

IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU DANS LE SUD DU QUÉBEC

Par Sarah Lambert

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Directeur d'essai : Monsieur Réjean de Ladurantaye

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, 5 mai 201

Sommaire

Mots clés : Disponibilité, eau, Québec, changements climatiques, mesures d'adaptation, dragage, prise d'eau, barrage, milieux humides,

Certaines répercussions des changements climatiques peuvent déjà être observées dans plusieurs régions du globe et un consensus de la part de la communauté scientifique permet d'affirmer que ces changements iront en s'amplifiant au cours des prochaines décennies. L'ampleur des impacts du réchauffement climatique sur les diverses ressources naturelles de même que sur les écosystèmes soulèvent désormais l'inquiétude d'une proportion grandissante de la population mondiale.

Le Québec ne fait bien sûr pas exception à la règle et certains spécialistes ont déjà mis en œuvre plusieurs études afin de déterminer les modifications probables qui caractériseront les ressources naturelles à l'échelle de la Province. Dans ce contexte, il devient pertinent de s'interroger sur les impacts qui affecteront la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels du sud du Québec. Le présent document avait donc pour but la caractérisation de cette problématique d'importance croissante.

Tout d'abord, un portrait des effets probables des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels au Québec a été réalisé. Les modifications des régimes de précipitations, les changements des systèmes d'eau de surface et souterraine ainsi que les changements affectant le cycle d'évapotranspiration en lien avec les changements climatiques ont été décrits. Il a notamment été question de la modification des quantités de précipitations et de la forme sous laquelle ces dernières se présentent, de l'ampleur et la fréquence des événements météorologiques extrêmes, de la diminution de l'accumulation d'eau sous forme de glace et de neige, de la diminution de l'infiltration d'eau dans les sols, du changement du phénomène de ruissellement et de l'accroissement des quantités d'eau retournées à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration. Ensuite, la caractérisation des principaux problèmes engendrés par ces modifications a été entreprise. L'augmentation des activités de dragage, la modification des prises d'eau municipales, le changement du niveau des différents

barrages de la région et la réduction des milieux humides ont été décrits. Les mesures d'adaptations pouvant pallier à ces problématiques ont également été définies et leurs avantages, inconvénients et applicabilité respectifs ont été établis. Finalement, une série de recommandations touchant l'implantation de mesures d'application au Québec a été émise.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur d'essai, Monsieur Réjean de Ladurantaye, pour son soutien constant, sa patience, sa souplesse, sa compréhension et son encadrement tout au long de la réalisation de cet essai. Il a su me guider et me faire bénéficier de son expérience avec succès et je lui en suis extrêmement reconnaissante.

Je veux également remercier les personnes qui m'ont soutenue et encouragée lors de la réalisation de cet essai soit Dominique Robert-Dubord, Elsa Laurens, Catherine Hamel et Bruno L'Heureux. Je remercie particulièrement Isabelle Audet pour son aide précieuse et ses conseils avisés. Finalement, je tiens à remercier Diego Bédard pour ses paroles inspirantes, sa compréhension constante et son sens de l'humour qui m'a toujours fait sourire.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
1. EFFETS ATTENDUS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉSERVES D’EAU DU QUÉBEC	3
1.1 Changements dans les précipitations.....	3
1.1.1 Quantités de précipitation	4
1.1.2 Formes de précipitation.....	7
1.1.3 Fréquence des évènements extrêmes	9
1.2 Changements du système des eaux de surface et souterraines	11
1.2.1 Diminution de l’accumulation d’eau sous forme de glace et de neige.....	12
1.2.2 Diminution de l’infiltration d’eau dans les sols (nappes souterraines)	15
1.2.3 Modification du ruissellement	18
1.3 Changements du cycle d’évapotranspiration.....	19
2. PROBLÈMES POTENTIELS POUVANT SURVENIR SUITE AUX EFFETS SPÉCIFIQUES MENTIONNÉS	21
2.1 Accentuation des activités de dragage	22
2.2 Problématique des prises d’eau municipales.....	25
2.3 Problématique des barrages.....	29
2.4 Réduction des milieux humides	33
3. MESURES D’ADAPTATION AUX PROBLÉMATIQUES MENTIONNÉES	36
3.1 Mesure d’adaptation 1 : augmentation des activités de dragage	37
3.2 Mesure d’adaptation 2 : éducation, formation et sensibilisation.....	38
3.3 Mesure d’adaptation 3 : règlements municipaux pour une gestion acceptable de l’eau	40
3.4 Mesure d’adaptation 4 : amélioration du système de distribution d’eau potable	42
3.5 Mesure d’adaptation 5 : instauration d’un nouveau système de redevance sur l’eau.....	43
3.6 Mesure d’adaptation 6 : augmentation de l’infiltration en milieu urbain.....	45
3.7 Mesure d’adaptation 7 : réduction de la consommation électrique.....	46
3.8 Mesure d’adaptation 8 : construction de nouveaux barrages et canaux de drainage.....	47
CONCLUSION	49
RÉFÉRENCES.....	53

Liste des tableaux et figures

Figure 1. 1	Tendance des précipitations annuelles de 1901 à 2005 (tiré de Bates et al, 2008, p. 21)	5
Figure 1. 2	Émissions de CO ₂ (gigatonnes par années) pour les 4 familles de scénarios (tiré d'Ouranos, 2008, p. 34).....	6
Figure 1. 3	Changement de la contribution des jours de forte pluie (en % par rapport à la moyenne de la période 1961-1990) (tiré de Bates et al, 2008, p.22).....	9
Figure 1. 4	Tendances observées (en % par décennie) de la contribution des jours de forte pluie (à hauteur et au-dessus du 95e percentile) aux précipitations annuelles totales au cours de la période 1951-2003 (tiré de Bates et al, 2008, p.22)	10
Figure 1. 5	Régions ayant démontré une modification des fortes et très fortes précipitations par rapport aux variations des précipitations annuelles et saisonnières (tiré de Bates et al, 2008, p.22) 10	
Figure 1. 6	Le cycle de l'eau (tiré de Côté et al, 2006, p.1)	12
Figure 1. 7	Hydrogramme caractéristique d'un cours d'eau (Tiré d'Environnement Canada, 2010a) ..	13
Figure 1. 8	Types d'interstices entre un sol (a) homogène et imperméable, (b) hétérogène et imperméable, (c) perméable, (d) partiellement cimenté, (e) de roche carbonée fracturée et (f) de roche cristalline fracturée (tiré de Robinson et al, 2000, p. 146).....	15
Figure 1. 9	Caractéristiques d'absorption et de rétention d'eau selon différents types de sols (tiré de Robinson et al, 2000, p. 190)	16
Figure 1. 10	Diminution de la capacité d'infiltration durant un épisode de précipitation (tiré de Robinson et al, 2000, p. 208)	17
Figure 2. 1	Port de Montréal	22
Figure 2. 2	Activités de dragage.....	23
Figure 2. 3	Bas niveau d'eau de la rivière des Miles Iles, été 2010	28
Figure 2. 4	Réservoir Robert-Bourassa	30
Figure 2. 5	Saguenay, été 1996	32
Figure 2. 6	Milieu humide.....	33
Figure 3. 1	Bassin d'infiltration	45
Figure 3. 1	Bassin d'infiltration	45

Tableau 1. 1 Porosité typique de différents types de sols.....16

INTRODUCTION

Au cours du siècle dernier, l'accroissement de la population mondiale, l'augmentation constante de l'ampleur des procédés industriels de même que l'arrivée de nouvelles technologies ont mené à une consommation effrénée de combustibles fossiles. S'en est suivi l'émission de quantités phénoménales de gaz à effet de serre et le déséquilibre subséquent des composantes influençant, de façon directe et indirecte, les conditions climatiques actuelles. Bien que cela n'ait pas toujours été le cas, il y a de nos jours un consensus de la communauté scientifique sur le fait que certaines répercussions des changements climatiques peuvent déjà être observées dans plusieurs régions du globe et que ces changements iront en s'amplifiant au cours des prochaines décennies (Environnement Canada, 2008c).

Les effets qu'engendrera vraisemblablement le réchauffement climatique sur les diverses ressources naturelles et sur les écosystèmes sont maintenant devenus sujets d'actualité et soulèvent l'inquiétude d'une proportion toujours grandissante de la population. Qu'il s'agisse de la modification des régimes de précipitations, de l'augmentation des températures moyennes, de la diminution de l'accumulation de neige ou de l'accroissement de la fréquence des événements extrêmes, certains spécialistes s'interrogent sur les impacts qu'occasionneront les changements climatiques sur la disponibilité des ressources en eau.

Au Québec, cet enjeu prend évidemment une importance majeure et fait l'objet de nombreux débats publics car l'abondance des ressources en eaux, en plus d'assurer la survie de la population, a contribué à l'adoption d'un mode de vie caractéristique et au développement social et économique de plusieurs régions. En effet, le Québec, dont la population équivaut à 0,1% de la population mondiale, possède près de 3% des ressources d'eau douce renouvelable de la planète. Cette abondance de ressources a mené à un niveau d'utilisation d'eau très élevé, tant au niveau domestique, commercial, institutionnel qu'industriel. Le transport maritime qui prend place sur le Fleuve Saint-Laurent représente de plus un moteur économique appréciable. Finalement, une grande proportion des ressources impressionnantes d'eau renouvelable est utilisée pour la production d'hydroélectricité. C'est donc à dire qu'une diminution de la disponibilité des ressources en eau sur le territoire québécois pourrait s'avérer extrêmement problématique.

L'objectif général du présent travail est de caractériser la problématique de la disponibilité des ressources en eaux dans les réservoirs naturels du sud du Québec en lien avec les changements climatiques prévus au cours des prochaines décennies. D'abord, un portrait des effets probables des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels au Québec sera effectué. Il sera notamment question des modifications prévues des systèmes de précipitation, du système des eaux de surface et souterraines, du cycle d'évapotranspiration ainsi que du niveau des mers et des océans.

Par la suite, le chapitre 2 permettra de caractériser les principaux problèmes engendrés par les effets des changements climatiques. La description de quatre problématiques spécifiques découlant des impacts décrits précédemment sera mise de l'avant. L'accentuation des activités de dragage, la modification des prises d'eau municipales, le changement du niveau des différents barrages de la région ainsi que la réduction des milieux humides seront abordés.

Le dernier chapitre décrira quant à lui les mesures d'adaptation disponibles afin de palier aux problèmes engendrés. Il exposera donc une description de huit mesures d'adaptation en lien avec les quatre problématiques décrites au chapitre précédent, soit l'augmentation des activités de dragage, l'implantation de mesures d'éducation, de formation et de sensibilisation, la mise sur pied d'une réglementation municipale sur les usage de l'eau, l'amélioration du système de distribution d'eau, l'augmentation de la capacité d'infiltration en milieu urbain, l'instauration d'un système de redevance sur l'eau, la réduction de la consommation électrique afin de compenser les réductions de capacité de production ainsi que la construction de nouveaux barrages et canaux de drainage.

1. EFFETS ATTENDUS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉSERVES D'EAU DU QUÉBEC

Tel que mentionné précédemment, les changements climatiques prévus au cours des prochaines décennies sont à même d'affecter grandement certaines composantes du système hydrique actuel dans plusieurs régions du globe. L'équilibre actuel de la quantité d'eau disponible dans les réservoirs naturels au Québec pourrait d'ailleurs s'en trouver modifié. Ce premier chapitre expliquera donc en profondeur les divers impacts attendus des changements climatiques sur les réserves d'eau à l'échelle du Québec.

Il sera notamment question des modifications prévues des systèmes de précipitation, du système des eaux de surface et souterraines, du cycle d'évapotranspiration ainsi que du niveau des mers et des océans. Les impacts possibles de ces variations sur la quantité d'eau contenue dans les réservoirs naturels au Québec seront par la suite discutés afin de tenter de discerner avec plus de précision les changements de disponibilité des ressources en eau pouvant survenir dans les prochaines années.

1.1 Changements dans les précipitations

Il est maintenant reconnu par la communauté scientifique que certains changements se produiront dans les modèles de précipitation actuels. En effet, certaines variables du système de précipitation présentement en place subiront de nombreuses modifications dans plusieurs régions du globe, notamment au Québec. Bien que l'ampleur de ces changements prévus ne fasse toujours pas l'objet d'un consensus, il va de soit que ces derniers engendreront certains effets sur la disponibilité des ressources d'eau. Cette section introduira donc brièvement les diverses modifications auxquelles il est possible de s'attendre résultant des changements climatiques à survenir.

Il y sera notamment discuté les changements attendus des quantités de précipitation, des formes sous lesquelles celles-ci se présentent ainsi que de la fréquence des événements extrêmes. Les modifications des variables précédemment mentionnées seront par la suite analysées afin d'évaluer les effets pouvant être engendrés par les changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels au Québec.

1.1.1 Quantités de précipitation

Les changements climatiques présentement observés ainsi que ceux prévus pour les prochaines décennies sont à même d'engendrer plusieurs modifications dans l'actuelle distribution spatiale et temporelle des précipitations globales. En effet, il est possible d'affirmer que le cycle hydrologique d'une région est étroitement lié aux modifications du régime de précipitation (Bates et al, 2008). C'est donc à dire qu'en modifiant certaines composantes du cycle hydrologique (par exemple l'évapotranspiration), l'augmentation de la température moyenne sur terre peut résulter en de nombreux impacts non négligeables sur les quantités de précipitation observées (Environnement Canada, 2007).

Toutefois, les différentes composantes du cycle hydrologique étant sujettes à de multiples variations naturelles au cours d'une même année ou d'une décennie, les tendances à long terme des modifications spatiales et temporelles des régimes de précipitation sont parfois masquées et il peut s'avérer ardu de les déchiffrer (Bates et al, 2008).

Les tendances à long terme de la modification des précipitations ainsi que l'ampleur de ce phénomène restent très incertaines dû aux nombreuses variabilités régionales. Il peut aussi être affirmé que la couverture spatiale et temporelle limitée de l'observation météorologique complique l'étude ainsi que la prévision des tendances des régimes de précipitation (Bates et al, 2008).

Il n'en reste pas moins que le Groupe intergouvernemental sur l'Étude du Climat (GIEC) a affirmé dans son rapport « Le changement climatique et l'eau » que, bien que ces dernières exhibent un niveau d'incertitude et de variabilité élevé, les précipitations annuelles semblent avoir augmenté en Amérique du Nord depuis les années 1900. En effet, tel qu'il est possible de noter à partir de la figure 1.0 présentée ci-dessous, le territoire du sud du Québec est caractérisé par une faible augmentation des précipitations annuelles oscillant entre 0 et 5% (Bates et al, 2008). Cette augmentation, bien que paraissant minime, peut toutefois avoir certaines répercussions sur les ressources d'eau contenues dans les réservoirs naturels.

