Risk Management*, T. Thompson, J. Fawell, S. Kunikane, D. Jackson, S. Appleyard, P. Callan, J. Bartram et P. Kingston, réd., Genève.
- OMS, 2008 – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Water-related diseases: Fluorosis*. Adresse URL : http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/fluorosis/en/.
- ONE, 2006 – OFFICE NATIONAL DE L'ÉNERGIE. *Les sables bitumineux du Canada – Perspectives et défis jusqu'en 2015 – Mise à jour*, Calgary.
- ONE, 2008 – OFFICE NATIONAL DE L'ÉNERGIE. *Les sables bitumineux du Canada – Perspectives et défis jusqu'en 2015 – Questions et réponses*. Adresse URL : <http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfimt/nrgyrprt/lnsd/pprntnsndchllngs20152004/qapprntnsndchllngs20152004-fra.html>.
- OSDC, 2008a – OIL SANDS DISCOVERY CENTRE. *Alberta's Vast Resource: The Biggest Known Oil Reserve in The World! Fact Sheet*, Fort McMurray (Alberta), Oil Sands Discovery Centre et Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole.
- OSDC, 2008b – OIL SANDS DISCOVERY CENTRE. *The Oil Sands Story: The Resource*. Adresse URL : http://www.oilsandsdiscovery.com/oil_sands_story/resource.html.
- Parks, 2004 – PARKS, K. P. « Regional Groundwater Management for Oil Sands Development, Alberta, Canada », *Geological Society of America Denver Annual Meeting*, Denver, Colorado Convention Center: Exhibit Hall, Geological Society of America.
- Parlement du Québec, 1999 – PARLEMENT DU QUÉBEC. *Loi visant la préservation des ressources en eau*, c. 63.
- Parlement du Québec, 2002 – PARLEMENT DU QUÉBEC. « Règlement sur le captage des eaux souterraines », *Loi sur la qualité de l'environnement*.
- Peachey, 2005 – PEACHEY, B. *Strategic Needs for Energy Related Water Use Technologies Water and the EnergyNet*, New Paradigm Engineering Ltd.
- Plaster et Grove, 2000 – PLASTER, K., et G. GROVE. « A Review of Transboundary Groundwater Apportionment », *Prairie Provinces Water Board Reports*, Regina.
- PNUE, 2002 – PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT. *The World's Water Cycle*. Adresse URL : <http://www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/05.htm>.
- PNUE, 2003 – PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT. *Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management*, Early warning and assessment report series, Nairobi.
- Pomeroy *et al.*, 2007 – POMEROY, J. W., D. DE BOER et L. MARTZ. « Hydrology and Water Resources », *Saskatchewan: Geographic Perspectives*, B.D. Thraves, réd., Regina, Canadian Plains Research Centre, Université de Regina.
- Powell, 1997 – POWELL, C. S. « Return of The Space Snowballs », *Scientific American*, vol. 277, n° 2, p. 19-20.
- Program on Water Governance, 2008 – UBC PROGRAM ON WATER GOVERNANCE. *Program on Water Governance*. Adresse URL : <http://www.watgovernance.ca/index.htm>.

- Pullan et al., 2004 – PULLAN, S. E., J. A. HUNTER, H. A. J. RUSSELL et D. R. SHARPE. « Delineating buried-valley aquifers using shallow seismic reflection profiling and downhole geophysical logs – an example from southern Ontario, Canada », *Proceedings of the International Conference on Environmental and Engineering Geophysics*, Wuhan (Chine).
- Randall et al., 1988 – RANDALL, A. D., R. M. FRANCIS, M. H. FRIMPTER et J. M. EMERY. « Region 19, Northeastern Appalachians », *Hydrogeology: The Geology of North America v. O-2*, W. Back, J.S. Rosenshein et P.R. Seaber, réd., Boulder, CO, Geological Society of America.
- Reilly et al., 2008 – REILLY, T. E., K. F. DENNEHY, W. M. ALLEY et W. L. CUNNINGHAM. « Ground-Water Availability in the United States », *US Geological Survey Circular 1323*, Denver, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Renzetti, 1999 – RENZETTI, S. « Municipal Water Supply and Sewage Treatment: Costs, Prices and Distortions », *Canadian Journal of Economics*, vol. 32, n° 3, p. 688-704.
- Renzetti, 2002 – RENZETTI, S. *The Economics of Water Demands*, Norwell, MA, Kluwer Academic Publishers.
- Renzetti et Dupont, 2007 – RENZETTI, S., et D. DUPONT. *The Economic Benefits of Water Use in Canada*, Réseau canadien de l'eau.
- Renzetti et Kushner, 2004 – RENZETTI, S., et J. KUSHNER. « Full Cost Accounting for Water Supply and Sewage Treatment: Concepts and Application », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 29, n° 1, p. 13-23.
- REPP, 2005 – RÉGIE DES EAUX DES PROVINCES DES PRAIRIES. *Rapport annuel 2005*, Regina, Gouvernement du Canada.
- REPP, 2006 – RÉGIE DES EAUX DES PROVINCES DES PRAIRIES. *Charte de la Régie des eaux des provinces des Prairies*, Regina.
- RHC, 2006 – RELEVÉS HYDROLOGIQUES DU CANADA. *Programme national de relevés hydrologiques – Programme hydrométrique*, Environnement Canada.
- Rivard et al., 2003 – RIVARD, C., J. MARION, Y. MICHAUD, S. BENHAMMANE, A. MORIN, R. LEFEBVRE et A. RIVERA. *Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'est du Canada*, Ottawa, Commission géologique du Canada.
- Rivera et al., 2003 – RIVERA, A., A. CROWE, A. KOHUT, D. RUDOLPH, C. BAKER, D. PUPEK, N. SHAHEEN, M. LEWIS et K. PARKS. *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine*, Ressources naturelles Canada.
- Rivera, 2005 – RIVERA, A. *How Well Do We Understand Groundwater in Canada? A Science Case Study*, Commission géologique du Canada, Secteur des sciences de la Terre.
- Rivera, 2006 – RIVERA, A. « Réponse au rapport 2001 de la Commissaire à l'environnement et au développement durable », *Rapport 2001 de la Commissaire à l'environnement et au développement durable*, chapitre 1, Ottawa.
- Rivera, 2007 – RIVERA, A. « Mise à jour à la réponse de 2006 au rapport 2001 de la Commissaire à l'environnement et au développement durable », *Rapport 2001 de la Commissaire à l'environnement et au développement durable*, chapitre 1, Ottawa.

- RNC, 2003 – RESSOURCES NATURELLES CANADA. *Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine*. Adresse URL : http://ess.nrcan.gc.ca/2002_2006/gwp/index_f.php.
- RNC, 2008 – RESSOURCES NATURELLES CANADA. *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush, réd., Ottawa.
- Robson et Banta, 1995 – ROBSON, S. G., et E. R. BANTA. *Ground Water Atlas of The United States: Arizona, Colorado, New Mexico, Utah*, Reston, VA, U.S. Geological Survey.
- Rollins *et al.*, 1997 – ROLLINS, K., J. FREHS, D. TATE et O. ZACHARIAH. « Resource Valuation and Public Policy: The Case of Water Pricing », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 22, p. 147-163.
- Rudolph et Goss, 1993 – RUDOLPH, D., et M.J. GOSS. *Ontario Farm Groundwater Quality Survey*, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Russell *et al.*, 1998 – RUSSELL, H. A. J., T. A. BRENNAND, C. LOGAN et D. R. SHARPE. « Standardization and Assessment of Geological Descriptions From Water Well Records, Greater Toronto and Oak Ridges Moraine Areas, Southern Ontario », *Current Research 1998-E*, Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada.
- Russell *et al.*, 2001 – RUSSELL, H. A. J., D. R. SHARPE, C. LOGAN et T. A. BRENNAND. « Not Without Sedimentology: Guiding Groundwater Studies in The Oak Ridges Moraine, Southern Ontario », *Proceedings of the 35th Annual Meeting, North-Centre Section Geological Society of Canada: Geological Models for Groundwater Flow Modelling*, 22 avril 2001, Illinois.
- Sandborn, 2008 – SANDBORN, T. « Law Suit a Tar Sands Stopper? », *The Tyee*.
- Santé Canada, 1995 – SANTÉ CANADA. *Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable.
- Santé Canada, 2007 – SANTÉ CANADA. *Questions et réponses sur l'eau embouteillée*. Adresse URL : http://www.hc-sc.gc.ca/fin-an/securit/facts-faits/faqs_bottle_water-eau_embouteillee-fra.php.
- Santé Canada, 2008 – SANTÉ CANADA. « Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada », *Santé de l'environnement et du milieu de travail*, Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement.
- Saunders et Wenig, 2006 – SAUNDERS, O. J., et M. M. WENIG. « Whose Water? Canadian Water Management and The Challenges of Jurisdictional Fragmentation », *Eau Canada: The Future of Canada's Water*, K. Bakker, réd., Vancouver, UBC Press.
- Savard *et al.*, 2002 – SAVARD, M. M., M. NASTEV, D. PARADIS, R. LEFEBVRE, R. MARTEL, V. CLOUTIER, V. MURAI, E. BOURQUE, M. ROSS, K. LAUZIÈRE, M. PARENT, A. HAMEL, J.-M. LEMIEUX, R. THERRIEN, D. KIRKWOOD et P.J. GÉLINAS. « Regional Hydrogeologic Characterization of The Fractured Aquifer System in South-Western Québec: Part I – Regional Hydrogeology of The Aquifer System », *Bulletin*, Commission géologique du Canada.
- Savard et Somers, 2007 – SAVARD, M. M., et G. SOMERS, réd. « Purposes and Approach of the Research Project on Climate Change Impacts on Nitrate Contamination of Prince Edward Island Groundwater », M.M. Savard et G. Somers, *Consequences of Climatic Changes on Contamination of Drinking Water by Nitrate on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard.

- Sawyer *et al.*, 2005 – SAWYER, D., G. PERRON et M. TRUDEAU. *Analyse des instruments économiques pour la conservation de l'eau.*
- Scanlon *et al.*, 2005 – SCANLON, B. R., R. C. REEDY, D. A. STONESTROM, D. E. PRUDIC et K. F. DENNEHY. « Impact of Land Use and Land Cover Change On Groundwater Recharge and Quality in The Southwestern US », *Global Change Biology*, vol. 11, p. 1577-1593.
- Schiffler, 1998 – SCHIFFLER, M. *The economics of groundwater management in arid countries: theory, international experience and a case study of Jordan*, GDI book series n° 11, Londres et Portland, OR, Frank Cass Publishers.
- Schuster *et al.*, 2005 – SCHUSTER, C. J., A. G. ELLIS, W. J. ROBERTSON, D. F. CHARRON, J. J. ARAMINI, B. J. MARSHALL et D. T. MEDEIROS. « Infectious Disease Outbreaks Related To Drinking Water in Canada, 1974 2001 », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 96, n° 4, p. 254-258.
- Sharpe *et al.*, 2006 – SHARPE, D. R., et H. A. J. RUSSELL. « Geological Frameworks in Support of Source Water Protection in Ontario », *Annual Meeting, Geological Society of America*, Salt Lake City, UT.
- Sheets, 2006 – SHEETS, R. A. *Compilation of regional ground-water divides for principal aquifers corresponding to the Great Lakes Basin, United States*, Scientific investigations report, Reston, VA, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Shiklomanov, 2000 – SHIKLOMANOV, I. « Appraisal and Assessment of World Water Resources », *Water International*, vol. 25, n° 1, p. 11-32.
- Shinnan, 2008 – SHINNAN, A. *Industrial Water Use, 2005*, Ottawa, Statistique Canada.
- Sketchell et Shaheen, 2000 – SKETCHELL, J., et N. SHAHEEN. « Ground Water Quality in Rural Saskatchewan – Emerging Issues for Drinking Water », *Proceedings of the 9th National Conference on Drinking Water*, Regina.
- SMDD, 2002 – SOMMET MONDIAL SUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE. *Plan d'action*, Johannesburg.
- Somers *et al.*, 1999 – SOMERS, G., B. RAYMOND et W. UHLMAN. *1999 PEI Water Quality Interpretive Report*, Charlottetown, Ministère de la Technologie et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard et Environnement Canada.
- Somers *et al.*, 2007 – SOMERS, G., M. M. SAVARD et O. PANTAKO. « Impacts of Climate Change On The Water Supply Infrastructure in Prince Edward Island », *Consequences of Climatic Changes On Contamination of Drinking Water By Nitrate On Prince Edward Island*, M.M. Savard et G. Somers, réd., Commission géologique du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada et Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard.
- Sophocleous, 1997 – SOPHOCLEOUS, M. « Managing Water Resources Systems: Why 'Safe Yield' Is Not Sustainable », *Ground Water*, vol. 35, n° 4, p. 561.
- Sophocleous, 2007 – SOPHOCLEOUS, M. A. « The Science and Practice of Environmental Flows and The Role of Hydrogeologists », *Ground Water*, vol. 45, n° 4, p. 393-401.
- Speck, 2005 – SPECK, S. *Do European Water Abstraction Taxes Affect Competitiveness?*