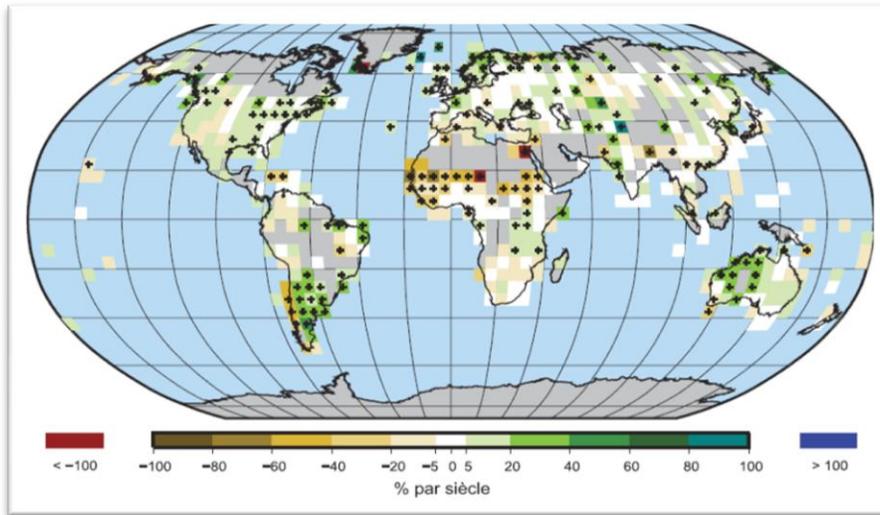


Figure 1. 1 Tendence des précipitations annuelles de 1901 à 2005 (tiré de Bates et al, 2008, p. 21)

Il va sans dire que l'estimation des tendances futures des quantités de précipitation reste une science inexacte et sujette à de nombreuses incertitudes. Le GIEC a tout de même estimé que les tendances des précipitations annuelles seraient à la hausse sur l'ensemble du territoire de l'Amérique du Nord, à l'exception du sud-ouest des États-Unis. Plus précisément, il a été déterminé que le Canada connaîtrait une hausse des précipitations annuelles d'environ 20% (Parry et al, 2007).

Toutefois, les différentes projections semblent démontrer que le régime de précipitations subirait des hausses plus importantes lors des mois d'hiver. Cette affirmation est cohérente avec les prévisions actuelles puisqu'il est estimé que le réchauffement climatique sera plus marqué au Canada lors de la saison hivernale. Il est donc effectivement logique que l'augmentation des précipitations soit plus grande au cours de cette période. Une augmentation de 30% de la quantité de précipitation serait à prévoir au cours des prochaines décennies (Parry et al, 2007).

Le Quatrième Rapport d'Évaluation produit par le GIEC affirme de plus que la variabilité temporelle des précipitations risque d'être modifiée. Ce changement dans le régime de précipitation peut également se révéler important en ce qui a trait aux ressources hydriques au Québec. Toutefois, peu d'informations sont disponibles sur cette variabilité accrue, ce qui rend complexe la formulation de projections précises.

L'organisme québécois sans but lucratif Ouranos a produit en 2008 un rapport pour l'institut national de santé publique du Québec présentant une modélisation du régime de précipitation et d'écoulements des eaux pour le territoire québécois. Cette modélisation avait pour objectif la détermination de l'évolution future des conditions hydrologiques des eaux de surface et a été réalisée suite à la simulation de 23 modèles climatiques (Ouranos, 2008).

Afin d'être en mesure de simuler l'évolution du climat, Ouranos a utilisé des scénarios d'émission de gaz à effet de serre. Quatre principales familles de scénarios ont été élaborées et perfectionnées par le GIEC. Les divers scénarios d'émissions s'appuient sur l'évolution future de nombreux paramètres tels l'économie, l'environnement, la démographie, le niveau technologique dans différents secteurs de même que certains facteurs sociaux pour estimer les émissions annuelles futures de CO₂. De ces quatre familles, trois scénarios spécifiques ont été sélectionnés par Ouranos, soit les scénarios A2, A1B et B1 (Ouranos, 2008). La figure 1.2 présentée ci-dessous montre une représentation graphique des émissions de CO₂ en fonction des différents scénarios.

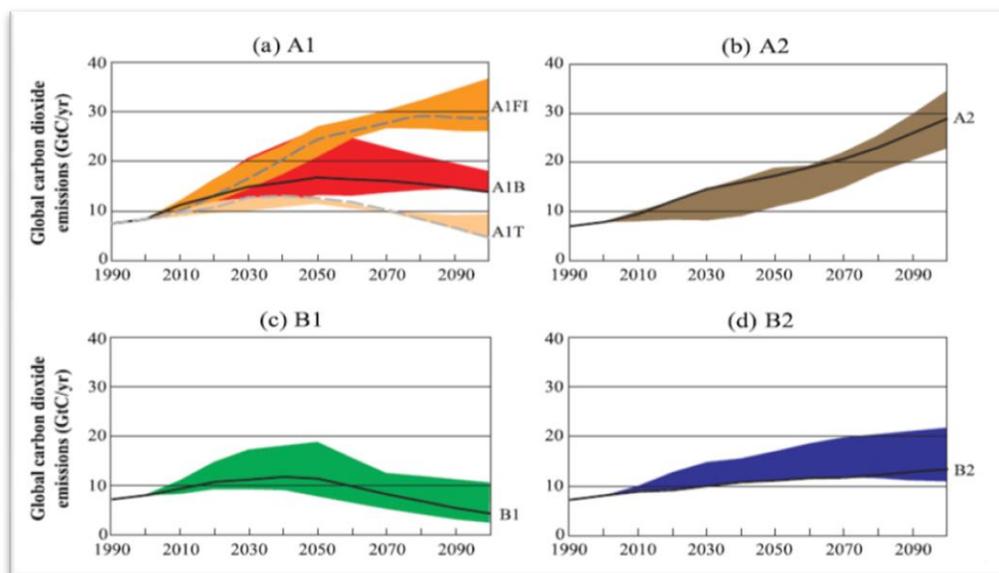


Figure 1. 2 Émissions de CO₂ (gigatonnes par années) pour les 4 familles de scénarios (tiré d' Ouranos, 2008, p. 34)

Selon le rapport d'Ouranos, pour la période 1900-2100, la tendance la plus probable pour les mois de janvier, février, mars, avril, novembre et décembre représente une augmentation du

régime de précipitations. Les autres mois ne semblent toutefois pas démontrer de tendance en ce qui concerne la quantité de précipitation observée (Ouranos, 2008).

Plus précisément, d'ici 2100, il a été estimé que le sud du Québec présenterait une augmentation des précipitations de l'ordre de 10 à 20% pour les mois de janvier à avril et de 10 à 15% pour les mois de novembre et décembre. Il va bien sûr de soit que l'augmentation du régime de précipitation est directement proportionnel à la quantité de gaz à effet de serre émise annuellement et varie donc en fonction des différents scénarios. Il a été estimé que la quantité de précipitations serait stationnaire d'ici 2100 pour les mois de mai à octobre (Ouranos, 2008).

Finalement, il est possible de conclure que, selon Ouranos et le GIEC (deux organismes hautement crédibles), les régimes québécois de précipitations subiront une augmentation d'ici les prochaines décennies. Cette augmentation peut engendrer, dans une certaine mesure, une accumulation de l'eau disponible dans les réservoirs naturels québécois. Toutefois, tel qu'il le sera démontré dans les prochaines sections, cet accroissement des précipitations peut se trouver contrebalancé par différents facteurs également affectés par les changements climatiques projetés.

1.1.2 Formes de précipitation

La cryosphère, système comprenant la neige, la glace et le pergélisol, emmagasine environ 75% de l'eau douce sur les terres émergées. La cryosphère est étroitement liée aux composantes climatiques, notamment aux régimes de précipitations et à la température. Une modification de ces composantes peut donc entraîner un changement du stockage de l'eau sous forme solide, ce qui à son tour peut résulter en une modification du cycle hydrologique d'une région (Bates et al, 2008).

Au Québec, les précipitations hivernales tombent principalement sous forme de pluie ou de neige. La forme sous laquelle seront retrouvées les précipitations durant la saison hivernale dépend principalement de la température extérieure. En effet, il va de soit qu'une plus faible proportion (%) des précipitations tomberont sous forme de neige lors d'un hiver caractérisé par des températures plus douces et un nombre plus restreint de jours en dessous du point de

congélation (Parry et al, 2007). De plus, tel que mentionné plus haut, il a été estimé par le GIEC que le réchauffement climatique prévu sera exacerbé lors de la saison hivernale (Parry et al, 2007). C'est donc à dire que les plus hautes températures prévues engendreront un plus grand nombre de jours durant lesquels les précipitations se présenteront sous forme de pluie (Bates et al, 2008).

Toutefois, il reste complexe de déterminer de quelle façon la quantité annuelle de neige (mm/an) sera modifiée. En effet, tel qu'il l'a été mentionné dans la section précédente, la quantité de précipitation pour le sud du Québec devrait augmenter au cours du prochain siècle, particulièrement durant les mois d'hiver (Parry et al, 2007) (Ouranos, 2008). Cette augmentation prévue du régime global de précipitation pourrait pousser certains à croire qu'un accroissement de la quantité de neige tombée annuellement (mm/an) surviendra dans les prochaines décennies. Or, de façon générale, il a été estimé par le GIEC que les chutes de neige seront moins abondantes et que la quantité de neige tombée annuellement ira en diminuant au cours du prochain siècle (Bates et al, 2008) (Parry et al, 2007).

Il est important de noter qu'au Québec, le cycle hydrologique hivernal et printanier est principalement contrôlé par le stockage sous forme de neige et la glace ainsi que par la fonte du couvert neigeux. C'est donc à dire que la quantité de neige tombant sous forme solide représente une composante importante affectant de façon directe la disponibilité des ressources en eau dans les réservoirs naturels (Environnement Canada, 2010).

En effet, certains bassins versants situés au sud du Québec sont alimentés par la fonte saisonnière des neiges. Les débits normaux des cours d'eau présentement observés au Québec dépendent, dans une certaine mesure, de la récupération du ruissellement provenant de la fonte des neiges. En effet, l'accumulation de neige influence de façon considérable la distribution du débit pendant toute l'année (Environnement Canada, 2010). Il va donc de soit d'affirmer que la diminution prévue des quantités de neige sur le territoire québécois engendrera des crues printanières réduites, ce qui, à son tour, perturbera l'équilibre actuel du cycle hydrologique. Une diminution des quantités annuelles de neige diminuera inévitablement la quantité d'eau stockée sous forme de neige et rendra certaines régions plus vulnérables aux événements périodiques de sécheresses.

Finalement, il sera possible de noter un certain décalage dans l’approvisionnement en eau des réservoirs naturels. En effet, la présence d’une plus grande proportion de précipitation sous forme de pluie durant l’hiver résultera en un approvisionnement plus élevé que la normale durant la saison hivernale ainsi qu’un approvisionnement plus faible durant le printemps et au début de l’été (Bates et al, 2008).

1.1.3 Fréquence des évènements extrêmes

Tel que mentionné dans la section 1.1.1, certaines composantes du cycle hydrologique d’une région donnée sont étroitement liées aux modifications du régime de précipitation. Or, les changements climatiques prévus n’affecteront pas uniquement le régime de précipitations annuelles, mais également l’intensité ainsi que la fréquence des évènements météorologiques extrêmes (Environnement Canada, 2007).

Malheureusement, les tendances concernant la fréquence de ces évènements extrêmes au cours des dernières décennies demeurent incertaines et difficilement identifiables. En effet, tel que l’affirme le GIEC dans son rapport « Le changement climatique et l’eau », « seules quelques régions possèdent des séries de données d’observation sur une durée de temps et d’une qualité suffisante pour permettre d’évaluer les tendances des phénomènes extrêmes de manière fiable » (Bates et al, 2008).

Toutefois, tel qu’il est possible de noter à partir de la figure 1.3 présentée ci-dessous, la contribution annuelle des jours de fortes pluies à l’échelle mondiale a légèrement augmenté au cours des deux dernières décennies (Bates et al, 2008).

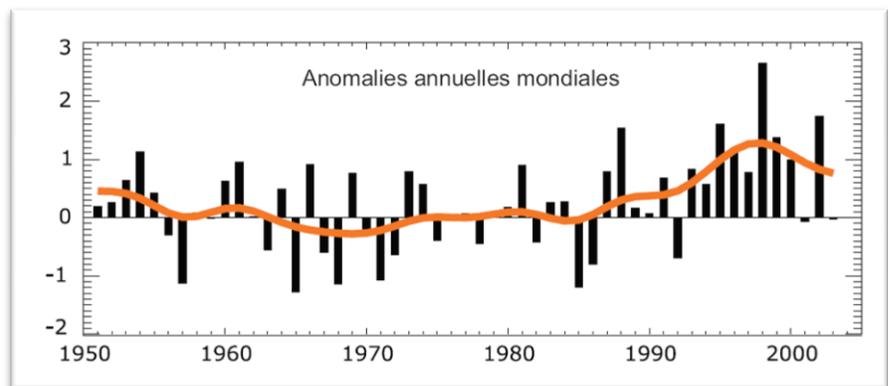


Figure 1. 3 Changement de la contribution des jours de forte pluie (en % par rapport à la moyenne de la période 1961-1990) (tiré de Bates et al, 2008, p.22)

De plus, le GIEC affirme que, pour la presque totalité du territoire de l'Amérique du Nord, une hausse statistiquement significative de la fréquence des épisodes de fortes précipitations a pu être observée. Il est d'ailleurs possible de remarquer à partir des figures 1.4 et 1.5 présentées ci-dessous que la région du sud du Québec exhibe une hausse de la fréquence des épisodes de fortes précipitations au cours des dernières décennies. Il est donc possible d'en conclure que, bien que sujet à l'incertitude, il semble exister une faible tendance à la hausse des épisodes de précipitations extrêmes sur le territoire québécois (Bates et al, 2008).

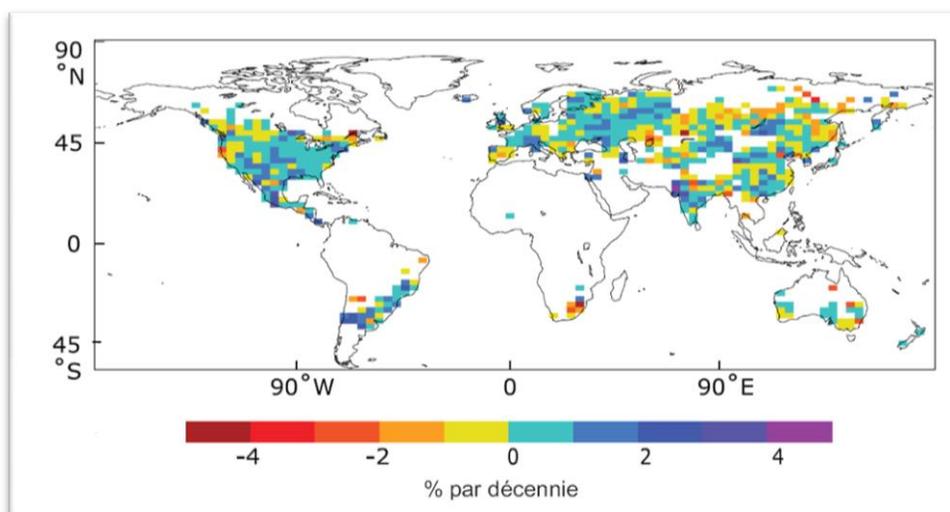


Figure 1. 4 Tendances observées (en % par décennie) de la contribution des jours de forte pluie (à hauteur et au-dessus du 95e percentile) aux précipitations annuelles totales au cours de la période 1951-2003 (tiré de Bates et al, 2008, p.22)

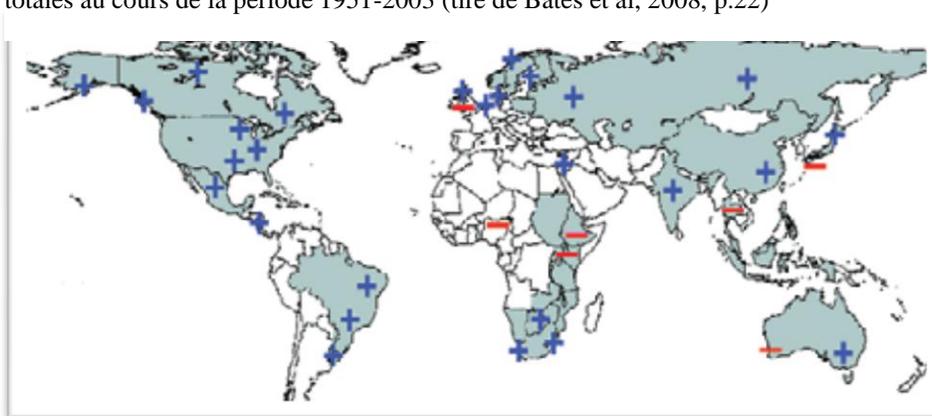


Figure 1. 5 Régions ayant démontré une modification des fortes et très fortes précipitations par rapport aux variations des précipitations annuelles et saisonnières (tiré de Bates et al, 2008, p.22)

Il va bien sûr sans dire que la prévision des tendances futures concernant la fréquence des événements extrêmes demeure complexe et qu'il est pour l'instant impossible de quantifier

précisément la modification des épisodes météorologiques anormaux. Par contre, il est estimé par le GIEC que, de façon générale, les modifications attendues de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes seront plus importantes que ne le seront celles du régime de précipitations moyennes annuelles (Parry et al, 2007).

En effet, il est très probable qu'une augmentation généralisée du nombre d'épisodes de fortes précipitations sera observée au cours du prochain siècle. De plus, le GIEC prévoit un accroissement de l'intensité de ces épisodes extrêmes. Cette hausse de la fréquence ainsi que de l'intensité des événements météorologiques anormaux entraînera une variabilité temporelle plus grande des précipitations. Cette variabilité engendrera à son tour une occurrence accrue des inondations, mais également une vulnérabilité plus grande aux épisodes de sécheresse. Il est effectivement prévu que les précipitations seront concentrées en épisodes plus intenses et que ces derniers seront espacés les uns des autres par de plus longues périodes « sèches » caractérisées par de faibles précipitations (Bates et al, 2008) (Parry et al, 2007). Il est donc possible de conclure que la disponibilité des ressources en eau sur le territoire du sud du Québec risque d'être grandement affectée par l'intensification des épisodes météorologiques extrêmes. Tel qu'il le sera approfondi dans la section 1.2, une modification de l'intensité ainsi que de la distribution temporelle des précipitations peut engendrer une perturbation importante du cycle hydrologique d'une région. En effet, une diminution de la capacité d'infiltration des sols, une augmentation du ruissellement (augmentation de l'évapotranspiration) ainsi qu'un accroissement de la fréquence des épisodes de sécheresse peuvent contribuer à une diminution de la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels.

1.2 Changements du système des eaux de surface et souterraines

Les changements climatiques qui surviendront au cours du prochain siècle entraîneront certaines modifications des caractéristiques spécifiques du système des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces changements engendreront certains effets sur la disponibilité des ressources d'eau sur le territoire québécois.

La présente section expliquera en profondeur la diminution attendue de l'accumulation d'eau sous forme de glace et de neige, la diminution prévue de l'infiltration de l'eau dans les sols

ainsi que l'augmentation attendue des quantités d'eau de ruissellement. Ces modifications engendrées par les changements climatiques futurs seront par la suite analysées afin d'évaluer les divers impacts possibles sur la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels au Québec.

1.2.1 Diminution de l'accumulation d'eau sous forme de glace et de neige

Le cycle hydrologique d'une région comporte de nombreux paramètres influençant de manière complexe le système des eaux de surface et des eaux souterraines. Afin de faciliter la compréhension des prochaines sections, un bref résumé des principales composantes du cycle de l'eau sera exposé (voir figure 1.6 présentée ci-dessous).

Premièrement, les précipitations représentent la source d'apport en eau. Dépendant principalement des conditions climatiques, ces dernières se présentent sous forme de pluie ou de neige. Deuxièmement, l'eau transpirée par la végétation ainsi que celle évaporée constituent le phénomène d'évapotranspiration. L'eau provenant des épisodes de précipitation ne s'infiltrant pas dans les sols ou n'étant pas emmagasinée sous forme de neige et de glace s'écoule en surface et forme le processus de ruissellement. L'infiltration de l'eau dans les sols peut être divisée en deux différentes parties, soit le ruissellement hypodermique (l'eau s'infiltré dans le sol, circule horizontalement et ressort à la surface) ainsi que la recharge (l'eau s'infiltré dans le sol et rejoint l'aquifère) (Côté et al, 2006).

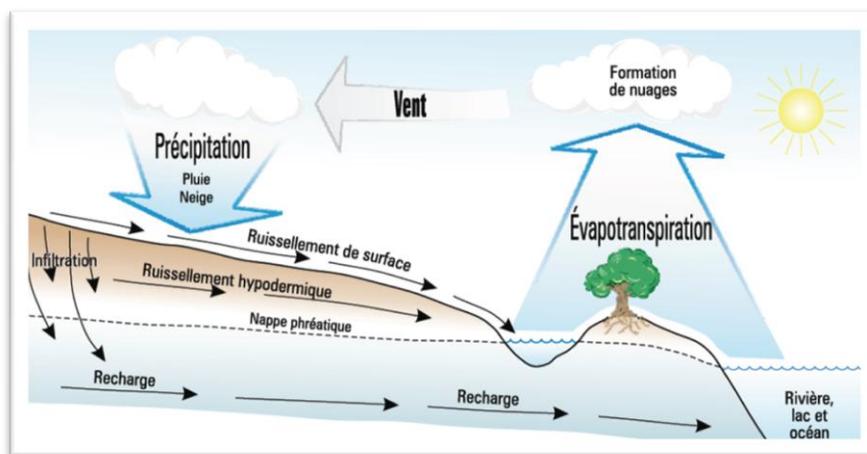


Figure 1. 6 Le cycle de l'eau (tiré de Côté et al, 2006, p.1)

La neige accumulée au sol constitue un élément affectant de façon importante l'hydrologie d'une région caractérisée par une couverture neigeuse saisonnière (Robinson et al, 2000). En effet, le manteau neigeux emmagasine l'eau tombée sous forme de précipitation solide durant l'hiver et permet, lors de la fonte printanière, de reconstituer les réserves d'eau des sols, des aquifères ainsi que des cours d'eau. Au Québec, les précipitations tombées sous forme de neige sont emmagasinées sous forme solide pendant plusieurs mois plutôt que de s'infiltrer directement dans les sols ou d'alimenter immédiatement les cours d'eau. Au printemps, la neige fond relativement rapidement, ce qui fait accroître le débit des cours d'eau et augmenter le niveau de la nappe phréatique (Environnement Canada, 2010).

L'accumulation hivernale des précipitations sous forme de neige influence effectivement la distribution du débit des cours d'eau pendant toute l'année. Il est possible de voir, à partir de l'illustration 1.7 présentée ci-dessous, que l'hydrogramme typique d'un cours d'eau au Québec est caractérisé par un débit de pointe au cours des mois suivants la fonte printanière des neiges. De façon générale, le débit diminue par la suite durant les mois d'été plus secs (Environnement Canada, 2010).

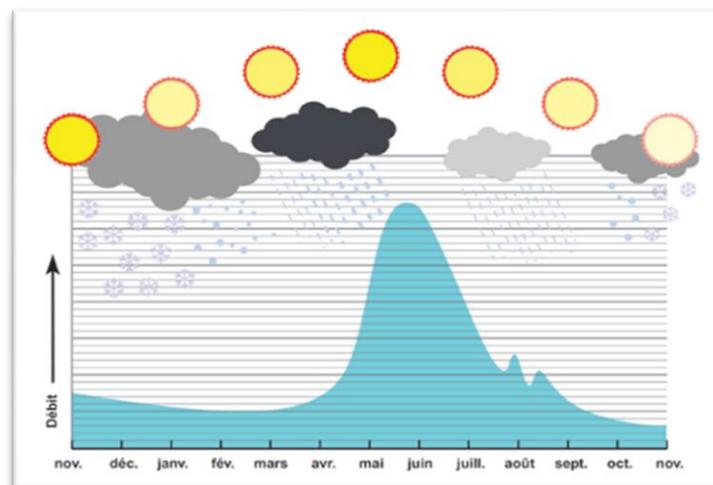


Figure 1. 7 Hydrogramme caractéristique d'un cours d'eau (Tiré d'Environnement Canada, 2010a)

Tel que mentionné précédemment, l'accumulation hivernale de la neige contribue grandement à la disponibilité des ressources d'eau souterraine. En effet, lors de la fonte des neiges, l'eau s'infiltré de façon importante dans les sols et fait augmenter le niveau de la nappe phréatique.

Les réserves souterraines sont alors rechargées et la disponibilité des ressources d'eau souterraine s'en trouve accrue (Robinson et al, 2000).

Puisque la fonte de la neige accumulée est fortement corrélée à la température extérieure ainsi qu'avec le régime de précipitation hivernale (Robinson et al, 2000), il peut sembler évident que les changements climatiques représentent un enjeu d'ampleur dans le domaine de la disponibilité de l'eau au Québec. Depuis les dernières décennies, la couverture neigeuse a diminué de façon plus ou moins marquée dans la grande majorité des régions. Il a de plus été possible de noter une tendance à la baisse des jours de neige au sol (Bates et al, 2008). Le réchauffement climatique a déjà modifié l'ampleur ainsi que la période d'occurrence de la fonte printanière dans les régions caractérisées par une saison hivernale d'accumulation de neige au sol (Parry et al, 2007).

Il est de plus estimé par le GIEC que le prochain siècle sera marqué par des diminutions massives du manteau neigeux dans la grande majorité des régions du globe. Plus précisément, il a été calculé par certains modèles que l'hémisphère Nord serait touché par des réductions de la moyenne annuelle de la couverture neigeuse oscillant entre 9 et 17% d'ici 2100. De manière générale, il a été estimé que la période d'accumulation de neige au sol commencerait plus tard et finirait plus tôt. Ceci étant, il est possible de conclure que les épisodes de fonte des neiges seraient devancés de plusieurs semaines au printemps et serait de magnitude beaucoup moins importante.

Le régime hydrique de la région risque d'être fortement perturbé, ce qui entraînerait une incertitude non négligeable face à la disponibilité future des ressources en eau dans les réservoirs naturels du sud du Québec. En effet, le fait que la fonte printanière soit située plus tôt dans l'année et qu'elle représente un apport d'eau moins important pourrait engendrer une certaine baisse de la disponibilité des ressources suite aux mois secs de la saison estivale.

1.2.2 Diminution de l'infiltration d'eau dans les sols (nappes souterraines)

Dans le contexte des changements climatiques, il est estimé que les modifications de la disponibilité des ressources d'eau souterraine seront affectées en fonction de trois principaux facteurs soit le prélèvement, l'évapotranspiration (voir section 1.3) ainsi que l'alimentation. La présente section mettra l'emphase sur ce dernier facteur et tentera de caractériser les changements à prévoir concernant la quantité d'eau s'infiltrant dans les sols.

Tout d'abord, la quantité d'eau s'infiltrant à travers les particules de sol est déterminée par une série de caractéristiques qui interagissent afin de former un profil d'infiltration propre à chaque région. La vitesse maximum à laquelle l'eau de surface est absorbée par le sol représente la capacité d'infiltration de ce dernier. Cette vitesse maximale d'infiltration joue un rôle majeur dans le contrôle du cycle hydrologique d'un bassin versant. En effet, la capacité d'infiltration détermine la proportion des eaux de précipitation qui s'infiltreront dans les sols pour rejoindre la nappe phréatique ainsi que celles qui ruisselleront en surface afin d'aller rejoindre les cours d'eau. La capacité d'infiltration peut être influencée par plusieurs facteurs, mais est principalement reliée à la taille et l'homogénéité des particules qui composent le sol. En effet, de plus grands interstices sont présents dans les sols constitués de particules homogènes de grande taille, ce qui engendre une capacité d'infiltration plus grande. Tel qu'il peut être observé à partir de la figure 1.9 présentée ci-dessous, la dimension des interstices entre les particules de sol varie en fonction des différents types de sol (Robinson et al, 2000).

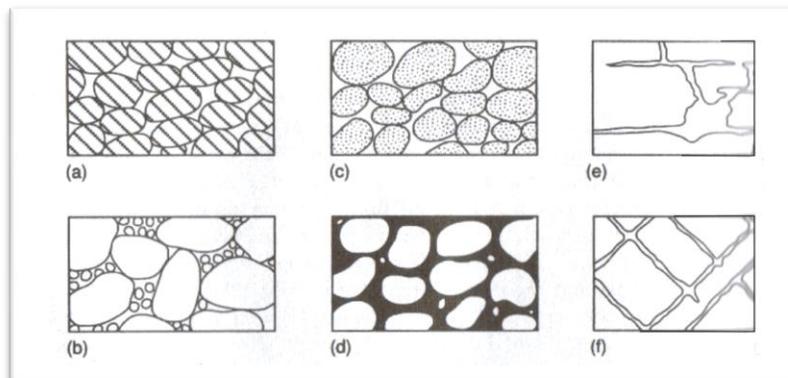


Figure 1. 8 Types d'interstices entre un sol (a) homogène et imperméable, (b) hétérogène et imperméable, (c) perméable, (d) partiellement cimenté, (e) de roche carbonée fracturée et (f) de roche cristalline fracturée (tiré de Robinson et al, 2000, p. 146)

La porosité des sols, déterminée par la taille et la quantité d'interstices présents, contrôle les caractéristiques d'absorption et de rétention d'eau des différents types de sols (voir tableau 1.1 et figure 1.9 présentés ci-dessous) (Robinson et al, 2000).

Tableau 1. 1 Porosité typique de différents types de sols (tiré de Robinson et al, 2000, p. 147)

Soil type	Range of porosity (%)
Soils	30-65
Clay	35-60
Silt	35-60
Sand	30-50
Gravel	25-40
Siltstone	20-40
Limestone	0-50
Sandstone	5-30
Basalt	5-35
Crystalline rocks	0-10
Fractured crystalline rocks	0-10
Granite	0-10
Weathered granite	35-55

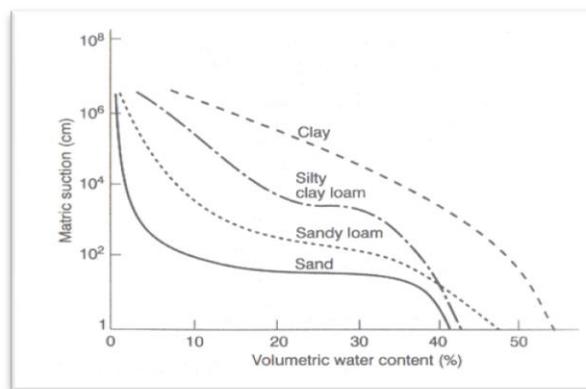


Figure 1. 9 Caractéristiques d'absorption et de rétention d'eau selon différents types de sols (tiré de Robinson et al, 2000, p. 190)

Il va donc sans dire que la quantité d'eau s'infiltrant au travers des particules de sol sera influencée de façon drastique par le type de sol présent. Toutefois, la capacité d'infiltration ne constitue pas l'unique facteur influençant l'infiltration de l'eau. En effet, la relation entre la capacité d'infiltration et l'intensité des épisodes de précipitation contrôle la quantité d'eau qui ruissellera ainsi que celle qui s'infiltrera dans les sols (Robinson et al, 2000).