- Statistique Canada, 2003 – STATISTIQUE CANADA. *L'activité humaine et l'environnement : statistiques annuelles*, Ottawa, Statistique Canada.
- Statistique Canada, 2005 – STATISTIQUE CANADA. *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires – Faits saillants*. Adresse URL : <http://www.statcan.gc.ca/pub/91-520-x/00105/4095095-fra.htm>.
- Statistique Canada, 2007 – STATISTIQUE CANADA. *Aperçu du recensement du Canada – Urbanisation*, n° 11-008. Adresse URL : <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-008-x/2007004/pdf/10313-fra.pdf>.
- Stewart, 2002 – STEWART, S. *Springs from the Wiau Aquifer: A Necessary Calibration Point for Groundwater – Resource Assessments, Athabasca Oilsands Area*, Edmonton, Alberta Geological Survey, Alberta Energy and Utilities Board.
- SWA, 2008 – SASKATCHEWAN WATERSHED AUTHORITY. *Observation Well Network*. Adresse URL : <http://www.swa.ca/WaterManagement/Groundwater.asp?type=ObservationWells>.
- Swain *et al.*, 2006 – SWAIN, H., S. LOUITTIT et S. E. HRUDEY. « Rapport du groupe d'experts sur la salubrité de l'eau potable dans les collectivités des premières nations », *Eau potable sécuritaire pour les Premières Nations*, Ottawa.
- Tharme, 2003 – THARME, R. E. « A Global Perspective On Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in The Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers Source », *River Research and Applications*, vol. 19, n° 5-6, p. 397-441.
- Topper *et al.*, 2003 – TOPPER, R., K. L. SPRAY, W. H. BELLIS, J. L. HAMILTON et P. E. BARKMANN. « Ground Water Atlas of Colorado », *Colorado Geological Survey, Special Publication 53*.
- Topper et Reynolds, 2007 – TOPPER, R., et B. RAYNOLDS. *Citizen's Guide To Denver Basin Groundwater*, Denver, Colorado Foundation for Water Education.
- Tuinhof, 2001 – TUINHOF, A. « Groundwater Resources Component », *World Bank Mission Aide-memoire*, Kenya Water Resources Management Strategy.
- UE, 2000 – UNION EUROPÉENNE. « Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau », *Journal officiel*, n° L 327, 22 décembre 2000, p. 1-73.
- UNESCO, 2006 – ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ÉDUCATION, LA SCIENCE ET LA CULTURE. *Non-renewable groundwater resources: A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers*, S. Foster et D.P. Loucks, réd., Paris.
- USDA, 2007 – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Technical Guide to Managing Ground Water Resources*.
- USEPA, 1999 – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Groundwater Cleanup: Overview of Operating Experience at 28 Sites*, Washington.
- USGS, 2008a – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Advisory Committee on Water Information*, 7 octobre 2008. Adresse URL : <http://acwi.gov/>.
- USGS, 2008b – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *The Cooperative Water Program*, 22 mars 2007. Adresse URL : <http://water.usgs.gov/coop/>.

- Van der Kamp *et al.*, 2003 – VAN DER KAMP, G., M. HAYASHI et D. GALLEN. « Comparing The Hydrology of Grassed and Cultivated Catchments in The Semi-Arid Canadian Prairies », *Hydrological Processes*, vol. 17, p. 559-575.
- Van der Kamp et Grove, 2001 – VAN DER KAMP, G., et G. GROVE. « Well Water Quality in Canada: An Overview », *Proceedings of the 54th Canadian Geotechnical Conference*.
- Van der Kamp et Hayashi, 1998 – VAN DER KAMP, G., et M. HAYASHI. « The Groundwater Recharge Function of Small Wetlands in The Semi-Arid Northern Prairies », *Great Plains Research*, vol. 8, n° 1, p. 39-56.
- Vigneault *et al.*, 2007 – VIGNEAULT, H., D. PARADIS, J. M. BALLARD et R. LEFEBVRE. « Numerical Modelling of The Evolution of Groundwater Nitrate Concentrations Under Various Climate Change Scenarios and Agricultural Practices for Prince Edward Island », M.M. Savard et G. Somers, *Consequences of Climatic Changes on Contamination of Drinking Water by Nitrate on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard.
- Ville de Barrie, 2003 – CITY OF BARRIE. *TCE Update – Q&A*. Adresse URL : <http://www.barrie.ca/docs/TCEQA.pdf>.
- WCEL, 2004 – WEST COAST ENVIRONMENTAL LAW. *British Columbia Guide to Watershed Law and Planning*. Adresse URL : <http://www.wcel.org/issues/water/bcgwlp/>.
- WCWC, 2007 – WALKERTON CLEAN WATER CENTRE. *Walkerton Clean Water Centre 2006-07 Annual Report*, Walkerton (Ontario).
- WDGF, 2005 – WALTER AND WUNCAN GORDON FOUNDATION. *The Walter and Duncan Gordon Foundation*. Adresse URL : <http://www.gordonfn.org/>.
- Wexler *et al.*, 2003 – WEXLER, E. J., S. HOLYSH, D. KASSENAAR et R. GERBER. « Regional and Sub-Regional Groundwater Flow Modelling, Oak Ridges Moraine Area of Southern Ontario », *Proceedings of the International Association of Hydrogeologists Canadian National Chapter Meeting*, Winnipeg.
- Winter *et al.*, 1998 – WINTER, T. C., J. W. HARVEY, O. L. FRANKE et W. M. ALLEY. *Ground Water and Surface Water A Single Resource*, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Woodward, 1994 – WOODWARD, J. *Native Law*, Toronto, Carswell.
- Young, 2005 – YOUNG, R. A. *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*, Washington, RFF Press.

Annexe 1 : Notions élémentaires de science des eaux souterraines

Milieux hydrogéologiques : Même si des eaux souterraines sont présentes presque partout sous la surface du sol, il ne faut pas se les représenter sous la forme de rivières ou de lacs souterrains. Cette forme ne se trouve que dans les très rares situations de conduits souterrains et cavernes dans les roches calcaires. Une analogie plus réaliste pour représenter les eaux souterraines serait celle d'une éponge, dont le cadre solide est formé par les matériaux géologiques et dont le réseau de pores reliés entre eux est rempli d'eau souterraine se déplaçant très lentement.

Les sols, les dépôts non consolidés ainsi que le roc poreux ou fracturé sont les milieux hydrogéologiques qui permettent la présence d'eau souterraine. Ces milieux jouent à cet égard deux rôles distincts : (1) ils entreposent les énormes volumes d'eau présents sous la surface du sol; (2) ils régissent la vitesse d'écoulement de l'eau dans la partie souterraine du cycle hydrologique. Il est important de reconnaître d'emblée ce double aspect des ressources en eau souterraine. C'est l'ampleur des réserves d'eau souterraine qui attire l'attention des grands utilisateurs d'eau, mais c'est l'écoulement renouvelable de l'eau dans le réseau souterrain qui joue le rôle le plus important dans la définition des débits d'exploitation durables dont les gestionnaires des ressources en eau doivent tenir compte.

Porosité : La porosité correspond à la capacité de stockage d'un dépôt géologique. Elle est définie comme le pourcentage d'un échantillon d'un matériau qui est occupé par des pores. La porosité de dépôts de sable et de gravier, comme ceux que l'on trouve dans les vallées fluviales, ou dans les cônes de déjection⁴⁹ dans les Prairies, est généralement de 30 à 40 %. La porosité d'un roc cristallin fracturé, comme celui que l'on trouve dans le Bouclier canadien, est beaucoup plus faible, généralement moins de 1 %. Même avec une valeur si faible, il est évident que les immenses volumes des matériaux géologiques du sous-sol dans un pays aussi vaste que le Canada donnent des volumes possibles d'eau souterraine très importants.

Charge hydraulique : La charge hydraulique est une mesure d'énergie qui comporte une composante gravitationnelle et une composante de pression. On la mesure facilement sur le terrain par l'élévation du niveau de l'eau. Les eaux souterraines s'écoulent à travers la plupart des types de milieu géologique de points de charge hydraulique élevée vers des points de charge hydraulique plus faible. Dans une zone où la pression du fluide est égale, les eaux souterraines s'écoulent

49 Sable et gravier transportés à partir d'un glacier par des cours d'eau de fusion et laissés sous forme de dépôt alluvial dans un fond de vallée pré-existant ou répandus sur une plaine existante sous une forme semblable à celle d'un cône alluvial.

par gravité du haut vers le bas. Dans des conditions d'écoulement horizontal, où la composante gravitationnelle demeure constante, les eaux souterraines s'écoulent de points où la pression du fluide est élevée vers des points où elle est plus faible. Le changement de charge hydraulique sur une certaine distance s'appelle le gradient hydraulique (analogue aux gradients de pression atmosphérique qui sont à l'origine des vents). Dans un bassin hydrogéologique, les gradients hydrauliques peuvent être orientés vers le bas, vers le haut ou horizontalement dans différentes parties du bassin.

Écoulement des eaux souterraines : L'écoulement des eaux souterraines est directement proportionnel au gradient hydraulique qui provoque cet écoulement. En général, les gradients hydrauliques ne varient pas beaucoup d'un endroit à l'autre. Le facteur principal de la vitesse d'écoulement réside donc dans un facteur de proportionnalité, qui est une propriété du matériau dans lequel l'eau s'écoule. Cette propriété du matériau est la *conductivité hydraulique* (ou son proche parent, la *perméabilité*).

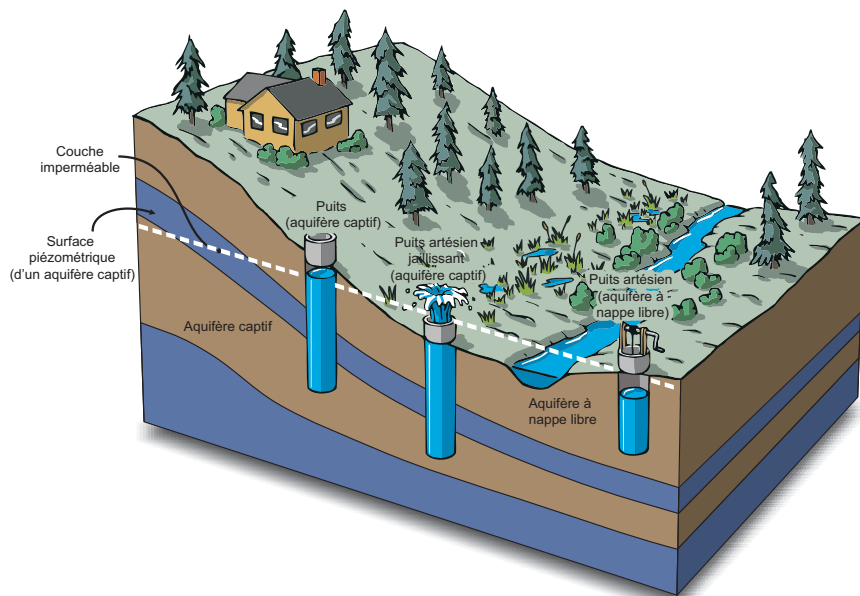
Les valeurs de la conductivité hydraulique peuvent différer de plusieurs ordres de grandeur, de 10 cm par seconde dans les dépôts les plus perméables à aussi peu que 10^{-10} cm par seconde dans les milieux les moins perméables. Cette fourchette de valeurs entraîne des différences énormes dans les vitesses d'écoulement des eaux souterraines selon le milieu géologique. Les vitesses d'écoulement dans des matériaux très perméables comme des sables et graviers non consolidés, ou des basaltes et calcaires très fracturés ou poreux, pourraient se compter en centaines de mètres par année. Les vitesses d'écoulement dans des matériaux peu perméables comme les argiles des polders inaltérés ou des rocs cristallins peu fracturés pourraient n'être que de quelques centimètres par siècle.

Les eaux souterraines s'écoulent généralement beaucoup plus lentement que les eaux de surface, de sorte que les molécules d'eau demeurent beaucoup plus longtemps dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface. La durée de séjour d'une molécule d'eau dans les eaux de surface d'un bassin versant est de l'ordre de quelques semaines à quelques mois, alors qu'elle peut atteindre plusieurs *milliers* d'années dans les eaux souterraines d'un bassin hydrogéologique.

Aquifères et aquitards : Les formations géologiques dont la porosité et la conductivité hydraulique se situent à l'extrémité supérieure de la fourchette de valeurs s'appellent des *aquifères*. Voici deux des définitions les plus communes d'un aquifère : (1) une entité géologique capable de fournir des quantités significatives d'eau à des puits; (2) une entité géologique qui peut transmettre des quantités significatives d'eau dans des conditions normales de gradient hydraulique. Les entités géologiques moins perméables qui ont tendance à retarder l'écoulement de l'eau

souterraine s'appellent des *aquitards*. La plupart des milieux hydrogéologiques sont formés d'une certaine combinaison d'aquifères et d'aquitards. Par exemple, dans un système constitué de strates horizontales intercalées de roches sédimentaires, les strates plus perméables de grès et de calcaire sont les aquifères, alors que les schistes argileux moins perméables sont les aquitards.

Les définitions d'aquifère et d'aquitard sont volontairement imprécises quant aux valeurs de conductivité hydraulique qui les délimitent. L'emploi du terme non défini « quantités significatives d'eau » dans la définition d'un aquifère montre clairement que le terme « aquifère » a une valeur relative. Une quantité d'eau qui est significative dans un milieu hydrogéologique (ou pour un utilisateur donné) peut ne pas l'être dans un autre contexte. Par exemple, dans une suite de strates de silt et de sable, le silt serait un aquitard, mais dans une suite de strates de silt et d'argile, ce pourrait être un aquifère. De la même manière, dans le cas d'un puits domestique, une formation donnée pourrait donner des quantités d'eau adéquates et être considérée comme un bon aquifère, alors que la même formation serait absolument inadéquate pour fournir les grandes quantités d'eau requises pour un puits municipal et serait donc considérée comme un aquifère médiocre dans ce contexte.