Si, lors d'un épisode de précipitation, la quantité d'eau fournie ne dépasse pas la capacité d'infiltration du sol, la totalité des précipitations atteignant la surface s'infiltrera entre les particules de sol, engendrant une corrélation positive entre le taux d'infiltration et la durée de l'événement météorologique. Par contre, lors d'un épisode plus intense, il arrive que la quantité d'eau dépasse la capacité d'infiltration du sol, auquel cas une certaine proportion des précipitations ne s'infiltrera pas et alimentera plutôt le ruissellement de surface (Robinson et al, 2000).

Lors de ces événements météorologiques intenses, les sols seront plus rapidement saturés, ce qui entraîne une corrélation négative entre le taux d'infiltration et la durée des précipitations. Il est d'ailleurs possible d'observer cette tendance négative à partir de la figure 1.10 présentée ci-dessous.

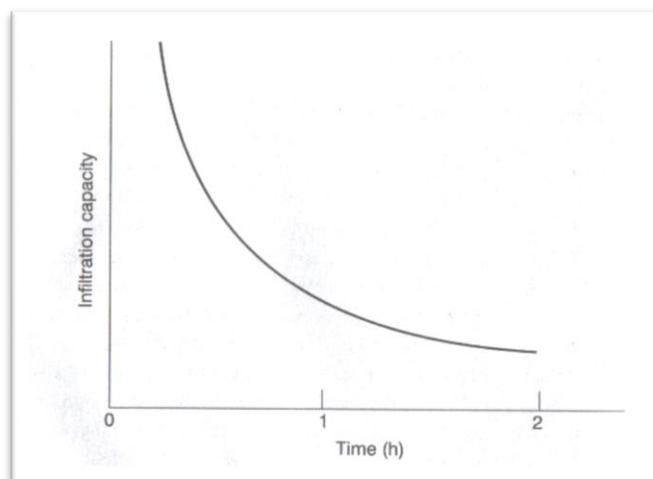


Figure 1. 10 Diminution de la capacité d'infiltration durant un épisode de précipitation (tiré de Robinson et al, 2000, p. 208)

Lors d'épisode de pluie surpassant la capacité d'infiltration, les sols deviendront graduellement saturés en eau, ce qui, au fil du temps, réduit la quantité de précipitation pouvant s'infiltrer et explique la relation présentée en figure 1.10. De fait, moins un épisode météorologique est intense, plus grande sera la proportion des précipitations qui sera absorbée par les sols. Il est donc possible d'affirmer que, pour une même quantité de précipitation tombant sur une même surface, l'infiltration sera plus grande si la quantité d'eau est répartie sur une plus longue période de temps (résultant en un épisode de précipitation moins intense) (Robinson et al, 2000).

Or, tel qu'il été discuté dans la section 1.1.3, il est prévu que les précipitations seront concentrées en épisodes plus intenses et que ces derniers seront espacés les uns des autres par de plus longues périodes « sèches » caractérisées par de faibles précipitations (Bates et al, 2008). Il peut donc en être déduit que la proportion des précipitations absorbées par les sols sera amenée à diminuer suite à l'intensification projetée des épisodes météorologiques et que le cycle hydrologique de la région du sud du Québec risque d'être affecté.

Il est par contre complexe de déterminer la façon dont les ressources d'eau souterraine seront modifiées. Il est d'une part possible que l'infiltration totale d'eau dans les sols augmente suite à l'augmentation prévue des précipitations (voir section 1.1.1). Ceci entraînerait une augmentation de la disponibilité de l'eau souterraine. Par contre, si les précipitations deviennent concentrées sur une trop courte période de temps, il pourrait d'autre part être possible de noter une diminution de l'infiltration totale de l'eau dans les sols et donc une réduction de la disponibilité des ressources d'eau souterraine.

1.2.3 Modification du ruissellement

Tel qu'il a été mentionné précédemment, les précipitations annuelles seront sujettes à augmenter au cours du prochain siècle. Or il a été vu dans la section 1.2.2 que, dû à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques, la proportion de précipitation qui sera absorbée par les sols risque de diminuer. Or l'eau de pluie qui ne s'infiltré pas entre les particules de sols ou qui ne recharge pas directement les réservoirs d'eau va ruisseler en surface avant d'atteindre les cours d'eau (Robinson et al, 2000). Il est donc possible de conclure que, considérant l'augmentation prévue des précipitations annuelles de même que la possible diminution de la capacité d'infiltration des sols, le phénomène de ruissellement risque d'être accru.

En effet, il a été estimé par Ouranos que les écoulements mensuels augmenteront d'ici 2100 durant les mois de janvier, février, mars et décembre pour la région du sud du Québec. Les divers scénarios étudiés semblent démontrer toutefois que les mois d'avril, de juin, de juillet et d'octobre ne présenteraient aucune tendance significative pour les prochaines décennies alors que les mois de mai, août et septembre connaîtraient une baisse du phénomène de ruissellement. Les diminutions estimées du ruissellement oscillent entre 13 et 27% d'ici 2100.

Le mois d'août sera vraisemblablement le mois le plus touché puisqu'il a été estimé que les diminutions du ruissellement varieraient entre 23 et 27% (Ouranos, 2008).

Ces modifications du ruissellement peuvent engendrer de nombreux impacts sur la disponibilité des ressources d'eau dans les réservoirs naturels en surface. En effet, il est probable que, durant les mois de janvier, février, mars et décembre, la disponibilité de l'eau dans les réservoirs en surface soit accrue dans la région du sud du Québec. Par contre, il est possible qu'une diminution importante du niveau de l'eau dans les cours d'eau puisse être notée au cours du prochain siècle durant les mois de mai, août et septembre.

1.3 Changements du cycle d'évapotranspiration

En hydrologie, l'évapotranspiration consiste à la perte d'une quantité d'eau à partir d'une surface humide. Lors de ce processus, l'eau liquide est convertie en vapeur d'eau et est subséquemment transférée à l'atmosphère. L'évapotranspiration peut survenir à partir du sol, d'une étendue d'eau ou de la végétation. À l'échelle globale, il est possible d'affirmer que les précipitations ainsi que l'évapotranspiration constituent les deux principaux éléments contrôlant le cycle hydrologique. Il est estimé que le processus d'évapotranspiration se déroulant sur les terres immergées retourne à l'atmosphère près du 2/3 de l'eau tombée sous forme de précipitation solide ou liquide (Robinson et al, 2000).

Les principales composantes affectant la quantité d'eau évaporée sont la vitesse des vents, la température, le taux d'humidité ainsi que la quantité d'eau disponible pour l'évapotranspiration (Robinson et al, 2000). En effet, une masse d'air chaud et sec peut retenir une quantité plus importante de vapeur d'eau et permettre un accroissement du phénomène d'évapotranspiration. De plus, il va de soit que, de façon générale, plus la disponibilité de l'eau en surface est grande, plus la quantité d'eau retournée à l'atmosphère sous forme de vapeur sera importante. Le GIEC a d'ailleurs estimé qu'au cours des dernières décennies, l'évapotranspiration a augmenté suite à la hausse des précipitations et à l'accroissement des températures (Bates et al, 2008). Il est toutefois difficile de quantifier cette augmentation puisqu'il est très complexe de mesurer cette composante pourtant primordiale du cycle hydrologique (Robinson et al, 2000).

Il a été estimé qu'au cours du prochain siècle, les quantités d'eau retournées à l'atmosphère seront accrues. En effet, il y a maintenant consensus au sein de la communauté scientifique qu'un réchauffement non négligeable du climat est à prévoir pour les prochaines décennies. De plus, tel qu'il a été mentionné à plusieurs reprises dans les sections précédentes, les précipitations annuelles risquent fort d'augmenter pour la région du Québec. L'intensification prévue des épisodes de précipitation engendrera vraisemblablement une diminution de la capacité d'infiltration des sols, résultant en une plus grande disponibilité de l'eau à la surface. Ces éléments contribueront, selon toute vraisemblance, à augmenter de façon importante la quantité d'eau retournée à l'atmosphère par le processus d'évapotranspiration (Bates et al, 2008).

L'augmentation prévue de l'évapotranspiration peut affecter grandement la disponibilité des ressources en eau, l'humidité des sols, le ruissellement ainsi que le niveau moyen de l'eau dans les réservoirs. En effet, il peut être affirmé que, plus la quantité d'eau retournée à l'atmosphère est grande, plus la disponibilité de l'eau en surface sera réduite et plus importante sera la vulnérabilité d'une région à expérimenter des périodes de sécheresse.

2. PROBLÈMES POTENTIELS POUVANT SURVENIR SUITE AUX EFFETS SPÉCIFIQUES MENTIONNÉS

Tel qu'il a été expliqué au cours du premier chapitre, les modifications des composantes hydrologiques en lien avec les changements climatiques à survenir auront selon toutes vraisemblances de nombreux impacts significatifs sur la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels du sud du Québec. En effet, les changements climatiques prévus au cours du prochain siècle engendreront des modifications importantes de la quantité et de la forme de précipitation, de la variabilité et de l'intensité des événements météorologiques, de l'infiltration de l'eau de pluie dans les sols, du ruissellement ainsi que du cycle d'évapotranspiration.

Ces changements prévus résulteront en une plus grande variabilité des niveaux d'eau dans les réservoirs naturels. Il peut en effet être affirmé que la disponibilité des ressources d'eau sur le territoire québécois aura tendance à être plus grande lors de certaines périodes de l'année mais sera sujette à d'importantes diminutions lors de certains mois. Une plus grande fréquence des phénomènes d'inondations et de sécheresses sera donc à prévoir pour les prochaines décennies.

Ces modifications de la quantité d'eau disponible dans les réservoirs naturels peuvent entraîner de nombreuses problématiques caractéristiques. Le présent chapitre aura pour objectif la caractérisation en profondeur de quatre principales problématiques découlant des effets présentés dans le chapitre premier. Ces quatre principales problématiques ont été sélectionnées pour le présent travail puisqu'elles semblent être celles comportant les impacts les plus importants dans le contexte québécois actuel. Au cours du deuxième chapitre, il sera notamment question de l'accentuation des activités de dragage, de la problématique des prises d'eau municipales, de la problématique des différents barrages de la région ainsi que de la réduction des milieux humides.

Tout d'abord, une description détaillée des différentes problématiques sélectionnées sera entreprise. Par la suite, l'ampleur de ces problématiques sera estimée. Finalement, les impacts potentiels pouvant résulter de l'accentuation des activités de dragage, d'une

modification des prises d'eau municipales, d'un changement du niveau des différents barrages de la région ainsi que de la réduction des milieux humides seront décrits en profondeur.

2.1 Accentuation des activités de dragage

Tel qu'exprimé précédemment, les modifications des composantes du cycle hydrologique qui surviendront suite aux changements climatiques peuvent engendrer de nombreuses problématiques. Un des problèmes majeurs en lien avec ces changements de disponibilité de l'eau consiste en l'accentuation des activités de dragage. En effet, la nécessité d'augmenter le dragage des cours d'eau constituera fort probablement un enjeu de taille sur le territoire du sud du Québec au cours des prochaines années. Bien que la nécessité d'accentuer les activités de dragage se fera vraisemblablement sentir pour de nombreux cours d'eau, le fleuve Saint-Laurent demeure évidemment celui qui sera le plus touché par cette problématique.

Situé au cœur du Québec, le fleuve Saint-Laurent est d'une importance économique primordiale. Ayant premièrement servi de porte d'entrée naturelle au début de la colonisation, le Saint-Laurent a par la suite grandement contribué au développement économique, social et culturel de l'Amérique du Nord. Le fleuve constitue aujourd'hui le principal foyer de peuplement du territoire québécois puisque plus de 80% de la population du Québec réside actuellement sur les rives du Saint-Laurent et de ses tributaires. Le fleuve est une composante hydrologique majeure puisque, avec son débit moyen de 10 100 m³/s (le plus important au Canada), il capte les eaux de 7 des 13 différentes régions hydrographiques québécoises, soit près du tiers de la province (MDDEP, 2002a; Marsh, 2011). Le Saint-Laurent est actuellement la plus importante voie navigable commerciale au Canada et relie une grande partie du Canada et des États-Unis au reste du globe



Figure 2. 1 Port de Montréal (tiré de Port de Montréal, 2011)

(Marsh, 2011). Près de 105 millions de tonnes de marchandises ont été transbordées dans les ports québécois situés le long du fleuve au cours de l'année 2005 (MTQ, 2009).

La région des Grands Lacs, située en amont du fleuve, représente une des plus grandes concentrations d'industries au monde. Cette industrialisation, l'intensification des activités agricoles de même que la grande urbanisation des rives du fleuve et de ses tributaires ont engendré l'émission de nombreux contaminants qui ont été déversés puis accumulés dans le réseau hydrographique du Saint-Laurent (Radio-Canada, 1989).

Il a été mentionné au cours du premier chapitre que les changements climatiques engendreront des modifications importantes des composantes du cycle hydrologique sur le territoire du sud du Québec. Ces modifications augmenteront, selon toute vraisemblance, la variabilité des niveaux d'eau dans les réservoirs naturels au cours des prochaines décennies. Or, cette variabilité du cycle hydrologique peut engendrer de nombreux impacts sur les cours d'eau québécois et les écosystèmes environnants.

Par exemple, il est estimé que les impacts des changements climatiques sur le tronçon fluvial du Saint-Laurent se manifesteront de plusieurs façons, notamment par la diminution des débits de la section du fleuve s'étendant de Cornwall jusqu'au lac Saint-Pierre. Tel que mentionné précédemment, le Saint-Laurent représente une importante voie navigable. Une baisse des niveaux de l'eau du tronçon fluvial peut donc s'avérer très problématique pour la circulation navale. Il est donc possible de conclure que la modification du régime hydrologique liée aux changements climatiques réduirait la capacité de transport naval, ce qui engendrerait l'accroissement des activités de dragage afin de maintenir la navigabilité (Environnement Canada, 2009).



Figure 2. 2 Activités de dragage (tiré de Groupe Océan, 2011)

Le dragage constitue à retirer, de façon mécanique, une partie des sédiments des cours d'eau afin d'assurer le passage sécuritaire des navires ou lors de la construction d'infrastructures maritimes. Les sédiments excavés lors de ces activités peuvent être déposés sur les fonds marins situés à l'extérieur de la zone de dragage ou utilisés comme matériau de remblais (CPEED, 2008).

Bien qu'il soit impossible à l'heure actuelle de prédire l'ampleur des travaux de dragage nécessaires au maintien d'une navigabilité sécuritaire au cours des prochaines années, il est toutefois possible d'affirmer que ce type d'activités peuvent engendrer de nombreux impacts néfastes sur l'environnement et les écosystèmes environnants (Ressources Naturelles Canada, 2009).

Tout d'abord, tel que mentionné plus haut, le Saint-Laurent a été affecté par plusieurs décennies de pollution suite aux diverses activités côtières. Or, certains contaminants émis ont sédimenté et ont donc été emmagasinés dans les sédiments recouvrant le fond du fleuve. Les activités de dragage risquent d'engendrer une remise en circulation d'une partie des contaminants stockés dans les sédiments. C'est donc à dire que le dragage du Saint-Laurent peut rendre à nouveau certains contaminants disponibles pour la bioaccumulation et la bioamplification. La faune marine risque donc d'être affectée, ce qui peut résulter en une problématique de santé publique (contamination des poissons consommés par les pêcheurs) (Radio-Canada, 1989).

Ensuite, l'accroissement des activités de dragage du fleuve Saint-Laurent peut amener une problématique de gestion des sédiments contaminés. En effet, les sédiments excavés du fleuve risquent fort de contenir des contaminants en quantité non négligeable, ce qui rend complexe et coûteuse la gestion de ces derniers. Il est important de mentionner qu'un traitement inapproprié des déblais peut entraîner des impacts majeurs sur l'environnement (Comité de Concertation Navigation, 2004).

Les activités de dragage peuvent de plus mener à la destruction de certains écosystèmes. En effet, une perte d'habitat faunique et floristique peut être observée sur les sites de dragage et de dépôt de sédiments excavés. Les milieux humides de même que les habitats naturels situés sur les rives des zones dragées peuvent être endommagés ou détruits. Il est également possible

d'affirmer que le dragage des sédiments peut résulter en une modification parfois importante de l'hydrodynamisme des zones travaillées. Les activités de dragage sont aussi responsables d'une certaine remise en suspension des sédiments, ce qui peut augmenter la turbidité ainsi que le taux de matières en suspension des eaux. Ces modifications des habitats naturels riverains et marins suite aux activités de dragage peuvent occasionner une perte de biomasse et d'espèces floristiques et fauniques en plus d'engendrer un comportement d'évitement de certaines espèces ichthyennes (Environnement Canada, 2010b).

2.2 Problématique des prises d'eau municipales

La diminution des quantités d'eau disponibles dans les réservoirs naturels est une préoccupation importante puisque cette dernière risque de mettre en péril l'approvisionnement permanent et constant en eau potable des municipalités québécoises. Les modifications du cycle hydrologique résultant des changements climatiques sont effectivement à même d'engendrer une problématique en ce qui a trait aux prises d'eau municipales au cours du prochain siècle et ce, en dépit du fait que le territoire québécois soit caractérisé par une importante abondance de ressources d'eau renouvelable.

En effet, il est estimé que le Québec, dont la population équivaut à 0,1% de la population mondiale, possède près de 3% des ressources d'eau douce renouvelable de la planète. Le Québec prélève actuellement environ 0,5% du volume total d'eau douce disponible sur son territoire (INSPQ, 2008). Bien que les équipements et infrastructures permettant l'approvisionnement en eau potable se soient révélés la propriété quasi exclusive des particuliers ou d'entreprises privées jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les problématiques liées à l'intensification de l'urbanisation (augmentation de la population et du territoire à desservir, manque d'eau potable, plus grande fréquence des épidémies et des incendies) amenèrent graduellement les municipalités à se charger elles-mêmes de l'alimentation en eau potable (MDDEP, 2002b).

Aujourd'hui, l'approvisionnement en eau potable est assuré par un réseau de distribution pour environ 88% de la population du Québec. Parmi cette population alimentée, 95% des gens sont desservis par un réseau municipal. Toutefois, les réseaux privés de petite taille ainsi que

les établissements touristiques possédant leurs propres installations demeurent présents en grand nombre sur le territoire québécois. Les réseaux d'approvisionnement en eaux de surface desservent 5,3 millions de personnes, soit près de 70% de la population. Parmi ces réseaux, le fleuve Saint-Laurent représente la source la plus importante en eau potable, desservant 2,4 millions de personnes (Ministère de l'environnement, 2004).

Il est important de mentionner que la consommation moyenne d'eau potable est une des plus élevées au niveau mondial et se situe à près de 800 litres par personne par jour (la moyenne canadienne est d'environ 600 litres par personne par jour) (Duchesne et al, 2005). Ce taux de consommation extrêmement élevé peut être expliqué, entre autres, par l'abondance relative des ressources d'eau douce au Québec de même que par la présence sur le territoire de nombreuses entreprises utilisatrices de grandes quantités d'eau (MDDEP, 2002b).

Bien que l'ampleur de l'impact des changements climatiques à venir sur les ressources hydriques demeure incertaine, il a été affirmé dans le chapitre précédent que la disponibilité de l'eau sur le territoire du sud du Québec risque de diminuer de façon importante lors de la saison estivale. En effet, il est prévu qu'un accroissement de la récurrence d'étés chauds et secs engendrerait une réduction non négligeable des débits des cours d'eau et pourrait s'avérer grandement problématique en ce qui a trait à l'approvisionnement en eau potable (Ressources Naturelles Canada, 2007).

En effet, les résultats de nombreuses études menées sur les Grands Lacs semblent indiquer que les changements climatiques influencent de façon prononcée les niveaux d'eau moyens. Or, cette région affecte de façon directe les débits du fleuve Saint-Laurent soit, tel que mentionné précédemment, la source d'eau douce la plus importante sur le territoire québécois. La région des Grands Lacs a connu un réchauffement d'environ 0,7°C entre les années 1985 et 1991. Il a été observé que cette hausse de la température a engendré une réduction des débits à la sortie des Grands Lacs et donc une diminution des niveaux d'eau dans le tronçon fluvial ainsi que dans l'estuaire du Saint-Laurent (Environnement Canada, 2010c).

C'est donc à dire que les changements climatiques entraîneront selon toutes vraisemblances une réduction du niveau des eaux des Grands Lacs et par le fait même, auront d'importantes conséquences concernant l'approvisionnement municipal en eau douce. Il a effectivement été

estimé par certains chercheurs que les niveaux d'eau moyens des Grands Lacs seraient sujets à des réductions allant de 0,5 m à 1,0 m d'ici 2055. Le débit du Saint-Laurent pourrait alors se trouver réduit de près de 20%, soit une diminution des niveaux d'eau allant jusqu'à 1 mètre à certains endroits. De tels abaissements du niveau d'eau engendreraient inévitablement de nombreux risques pour le prélèvement d'eau de plusieurs municipalités (Ressources Naturelles Canada, 2007).

De plus, les changements des composantes hydrologiques suite aux changements climatiques peuvent également réduire la disponibilité de l'eau dans les réservoirs souterrains, ce qui engendrerait des risques pour les prélèvements d'eau souterraine. Il est estimé qu'en général, les nappes souterraines libres et peu profondes seront les plus touchées. Toutefois, le taux d'alimentation des réservoirs souterrains est très variable puisque ce dernier dépend fortement de certains facteurs locaux telle la perméabilité des sols, la végétation environnante etc. L'amplitude de la sensibilité des ressources souterraines aux changements climatiques demeure donc incertaine (Ressources Naturelles Canada, 2007).

Il peut donc être affirmé que, malgré l'abondance relative des ressources d'eau douce au Québec, une pénurie d'eau potable demeure un risque potentiel des changements climatiques pour certaines régions de la province. En effet, les modifications engendrées par le réchauffement climatique prévu risquent d'exacerber, de façon plus ou moins significative, les problématiques de prélèvement d'eau déjà critiques que subissent actuellement certaines municipalités (INSPQ, 2008).

De plus, même si les ressources d'eau disponibles dans les réservoirs naturels du sud du Québec demeurent suffisantes pour subvenir aux besoins de la population, une diminution des niveaux d'eau peut résulter en une réduction des capacités d'approvisionnement de certaines municipalités. En effet, les ouvrages actuels de prélèvement d'eau potable ont été configurés et disposés en fonction des facteurs hydriques locaux. Or, un changement de ces variables peut compromettre la sécurité de l'approvisionnement en eau douce pour certaines municipalités. Il a d'ailleurs été affirmé par une équipe de chercheurs de l'École polytechnique de l'Université de Montréal qu'un abaissement approximatif d'un mètre du niveau des eaux du Saint-Laurent pourrait engendrer des problèmes de prélèvement pour trois différents ouvrages de prise d'eau (situé respectivement à Montréal, Verchère et Lavaltrie)

puisque ces derniers se trouveraient trop près de la surface. Il serait alors nécessaire de modifier ou même de déplacer les ouvrages menacés, ce qui occasionnerait des coûts importants (Duchesne et al, 2005; Francoeur, 2004). Il a été estimé que les travaux de déplacement de la prise d'eau principale de Montréal pourraient coûter près de 20 millions de dollars à la Ville et ce, même s'il existe une prise d'eau dite d'urgence (Francoeur, 2004).

Il est donc possible d'affirmer que la diminution de la disponibilité de l'eau sur le territoire québécois est à même d'engendrer d'importants problèmes de prélèvement d'eau douce pour certaines municipalités. Les changements climatiques qui surviendront au cours des prochaines décennies peuvent effectivement impacter de façon majeure la stabilité de l'approvisionnement municipal et ce, sans prendre en compte l'augmentation constante de la pression exercée sur les ressources en eau. L'accroissement de la population de même que de l'usage de l'eau, tant au niveau domestique qu'industriel, occasionne effectivement un stress supplémentaire sur les réservoirs naturels d'eau au Québec et peuvent, de pair avec la diminution de la disponibilité de la ressource, mettre en péril la sécurité de l'approvisionnement municipal (Duchesne et al, 2005).

Or, malgré la présence abondante de réserves d'eau douce sur le territoire québécois, certaines situations problématiques surviennent occasionnellement et engendrent des difficultés d'approvisionnement en eau potable. Tel qu'il a été démontré par la situation critique qu'a occasionnée le bas niveau de la rivière des Mille-Îles au cours de l'été 2010, les municipalités québécoises ne sont pas à l'abri d'une pénurie d'eau potable. Desservant près de 400 000 habitants de la couronne nord de Montréal, la rivière des Mille-Îles a effectivement connu son plus bas niveau d'eau depuis les 40 dernières années au cours de la saison estivale 2010. Cette situation inhabituelle,



Figure 2. 3 Bas niveau d'eau de la rivière des Mille Îles, été 2010 (tiré de Doutré, 2010)

causée principalement par les températures chaudes ainsi que par la faible pluviométrie, a engendré un tel stress sur la disponibilité des ressources hydrique de la région que le gouvernement québécois a amorcé en juillet 2010 d'importants travaux d'excavation permettant de rétablir le débit de la rivière. Ces travaux ont dû être effectués d'urgence puisque la sécurité de l'approvisionnement en eau potable de plusieurs municipalités situées sur la Rive-Nord de Montréal était gravement compromise et ce, dès la fin du mois de mai (D'astous, 2010; Radio-Canada, 2010).

Il est donc possible d'en conclure que, dans un contexte de réchauffement climatique, les situations problématiques déjà observées risquent fortement de s'aggraver et que l'approvisionnement municipal en eau potable deviendra, selon toute vraisemblance, une préoccupation d'importance au cours des prochaines années.

2.3 Problématique des barrages

Il a été mentionné dans la section précédente, le territoire québécois regorge de ressources en eau douce. En effet, les étendues d'eau de surface abondent et de nombreux barrages y ont été aménagés. Tout d'abord, un barrage représente, selon le Centre d'expertise hydrologique du Québec, « tout ouvrage destiné à dériver ou retenir les eaux d'un cours d'eau, ou celles d'un lac ou réservoir mentionné dans le Répertoire toponymique du Québec » (CEHQ, 2011). Plusieurs centaines de barrages ont été construits au fil des ans afin de régulariser le débit de certaines rivières, de diminuer la fréquence de même que l'intensité des épisodes d'inondations des rives, d'assurer un débit minimal lors des épisodes de sécheresse ainsi que de protéger certains écosystèmes. De nombreux barrages ont de plus été aménagés sur le territoire québécois à des fins de production d'hydroélectricité (Gouvernement du Québec, 2011).

En effet, les barrages érigés au Québec permettent de réduire les dommages causés par les inondations et les sécheresses, contribuent à garantir un apport d'eau suffisant pour les secteurs domestiques, agricoles et industriels et permettent une production importante d'énergie. C'est donc à dire que ces structures sont d'une importance capitale pour la population québécoise. Les modifications du régime hydrique prévues au cours du prochain

siècle risquant fort d'engendrer certains impacts sur ces barrages, il va donc de soi que ces derniers constituent un enjeu d'importance sur le territoire québécois (Environnement Canada, 2008b).

Les barrages hydroélectriques se trouvent effectivement au cœur des préoccupations au Québec puisque la province exploite de façon importante les ressources hydriques à sa disposition et a axé une grande partie de son développement économique autour de la production d'énergie hydroélectrique. Le Québec s'est donc taillé une place de choix dans la production d'hydroélectricité et compte sur son territoire de nombreuses infrastructures permettant la mise en valeur de cette ressource, dont un des plus grands aménagements hydroélectriques au monde, situé près de la Baie James (complexe La Grande). La grande majorité (près de 97%) de l'électricité consommée au Québec est d'origine hydroélectrique (MRNF, 2011). Afin de produire cette importante quantité d'énergie, la société d'État Hydro-Québec exploite plus de 550 digues et barrages (Hydro-Québec, 2011a).

Les nombreux barrages aménagés sur le territoire québécois ne sont bien sûr pas à l'abri des modifications engendrées par les changements climatiques prévus. En effet, étant fondamentalement liés au régime hydrique des régions environnantes, les barrages se révèlent sensibles aux changements des diverses composantes du cycle hydrologique.



Figure 2. 4 Réservoir Robert-Bourassa (tiré d'Hydro-Québec, 2011a)

Tout d'abord, il est possible d'affirmer que les changements climatiques futurs engendreront, selon toute vraisemblance, une plus grande variabilité des régimes de précipitation. Or, les barrages, les digues, les réservoirs artificiels d'eau de même que les différentes infrastructures de production hydroélectrique ont été conçus en fonction des composantes hydriques actuelles (Baltas et al, 1997). La fiabilité de l'approvisionnement hydroélectrique au Québec pourrait donc se trouver affectée au cours du prochain siècle.

Tel que mentionné au cours du premier chapitre du présent document, le réchauffement prévu des températures annuelles résultera en une augmentation importante du processus d'évapotranspiration. La production hydroélectrique nécessitant la présence d'imposants réservoirs d'eau de surface, il devient vite évident que l'augmentation de la quantité d'eau perdue par évapotranspiration risque d'affecter les niveaux moyens de ces réservoirs.

De plus, le précédent chapitre souligne qu'une importante diminution des crues printanières sera vraisemblablement observée au cours des prochaines décennies puisque le stockage d'eau sous forme de neige et de glace sera réduit. Cette diminution de la fonte printanière des neiges risque également d'engendrer des niveaux d'eau plus bas dans les réservoirs hydroélectriques. Or, des niveaux d'eau plus bas signifient une diminution de la capacité de production des centrales hydroélectriques et donc résulter en un problème d'alimentation des réseaux électriques québécois.

En effet, tel qu'abordé à la section 1.1 les quantités de précipitations seront vraisemblablement stationnaires au cours des prochaines décennies pour les mois de mai à octobre. Or, il sera également possible de noter, au cours de ces mêmes mois, une augmentation de l'évapotranspiration, une diminution des crues printanières de même qu'une réduction de l'infiltration de l'eau dans les sols. Ces modifications du cycle hydrologique résulteront probablement en une augmentation des épisodes de sécheresse lors de la saison estivale. Il est donc possible de déduire que le niveau minimal d'eau des réservoirs hydroélectriques sera réduit en été. Cette diminution des niveaux d'eau prendra place au cours de la saison estivale, période de l'année où la consommation électrique québécoise est à son plus faible (Hydro-Québec, 2011c).

Toutefois, le réchauffement prévu des températures estivales engendrera fort probablement une hausse de la demande estivale en électricité au cours des prochains siècles. En effet, une augmentation des températures extérieures au cours des mois d'été amènera un accroissement de l'utilisation de systèmes de ventilation et de climatisation, résultant en une demande en électricité plus importante (Hydro-Québec, 2011d). La diminution probable de la capacité de production hydroélectrique au Québec pourrait donc s'avérer un problème de taille puisque cette dernière viendra vraisemblablement de pair avec un accroissement de la demande énergétique durant les mois plus chauds et secs de l'été. Afin de pallier à la réduction du

niveau d'eau minimal des réservoirs, il sera peut-être nécessaire, au cours du prochain siècle, d'augmenter la capacité de stockage (soit la taille) des réservoirs actuels ou de construire de nouveaux barrages. Ces mesures d'adaptation risquent d'être très coûteuses, tant du point de vue monétaire qu'environnemental.