(Traduit, adapté et reproduit de Environnement Canada, 2008a, avec les autorisations requises)

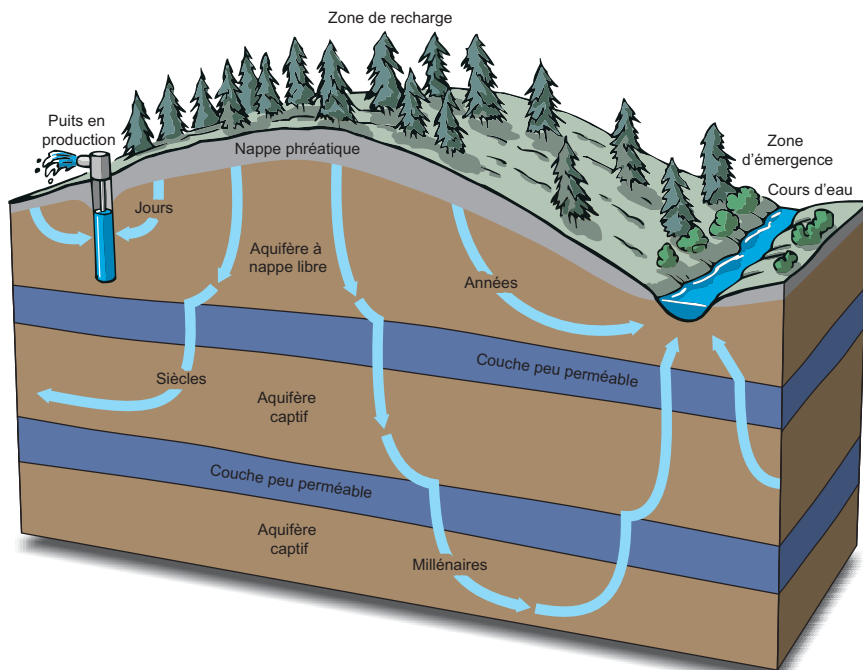
Figure A1
Aquifères captif et à nappe libre

Les hydrogéologues distinguent des *aquifères à nappe libre* (ou non confinés) et des *aquifères captifs* (ou confinés, voir la figure A1). Au Canada, les aquifères à nappe libre sont généralement présents dans des dépôts superficiels où la nappe phréatique constitue la limite supérieure de l'épaisseur saturée de l'aquifère. Pour qu'un puits puisse exploiter la ressource en eau souterraine, il doit aboutir sous le niveau de la nappe phréatique. L'humidité présente dans la zone non saturée située au-dessus de la nappe phréatique est conservée par capillarité et par des forces d'adsorption et elle ne coulera pas dans un trou de forage. Dans la plus grande partie du pays, la *nappe phréatique* se situe seulement à quelques mètres sous la surface du sol. Les aquifères captifs sont situés en profondeur dans des formations géologiques délimitées au-dessus et en dessous par des aquitards moins perméables. La distinction entre aquifère à nappe libre et aquifère captif est nécessaire parce que les mécanismes par lesquels l'eau alimente un puits en production, ainsi que les impacts du pompage sur le bassin hydrogéologique, sont différents dans les deux cas.

Bassins hydrogéologiques : L'écoulement des eaux souterraines dans le milieu hydrogéologique du sous-sol fait partie intégrante du cycle hydrologique. L'eau s'écoule dans la suite d'aquifères et d'aquitards qui constitue un bassin hydrogéologique, amenant l'eau des *zones de recharge* aux *zones d'émergence* (ou de décharge). La recharge se produit généralement dans les zones les plus élevées du bassin sur le plan topographique. L'élévation (ou altitude topographique) des nappes phréatiques a tendance à refléter en partie la topographie de la surface, et les différences d'élévation entre nappes phréatiques sont à l'origine des forces gravitationnelles qui déplacent les eaux souterraines des zones de recharge vers les zones d'émergence situées plus bas.

Dans les zones de recharge, le gradient hydraulique de la nappe phréatique est dirigé vers le bas, et les eaux de recharge commencent leur lent parcours dans le bassin hydrogéologique. Le trajet précis de l'eau dépend des détails de la configuration topographique, de la lithologie, de la stratigraphie et de la structure des formations géologiques, qui définissent la répartition tridimensionnelle des aquifères et des aquitards dans le bassin (figure A2).

Les zones d'émergence sont généralement situées dans les vallées et les terres basses. À ces endroits, les gradients sont orientés vers la surface du sol. Les eaux souterraines qui émergent alimentent les eaux de surface sous forme d'apport vers les lacs ou d'écoulement de base des cours d'eau, ou font l'objet d'une évapotranspiration dans les milieux humides. L'émergence vers le haut d'eaux souterraines chargées de sels dissous au cours de leur long trajet dans des formations de roc soluble entraîne souvent la présence de sols salins dans les zones d'émergence des eaux souterraines, en particulier dans les prairies moins humides du Canada. De nombreux Canadiens connaissent une zone d'émergence très spectaculaire, les sources chaudes de Banff.



(Traduit, adapté et reproduit de USGS, 2008a, avec les autorisations requises)

Figure A2

Schéma simplifié de l'écoulement des eaux à l'échelle locale, intermédiaire et régionale

Les sources chaudes constituent l'émergence d'eaux souterraines qui ont traversé le roc à des profondeurs encore chaudes par suite d'une activité volcanique ou ignée antérieure.

Les zones de recharge et d'émergence et les réseaux d'écoulement qui les relient se présentent à diverses échelles, locale, intermédiaire et régionale. Même s'il n'y a pas de règle absolue quant à ce qui constitue un bassin hydrogéologique local par opposition à régional, on peut généralement considérer qu'à l'échelle locale, les zones de recharge et d'émergence sont voisines, alors qu'à l'échelle régionale, la zone de recharge est dans la partie supérieure du bassin hydrogéologique, et la zone d'émergence est située à une grande distance, dans la partie inférieure du bassin. Les bassins intermédiaires et les zones correspondantes de recharge et d'émergence se situent entre les deux.

Les bassins hydrogéologiques correspondent souvent en étendue et en importance aux bassins versants des eaux de surface, mais ce n'est pas toujours le cas. Dans certains milieux hydrogéologiques, typiquement ceux qui comportent des formations

étendues de couches sédimentaires horizontales ou de grandes vallées enfouies, des aquifères majeurs peuvent faire transiter des volumes significatifs d'eau souterraine sous d'importantes lignes de partage des eaux de surface.

Interactions entre eaux souterraines et eaux de surface : Les eaux souterraines et les eaux de surface sont inextricablement liées. Par exemple, les eaux souterraines qui se déversent dans les cours d'eau constituent l'*écoulement de base* qui maintient le débit des cours d'eau entre les périodes de ruissellement dû aux précipitations. Même s'il est vrai que le niveau des nappes phréatiques a tendance à fluctuer quelque peu selon les saisons, l'effet de ces variations sur les gradients hydrauliques d'une région est peu important. L'apport des eaux souterraines vers une section donnée d'un cours d'eau demeure donc relativement constant. Les brusques changements de débit observés dans de nombreux cours d'eau canadiens sont dus au ruissellement consécutif à de fortes précipitations ou à la fonte saisonnière des neiges. Le débit minimal à long terme si important pour l'approvisionnement en eau, pour l'habitat des poissons et pour la navigation est assuré par les apports d'eau souterraine et, dans le cas des rivières à débit régularisé, par des ouvertures dans des structures telles que les barrages. On admet néanmoins que dans certaines régions, par exemple les Prairies, les aquifères confinés dans la roche en place ne sont pas directement reliés aux bassins versants, et que par conséquent on peut considérer que les eaux souterraines et les eaux de surface sont découplées sur toute la durée des périodes qui nous intéressent.

D'autre part, l'émergence d'eau souterraine assure en grande partie le maintien de nombreux milieux humides. Sans un apport durable d'eau souterraine, ces milieux riches sur le plan écologique s'assécheraient. Les milieux humides du Canada se présentent sous de nombreuses formes, depuis les bourbiers des marmites de géant des Prairies jusqu'aux innombrables petites zones humides des terres basses du Saint-Laurent en Ontario et au Québec, et les eaux souterraines jouent un rôle de soutien dans la plupart de ces milieux. L'apport des eaux souterraines contribue en outre à l'équilibre hydrologique de nombreux lacs petits et grands du Canada, y compris les Grands Lacs.

Le pompage de l'eau souterraine des aquifères pour l'approvisionnement en eau détourne vers les puits en production une partie de l'apport destiné aux plans d'eau de surface. Des prélèvements excessifs, comme ceux qui ont touché les bassins hydrogéologiques du Sud-Ouest des États-Unis, peuvent ramener l'écoulement de base à zéro et entraîner un assèchement saisonnier du lit des cours d'eau et la perte d'habitats humides⁵⁰. L'apport des eaux souterraines vers les cours d'eau,

50 L'aquifère d'Ogallala couvre une superficie de 647 000 km² sous une grande partie des États suivants : Nouveau-Mexique, Texas, Oklahoma, Kansas, Colorado, Nebraska, Wyoming et Dakota du Sud. Il alimente le cinquième des terres agricoles irriguées des États-Unis. À certains endroits, les prélèvements sont de 14 fois la recharge (Brentwood et Robar, 2004).

les milieux humides et les lacs joue souvent un rôle crucial dans le maintien d'espèces aquatiques sensibles. La gestion du développement des ressources en eau souterraine doit donc tenir compte des impacts à la fois sur les eaux souterraines et les eaux de surface.

Débit d'exploitation d'un puits, d'un aquifère et d'un bassin hydrographique :

Les gestionnaires des ressources en eau veulent savoir combien d'eau on peut pomper sans dommage dans les aquifères dont ils sont responsables. La notion de *débit d'exploitation* peut s'appliquer à trois échelons. Dans les débuts de l'hydrogéologie, l'unité d'étude était souvent un seul puits; ensuite, c'est devenu l'aquifère, et c'est maintenant le bassin hydrogéologique. On peut définir le *débit d'exploitation d'un puits* comme le débit de pompage maximal que ce puits peut supporter sans que le niveau de l'eau ne baisse en dessous de la prise d'eau de la pompe; le *débit d'exploitation d'un aquifère* peut être défini comme le taux de prélèvement maximal que l'on peut tirer de tous les puits d'un aquifère sans que cela n'entraîne une baisse inacceptable des charges hydrauliques dans l'aquifère; et on peut définir le *débit d'exploitation d'un bassin hydrogéologique* comme le taux de prélèvement maximal que l'on peut tirer de tous les puits de tous les aquifères d'un bassin hydrogéologique sans que cela n'entraîne une baisse inacceptable des charges hydrauliques en un point quelconque du bassin hydrogéologique ou toute autre modification inacceptable d'une composante du cycle hydrologique. Il devrait être clair que la définition du débit d'exploitation à l'échelle d'un bassin est la plus pertinente lorsque l'on recherche un *débit d'exploitation durable des eaux souterraines*.

Les hydrogéologues surveillent les réserves d'eau souterraine disponibles en faisant à intervalles réguliers des mesures du niveau de l'eau dans des puits de surveillance. Une baisse prolongée du niveau de l'eau dans un *puits de surveillance* peut être le signe d'un pompage excessif et non durable de la ressource en eau souterraine.

Qualité de l'eau souterraine : L'eau des précipitations et de la fonte des neiges est relativement pure, ne contenant que de très faibles concentrations de substances chimiques dissoutes. Par contre, à mesure que l'eau s'infiltré dans le sol, traversant la zone non saturée pour recharger les eaux souterraines, puis qu'elle s'écoule dans le milieu hydrogéologique jusqu'à son point d'émergence, sa composition chimique est modifiée par un certain nombre de processus géochimiques, entre autres la dissolution de minéraux, l'échange d'ions et la filtration osmotique. Le principal processus chimique est la dissolution du sol ou du roc dans lequel l'eau s'écoule. Globalement, le contenu de l'eau en matières totales dissoutes (MTD) augmente avec la longueur de son parcours et la durée de son séjour dans le sous-sol. L'eau souterraine a tendance à contenir moins de MTD près des zones de recharge qu'au voisinage des zones d'émergence. L'eau des aquifères profonds a tendance à

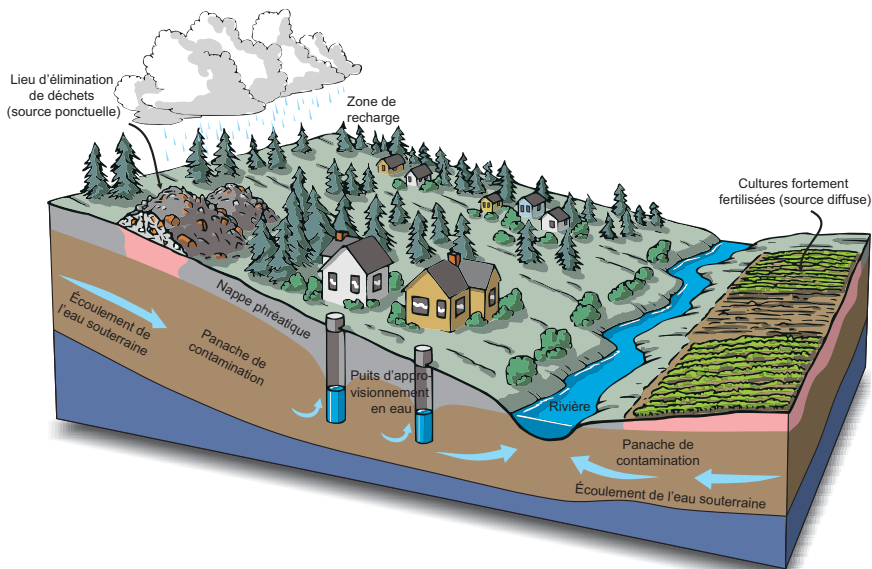
contenir davantage de MTD que celle des aquifères peu profonds. Dans les cas extrêmes, l'eau souterraine peut devenir trop salée ou contenir une trop grande quantité d'une substance chimique particulière pour être potable sans traitement. La plupart des aquifères importants du Canada donnent une eau de qualité convenable, mais il y a aussi des endroits où l'utilisation de l'eau est limitée par sa piètre qualité naturelle. Souvent, on peut mettre en place des processus de traitement afin de diminuer certaines nuisances comme la présence de fer ou de manganèse et la dureté de l'eau.

L'eau souterraine peut aussi être rendue inutilisable par un éventail d'activités humaines. Il y a au Canada de nombreux cas documentés de contamination des eaux souterraines par des usines chimiques, des raffineries de pétrole, des usines de traitement du bois, des mines, des installations de gestion des déchets, des stations-service et d'autres installations commerciales et industrielles (Gouvernement du Canada, 2005). Les contaminants les plus courants sont les métaux, les produits pétroliers, les solvants à base de chlorure tels que les liquides de nettoyage à sec et les produits dégraissants, ainsi que d'autres composés organiques.

L'impact habituel de ces sources *ponctuelles* de pollution est l'apparition de *panaches* longs et étroits d'eau contaminée qui progressent dans le sous-sol à peu près à la même vitesse que l'eau souterraine elle-même (figure A3). Les contaminants peuvent se répandre et être quelque peu dilués sous l'action des processus de diffusion moléculaire et de dispersion hydrodynamique. Leur progression peut être retardée par l'absorption de certaines substances chimiques dans le matériau de l'aquifère. De plus, certains contaminants organiques tels que les produits pétroliers peuvent être partiellement consommés ou biodégradés par des bactéries du sous-sol. Malgré ces facteurs atténuants, la progression des panaches de contamination peut atteindre plusieurs centaines de mètre par année dans des aquifères perméables de sable et de gravier.

La présence de puits en production au voisinage d'un panache de contamination tend à attirer celle-ci vers les puits (et le cas échéant jusque dans les puits). Pour tout puits en production, on peut définir une *aire de captage* englobant tous les « trajets d'écoulement » qui amènent de l'eau dans le puits. Les pratiques modernes cherchent à protéger contre la pollution les zones de recharge qui alimentent ces aires de captage.

Une autre catégorie de contaminants des eaux souterraines provient de sources *diffuses* (ou non ponctuelles) de pollution. Ces contaminants proviennent principalement des engrais et pesticides utilisés en agriculture. La contamination d'origine agricole la plus documentée au Canada est la pollution par les nitrates résultant de l'épandage d'engrais.



(Traduit, adapté et reproduit de Environnement Canada, 2008b, avec les autorisations requises)

Figure A3

Contamination des eaux souterraines à partir de sources ponctuelles et diffuses de pollution

La contamination microbienne constitue probablement la préoccupation la plus courante concernant la qualité de l'approvisionnement en eau souterraine au Canada. Ce type de contamination est surtout répandu dans les zones rurales où l'on a souvent recours à des installations septiques et dans les zones agricoles où l'on répand souvent du fumier. Étant donné la brève durée de vie de la plupart des espèces de bactéries, ainsi que la petite dimension des pores qui tend à restreindre le déplacement des bactéries dans le sous-sol, la contamination bactérienne est généralement limitée aux puits et aquifères peu profonds. Néanmoins, des puits mal construits ou d'autres mécanismes de court-circuit comme des fractures dans le roc peuvent permettre aux bactéries d'atteindre des puits plus profonds.

Dangers liés à l'eau souterraine : L'eau souterraine joue un rôle dans plusieurs situations dangereuses qui sont portées à la connaissance du public. Évidemment, le pompage excessif d'eaux souterraines peu profondes tend à accentuer les effets de la sécheresse en diminuant la partie la plus fiable de l'écoulement des cours d'eau pendant les périodes sèches. Les conséquences possibles de cette situation dans un contexte de changements climatiques deviendront de plus en plus préoccupantes dans les années à venir.

Le pompage excessif de l'eau souterraine est en outre directement responsable des cas d'intrusion d'eau de mer et d'affaissement du sol. L'intrusion d'eau de mer dans des aquifères côtiers est due à une inversion des gradients hydrauliques consécutive à l'installation de puits en production près des côtes. L'affaissement du sol résulte du pompage de l'eau souterraine dans un milieu hydrogéologique stratifié qui comprend des couches alternées de sable et d'argile. Le pompage entraîne une baisse de la pression de liquide dans les couches de sable, ce qui a pour effet de tasser les couches d'argile les unes contre les autres. Ce tassement entraîne l'affaissement du sol en surface. Peu de cas d'intrusion d'eau de mer ou d'affaissement du sol ont été rapportés au Canada, mais il y en a beaucoup aux États-Unis et dans d'autres régions du monde où les sols sont moins bien consolidés et où la consommation d'eau souterraine est élevée⁵¹.

51 Voir par exemple les données de la Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique, accessibles à l'adresse : http://www.unescap.org/enrd/water_mineral/Land_cons.htm.

Annexe 2 : Points saillants de l'appel public d'informations

Le comité d'experts sur les eaux souterraines a lancé un appel public d'informations pour répondre à la question : « *Du point de vue scientifique, que faut-il pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine du Canada?* ». Cet appel a été lancé dans le site Web du CAC du 30 juillet au 2 novembre 2007. Le grand public était invité à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les possibilités, les défis ou les nouvelles situations de crise qui se présentent au Canada dans le secteur des eaux souterraines?
- Est-ce qu'il existe des lacunes importantes dans les connaissances ou dans l'accès aux connaissances concernant les questions relatives aux eaux souterraines? Si c'est le cas, quelles sont ces lacunes?
- Est-ce qu'il y a des lacunes importantes dans l'application des connaissances existantes concernant les eaux souterraines? Si c'est le cas, quelles sont ces lacunes?
- Est-ce qu'il y a des lacunes dans les capacités (infrastructures, compétences appropriées, systèmes d'information, structures de réglementation, etc.) du Canada en matière de gestion durable des eaux souterraines?
- Quelles devraient être les priorités en vue de combler ces lacunes?
- Est-ce qu'il y a des régions ou des situations particulières au Canada qui peuvent servir d'exemple (c'est-à-dire des régions ou des situations dans lesquelles les eaux souterraines sont gérées de façon particulièrement réussie ou innovante)?
- Est-ce que vous avez d'autres préoccupations ou observations concernant la gestion des eaux souterraines au Canada qui pourraient être, d'après vous, utiles au groupe d'experts?

L'appel public d'informations a été envoyé par courriel à plus de 70 personnes ayant un intérêt envers les eaux souterraines dans les diverses régions du pays, que ce soit à titre individuel ou comme représentants de gouvernements provinciaux, d'ONG, d'associations ou de groupes de réflexion. Nous avons reçu au bout du compte des réponses de 36 personnes et organismes. Certains ont souhaité que leurs réponses ne soient pas rendues publiques. Les 27 intervenants énumérés ci-après ont accepté que leurs réponses soient publiées. Ces réponses sont accessibles dans le site Web du CAC, à l'adresse www.sciencepourlepublic.ca.

Voici les 27 intervenants qui ont accepté que leurs réponses soient publiées :

GOVERNEMENTS PROVINCIAUX

- Gouvernement de la Colombie-Britannique : ministère de l'Environnement, Water Stewardship Division, Science and Information Branch
- Environnement Alberta
- Gouvernement de la Saskatchewan : Saskatchewan Watershed Authority
- Gouvernement de la Nouvelle-Écosse : ministère de l'Environnement et du Travail

ONG

- Institut canadien du droit et de la politique de l'environnement (CIELAP)
- Conservation Ontario
- Institut Pembina
- Pollution Probe
- Programme de recherche de l'eau H₂O Chelsea, représenté par Scott Findlay
- Sierra Club Canada
- WWF-Canada
- Canton de Langley (Colombie-Britannique)
- Sous-comité technique de l'Abbotsford-Sumas Aquifer Stakeholder Group (ASASG)

ASSOCIATIONS PROVINCIALES POUR LES EAUX SOUTERRAINES

- British Columbia Ground Water Association
- Saskatchewan Ground Water Association

AUTRES ASSOCIATIONS

- Association canadienne des producteurs pétroliers
- Association canadienne des eaux embouteillées

INDIVIDUS

- Bob Betcher, hydrogéologue
- Brian Beatty, hydrogéologue
- Bruce Peachey, président, New Paradigm Engineering
- Charles Lamontagne, hydrogéologue
- Fred et Lynn Baechler, hydrogéologues
- Grant Ferguson, hydrogéologue
- Grant Nielsen, hydrogéologue
- Mary Jane Conboy, hydrogéologue
- Terry Hennigar, hydrogéologue
- Yannick Champollion, hydrogéologue

La suite de cette annexe résume les points jugés les plus importants qui sont ressortis de ces 27 interventions. Ces points sont regroupés dans les catégories suivantes :

- Contexte général
- Principales lacunes de nos connaissances
- Gestion et politiques

- Données et information
- Compétences et formation
- Énergie
- Cas exemplaires

CONTEXTE GÉNÉRAL

- Le « mythe de l'abondance » est un obstacle majeur à une bonne gestion.
- Il y a une perception selon laquelle l'eau est un cadeau de la nature et qu'elle devrait être dispensée gratuitement.
- Le Canada (en tant que pays) peut aider à définir ce que signifie une « gestion durable des eaux souterraines ».
- La plus grande occasion de progrès ou le plus grand défi à relever dans la partie aride à semi-aride du pays est le besoin croissant de recourir à l'eau souterraine pour une plus grande part de l'approvisionnement en eau, alors que les sources d'eau de surface sont en plus en plus exploitées à pleine capacité.
- Le gouvernement fédéral devrait financer la recherche ainsi que, dans chaque province, des projets d'intérêt local faisant appel à des experts de la région.
- Alors que le comité a le mandat d'évaluer la gestion durable des eaux souterraines au Canada, il devrait pouvoir comparer dans son rapport la manière dont une telle gestion est effectuée au pays avec les approches adoptées dans d'autres régions du monde, notamment en ce qui concerne le partage des responsabilités entre plusieurs autorités.
- Il est nécessaire d'acquérir davantage de données et de mieux les compiler pour les rendre accessibles au public. En l'absence de données suffisantes, il faut faire appel au principe de précaution.
- Une gestion holistique et adaptative à l'échelle d'un bassin hydrographique constitue la bonne approche d'une gestion durable.
- Une approche intégrée de la gestion des ressources en eau favorise une gestion durable des eaux souterraines en établissant des liens entre eaux souterraines et eaux de surface, entre quantité et qualité, entre allocation et conservation de l'eau, de même qu'entre la disponibilité de l'eau souterraine et la planification de la croissance urbaine.
- Le rôle du gouvernement fédéral devrait se situer un cran au-dessus de celui des provinces : ne pas appliquer encore et encore les pratiques connues et éprouvées, mais effectuer les recherches et les études que les provinces ne font généralement pas.
- Dans l'avenir, les nouveaux défis du développement durable pourraient comprendre le choix difficile entre un développement sur une période finie et pas de développement du tout, le besoin de faire la distinction entre la consommation et l'utilisation d'eau, ainsi que le besoin de promouvoir les connaissances sur les eaux souterraines chez les groupes d'intervenants.

PRINCIPALES LACUNES DE NOS CONNAISSANCES

- Effets des nouvelles substances chimiques, notamment des produits pharmaceutiques et des perturbateurs endocriniens
- Interaction avec la biosphère, c'est-à-dire la vie aquatique dans les cours d'eau
- Impacts de l'aménagement foncier, en particulier à haute densité, sur les puits individuels, la foresterie et l'agriculture
- Liens entre les eaux souterraines, les eaux de surface et les effets de plus en plus importants des changements climatiques

GESTION ET POLITIQUES

- La véritable gestion des ressources en eau souterraine s'effectue à l'échelon provincial, parfois même à l'échelon municipal ou à la grandeur d'un bassin versant. Par conséquent, nous devons pour le moment concentrer notre attention sur les provinces lorsque nous abordons la gestion durable des eaux souterraines. Si nous disposons dans ce pays des ressources voulues pour produire les cartes, les études et les cadres de réglementation nécessaires à une gestion durable des eaux souterraines, nous devrions concentrer ces ressources dans les provinces, et non dans des organismes fédéraux.
- La fragmentation des responsabilités en matière de réglementation et de surveillance est communément citée comme un obstacle à une utilisation durable. Cela justifie une action davantage intégrée de tous les ordres de gouvernement, y compris peut-être un cadre de réglementation en vue d'une exploitation durable. Les compétences techniques nécessaires pour comprendre nos ressources en eau souterraine à l'échelle des bassins hydrographiques sont largement disponibles. Ce qui manque, c'est l'engagement des gouvernements, car les organismes publics se concentrent surtout sur l'application des règlements plutôt que sur l'élaboration d'une meilleure connaissance de la ressource.
- Établir une vision et une stratégie nationales concernant les eaux souterraines et leur gestion, avec la participation des provinces et territoires; élaborer des indicateurs nationaux afin de mesurer les progrès accomplis.
- Au Canada, la recherche fondamentale et appliquée a tellement mis l'accent sur l'hydrogéologie des contaminants que nous avons semble-t-il ignoré en grande partie des questions fondamentales touchant la connaissance de base des interactions à l'échelle des bassins hydrogéologiques.
- Créer des répertoires intégrés : il est temps de mettre à jour nos techniques d'inventaire en considérant la totalité du cycle hydrologique (eaux souterraines, cours d'eau, lacs, milieux côtiers et climat), afin que les hydrogéologues puissent aider les décideurs à gérer des « écosystèmes ».