D'autre part, il a été dit dans le précédent chapitre que les changements climatiques occasionneront une augmentation significative des précipitations durant les mois de novembre à avril. Cet accroissement du régime de précipitation augmentera les niveaux d'eau des réservoirs hydroélectriques et, par le fait même, augmentera le stockage d'eau ainsi que le potentiel de production d'hydroélectricité des centrales québécoises.

Les changements climatiques résulteront également en une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des événements météorologiques extrêmes. Or, tel qu'il a été mentionné plus tôt, les barrages sont habituellement construits en fonction des débits et crues historiques de la région. Une augmentation des régimes de précipitation et des événements météorologiques extrêmes pourrait entraîner de nombreuses conséquences tel le débordement d'un réservoir ou la rupture d'un barrage. En effet, une élévation anormale du niveau d'eau d'un réservoir peut créer une pression accrue sur la structure du barrage et l'endommager.

Des épisodes de crues exceptionnelles peuvent donc causer la rupture d'un barrage et



Figure 2. 5 Saguenay, été 1996 (tiré de Radio-Canada, 1996b)

occasionner de graves inondations. Les épisodes d'inondations majeures, tel celui survenu au Saguenay à l'été 1996, risquent de devenir plus fréquents. En effet, cet épisode d'inondations avait été précédé de précipitations anormalement élevées et avait engendré la rupture de plusieurs barrages, forçant l'évacuation de milliers de personnes et causant plus d'un million de dollars de dommages

(Radio-Canada, 1996). C'est donc à dire que, suite à l'augmentation du régime annuel de précipitation et des événements extrêmes, les risques de rupture des barrages seront accrus et causeront sans nul doute de nombreux dommages (Gouvernement du Québec, 2011).

2.4 Réduction des milieux humides

Un milieu humide est un habitat qui assure la transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre et joue donc un rôle écologique d'importance (CRE-Capitale, s.d.). Les milieux humides totalisent environ 10% des terres québécoises et peuvent être définis comme étant « l'ensemble des sites saturés d'eau ou inondés pendant une période suffisamment longue pour influencer la nature du sol et la composition de la végétation » (MDDEP, 2002c). Bien que ces écosystèmes aient par le passé été considérés comme inutilisables, plusieurs recherches ont démontré le rôle crucial que jouent ces derniers quant à la préservation de la vie dans les divers milieux terrestres et aquatiques (Environnement Canada, 2008a).

Les milieux humides constituent des habitats très recherchés par plusieurs espèces animales et végétales qui y naissent, y vivent et s'y reproduisent. Les différentes formes de vie peuplant ces écosystèmes mettent à profit les nombreux nutriments et ressources mis à leur disposition par les milieux humides. Ces derniers représentent donc des écosystèmes très diversifiés et extrêmement productifs (CRE-Capitale, s.d.).

Ces écosystèmes particuliers ont un processus d'action qui peut être comparé à celui d'une éponge géante. Ils retiennent l'eau qui s'accumule lors des fortes précipitations et lors de la fonte des neiges et diminuent les risques d'inondation et de débordement des plans d'eau. Les milieux humides vont par la suite graduellement relâcher l'eau emmagasinée lors des périodes plus sèches. Ces écosystèmes permettent donc une diminution des dommages



Figure 2. 6 Milieu humide (tiré de CRÉER, 2009)

créés par les inondations de même que l'assèchement des écosystèmes environnants (CRE-Capitale, s.d.).

De plus, les milieux humides offrent une barrière physique qui, par la présence de végétation, diminue la vitesse de l'eau de ruissellement atteignant les plans d'eau et réduisent les dommages liés à l'érosion des sols et des berges (CRE-Capitale, s.d.).

Les milieux humides épurent et nettoient également l'eau de surface avant que cette dernière ne rejoigne les plans d'eau. La présence de végétation permet de retenir les débris ainsi que les sédiments transportés par l'eau de surface et améliore la limpidité des plans d'eau. Certaines plantes démontrent également des propriétés de rétention des polluants, ce qui améliore la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques avoisinants (CRE-Capitale, s.d.).

Tel que mentionné précédemment, les milieux humides représentent des habitats très recherchés par plusieurs espèces fauniques et végétales et présentent donc une biodiversité impressionnante (MDDEP, 2002c). La présence d'un couvert végétal important ainsi que l'abondance de nourriture caractéristique du milieu humide en font un abri de choix notamment pour certaines espèces d'oiseaux migrateurs qui y font halte, pour de multiples espèces de poissons qui en font un site de frai et d'alevinage de même que pour plusieurs espèces d'amphibiens. Ces écosystèmes abritent également de nombreuses espèces animales et végétales menacées d'extinction que la disparition alarmante de ces habitats riches met en péril (CRE-Capitale, s.d.).

Bref la conservation des milieux humides permet une amélioration de la qualité des plans d'eau avoisinants, une diminution des épisodes d'inondation et de sécheresse, une réduction des problèmes d'érosion des sols ainsi que la préservation de la diversité biologique (CRE-Capitale, s.d.) (MDDEP, 2002c).

Les milieux humides étant alimentés en eau par les précipitations, le ruissellement de surface, la fonte des neiges, de même que l'écoulement souterrain et perdant leur humidité par l'écoulement de surface et souterrain et par évapotranspiration, il est possible de conclure que ces derniers représentent des écosystèmes fragiles et particulièrement vulnérables aux modifications du bilan hydrique. En effet, les milieux humides sont constitués de grandes superficies humides de faible profondeur, ce qui les rend particulièrement sensibles aux

changements du cycle d'évapotranspiration. Il devient donc évident que l'augmentation prévue des températures moyennes au cours des prochaines décennies engendrera, selon toute vraisemblance, un certain assèchement des milieux humides puisque de plus grandes quantités d'eau seront perdues par évapotranspiration. Toutefois, les effets de l'augmentation du cycle d'évapotranspiration risquent d'être atténués par l'augmentation prévue du régime de précipitation (Environnement Canada, 2008a).

Par ailleurs, une proportion importante des milieux humides situés sur le territoire québécois bénéficient des froides conditions hivernales. En effet, le sol gelé lors des mois d'hiver présente une faible capacité d'infiltration, ce qui réduit le drainage des eaux de surface. La crue printanière résultant de la fonte des neiges et des glaces joue également un rôle d'importance dans l'alimentation en eau de ces écosystèmes particuliers. Il a effectivement été observé que de nombreux milieux humides doivent leur existence aux inondations printanières et dépendent, en partie, du niveau de pointe annuel des cours d'eau. C'est donc à dire que l'augmentation des températures moyennes ainsi que les diminutions des jours de gel et des crues printanières qui y sont associées contribueront grandement à l'assèchement des milieux humides sur le territoire québécois (Environnement Canada, 2008a).

La diminution du niveau moyen des cours d'eau peut également engendrer une perte de superficie humide. Il est par exemple estimé que l'assèchement de plusieurs milieux humides est un des effets probables majeurs de la baisse du niveau des eaux du tronçon fluvial du Saint-Laurent et implique un appauvrissement de la biodiversité de la région (Ressources Naturelles Canada, 2009).

En résumé, il est possible d'affirmer que les milieux humides situés sur le territoire du sud du Québec seront grandement affectés par les changements climatiques au cours des prochaines décennies. En effet, il a été estimé que, indépendamment des modifications du régime de précipitation, une partie importante de ces écosystèmes seront mis en péril et risquent de s'assécher suite à la présence d'hivers moins froids et plus courts (Environnement Canada, 2008a).

3. MESURES D'ADAPTATION AUX PROBLÉMATIQUES MENTIONNÉES

Qu'il s'agisse du changement du niveau des mers et océans, de la modification des régimes de précipitations, de l'augmentation des températures moyennes, de la diminution de l'accumulation de neige ou de l'accroissement de la fréquence des événements extrêmes, les répercussions des changements climatiques se font déjà sentir dans plusieurs régions du globe. Afin de pallier à ces changements et de minimiser autant que possible les impacts environnementaux, économiques et sociaux qu'ils peuvent occasionner, un processus d'adaptation majeur est en train de se mettre en place, tant au niveau régional qu'international. L'adaptation aux changements n'est bien sûr pas un concept récent puisque les écosystèmes et les être vivants qui s'y abritent se sont toujours adaptés aux variations périodiques des composantes climatiques. Ce qui caractérise la situation actuelle est la rapidité et l'ampleur à laquelle ces changements s'effectuent. Ces caractéristiques spécifiques rendent l'adaptation aux changements climatiques particulièrement difficile et nécessitent l'implantation de mesures plus poussées. Les mesures d'adaptations consistent à réduire au minimum la vulnérabilité de la société et des écosystèmes aux changements climatiques. Ces dernières viennent appuyer les mesures d'atténuation qui prennent place actuellement à travers le monde et qui consistent à réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de diminuer l'ampleur des changements climatiques à survenir. Ce travail mettra l'emphase sur les différents mécanismes d'adaptation disponibles actuellement, tant au niveau régional qu'international. Les mesures d'atténuations n'y seront donc pas discutées (Environnement Canada, 2008c).

Le présent chapitre exposera donc une description des principales mesures d'adaptation en lien avec les quatre problématiques décrites au chapitre précédent. Les avantages et les inconvénients de chaque mesure seront par la suite élaborés et leur applicabilité respective sera discutée. Huit problématiques ont été sélectionnées soit l'augmentation des activités de dragage, l'implantation de mesures d'éducation, de formation et de sensibilisation, la mise sur pied d'une réglementation municipale sur les usage de l'eau, l'amélioration du système de distribution d'eau, l'augmentation de la capacité d'infiltration en milieu urbain, l'instauration d'un système de redevance sur l'eau, la réduction de la consommation électrique afin de

compenser les réductions de capacité de production ainsi que la construction de nouveaux barrages et canaux de drainage.

3.1 Mesure d'adaptation 1 : augmentation des activités de dragage

Description de la mesure d'adaptation :

L'accroissement des activités de dragage afin de maintenir une navigabilité sécuritaire sur les différents cours d'eau est une mesure d'adaptation très populaire afin de pallier aux impacts d'une baisse du niveau des eaux. Le dragage est présentement une pratique courante sur le territoire québécois, particulièrement sur le fleuve Saint-Laurent afin d'y maintenir les activités navales. Une intensification drastique de ce type de mesure sera à prévoir pour les prochaines décennies car une diminution notoire du niveau des eaux du Saint-Laurent est anticipée (réduction prévue de près d'un mètre). Il est donc à prévoir que les impacts néfastes qu'occasionne cette pratique augmenteront sensiblement au cours du prochain siècle.

Avantages :

Les impacts positifs de cette mesure d'adaptation sont aisément perceptibles. Les activités de dragage assurent une navigabilité sécuritaire et permet par le fait même de conserver la route maritime du Saint-Laurent. Cette dernière étant d'une importance primordiale pour l'économie québécoise, il va de soi que la conservation d'une bonne navigabilité des eaux du fleuve représente un avantage majeur. De plus, puisque cette mesure a été fréquemment utilisée au cours des dernières années, les techniques et spécificités qui s'y relient sont déjà bien maîtrisées.

Inconvénients :

Les activités de dragage sous-entendent la mise en œuvre de travaux importants qui peuvent s'avérer très coûteux, tant d'un point de vue économique qu'environnemental. Cette mesure d'adaptation engendre une remise en circulation d'une partie des contaminants stockés dans les sédiments, ce qui peut occasionner certains problèmes de santé publique de même qu'une contamination de la faune et la flore environnante. La gestion des sédiments contaminés excavés peut être complexe et coûteuse. La destruction de certains écosystèmes peut également survenir dû au dépôt des sédiments excavés, à l'utilisation de machinerie lourde, à

la modification de l'hydrodynamisme, à l'augmentation de la turbidité et du taux de matière en suspension souvent reliées aux activités de dragage. Ces modifications des habitats naturels riverains et marins suite au dragage peuvent occasionner une perte de biomasse et d'espèces floristiques et fauniques en plus d'engendrer un comportement d'évitement de certaines espèces ichthyennes.

Applicabilité :

Tel que mentionné précédemment, la route maritime du fleuve Saint-Laurent occupe une place de choix dans l'économie québécoise. La maintenance d'une navigabilité sécuritaire sur cet affluent est donc d'une importance capitale et il est fort probable que la mise en œuvre de cette mesure d'adaptation sera maintenue en dépit des coûts économiques et environnementaux qui en découlent.

** Puisque les diverses problématiques en lien avec les activités de dragage au Québec ont précédemment été expliquées en profondeur, cette section n'offre qu'un bref résumé des éléments d'importance et il est fortement suggéré au lecteur de se référer à la section 2.1 du présent travail pour de plus amples informations. **

3.2 Mesure d'adaptation 2 : éducation, formation et sensibilisation

Description de la mesure d'adaptation :

La pertinence des activités d'éducation, de formation et de sensibilisation aux problématiques liées à la diminution de la disponibilité de l'eau est souvent sous-estimée. Or, cette mesure d'adaptation peut s'avérer fort utile afin d'instaurer de bonnes pratiques de gestion des ressources en eau. En effet, la compréhension des enjeux est parfois prise pour acquise et une partie appréciable de la population n'est pas aux faits de l'importance de la conservation de l'eau sur le territoire québécois. Plusieurs initiatives sont présentement en cours au Québec afin de promouvoir les divers moyens d'économiser de l'eau sur le plan individuel, municipal, institutionnel, commercial et industriel. Certains outils ont d'ailleurs déjà été mis sur pied et informe la population de l'importance d'économiser l'eau et sensibilise les citoyens de même que les industriels quant aux bonnes pratiques de gestion de l'eau (Giguère et al, 2006).

Avantages

Les avantages de cette mesure d'adaptation sont nombreux. Premièrement, les activités d'éducation, de formation et de sensibilisation sont règle générale peu coûteuses et permettent de rejoindre un grand nombre de personnes. La promotion de mesures simples, économiques et efficaces de conservation des ressources peut engendrer d'importants changements et contribuer à minimiser l'ampleur des impacts de la réduction prévue de la disponibilité de l'eau de même diminuer la vulnérabilité de la société québécoise et des écosystèmes à cette problématique d'actualité. Advenant l'efficacité de ce genre d'activités, cette mesure d'adaptation peut également éviter l'implantation de mesures aux impacts plus importants, tant au point de vue économique qu'environnemental (Giguère et al, 2006).

Inconvénients

L'efficacité de ce type de méthode peut être mitigée car il est parfois très difficile de convaincre les gens de changer leurs habitudes de consommation. Le Québec disposant de ressources en eau impressionnantes, il peut être ardu de convaincre la population de l'importance de conserver cette ressource et d'en user avec parcimonie. En effet, l'impression d'abondance créée par la quantité d'eau potable disponible entraîne parfois un manque de perspective et une absence de sentiment d'urgence qui rend la sensibilisation plus complexe puisqu'une partie de la population est amenée à croire qu'advenant un manque d'eau au site de prélèvement actuel, il sera toujours possible d'aller en chercher ailleurs sur le territoire. De plus, un manque de réceptivité de la part de certains industriels peut se faire sentir puisque certains sont satisfaits de leurs méthodes de production actuelles et qu'apporter des changements afin de modifier les procédés et permettre une économie d'eau nécessite parfois un investissement important.

Applicabilité

Cette mesure d'adaptation démontre un potentiel d'applicabilité élevé puisqu'elle est peu coûteuse et peut permettre d'éviter la mise en œuvre de mesures plus dispendieuses ou ayant des impacts environnementaux plus grands. Le problème majeur des activités d'éducation, de formation et de sensibilisation réside dans le manque de réceptivité de la population. Il demeure néanmoins que la présente mesure contribue à la gestion efficace des ressources et à

minimiser les impacts qu'occasionnera la diminution des ressources hydriques sur le territoire québécois.