- En Colombie-Britannique, l'absence de cadre juridique de réglementation du captage d'eau souterraine constitue actuellement un défi majeur. Il faut définir ou mettre à jour les exigences (et la capacité) juridiques de la réglementation, de la surveillance et de la reddition de comptes en matière de captage d'eau souterraine.
- Il faut revoir les politiques de répartition de l'eau entre des secteurs différents qui sont en compétition pour l'utilisation de l'eau.
- Des plans complets et exhaustifs à l'échelle des bassins versants sont nécessaires pour permettre une compréhension globale des eaux de surface et des bassins hydrogéologiques.
- Souvent, les organismes de réglementation n'exigent pas d'un promoteur des études suffisamment vastes en cas de projets de développement de grande envergure (c'est-à-dire dont l'ampleur va bien au-delà de ce que peut révéler un essai de pompage relativement court).
- Il est crucial que les autorités envisagent une plus grande utilisation de la tarification de l'eau comme outil de gestion de la demande au Canada. Les coûts peuvent être pris en considération dans les programmes d'émission de permis.
- On se préoccupe du fait que, dans certaines parties du pays, l'utilisation de l'eau souterraine pourrait croître plus vite que les connaissances scientifiques et les données disponibles pour une gestion appropriée de la ressource. Le principe de précaution devrait donc être davantage mis en application.
- Les sciences exactes et les données ne suffisent pas en elles-mêmes à assurer une utilisation durable de l'eau souterraine. Il faut des mécanismes conçus spécifiquement pour orienter les valeurs des utilisateurs dans le sens d'une bonne gestion. Il faut constituer des équipes pluridisciplinaires (hydrogéologues, hydrologues, écologistes, gestionnaires de ressources, etc.). Un développement durable exigera une plus grande prise de conscience de la valeur de l'eau et l'application d'une méthode de coût de revient complet.
- Des groupes qui représentent des industries sont préoccupés par l'existence de règles différentes selon les secteurs et font valoir que le temps et les efforts nécessaires pour obtenir des permis de prélèvement d'eau ne sont pas proportionnés à la durée des permis. Certains groupes souhaitent que les données sur l'eau soient davantage disponibles et transparentes, et d'autres groupes souhaitent qu'elles le soient moins.
- La durabilité des eaux souterraines devrait être mesurée à l'aide de paramètres qui peuvent évoluer en fonction des pressions actuelles et à venir sur la ressource.
- La diminution de la pollution diffuse d'origine agricole constitue encore un défi, puisque le taux de nitrates dans les eaux souterraines continue d'augmenter dans de nombreuses régions du pays malgré des efforts considérables de réduction.

DONNÉES ET INFORMATION

- À l'heure actuelle, il y a une pénurie généralisée de données sur l'utilisation réelle de l'eau souterraine dans la plupart des provinces et territoires du Canada. Lorsqu'elles sont disponibles, les données ne sont pas ventilées selon différentes catégories d'utilisation. Le public devrait en outre avoir accès à l'information sur le coût réel de l'eau. Il y a un besoin de maintenir et de mettre régulièrement à jour une base de données conviviale sur l'utilisation, la quantité et la qualité de l'eau souterraine, et ce pour l'ensemble du pays.
- Promouvoir des méthodes cohérentes de gestion des eaux souterraines en définissant à l'échelle nationale des pratiques exemplaires pour les programmes de gestion, les réseaux de surveillance, les structures de base de données, etc.
- Les anciennes données sur papier à propos des eaux souterraines devraient être converties sous forme de bases de données électroniques, afin de faciliter les échanges et l'analyse des données.
- Il faudrait utiliser davantage Internet pour donner accès à l'information sur les eaux souterraines.
- Il y a un besoin de mettre sur pied un ensemble public commun de données sur les eaux souterraines pour tout le Canada, ainsi qu'un outil Web à base de connaissances donnant des conseils et aidant à la prise de décisions à partir de cet ensemble de données, afin que les gouvernements locaux, les fournisseurs d'eau et le grand public aient accès à des connaissances de base sur les eaux souterraines en général et sur celles de leur région en particulier.
- Un financement durable est nécessaire pour permettre l'acquisition et la gestion de données sur les eaux souterraines (notamment les rapports de construction de puits) et aussi pour que les autorités recueillent d'autres données, par exemple sur les essais de pompage et la qualité de l'eau.
- Un cadre cohérent de surveillance et d'acquisition de données est nécessaire. Il faut aussi appliquer des normes appropriées concernant les données, les métadonnées, les cartes et les services d'accès aux données par le Web.
- De nombreuses collectivités locales n'ont pas l'assiette fiscale qui leur donnerait la capacité d'appliquer les connaissances sur les eaux souterraines aux décisions de portée locale. Dans ces collectivités, les eaux souterraines sont toujours considérées comme une ressource mystérieuse et incertaine. Il faudrait envisager de mettre au point un outil Web à base de connaissances donnant des conseils et aidant à la prise de décisions à partir de données recueillies, de l'information contenue dans les bases de données provinciales (et fédérales) sur les eaux souterraines ainsi que des connaissances d'experts, afin de permettre aux gouvernements locaux d'acquérir une connaissance de base des ressources locales en eau souterraine.

- Il faut mettre davantage l'accent sur la surveillance des effets des prélèvements à grande échelle : un seul puits de surveillance ne suffit pas. Les puits de surveillance doivent être bien situés, les données doivent être transmises aux autorités compétentes, et l'organisme de réglementation doit les examiner à intervalles réguliers.
- Il y a encore des lacunes importantes dans la collecte et la saisie des données ainsi que dans la gestion des bases de données. Le système d'information devrait pouvoir donner accès en permanence à un atlas perfectionné de l'eau, où les utilisateurs pourraient faire un zoom sur n'importe quelle région de la province et obtenir :
 - des cartes en 3D des aquifères, avec la possibilité de produire des coupes;
 - des données en temps réel sur le niveau des eaux souterraines;
 - des données sur l'emplacement et l'utilisation de n'importe quel puits ou prise d'eau;
 - des données sur le débit et le niveau d'eau des rivières;
 - des données sur la composition chimique de l'eau;
 - les résultats d'études (modèles numériques locaux, analyses des aires de captage, essais de pompage, etc.).
- Il faudrait peut-être d'abord répondre aux besoins des gens qui consomment une eau souterraine dont on sait qu'elle est contaminée, avant d'investir des ressources considérables dans la réalisation de cartes exhaustives de tous les aquifères.
- Il faut établir des normes nationales et provinciales concernant les cadres d'acquisition, d'archivage et d'interrogation des données, les limites raisonnables de prélèvement, ainsi que la protection juridique et son application dans le cas des aquifères vulnérables et menacés.
- Élaborer des répertoires des aquifères (qualité et quantité) et des données sur l'utilisation de l'eau souterraine.
- Améliorer les programmes de surveillance des eaux souterraines, et notamment rendre compte des résultats à intervalles réguliers.
- Les lacunes des connaissances se situent souvent à l'échelon local. On entend d'exploiter un aquifère sans connaître son étendue réelle, de même que la géologie et l'hydrogéologie complexes de l'aquifère et des aquitards qui l'entourent, ou sans savoir comment l'aquifère est relié à la zone non saturée de recharge ou comment ses eaux émergent dans les sources d'eau de surface. Ce sont là des lacunes typiques à l'échelon local, que l'on peut corriger (partiellement) en faisant des études sur place.
- Une base de données d'envergure nationale sur la qualité et la quantité de l'eau souterraine, géoréférencée et reposant sur des normes communes, pourrait susciter l'intérêt et l'engagement des parties prenantes en surmontant l'obstacle que représentent les données fragmentées et incohérentes fournies par les provinces. Que ce soit au sein de chaque ordre de gouvernement ou d'un ordre de gouvernement à l'autre, les données sont fragmentées et souvent cachées pour des raisons de confidentialité ou de concurrence commerciale.

- Il faut faire des efforts pour élaborer des cadres de classification des aquifères à l'appui d'une gestion durable des eaux souterraines et mettre au point des méthodes qui permettent d'utiliser de manière plus efficace des modèles numériques des eaux souterraines afin de gérer les eaux souterraines à l'échelle d'une région.
- La gestion des eaux souterraines est de plus en plus liée à la gestion des eaux de surface et des écosystèmes. Il faut faire des progrès supplémentaires dans la recherche scientifique et la mise au point d'outils de modélisation et de gestion requis pour aborder de manière efficace les questions pluridisciplinaires et les besoins des écosystèmes.

COMPÉTENCES ET FORMATION

- De manière générale, il manque de personnel suffisamment qualifié au sein de la plupart des organismes gouvernementaux. Les organismes de réglementation des provinces doivent reconnaître le besoin de personnel qualifié et veiller à ce que les personnes responsables de la surveillance des eaux souterraines soient adéquatement formées.
- Il faut faire davantage d'efforts pour inclure l'hydrogéologie dans la formation des professionnels, des techniciens et des membres des corps de métier (p. ex. opérateurs, plombiers, foreurs, opérateurs d'excavatrices).
- Les gouvernements locaux ainsi que les petits et moyens fournisseurs d'eau ne disposent pas des compétences voulues. Cela constitue un problème important en Colombie-Britannique, à cause de la réglementation insuffisante en matière de captage de l'eau souterraine et du caractère local de nombreux aquifères de la province. Les décisions prises localement peuvent donc affecter la quantité et la qualité des ressources locales en eau souterraine.
- Il faut veiller à ce que l'hydrogéologie fasse partie intégrante des programmes de génie et de géologie et qu'elle soit aussi enseignée dans les collèges qui forment une grande partie des agents de l'environnement et des inspecteurs sanitaires.
- Il serait souhaitable de soutenir les universités ou de faire pression sur elles pour qu'elles augmentent leurs capacités en hydrogéologie, en particulier s'il y a un intérêt renouvelé envers la recherche appliquée et l'hydrogéologie physique, qui ne semblent pas avoir eu la cote depuis 10 ou 20 ans. Des efforts supplémentaires en hydrogéologie appliquée ou en physique permettraient de produire des diplômés capables d'aider les provinces à gérer de manière durable les prélèvements d'eau souterraine.
- Des universités importantes de différentes régions du Canada (p. ex. celles de Waterloo, de la Colombie-Britannique, de Calgary et l'université Simon Fraser) ont mis au point depuis 20 ans des programmes d'enseignement dans le domaine des eaux souterraines. Les diplômés de ces programmes de premier, deuxième ou troisième cycle ont une excellente formation en hydrogéologie.

- Il faudra un plus grand nombre d'hydrogéologues diplômés d'université pour répondre à la demande prévue.
- Des compétences sont nécessaires pour mieux comprendre comment la santé et la diversité des écosystèmes sont liées à l'apport d'eau souterraine vers les eaux de surface.
- Même si le Canada jouit d'une excellente réputation en matière de formation de professionnels des eaux souterraines, la norme mondiale évolue de la « recherche d'eau » vers la « gestion de l'eau », et nous devons veiller à ce que nos professionnels aient les compétences voulues pour maintenir notre réputation dans ce nouveau contexte.
- Dans certaines parties du Canada, il peut y avoir place à amélioration en ce qui concerne la formation et les compétences requises pour être hydrogéologue professionnel.
- La gestion des eaux souterraines à l'échelle d'un bassin hydrographique supposera la formation d'équipes pluridisciplinaires. De vastes compétences seront requises en hydrogéologie : géologie du quaternaire, méthodes de travail sur le terrain, géophysique, hydrostratigraphie, géochimie des isotopes, modélisation numérique intégrée des eaux souterraines et des eaux de surface, études d'impacts cumulatifs, décontamination, gestion de données, etc. Les universités devraient chercher à exposer leurs étudiants à l'éventail complet des compétences nécessaires et leur montrer comment les intégrer.
- Une stratégie provinciale et nationale de recherche mieux intégrée pourrait se révéler précieuse dans un contexte d'accélération de la recherche sur les eaux souterraines.

ÉNERGIE

- Dans le Nord de l'Alberta, il faut une meilleure surveillance et beaucoup de recherche pour aborder les impacts de l'extraction à ciel ouvert de sables bitumineux et de production *in situ* de bitume sur les eaux souterraines.
- Le fait que le pétrole, le gaz et le méthane houiller soient actuellement exclus de la législation sur les eaux souterraines constitue un défi pour la gestion de cette ressource.
- Quels sont les impacts potentiels de la lixiviation *in situ* de l'uranium dans le Sud de l'Alberta?
- Comment pourrait-on traiter les eaux usées résultant de la production de bitume afin d'éviter la création de bassins à résidus?
- Le milieu de l'hydrogéologie devra être prêt à aborder les implications sur les eaux souterraines de l'intérêt croissant envers les applications commerciales et domestiques de l'énergie géothermique.

CAS EXEMPLAIRES

- Le réseau de puits privés exploité par le Canton de Langley, en Colombie-Britannique, constitue un exemple innovateur de la manière de recueillir des données sur la qualité de l'eau souterraine et de rendre ces données accessibles au public.
- Les données recueillies en Alberta dans le cadre du programme *Water for Life* donnent lieu à l'élaboration de plans de gestion exhaustifs pour les principaux bassins versants, dont celui de la rivière Saskatchewan Sud. Ces plans traitent les eaux de surface et les eaux souterraines comme une même ressource et comprennent une réglementation relative à la mise en valeur et à l'utilisation de l'eau souterraine.
- L'évaluation des eaux souterraines au Manitoba intègre l'hydrogéologie physique, la géochimie et la datation, ainsi que la modélisation en trois dimensions. Tout ce travail est effectué par du personnel de la Province et financé par la Province avec un certain soutien à la recherche de la part de la Commission géologique du Canada.
- Le programme d'étiquetage des puits de l'Ontario améliore l'identification des puits privés ainsi que les données sur leur emplacement.

Annexe 3 : Principales recommandations de rapports canadiens sur les ressources en eau souterraine

Cette annexe regroupe des recommandations tirées de rapports canadiens majeurs sur les eaux souterraines. Bon nombre des documents cités portent sur l'eau en général, et les recommandations moins pertinentes du point de vue des eaux souterraines ne figurent pas ici.

De manière générale, ces recommandations n'ont pas été pleinement mises en œuvre. Il est en outre important de noter que, même si de nombreux rapports produits au cours des années visaient les gouvernements provinciaux, nous avons limité cette annexe aux principaux rapports portant sur des politiques et destinés principalement au gouvernement fédéral. Néanmoins, beaucoup de recommandations reproduites ici ont une portée et des implications qui touchent les politiques et la gestion de l'eau aux échelons provincial et local.

POLITIQUE FÉDÉRALE RELATIVE AUX EAUX (1987)

Contexte : Dans la *Politique fédérale relative aux eaux* énoncée en 1987, le gouvernement du Canada s'est engagé entre autres à élaborer des lignes directrices nationales d'évaluation et de protection des eaux souterraines et à prendre des mesures pour assurer une qualité appropriée des eaux souterraines transfrontalières. Cette politique est restée en grande partie inappliquée.

Auteur : Fonctionnaires d'Environnement Canada

Recommandations

Tarifcation des services d'eau

Le gouvernement fédéral s'est engagé à « répartir équitablement les coûts de l'eau ». Afin d'appliquer ce principe à ses lignes de conduite, programmes et initiatives, le gouvernement prendra les mesures suivantes :

- appuyer le principe d'une tarification réaliste en vue d'exercer un contrôle direct sur la demande et de procurer des recettes qui permettront de couvrir les frais;
- mettre au point de nouveaux procédés industriels et de nouvelles techniques d'économie de l'eau qui réduiront les coûts au minimum et favoriseront la conservation de l'eau et l'amélioration de sa qualité;
- procéder à des évaluations fédérales-provinciales des coûts et de la tarification de l'approvisionnement en eau chez ses utilisateurs, que ceux-ci la consomment ou non, et appuyer et promouvoir de telles évaluations;

- encourager l'application de la tarification et la mise à exécution d'autres stratégies reposant, par exemple, sur le principe selon lequel les coûts doivent être assumés par les bénéficiaires et les pollueurs afin d'assurer une utilisation efficace de l'eau.

Rôle de direction en matière de sciences

Compte tenu du rôle de chef de file qu'il doit jouer à l'échelle nationale en matière scientifique, le gouvernement fédéral prendra les mesures suivantes :

- réaliser et promouvoir des études en physique, chimie, biologie et socio-économie des problèmes actuels et nouveaux;
- établir des mécanismes consultatifs en recherche, où la clientèle des scientifiques en recherche pure et appliquée sera largement représentée, afin de guider la détermination des besoins et des priorités des programmes;
- mettre au point et entretenir, en collaboration avec les provinces et les territoires, des systèmes de données et d'informations afin d'améliorer les connaissances disponibles pour la gestion des ressources en eau au Canada;
- encourager les initiatives conjointes lorsque le gouvernement fédéral et les provinces partagent les mêmes objectifs;
- déployer et appuyer les efforts de recherche ainsi que ceux de mise au point et de transfert de techniques;
- encourager, dans le secteur privé, les projets visant la mise au point de nouvelles technologies et le développement d'une industrie reliée à la conservation de l'eau;
- préconiser la collaboration, à l'échelle internationale, en sciences, aux initiatives de recherche-développement technique et aux entreprises concernant les systèmes de collecte de données et d'informations.

Planification intégrée

Afin de respecter son engagement de planifier de façon intégrée et durable la mise en valeur et la gestion des eaux et des ressources connexes, le gouvernement fédéral prendra les mesures suivantes :

- adhérer à la planification intégrée des ressources en eau qui relèvent de sa compétence et de celles dont la compétence est partagée en vertu d'ententes fédérales-provinciales-territoriales, de manière à bien tenir compte de toutes les valeurs;
- encourager, à l'échelle des bassins hydrographiques ou d'une autre unité spatiale appropriée, l'intégration des plans et des objectifs de gestion des eaux dans ceux des autres secteurs dépendant des ressources naturelles – pêches, forêts, faune, mines, énergie hydroélectrique et agriculture – afin de souligner l'unité des phénomènes naturels et leur relation avec les utilisations et les utilisateurs de l'eau dans cette unité spatiale;

- établir des critères d'évaluation fondés sur une appréciation des valeurs associées à l'eau et aux ressources connexes, et les appliquer à tous les projets parrainés par le gouvernement fédéral, pour voir à ce qu'ils respectent les buts du gouvernement en matière de gestion des eaux;
- veiller à ce que tous les grands projets nationaux et internationaux de développement reliés à l'eau, subventionnés ou entrepris par le gouvernement fédéral ou encore réalisés sur ses terres, soient assujettis au Processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement afin d'en relever les effets préjudiciables sur l'environnement et les incidences socio-économiques et de les atténuer dans la mesure du possible;
- voir à la participation ou à la collaboration de tous les organismes de coordination et de réglementation concernés;
- encourager et appuyer la consultation et la participation du public au processus de planification intégrée.

Législation

À cette fin, le gouvernement fédéral renouvellera, unifiera et renforcera l'application de ses lois actuelles afin d'atteindre les objectifs suivants :

- légiférer sur les problèmes relatifs aux niveaux, aux débits et à la qualité de l'eau qui sont de responsabilité partagée;
- contrôler et gérer les produits toxiques pendant toute leur vie, depuis leur production jusqu'à leur élimination;
- élaborer des normes et des recommandations concernant la qualité de l'eau afin de mieux protéger la santé publique et la diversité des espèces et des écosystèmes;
- préconiser le recours aux mécanismes en place, comme la Commission des eaux des provinces des Prairies, et en prévoir d'autres pour régler d'éventuels conflits concernant l'eau entre les provinces, de même qu'entre les provinces et les territoires;
- rendre les lois efficaces par des mesures de mise en application et de respect appropriées.

Sensibilisation du public

Pour favoriser la sensibilisation et la participation du public aux programmes et initiatives visant à améliorer et à protéger les ressources en eau du Canada, le gouvernement fédéral prendra les mesures suivantes :

- faire en sorte que le public soit consulté et que l'on tienne compte de ses opinions face à toutes les grandes décisions relatives à la gestion des eaux;
- encourager la collaboration du public ainsi qu'amorcer, mettre au point et exécuter un programme national de sensibilisation à la conservation de l'eau;

- encourager les efforts déployés par les provinces et les organisations non gouvernementales en matière d'information et de sensibilisation du public;
- faire en sorte que le public ait accès à l'information relative à l'étendue et à l'état des ressources en eau par des moyens appropriés, dont des rapports sur l'état de l'environnement.

Mise en œuvre de la politique

Au niveau fédéral, le gouvernement aura le mandat suivant :

- coordonner efficacement l'application des politiques fédérales relatives aux eaux au sein de ses ministères et organismes;
- évaluer périodiquement les politiques et programmes hydriques de tous ses ministères afin de déterminer dans quelle mesure ils se conforment à la *Politique fédérale relative aux eaux*;
- concilier les positions en matière d'eau de tous ses ministères afin de promouvoir une approche coordonnée et réfléchie;
- modifier la *Politique* ou y faire des ajouts au besoin
- avoir recours au processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement pour examiner les projets de mise en valeur ou d'autres projets liés à l'eau qu'il subventionne.

Le gouvernement fédéral a chargé le Comité interministériel de l'eau (CIE) de veiller à ce que la *Politique* soit mise en œuvre de façon efficace. À cet égard, le CIE sera le maître d'œuvre de la coordination des efforts entre les ministères et les organismes fédéraux. Afin de s'acquitter de cette responsabilité, il produira un rapport annuel sur la mise en œuvre globale de la *Politique fédérale relative aux eaux*, sur ses points forts et ses points faibles et sur les points à examiner ultérieurement. Il jouera aussi un rôle clé en matière d'information sur la *Politique*, en diffusant des renseignements sur tous ses aspects dans une perspective globale. Enfin, il coordonnera les études interministérielles qui devront être réalisées afin de remplir son mandat et, au besoin, créera des sous-comités chargés d'examiner certains problèmes ou dossiers liés à la *Politique*.

Au niveau fédéral-provincial-territorial, on encouragera l'adoption et l'application de stratégies et de buts relatifs à la *Politique* au moyen des ententes bilatérales et des mécanismes de coordination actuels ou améliorés, c'est-à-dire :

- des consultations et le transfert d'information visant à encourager des politiques et des programmes conjoints relatifs à l'eau qui soient compatibles, au moyen de tribunes comme le Comité consultatif de l'eau du Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement;

- l'appui des comités consultatifs officieux ou officiels chargés d'examiner soit un problème unique, soit toute une gamme de problèmes hydriques;
- des ententes intergouvernementales permettant la réalisation de programmes conjoints avec toutes les provinces et tous les territoires;
- des ententes spéciales pour réagir à un problème particulier concernant les eaux dans une province ou plus ou dans un territoire ou plus.

Contamination des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral s'est engagé à préserver et à améliorer les eaux souterraines au profit des générations actuelles et futures. Pour respecter cet engagement, le gouvernement fédéral prendra les mesures suivantes :

- établir, de concert avec les provinces et d'autres intervenants, des stratégies, des recommandations nationales et des activités appropriées en matière d'évaluation et de protection des eaux souterraines;
- mener des recherches sur les problèmes relatifs aux eaux souterraines et mettre au point des techniques de lutte et en faire la démonstration;
- développer des méthodes modèles de gestion des eaux souterraines sur ses terres, dans ses sphères de responsabilité et ses installations ainsi que dans le cadre des projets qu'il subventionne;
- mettre au point des mesures en vue d'assurer une qualité appropriée des nappes souterraines transfrontalières;
- fournir des données et des conseils relatifs aux questions d'intérêt fédéral ou national concernant les eaux souterraines.

Sécheresse

Le gouvernement fédéral est disposé à appuyer les initiatives provinciales destinées à gérer les réserves d'eau en faisant réaliser leur potentiel et à régler les problèmes réels et éventuels dus aux sécheresses. À cette fin, le gouvernement fédéral entend :

- préconiser et promouvoir des approches de gestion de la demande et des techniques de conservation visant à rationaliser l'utilisation des réserves d'eau limitées;
- amorcer, appuyer et promouvoir des recherches visant à mieux comprendre la sécheresse;
- encourager la mise au point et la diffusion de techniques et de méthodes de conservation de l'eau afin de promouvoir la meilleure utilisation possible des réserves actuelles;
- favoriser une approche intégrée à la planification et la gestion axées sur l'accroissement et la répartition des réserves d'eau.

Données et information requises

Le gouvernement fédéral s'est engagé à maintenir des programmes de rassemblement de données avec les provinces et les territoires, de manière à permettre de comprendre et de gérer les ressources en eau au profit de tous les Canadiens. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement fédéral prendra les mesures suivantes :

- collaborer avec les gouvernements provinciaux et territoriaux afin de produire de l'information et des données fiables, au moment opportun, sur la quantité, la qualité et la variabilité des ressources en eau du pays;
- favoriser l'expansion des programmes relatifs aux données dans le Nord et les régions éloignées;
- maintenir toute une gamme de bases de données nationales sur l'eau ainsi qu'un répertoire complet des données connexes et des sources de données et d'information et encourager leur utilisation;
- encourager la planification intégrée des systèmes de rassemblement de données;
- enrichir certaines bases de données (utilisation et tarification de l'eau et eaux souterraines, par exemple) lorsque ces mesures s'imposent afin de traiter les problèmes qui surgissent en la matière;
- mettre au point de nouvelles techniques pouvant servir à l'échelle nationale et promouvoir leur utilisation;
- adopter des politiques de récupération des coûts pour les données et l'information en reconnaissance du fait que des données de base constituent un bien qui doit être accessible à tous.

LES PROBLÈMES ET LA RECHERCHE SUR LES EAUX SOUTERRAINES AU CANADA (1993)

Contexte : Ce rapport, communément appelé « rapport Cherry », porte sur les activités du gouvernement fédéral en matière d'eaux souterraines au Canada. Rédigé par un groupe de travail de huit personnes nommées par le Conseil géoscientifique canadien⁵², ce rapport présente des problèmes qui se posent et décrit des domaines où il y a place à amélioration de la part du gouvernement fédéral en ce qui concerne la connaissance et les activités de gestion des eaux souterraines. Ce rapport produit en 1993 conclut comme suit : « *En matière d'eaux souterraines, le Canada doit faire des progrès majeurs dans des domaines tels que l'inventaire la protection et la recherche, afin de pouvoir gérer de manière responsable et efficace cette importante source d'eau douce.* » (traduction). Le groupe de travail conclut également qu'« *il est raisonnable de s'attendre à ce que d'ici trois ans, le gouvernement fédéral réalise des progrès significatifs dans la mise en œuvre de ces recommandations* » (traduction).