3.3 Mesure d'adaptation 3 : règlements municipaux pour une gestion acceptable de l'eau

Description de la mesure d'adaptation

Une des mesures d'adaptation servant à pallier aux impacts des changements climatiques consiste à rendre plus efficace le stockage, la distribution et l'utilisation de l'eau (Ressources Naturelles Canada, 2007). Plusieurs lois et règlements encadrent déjà la préservation de la qualité et la quantité de l'eau au Québec. Une politique québécoise de gestion de l'eau a également été élaborée en 2002 et établit les bonnes pratiques de gestion qui devraient encadrer cette ressource. Toutefois, cette politique étant relativement jeune et n'étant pas supportée par l'adoption d'une réglementation provinciale, certaines lacunes subsistent. Au Québec, c'est aux municipalités québécoises qu'incombe la responsabilité de distribution d'eau potable aux résidents de même que l'assainissement des eaux usées. Plusieurs municipalités québécoises ont donc entrepris d'établir une réglementation municipale ayant pour but l'atteinte d'une gestion acceptable de l'eau sur leur territoire respectif. L'adoption d'une réglementation municipale visant à améliorer les pratiques d'utilisation des ressources en eaux représente une mesure d'adaptation de premier ordre afin de minimiser la vulnérabilité des municipalités face aux réductions de disponibilité de l'eau pouvant survenir au cours des prochaines décennies (Giguère et al, 2006).

Avantages

Cette mesure d'adaptation est considérée par plusieurs comme efficace et durable, tant sur le plan environnemental qu'économique. L'encadrement de l'utilisation de l'eau par une réglementation demeure une mesure relativement peu dispendieuse lorsque comparée aux diverses alternatives permettant de réduire les impacts d'une baisse de la capacité d'approvisionnement en eau. En effet, l'adaptation des infrastructures existantes, la construction de nouvelles installations, l'implantation d'un système de redevance de même

que la mise en place de nouvelles technologies comportent des coûts de réalisation très importants (Giguère et al, 2006).

Inconvénients

Plusieurs inconvénients rendent l'adoption d'une telle réglementation complexe pour certaines municipalités. Tout d'abord, il est possible qu'une municipalité désireuse d'implanter une mesure semblable éprouve certaines difficultés attribuables à un déficit de moyens législatifs ou institutionnels à sa disposition. La mise sur pied d'une telle réglementation peut être complexe car, au Canada, les activités de gestion de l'eau relèvent de plusieurs paliers gouvernementaux. Il peut également être difficile de faire respecter une nouvelle réglementation si la population n'est pas au fait de l'utilité d'une telle mesure d'adaptation. Le manque de sensibilisation du public à la nécessité d'économiser l'eau peut s'avérer être un obstacle de taille au bon déroulement de ce type de projet (Ressources Naturelles Canada, 2007).

Applicabilité

Tel que mentionné plus haut, plusieurs municipalités ont déjà instauré un programme de gestion de l'eau sur leur territoire, ce qui atteste de la faisabilité d'une telle démarche. Le manque de sensibilisation du public peut toutefois s'avérer un obstacle important qui incite les élus municipaux à retarder l'application d'un règlement sur l'utilisation responsable de l'eau. Le fait que la population québécoise ne soit pas toujours au fait de l'importance d'utiliser l'eau avec parcimonie peut de plus occasionner des problèmes de non-respect de la nouvelle réglementation mise en place (Ressources Naturelles Canada, 2007). Afin de pallier à cette éventualité, certaines municipalités québécoises comme Sherbrooke, Québec, Victoriaville et Rivière-du-Loup ont mis sur pied une patrouille qui vise à faire respecter leur règlement respectif sur l'usage de l'eau potable (Giguère et al, 2006).

3.4 Mesure d'adaptation 4 : amélioration du système de distribution d'eau potable

Description de la mesure d'adaptation

Au Québec, l'eau potable est distribuée par 1 148 réseaux d'aqueducs répartis dans près de 1 000 municipalités distinctes. Une étude menée par l'Institut national de recherche scientifique a démontré que près de 65% des conduites comprises dans les réseaux d'aqueducs québécois ont été mises en place il y a moins de 35 ans. Les conduites les plus âgées sont habituellement situées aux centres des quartiers des villes les plus densément peuplées, ce qui rend leur remplacement ou leur réparation plus complexe. Il a été estimé qu'au Québec, les pertes et fuites d'eau survenant au cours de la distribution de cette dernière dans les systèmes d'aqueducs représentent en moyenne plus de 19% des volumes distribués, comparativement à une moyenne de près de 13% au Canada. La ville de Montréal compterait même environ 40% de pertes d'eau potable. Environ 12% des conduites présenteraient une fréquence de bris trop élevée et devraient être remplacées (MDDEP, 2002b); (Francoeur, 2011).

Avantages

Remplacer les conduites défectueuses et colmater les fuites majeures des divers réseaux de distribution d'eau au Québec permettrait d'économiser d'importantes quantités d'eau et contribuerait à contrebalancer la diminution attendue de la capacité de distribution d'eau potable au cours du prochain siècle. La réduction des pertes durant le processus de distribution nécessiterait le traitement d'un moins grand volume d'eau et réduirait par le fait même les coûts associés au traitement de l'eau potable.

Inconvénients

Les coûts majeurs qu'engendrent les travaux d'amélioration des systèmes de distribution d'eau constituent bien sûr le plus grand désavantage de cette mesure d'adaptation. Les conduites d'eau étant enfouies sous les sols et donc difficilement accessibles, la réparation ou le changement de ces dernières s'avèrent complexe. La détection des fuites représente également un élément difficile à mesurer puisque, bien que les réseaux d'aqueducs soient règle générale inspectés régulièrement, la majorité des programmes d'inspection se contentent d'investiguer le bon fonctionnement global des infrastructures (MDDEP, 2002b).

Applicabilité

L'amélioration des systèmes d'aqueducs des municipalités québécoises demeure une mesure d'adaptation démontrant une faisabilité satisfaisante. Cette mesure comporte néanmoins plusieurs obstacles, tant d'un point de vue technique que financier. Les municipalités peuvent en effet démontrer une certaine réticence à entreprendre ce type de travaux à la fois complexe à effectuer et dispendieux.

3.5 Mesure d'adaptation 5 : instauration d'un nouveau système de redevance sur l'eau

Description de la mesure d'adaptation

La Politique nationale de l'eau, élaborée en 2002, a mis de l'avant la nécessité d'instaurer un nouveau système de redevances sur l'eau pour les industries, les commerces et les institutions permettant l'application la devise d'utilisateur-payeur et de pollueur-payeur. À l'heure actuelle, cette recommandation de la Politique n'a pas été mise en place et constituerait une mesure d'adaptation permettant d'importantes économies d'utilisation de l'eau au niveau commercial, industriel et institutionnel. De plus, bien que la perception de redevances soit appliquée aux résidents afin de financer le traitement de l'eau potable et l'assainissement des eaux usées, les municipalités québécoises imposent à leurs citoyens une taxation au montant fixe. La taxe fixe caractérisant la gestion de l'eau au Québec fait en sorte que les citoyens ne se préoccupent que peu des quantités d'eau qu'ils utilisent. L'instauration, à l'aide de l'installation de compteurs d'eau, d'un système de taxation dont le montant varie en fonction des quantités d'eau utilisées permettrait de réduire la consommation résidentielle de cette ressource.

Avantages

L'implantation de ce type de mesure d'adaptation permettrait de sensibiliser la population à une utilisation responsable des ressources en eau. L'installation de compteurs d'eau occasionnerait un changement de perspective de la part des citoyens, des industries, des commerces et des institutions qui se préoccupent peu, pour l'instant, de leur consommation d'eau effrénée. De tels systèmes de redevance ont été mis en place dans d'autres pays et il est possible de s'en inspirer afin d'assurer une implantation fructueuse.

Inconvénients

La population se révèle généralement réfractaire à ce genre de mesure qui force l'adoption de nouvelles pratiques et habitudes de vie. Comme cette mesure ne détient pas l'appui de la population, les élus responsables de la gestion de l'eau au Québec peuvent se montrer récalcitrants à appliquer un nouveau système de redevances variables afin d'éviter de déplaire à cette dernière. De plus, les plus grands consommateurs d'eau, notamment les industriels et les propriétaires d'importants commerces, détiennent parfois une certaine influence et tentent de retarder l'application d'une telle mesure puisqu'elle engendrerait des coûts de production plus élevés. La mise en place de ce type de mesure d'adaptation demeure un processus long et complexe à organiser puisqu'elle nécessite, entre autres, l'installation de compteurs d'eau, l'implantation d'un nouveau système de tarification et la mise en place d'un organisme de collecte et de redistribution des montants. Finalement, les redevances suggérées par la Politique nationale de l'eau restent extrêmement faibles (0,07 \$/m³ pour industries ciblées et 0,0025 \$/m³ pour les autres secteurs) et il n'est pas certain qu'ils puissent susciter une réduction appropriée de la consommation d'eau au Québec (de Ladurantaye, 2010).

Applicabilité

L'implantation d'un système de redevances sur l'eau dont le montant varie en fonction des quantités d'eau utilisées et qui inclut les secteurs commerciaux, industriels et institutionnels démontre un niveau de faisabilité relativement élevé. En effet, des systèmes semblables ont été implantés avec succès ailleurs dans le monde. La France se révèle un bon exemple puisque cette dernière applique depuis plusieurs années le concept de redevances aux montants variables et donc la mise en œuvre de la devise d'utilisateur-payeur et de pollueur-payeur. Il est envisageable d'implanter, sur le territoire québécois, une semblable mesure qui pourra s'inspirer des autres modèles fonctionnels déjà établis.

3.6 Mesure d'adaptation 6 : augmentation de l'infiltration en milieu urbain

Description de la mesure d'adaptation

Il a été vu précédemment que la baisse de la capacité d'infiltration des sols prévue au cours des prochaines décennies pourrait occasionner une diminution de la recharge des nappes d'eau souterraines sur le territoire québécois. Afin de pallier à cette situation, certains systèmes d'infiltration peuvent être implantés pour assurer une meilleure gestion des eaux pluviales en milieu urbain. En effet, la forte imperméabilité des surfaces en milieu urbain engendre depuis plusieurs années certains problèmes de recharge des nappes souterraines et a entraîné la conception de nombreux systèmes d'infiltration présentant diverses formes et possibilités d'usage. Ces

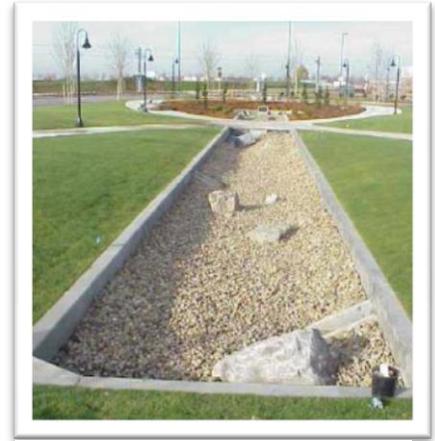


Figure 3. 1 Bassin d'infiltration. (tiré de Prince, 2010)



Figure 3.2 : Îlot de bio-rétention (tiré de Prince, 2010)

Les systèmes ont la capacité de diminuer la fréquence des épisodes d'inondation de même que de faciliter la recharge des nappes souterraines avoisinantes en permettant l'infiltration dans les sols de plus grandes quantités d'eau (De Becdelievre et al, 2009); (Moura, 2008). Les figures 3.1 et 3.2 présentent deux exemples de systèmes d'infiltration pouvant être implantés en zones urbaines pour augmenter la capacité d'infiltration des sols et ainsi faciliter la recharge des eaux souterraines.

Avantages

Ce type aménagement a l'avantage premier de ralentir les débits d'eau de ruissellement et de réduire l'ampleur des débits de pointe en milieu urbain. Il permet par le fait même de réduire la fréquence des épisodes d'inondation en plus d'aider à maintenir le niveau de la nappe phréatique. Les systèmes d'infiltration peuvent également constituer un filtre naturel des polluants et améliore donc la qualité de l'eau provenant de zones urbanisées.

Inconvénients

Certains types d'aménagements peuvent s'avérer dispendieux à mettre en place et nécessiter un niveau d'entretien relativement important. De plus, il peut être parfois complexe d'intégrer de tels systèmes aux infrastructures déjà en place.

Applicabilité

Règle générale, l'aménagement de systèmes d'infiltration en milieu urbain est caractérisé par une faisabilité d'exécution élevée. L'opinion publique est habituellement favorable à l'implantation de cette mesure d'adaptation et les coûts d'installation, de main d'œuvre et d'entretien demeurent acceptables.

3.7 Mesure d'adaptation 7 : réduction de la consommation électrique

Description de la mesure d'adaptation

Les modifications du cycle hydrologique occasionnées par les changements climatiques seront probablement traduites par une augmentation des épisodes de sécheresse lors de la saison estivale, réduisant par le fait même le niveau minimal d'eau des réservoirs hydroélectriques en été. Tel que discuté précédemment, les prochaines décennies seront caractérisées par une augmentation des températures extérieures qui amènera un accroissement de la demande en électricité au cours de la saison estivale (Hydro-Québec, 2011d). La diminution probable de la capacité de production hydroélectrique au Québec pourrait donc s'avérer un problème de taille. Afin de pallier à cette éventualité, il est possible, par l'utilisation d'appareils électriques moins énergivores, par la construction d'infrastructures éco-énergétiques et par l'adoption de bonnes pratiques, de réduire la consommation d'électricité au niveau commercial, industriel et domestique.

Avantages

Cette mesure d'adaptation a comme avantage premier de réduire grandement la vulnérabilité de l'approvisionnement électrique face à la diminution possible du niveau minimal des réservoirs. L'adoption de bonnes pratiques simples, efficaces et économiques permettent de plus aux ménages de réduire leurs dépenses et aux commerces et industries de diminuer leurs

coûts de production. Cette mesure d'adaptation peut également éviter l'implantation de mesures plus coûteuses, tant au point de vue économique qu'environnemental.

Inconvénients

Le Québec est une province caractérisée par une consommation d'électricité très élevée. Un tel niveau de consommation est ancré dans le mode de vie québécois depuis plusieurs décennies et changer certaines habitudes de vie peut s'avérer difficile. De plus, l'électricité au Québec est une des plus abordables au monde, ce qui n'incite pas la population à l'économie d'énergie (Desrosiers et Farley, 2007). Un manque de réceptivité peut se faire sentir de la part des commerces et industries puisque certains sont satisfaits de leurs méthodes de production actuelles et qu'apporter des changements afin de modifier les procédés et permettre une économie énergétique nécessite parfois un investissement important.

Applicabilité

Cette mesure d'adaptation démontre un potentiel d'applicabilité élevé puisqu'elle est peu coûteuse et peut permettre d'éviter la mise en œuvre de mesures plus dispendieuses ou ayant des impacts environnementaux plus grands. L'inconvénient majeur de l'économie d'énergie réside dans le manque de réceptivité de la population. Il demeure néanmoins que la présente mesure contribue à la gestion efficace des ressources et à minimiser les impacts qu'occasionnera la diminution des ressources hydriques sur le territoire québécois.