Auteur : Ce rapport a été rédigé par un groupe de travail de huit personnes nommées par le Conseil géoscientifique canadien. Voici les noms des membres de ce groupe de travail :

John A. Cherry, président
Donald W. Pollock, vice-président
H. Douglas Craig
R. Allan Freeze
John E. Gale
Pierre J. Gélinas
Robert E.J. Leech
Stephen R. Moran

52 Le Conseil géoscientifique canadien a été fondé en 1972 à la demande du Conseil des sciences du Canada pour promouvoir le rôle des sciences de la Terre dans les stratégies premières du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et dans la croissance de l'économie canadienne en général. À une époque où les Canadiens avaient des connaissances limitées dans le domaine des sciences de la Terre, le Conseil géoscientifique canadien recommandait en 1971 : « *Les ministères provinciaux de l'Éducation devraient promouvoir l'enseignement des sciences de la Terre dans les écoles secondaires.* » (traduit de *Background Study for the Science Council of Canada*, 1971, accessible dans le site Web de la Fédération canadienne des sciences de la Terre). Plus récemment, le Conseil géoscientifique canadien a dirigé de nombreux groupes de travail sur des questions relatives aux politiques fédérales en matière de sciences de la Terre, comme le financement de levés géologiques. En 2007, le Conseil géoscientifique canadien est devenu la Fédération canadienne des sciences de la Terre.

Recommandations

1. Liens, partenariats et examen externe

Le gouvernement fédéral devrait mettre sur pied un groupe de travail interministériel sur les eaux souterraines afin : (1) de définir clairement, traiter et communiquer au sein du gouvernement fédéral les questions et problèmes concernant les eaux souterraines; (2) d'établir des liens et des partenariats actifs entre ministères fédéraux ainsi qu'entre le gouvernement fédéral et d'autres intervenants de la société canadienne en matière d'eaux souterraines. Les ministères fédéraux suivants devraient participer directement à ce groupe de travail : Environnement; Énergie, Mines et Ressources; Agriculture; Santé et Bien-être social; Pêches et Océans; Défense nationale; Industrie, Science et Technologie.

Le gouvernement fédéral a un besoin crucial d'une stratégie d'ensemble englobant tous les ministères concernés et leurs plans.

Ce groupe de travail fédéral sur les eaux souterraines devrait mettre sur pied un comité consultatif formé principalement de spécialistes reconnus, de l'extérieur du gouvernement fédéral, en matière d'eaux souterraines. Ce comité serait chargé de donner des orientations et des avis en vue d'aplanir les obstacles bureaucratiques.

2. Centres régionaux d'études sur les eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait mettre sur pied des centres régionaux d'études sur les eaux souterraines, en donnant la priorité à la création immédiate d'un tel centre dans la région de l'Atlantique, puis dans la région des Prairies.

Le centre d'études de la région de l'Atlantique devrait entre autres promouvoir les recherches sur les eaux souterraines effectuées par des étudiants à la maîtrise et au doctorat, en premier lieu ceux qui sont inscrits dans des universités de la région, offrant ainsi des occasions de formation continue à des professionnels qui travaillent dans la région pour le gouvernement ou le secteur privé.

Pour ce qui est du centre d'études de la région des Prairies, les besoins actuels sont l'établissement de liens et de partenariats étroits entre institutions (fédérales, provinciales et universitaires) et une certaine augmentation du financement (fédéral et provincial) de la recherche pour mettre en branle des recherches sur des sujets non étudiés à l'heure actuelle, par exemple les milieux humides et les problèmes de l'environnement minier.

3. Formation des professionnels des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait inclure des mécanismes qui favorisent la formation continue des professionnels des eaux souterraines dans toutes ses activités de recherche dans le domaine, qu'il s'agisse de financement de la recherche universitaire ou de recherches menées principalement à l'interne.

4. Les eaux souterraines et l'industrie minière canadienne

Les efforts de recherche actuellement financés par le gouvernement fédéral à propos (1) des problèmes de l'environnement minier et (2) de l'utilisation de l'eau souterraine dans la prospection de nouveaux gisements devraient procurer de meilleures occasions de recherche et des partenariats étendus entre les divers segments du milieu canadien de la recherche qui travaillent sur les problèmes de l'environnement minier et de la prospection.

Ces améliorations devraient faire intervenir des groupes de recherche d'Énergie, Mines et Ressources (Secteur de la technologie des minéraux et de l'énergie et la Commission géologique du Canada), d'Environnement Canada, de l'industrie et des universités. Les progrès de la recherche devraient être suivis attentivement par des groupes d'experts ou comités relativement indépendants, afin que les résultats soient à la mesure des compétences considérables dont dispose le Canada dans ce domaine.

5. Eaux souterraines et milieux humides

Le gouvernement fédéral devrait évaluer l'état des connaissances à propos des milieux humides au Canada, notamment à propos du rôle des eaux souterraines sur les plans de l'hydrologie, de l'écologie et des impacts humains. Il devrait ensuite financer la recherche visant à combler les principales lacunes de nos connaissances sur ces écosystèmes.

6. Mise sur pied d'un bureau de la protection des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait mettre sur pied un bureau chargé de diffuser de l'information sur la protection des eaux souterraines.

7. Programmes portant sur les sites contaminés ou abandonnés

Le gouvernement fédéral devrait inclure dans le Programme fédéral-provincial de gestion des sites contaminés, ainsi que dans ses programmes relatifs aux sites contaminés et aux vérifications environnementales sur les terres fédérales, les mécanismes et les compétences nécessaires pour évaluer les eaux souterraines et les voies de contamination de ces eaux. Cela permettrait de prendre les bonnes décisions quant aux sites à traiter en priorité ainsi qu'en matière de financement du contrôle ou de la réhabilitation des eaux souterraines.

8. Identification des nouveaux contaminants des eaux souterraines et évaluation des dangers qu'ils représentent

Le gouvernement fédéral devrait évaluer la présence et le niveau de danger lié aux types de contaminants que l'on retrouve assez souvent dans les eaux souterraines canadiennes, mais qui ne sont pas détectés dans les analyses de routine des échantillons et qui sont absents des critères de qualité de l'eau ou des normes relatives à l'eau potable à l'échelon fédéral ou provincial.

Cette évaluation devrait avoir pour but de constituer une base d'information permettant de mettre progressivement à jour les normes et objectifs fédéraux et provinciaux de qualité de l'eau d'une manière adaptée et pertinente aux ressources en eau souterraine.

9. Normes nationales de stockage et d'extraction de l'information sur les eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait élaborer des normes minimales nationales et financer des projets de démonstration de systèmes informatiques concernant le stockage, l'extraction et la présentation de l'information sur les eaux souterraines. Pour ce faire, le gouvernement fédéral devrait :

- fournir un cadre d'évaluation des systèmes informatiques (matériel et logiciels) récemment apparus sur le marché dans le domaine de la gestion et de la modélisation des données sur le sous-sol;
- évaluer l'expérience des provinces canadiennes et d'autres pays dans la gestion de l'information sur les eaux souterraines;
- mettre sur pied, en collaboration avec les provinces, des projets de démonstration des moyens techniques pertinents.

10. Cartographie des aquifères et caractérisation des ressources en eau souterraine

Le gouvernement fédéral devrait mettre en place un ensemble d'accords avec les provinces sur la caractérisation des ressources en eau souterraine et des aquifères, afin d'atteindre un niveau minimal défini de connaissance des ressources en eau souterraine de chacune des provinces et du Nord canadien.

Ces accords pourraient s'inspirer des ententes de développement minier, en vertu desquelles le gouvernement fédéral offre un financement incitatif et les provinces effectuent les études, parfois en collaboration avec des organismes fédéraux.

11. Système d'information sur les eaux souterraines pour l'aménagement du territoire et la protection des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait mettre au point, au moyen de la recherche et de tests sur le terrain, un système d'information sur les eaux souterraines à des fins d'aménagement du territoire ainsi que de gestion et de protection des eaux souterraines.

Pour que l'information scientifique sur les eaux souterraines puisse contribuer de manière efficace à l'aménagement du territoire, à la gestion de l'eau et à la protection de l'environnement, notamment la protection des eaux souterraines, elle doit être compilée et accessible sous une forme compatible avec une telle utilisation pluridisciplinaire.

12. Inclusion des eaux souterraines dans le *Rapport sur l'état de l'environnement*

À compter du prochain numéro, le gouvernement fédéral devrait inclure une évaluation de l'état des eaux souterraines dans sa publication *Rapport sur l'état de l'environnement*.

13. Priorités du gouvernement fédéral en matière de recherche interne et externe

Des groupes de recherche sur les eaux souterraines au sein de ministères fédéraux, principalement Environnement Canada, Énergie, Mines et Ressources et Agriculture Canada, devraient mettre sur pied des installations de recherche en complément de celles qui existent déjà dans les universités canadiennes. La recherche effectuée à l'interne au gouvernement fédéral devrait mettre l'accent sur les projets qui nécessitent un suivi à long terme et sur les travaux mal adaptés aux organismes de recherche externes. La priorité devrait en outre être accordée aux projets de recherche qui visent à résoudre des problèmes susceptibles de se présenter dans l'avenir (recherche par anticipation).

14. Eaux souterraines et transports

Le gouvernement fédéral devrait évaluer les impacts sur les eaux souterraines de la distribution des carburants destinés aux transports. Il devrait aussi mettre sur pied et coordonner une initiative visant à réduire ces impacts en appliquant des mesures de réhabilitation économiquement plus efficaces résultant des activités de recherche et développement.

15. Eaux souterraines et agriculture

Le gouvernement fédéral devrait lancer un programme de recherches systématiques dirigé par Environnement Canada et Agriculture Canada afin de connaître les impacts de l'agriculture canadienne sur la qualité de l'eau souterraine et de déterminer dans quelle mesure des changements raisonnables dans la pratique permettraient d'en réduire les effets négatifs.

16. Eaux souterraines et Grands Lacs

Le gouvernement fédéral devrait, en collaboration avec l'Ontario, accroître les efforts de recherche visant à déterminer l'influence des eaux souterraines et des contaminants qu'elles transportent sur la qualité de l'eau et les écosystèmes des Grands Lacs.

17. Eaux souterraines et liquides industriels plus denses que l'eau

Le gouvernement fédéral devrait veiller à ce que la recherche canadienne sur les eaux souterraines comprenne un volet portant sur les liquides organiques industriels plus denses que l'eau. Les efforts consentis devraient être à la mesure des problèmes causés par ces liquides dans des sites contaminés ou abandonnés au Canada.

Des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre les impacts environnementaux à long terme de ces produits chimiques et pour concevoir de meilleures méthodes d'évaluation et de réhabilitation des sites contaminés.

18. Analyse coûts-avantages et évaluation des risques liés à la contamination des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait financer la recherche visant à améliorer les méthodes de détermination des risques globaux de divers types de contamination des eaux souterraines pour la santé humaine et l'environnement.

19. Valeur socio-économique des eaux souterraines

Le gouvernement fédéral devrait financer la recherche sur les aspects socio-économiques des ressources en eau souterraine au Canada.

Des études socio-économiques sont nécessaires pour disposer d'un meilleur cadre de prise de décision relativement aux programmes de décontamination, à l'élaboration de programmes de protection des eaux souterraines et à l'évaluation d'options d'approvisionnement en eau pour les collectivités dont les besoins augmentent ou dont les sources d'approvisionnement sont contaminées.

20. Développement et commercialisation de la technologie canadienne en matière d'eau souterraine

Le gouvernement fédéral devrait promouvoir vigoureusement le développement et la commercialisation de la technologie canadienne de surveillance, de captage et de réhabilitation des eaux souterraines, afin que les entreprises canadiennes dans le domaine de l'eau souterraine bénéficient d'une meilleure position concurrentielle sur le marché mondial.

21. Rapport sur l'industrie, la recherche et le développement en matière d'eaux souterraines au Canada

Le gouvernement fédéral devrait produire en 1994 un rapport exhaustif sur les capacités et l'état de la recherche et du développement sur les eaux souterraines au Canada et sur l'industrie canadienne de l'eau souterraine, notamment dans le secteur manufacturier et les services : forage, surveillance, traitement, réhabilitation et services-conseils. Ce rapport devrait être mis à jour tous les trois ans.

22. Amélioration des occasions d'affaires pour l'industrie canadienne des eaux souterraines sur le marché international

Le gouvernement fédéral devrait intensifier ses efforts et améliorer la coordination de ses activités visant à améliorer les occasions d'affaires des entreprises canadiennes dans le domaine de l'eau souterraine à l'étranger, en particulier dans les marchés en expansion rapide comme ceux de l'Europe de l'Est, de la ceinture du Pacifique, de l'Amérique centrale et de l'Amérique du Sud.

CMI : PROTECTION DES EAUX DES GRANDS LACS : RAPPORT FINAL (2000)

Contexte : « Voici le rapport final de la CMI aux gouvernements des États-Unis et du Canada à propos de la protection des eaux des Grands Lacs. Ce rapport fait suite à une demande formulée le 10 février 1999 par les gouvernements afin d'entreprendre une étude sur cette protection. Le présent rapport final inclut et au besoin met à jour le rapport intérimaire de la Commission daté du 10 août 1999. Il élargit et dans certains cas modifie les conclusions et les recommandations de ce rapport intérimaire. » (traduit de CMI, 2000).

Auteur : Commission mixte internationale

Recommandation VII. Eaux souterraines

Les gouvernements devraient prendre immédiatement des mesures pour intensifier les recherches sur les eaux souterraines afin de mieux comprendre leur rôle dans le bassin des Grands Lacs. En particulier, ils devraient réaliser des travaux de recherche sur :

- l'établissement de cartes unifiées et uniformes pour les unités hydrogéologiques limitrophes et transnationales;
- la description complète du rôle des eaux souterraines dans le soutien des systèmes écologiques;
- l'amélioration des estimations rendant compte fidèlement du niveau et de l'importance de la consommation de l'eau;
- des méthodes simplifiées permettant de recenser les activités importantes de captage des eaux souterraines à proximité des limites des bassins hydrologiques;
- les incidences des changements apportés à l'aménagement du territoire et de la croissance de la population sur la disponibilité et la qualité des eaux souterraines;
- le rejet des eaux souterraines dans les courants d'eau de surface et dans les Grands Lacs et l'estimation systématique des zones naturelles d'alimentation;
- la surveillance et le suivi systématiques de l'utilisation des permis de prélèvement d'eau, en particulier pour les opérations de mise en bouteilles de l'eau.

En reconnaissance de l'interaction fréquente et omniprésente entre les eaux souterraines et les eaux de surface et de la quasi-impossibilité de les distinguer dans certains cas, les gouvernements devraient adopter le principe de la prudence en ce qui a trait au captage et à la consommation des eaux souterraines du bassin.

RAPPORT DE LA COMMISSAIRE À L'ENVIRONNEMENT ET AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2001)

Contexte : En 1995, le Bureau du vérificateur général du Canada a reçu un mandat spécifique en matière d'environnement et de développement durable. Ce mandat a été défini par des amendements à la *Loi sur le vérificateur général* créant le poste de Commissaire à l'environnement et au développement durable. Selon le site Web du Bureau du vérificateur général, « *le commissaire à l'environnement et au développement durable fournit aux parlementaires des analyses et des recommandations objectives et indépendantes sur les efforts du gouvernement fédéral pour protéger l'environnement et favoriser le développement durable. Le commissaire effectue des vérifications de gestion, indique la mesure dans laquelle les ministères fédéraux atteignent leurs objectifs en matière de développement durable, et assure la gestion du processus de pétition en matière d'environnement.* »

Auteur : La Commissaire à l'environnement et au développement durable (À l'époque, il s'agissait de Johanne Gélinas, qui a occupé ce poste d'août 2000 à janvier 2007.)

Recommandations

Nos constatations montrent que le gouvernement fédéral doit fixer ses priorités en matière d'eau douce et clarifier ses engagements afin de les atteindre.

En collaboration avec ses partenaires, il doit élaborer des plans réalistes assortis d'échéanciers et d'une responsabilisation claire, s'en tenir à ses plans et fournir de l'information ouverte et transparente sur les résultats atteints (3.1.30).

3.1.31 Environnement Canada devrait réévaluer son rôle, énoncer clairement ses responsabilités et ses engagements en matière de gestion des eaux douces dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Le Ministère devrait aussi préciser l'engagement auquel il s'attend de la part d'autres ministères fédéraux, notamment en ce qui concerne les points suivants :

- (4) promouvoir la notion de « tarification réaliste » telle qu'énoncée dans la *Politique fédérale relative aux eaux*.

3.1.33 Le gouvernement fédéral devrait recueillir l'information nécessaire pour gérer l'eau douce, et ce de la manière suivante :

- Ressources naturelles Canada, de concert avec Environnement Canada, devrait établir une base de connaissances sur les eaux souterraines du bassin qui permette de comprendre leur contribution à la disponibilité d'eau de surface. Il faudrait porter une attention particulière aux aquifères clés, à leur géologie, aux apports potentiels d'eau et aux prélèvements actuels.

- Environnement Canada devrait recueillir suffisamment d'information sur les contaminants clés dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent et sur leurs sources, afin de fixer les priorités d'action.

3.1.34 Santé Canada devrait énoncer clairement ses responsabilités dans le bassin en matière de protection de la santé humaine contre les contaminants potentiels de l'eau potable. Dans le cadre de cet effort, il devrait entreprendre, en collaboration avec le Sous-comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, si possible, de revoir l'état de la qualité de l'eau potable, y compris la conformité avec les lignes directrices pour la qualité de l'eau potable, l'accès du public à de l'information sur la qualité de l'eau potable et le besoin de normes nationales exécutoires pour l'eau potable.

CADRE CANADIEN DE COLLABORATION EN MATIÈRE D'EAU SOUTERRAINE (2003)

Contexte : Le Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine résulte d'une initiative de la Commission géologique du Canada. Il a été créé par suite de deux ateliers nationaux tenus en 2000 et 2001, auxquels ont participé des représentants de tous les ordres de gouvernement, du milieu universitaire et du secteur privé. Le Cadre canadien de collaboration en matière d'eau souterraine n'a pas été officiellement endossé par Ressources naturelles Canada.

Auteur : Comité national *ad hoc* sur l'eau souterraine

Recommandations

Recommandations pour le domaine des mécanismes de coordination et de collaboration :

- établir un comité fédéral-provincial de l'eau souterraine (CFPES) chargé de resserrer la collaboration entre tous les ordres de gouvernement;
- instituer un comité consultatif canadien sur l'eau souterraine (CCCES) où siègeront des représentants des diverses parties intéressées et qui sera chargé de conseiller le CFPES;
- rendre compte annuellement de l'avancement des travaux du CCCES (CFPES) aux parties intéressées.

Recommandations pour le domaine des programmes coopératifs nationaux :

- accroître le financement affecté aux travaux de recherche et d'inventaire sur l'eau souterraine;
- entreprendre une évaluation et un inventaire des ressources canadiennes en eau souterraine;
- établir un « réseau de réseaux » de surveillance de l'eau souterraine;
- déterminer les besoins cruciaux en recherche sur les enjeux liés à l'eau souterraine qui sont propres au Canada;
- promouvoir les liens entre les responsables politiques et les milieux de la recherche.

Recommandations pour le domaine de la communication :

- amorcer des programmes destinés à sensibiliser le public sur son rôle dans la protection des ressources en eau souterraine;
- fournir au public et aux professionnels du secteur de l'eau souterraine une source de connaissances sur l'eau souterraine;

- concevoir et promouvoir une tribune électronique nationale sur l'eau souterraine;
- continuer d'organiser, aux deux ans, des ateliers nationaux sur l'eau souterraine.

Recommandations pour le domaine des normes de rendement uniformes à l'échelle du Canada :

- fournir des activités de formation avancée pour faire progresser les connaissances et les compétences de foreurs de puits d'eau et des professionnels et des techniciens du secteur de l'eau souterraine;
- créer des programmes d'agrément professionnel à l'intention des foreurs de puits d'eau et des professionnels et des techniciens du secteur de l'eau souterraine;
- reconnaître l'agrément professionnel décerné par les provinces aux foreurs de puits d'eau et aux professionnels et aux techniciens du secteur de l'eau souterraine de toutes les régions du Canada;
- élaborer, promouvoir et coordonner les lignes directrices concernant les pratiques de gestion optimale et le transfert des technologies dans le domaine de l'eau souterraine.

CADRE DE GESTION DE L'EAU POUR LE GOUVERNEMENT FÉDÉRAL (2004)

Contexte : « *Le gouvernement fédéral a déclaré que l'eau était une priorité de développement durable en 2003. Composé de hauts fonctionnaires et coprésidé par Environnement Canada et Santé Canada, un comité interministériel a reçu le mandat d'élaborer un cadre de gestion de l'eau à l'intention du gouvernement fédéral afin de régler les questions relatives à la qualité et à la quantité de l'eau douce. Le comité a investi temps, argent et efforts en vue d'élaborer le Cadre de gestion de l'eau pour le gouvernement fédéral. Celui-ci a été approuvé par le comité au niveau des sous-ministres en février 2004. Le Cadre énonce en premier lieu une vision : 'Une eau propre, salubre et sûre pour les humains et les écosystèmes'. Se greffent à cette vision cinq résultats finaux de l'activité fédérale dans le domaine de l'eau, c'est-à-dire la protection de la santé humaine par la distribution d'eau potable sûre, la santé des écosystèmes, l'utilisation durable et l'économie, les risques et les prévisions environnementales, et la dimension mondiale.* » (CEDD, 2005).

Dans son rapport de 2005, la commissaire à l'environnement et au développement durable formulait la recommandation suivante : « *Environnement Canada, de concert avec d'autres ministères et organismes fédéraux, devrait fournir des éclaircissements sur les prochaines étapes de l'utilisation du Cadre de gestion de l'eau pour le gouvernement, particulièrement en ce qui concerne les cinq résultats finaux.* » (CEDD, 2005). La CEDD a jugé que la réponse d'Environnement Canada, dont des extraits sont cités ci-après, n'était pas satisfaisante quant aux aspects précis de ses recommandations.

Réponse d'Environnement Canada

« *En septembre 2004, le ministère de l'Environnement a lancé le processus de création du Cadre pour la compétitivité et la durabilité de l'environnement (CCDE). Le Cadre a pour but d'atteindre le plus haut niveau possible en matière de qualité de l'environnement afin d'améliorer la santé et le bien-être des Canadiens, de préserver notre environnement naturel et de favoriser notre compétitivité à long terme.*

« *Le Cadre fédéral sur l'eau contribuera à réaffirmer les priorités de la politique fédérale sur l'eau dans le CCDE. Dix-neuf ministères ont participé aux travaux associés à l'élaboration du Cadre; ils ont décrit leurs activités en fonction de cinq objectifs finaux. Le Cadre sur l'eau vise notamment à aider à cibler les forces et les faiblesses des activités des ministères afin d'examiner toute la gamme des questions relatives à l'eau. Environnement Canada va continuer de faire la promotion de l'esprit du cadre dans l'établissement des priorités et l'intégration des activités interministérielles reliées à l'eau.*

« *Une prochaine étape importante, les résultats du Cadre fédéral sur l'eau seront intégrés dans le cadre plus large du CCDE selon les thèmes suivants :*

Résultats du Cadre fédéral sur l'eau	Résultats du CCDE
Santé humaine	Santé et sécurité des Canadiens
Dangers et prévision environnementale	
Santé des écosystèmes	Environnement naturel
Utilisation durable et économie	Compétitivité à long terme

« Les grandes stratégies visant à atteindre les objectifs du Cadre fédéral sur l'eau serviront également à l'élaboration de certains éléments du CCDE liés à l'eau. Une table ronde sur l'eau avec le Comité des sous-ministres sur les politiques concernant la durabilité et l'environnement aidera à réaffirmer les priorités fédérales sur l'eau et à aligner les activités concernant l'eau sur les différents mandats du CCDE. Les discussions de la table ronde et l'harmonisation déjà mentionnée sont prévues à l'automne 2005. » (CEDD, 2005)

Auteur : Un comité interministériel de hauts fonctionnaires coprésidé par Environnement Canada et Santé Canada

Recommandations

Le Cadre énonce en premier lieu une vision : « Une eau propre, salubre et sûre pour les humains et les écosystèmes ». Se greffent à cette vision cinq résultats finaux de l'activité fédérale dans le domaine de l'eau.

Ces résultats finaux ont trait aux éléments suivants :

- la protection de la santé humaine par la distribution d'eau potable sûre;
- la santé des écosystèmes;
- l'utilisation durable et l'économie;
- les risques et les prévisions environnementales;
- la dimension mondiale.

L'EAU DANS L'OUEST : UNE SOURCE D'INQUIÉTUDE (2005)

Contexte : Le Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles a passé en revue des questions nouvelles liées à son mandat et fait rapport à leur sujet.

Auteur : Le Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles

Recommandation 1

Le gouvernement du Canada devrait prendre les mesures nécessaires pour que tous les principaux aquifères du Canada soient évalués d'ici 2010. Les données devraient être versées dans la base de données nationale sur les eaux souterraines et étayées par un document sommaire qui ferait état des risques pour la qualité des eaux souterraines et leur quantité.

Recommandation 2

Le gouvernement du Canada devrait collaborer avec l'industrie et les autres ordres de gouvernement afin d'élaborer une méthode normalisée de collecte et de déclaration des données sur l'eau. Le gouvernement du Canada devrait assumer la responsabilité de la création d'un centre de statistiques sur l'eau.

Recommandation 3

Le gouvernement du Canada doit rétablir le financement des études longitudinales sur les eaux. De telles études sont essentielles à la pérennité des ressources hydriques du Canada.

Recommandation 4

Le gouvernement du Canada devrait augmenter son soutien à l'Institut national de recherche sur les eaux et à l'Administration du rétablissement agricole des Prairies de manière à ce que ces institutions soient plus à même de relever le défi grandissant de l'eau dans l'Ouest canadien.

Recommandation 5

Le gouvernement du Canada devrait créer un Conseil national des eaux. Ce conseil, composé de représentants de l'industrie, des instituts de recherche et de tous les ordres de gouvernement, aurait pour mandat de définir les questions primordiales liées à l'eau qui nécessitent l'attention du gouvernement fédéral et de proposer des stratégies visant à les résoudre.



Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Conseil des académies canadiennes
180, rue Elgin, bureau 1401
Ottawa (Ontario) K2P 2K3
Tél: 613-567-5000
www.sciencepourlepublic.ca