3.8 Mesure d'adaptation 8 : construction de nouveaux barrages et canaux de drainage

Description de la mesure d'adaptation

La construction de barrages et de canaux de drainage est une méthode d'adaptation majeure en ce qui a trait à la gestion de l'eau au Québec (Ressources Naturelles Canada, 2007). Plusieurs centaines de barrages ont été construits au fil des ans afin de régulariser le débit de certaines rivières, de diminuer la fréquence de même que l'intensité des épisodes d'inondations des rives, d'assurer un débit minimal lors des épisodes de sécheresse, de protéger certains écosystèmes et de produire de l'hydroélectricité (Gouvernement du Canada, 2011).

Avantages

Le principal avantage d'une telle mesure d'adaptation consiste en une réduction assurée de la vulnérabilité de la société québécoise face à la réduction de la disponibilité de l'eau. En effet, la construction de nouvelles infrastructures augmenterait la souplesse des opérations de gestion et permettrait au réseau en place de contrebalancer plus facilement les impacts d'une variabilité accrue des composantes hydrologiques (Ressources Naturelles Canada, 2007).

Inconvénients

Les inconvénients de cette mesure d'adaptation sont nombreux et d'une ampleur importante. Les coûts liés à l'implantation d'une telle démarche sont très élevés et les impacts environnementaux souvent catastrophiques. De plus, les risques économiques et sociaux associés aux barrages sont non-négligeables (voir section 2.3 pour de plus amples détails)

Applicabilité

Bien que les opinions divergent en ce qui a trait au bien-fondé de cette mesure d'adaptation, les coûts environnementaux, sociaux et économiques majeurs associés à cette pratique laissent croire qu'il est préférable d'éviter ou à tout le moins retarder la mise en place de nouvelles infrastructures (Ressources Naturelles Canada, 2007).

CONCLUSION

Les impacts des changements climatiques sur les diverses ressources naturelles et sur les écosystèmes sont maintenant devenus sujets d'actualité. Au Québec, il devient pertinent de s'interroger sur la façon dont sera influencée la disponibilité de l'eau dans les réservoirs naturels. Le présent document avait donc pour but la caractérisation de cette problématique d'importance grandissante.

Tout d'abord, il a été vu que les changements climatiques présentement observés ainsi que ceux prévus pour les prochaines décennies sont à même d'engendrer plusieurs modifications dans la distribution spatiale et temporelle des précipitations annuelles. Les régimes de précipitations subiront vraisemblablement des hausses plus importantes lors des mois d'hiver tandis qu'ils seront stationnaires d'ici 2100 pour les mois de mai à octobre. Il a aussi été estimé que les chutes de neige seront moins abondantes et que la quantité de neige tombée annuellement ira en diminuant au cours du prochain siècle, ce qui rendra certaines régions plus vulnérables aux événements périodiques de sécheresses. La fonte printanière sera située plus tôt dans l'année et pourrait occasionner une baisse de la disponibilité de l'eau durant les mois secs de la saison estivale.

Une augmentation généralisée du nombre d'épisodes de fortes précipitations et de l'intensité de ces dernières sera observée au cours du prochain siècle, ce qui engendrera à son tour une occurrence accrue des inondations, mais également une vulnérabilité plus grande aux épisodes de sécheresse. Il pourra d'autre part être possible de noter une augmentation du phénomène de ruissellement annuel et une diminution de l'infiltration totale de l'eau dans les sols, ce qui réduira de la disponibilité des ressources d'eau souterraine. Les quantités d'eau retournées à l'atmosphère par évapotranspiration seront accrues, ce qui diminuera la disponibilité de l'eau en surface.

Les modifications de la quantité d'eau disponible dans les réservoirs naturels peuvent entraîner de nombreuses problématiques caractéristiques. Il sera probablement nécessaire d'augmenter le dragage des cours d'eau au cours des prochaines années. Bien qu'il soit impossible à l'heure actuelle de prédire l'ampleur des travaux de dragage nécessaires, il peut

être affirmé que ce type d'activités engendre de nombreux impacts néfastes sur l'environnement et les écosystèmes environnants. Les débits de certains cours d'eau pourraient être réduits, ce qui compromettrait l'approvisionnement en eau potable des municipalités.

Les nombreux barrages aménagés sur le territoire québécois ne sont bien sûr pas à l'abri des modifications engendrées par les changements climatiques prévus. Étant fondamentalement liés au régime hydrique des régions environnantes, les barrages se révèlent sensibles aux changements des diverses composantes du cycle hydrologique. Les milieux humides situés sur le territoire du sud du Québec seront également grandement affectés par les changements climatiques. Il a été estimé que les modifications du régime de précipitation et la présence d'hivers moins froids et plus courts mettront en péril une partie importante de ces écosystèmes qui risquent de s'assécher.

Finalement, afin de pallier aux problématiques soulevées, un processus d'adaptation majeur est en train de se mettre en place, tant au niveau régional qu'international. Huit mesures d'adaptation ont été décrites dans le présent document, soit l'augmentation des activités de dragage, l'implantation de mesures d'éducation, de formation et de sensibilisation, la mise sur pied d'une réglementation municipale sur les usage de l'eau, l'amélioration du système de distribution d'eau, l'augmentation de la capacité d'infiltration en milieu urbain, l'instauration d'un système de redevance sur l'eau, la réduction de la consommation électrique afin de compenser les réductions de capacité de production ainsi que la construction de nouveaux barrages et canaux de drainage.

Suite à l'analyse de la problématique que posent les changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans le sud du Québec, il est possible de tirer plusieurs conclusions pertinentes. Premièrement, il est primordial de ne pas sous-estimer les impacts que peuvent occasionner les changements climatiques sur les ressources en eau et ce, même si la province bénéficie d'une abondante quantité d'eau renouvelable. Les effets du réchauffement du climat sur le cycle hydrologique peuvent se révéler d'une ampleur non-négligeable et ont déjà commencé à se faire sentir dans certaines régions du globe. Il est donc extrêmement important de prendre au sérieux la menace qui pèse présentement sur les ressources hydriques. Deuxièmement, il a été possible d'observer que l'ampleur des modifications du régime

hydrologique qui surviendront au cours des prochaines décennies est encore méconnue et source de nombreuses incertitudes, ce qui rend complexe le choix des mesures d'adaptations appropriées et retarde leur application. Il serait donc pertinent de mettre en œuvre certaines études afin d'approfondir les connaissances en ce qui a trait aux impacts des changements climatiques et ainsi mieux orienter la mise en place des mesures d'adaptation nécessaires. Il est de plus essentiel de commencer la mise sur pied des mesures le plus rapidement possible pour éviter que des conditions critiques ne surviennent et nécessitent l'application de mesures drastiques. Il va bien sûr de soi que les mesures d'adaptation les plus faciles à mettre en place et ayant le moins d'impacts néfastes sur l'environnement devraient être priorisées. L'implantation de mesures d'éducation, de formation et de sensibilisation, la mise sur pied d'une réglementation municipale sur les usages de l'eau, l'augmentation de la capacité d'infiltration en milieu urbain de même que l'amélioration du système de distribution d'eau devraient être favorisées en premier lieu.

Une nouvelle réglementation municipale demeure une mesure plus complexe à mettre en place. Il est donc suggéré que les municipalités désireuses d'élaborer une telle démarche s'inspirent des villes de Sherbrooke, Québec, Victoriaville et Rivière-du-Loup et mettent sur pied une patrouille permettant le respect de la nouvelle réglementation. Les principes de gestion intégrée de l'eau stipulés par la Politique nationale de l'eau du Québec devraient de plus être appliqués dans les plus brefs délais afin d'assurer une gestion viable des ressources. En ce sens, une redevance sur l'eau impliquant un montant variable selon les quantités d'eau utilisées devrait être de mise. Par contre, les montants proposés pour les taxes à taux variables par la Politique nationale demeurent trop bas et n'inciteraient probablement pas la population à diminuer de façon satisfaisante la consommation d'eau sur le territoire québécois. Les responsables de cette redevance devraient s'inspirer du modèle de gestion français qui applique avec succès des taux variables aux montants plus élevés.

La mise en place d'un meilleur système de détection des fuites pour les réseaux d'aqueducs constituerait un atout majeur et permettrait d'importantes économies d'eau pour les municipalités. En plus de réduire les coûts de traitement d'eau potable, cette mesure réduirait grandement la vulnérabilité des réseaux d'approvisionnement face aux diminutions possibles de la disponibilité des ressources en eau. De plus, une emphase particulière devrait être mise

sur la préservation des milieux humides puisque ces derniers constituent des « éponges » naturelles et aident à conserver un niveau d'eau plus constant. En retenant l'eau, ces derniers atténuent les épisodes d'inondations et de sécheresses. Puisque les changements climatiques qui surviendront au cours des prochaines décennies augmenteront selon toute vraisemblance la fréquence et l'ampleur de ces épisodes, leur préservation revêt une importance particulière et favoriserait une disponibilité plus grande de l'eau dans les réservoirs naturels. Finalement, il est évidemment essentiel d'éviter ou à tout le moins retarder l'implantation de mesures d'adaptation drastiques qui occasionneraient des impacts environnementaux excessifs et des coûts très élevés.

RÉFÉRENCES

Baltas, E.A. Mimikou, M.A. (1997). Climate change impact on the reliability or hydroelectric energy production. , National Technical University of Athens. [En ligne]. http://itia.ntua.gr/hsj/42/hysj_42_05_0661.pdf (page consultée de 7 avril 2011).

Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof, éd., 2008: *Le changement climatique et l'eau*, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.

CEHQ. (2006). Suivi hydrologique des différentes stations hydrométriques. [En ligne]. <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/default.asp> (page consultée le 12 mars 2011).

CEHQ. (2011). Répertoire des barrages. [En ligne]. <http://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages/default.asp> (page consultée le 7 avril 2011).

Comité de Concertation Navigation. (2004). Document d'orientation sur la gestion intégrée du dragage sur le Saint-Laurent. [En ligne]. http://www.planstlaurent.qc.ca/centre_ref/publications/diverses/Orientations_dragage_f.pdf (page consultée le 30 mars 2011).

Côté, M.-J., Lachance, Y., Lamontagne, C., Nastev, M., Plamondon, R., Roy, N., 2006. Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay. Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique - Eau, Terre et Environnement. Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 64 p.

CPEED. (2008). Gestion intégrée du dragage sur le Saint-Laurent. [En ligne]. http://www.planstlaurent.qc.ca/sl_obs/affiches-scientifiques/fiches-pdf/2008_10_27-CPEED_CCRD-gestion-int-dragage-St_Laurent.pdf (page consultée le 30 mars 2011).

CRE-Capitale. (s.d.). Entre la terre et l'eau : un monde à protéger... Projet de conservation et de mise en valeur des milieux humides de la région. [En ligne] <http://www.cre-capitale.org/milieuxhumides.html> (page consultée le 5 décembre 2010).

CRÉER. (2009). Qu'est-ce qu'un milieu humide?. [En ligne]. http://www.lecreer.com/milieux_humides.ws (page consultée le 7 avril, 2011).

D'astous, C. (2010). La rivière des Mille-Îles à son plus bas niveau depuis 30 ans. [En ligne]. Nord Info. <http://www.nordinfo.com/Societe/Habitation/2010-05-14/article-1346996/La-riviere-des-Mille-Iles-a-son-plus-bas-niveau-depuis-30-ans/1> (page consultée le 4 avril 2011).

De Becdelievre, L. et al. (2009). L'infiltration en questions : recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. [En ligne].

http://www.graie.org/ecopluiers/delivrables/55729e_guidemodifie_20090203fin6-2.pdf (page consultée le 27 avril 2011).

de Laurantaye, R. (2010). Cours ENV 757 : Gestion de l'eau. Communication orale. Maîtrise en environnement, 1er septembre-1er décembre 2010, Sherbrooke.

Desrosiers, J., & Farley, C. (2007). L'énergie éolienne souffle sur le Québec. *La Maîtrise De l'Énergie*, 22(3), 6-9.

Doutre, G. (2010). Municipalités de la MRC Thérèse-De Blainville: de sévères restrictions d'arrosage sont décrétées. *Journal le Courrier*. [En ligne].

<http://www.journallecourrier.com/Societe/Habitation/2010-06-02/article-1356316/Municipalites-de-la-MRC-Therese-De-Blainville%3A-de-severes-restrictions-d%27arrosage-sont-decretees/1> (page consultée le 4 avril 2011).

Duchesne, S. Mailhot, A. (2005). Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain. *Vertigo - La revue des sciences de l'environnement*. Hors-série no 1. p.9.

Environnement Canada. (2007). Les changements climatiques dans les régimes météorologiques, l'incertitude et les risques pour les infrastructures : les nouvelles exigences d'adaptation. Division de recherche sur l'adaptation et les répercussions (DRAR). [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/publications/6544796D-66EB-4A64-B2E7-88A8911D0439/LesChangementsDansLesRegimesMeteorologiquesLincertitudeHorsSerieNo9.pdf> (page consultée le 11 mars 2011)

Environnement Canada. (2008a). Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/inre-nwri/default.asp?lang=Fr&n=0CD66675-1&offset=18&toc=show> (page consultée le 5 avril 2011).

Environnement Canada. (2008b). Barrages, réservoirs et régulation des débits d'eau. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/inre-nwri/default.asp?lang=Fr&n=0CD66675-1&offset=7&toc=show#fig1> (page consultée le 5 avril 2011).

Environnement Canada. (2008c). Impliquez-vous! L'adaptation aux changements climatiques. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/envirozine/default.asp?lang=Fr&n=3D5D530C-1> (page consultée le 20 avril 2010).

Environnement Canada. (2010a). neige et glaces : l'importance de la neige dans les ressources hydriques. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=B98C0EB3-1> (page consultée le 11 mars 2011).

Environnement Canada. (2010b). La problématique environnementale liée à la navigation commerciale sur le Saint-Laurent. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=A0ACE38E-1#dragage> (page consultée le 30 mars 2011).

Environnement Canada. (2010c). Le Saint-Laurent et le réchauffement climatique. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=4BF0EF0C-1> (page consultée le 1^{er} avril 2011).

Francoeur, L-G. (2004). Des risques pour la prise d'eau de Montréal : l'abaissement d'un mètre du niveau du fleuve coûterait des millions de dollars à la Ville. Le Devoir. [En ligne]. <http://www.ledevoir.com/environnement/50134/des-risques-pour-la-prise-d-eau-de-montreal> (page consultée le 2 avril 2011).

Francoeur, L-G. (2011). Stratégie d'économie d'eau potable : l'objectif de -20% repoussé à 2017. Le Devoir. [En ligne]. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/319873/strategie-d-economie-d-eau-potable-l-objectif-de-20-repousse-a-2017> (page consultée le 27 avril 2011).

Giguère, M. Gosselin, P. (2006). Eau et santé : examen des initiatives actuelles d'adaptation aux changements climatiques au Québec. INSPQ. [En ligne]. http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/516-ChangeementsClimatiques_EauSante.pdf (page consultée le 22 avril 2011).

Gouvernement du Québec. (2011). Rupture de barrage. [En ligne]. <http://www.gouv.qc.ca/portail/quebec/pgs/commun/urgence-quebec/rupture-de-barrage/?lang=fr> (page consultée le 7 avril 2011).

Groupe Océan. (2011). Industriels et portuaires : dragage. [En ligne]. <http://www.groupeocean.com/fr/marche-desservis/portuaires-et-industriels/service/dragage/portuaires-et-industriels> (page consultée le 30 mars, 2011).

Hydro-Québec. (2011a). Ouvrages de retenue. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/comprendre/hydroelectricite/ouvrages-retenu.html> (page consultée le 7 avril 2011).

Hydro-Québec. (2011b). Profil de la division. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/production/profil.html> (page consultée le 7 avril 2011).

Hydro-Québec. (2011c). Consommation d'électricité : Équilibre de l'offre et la demande. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/comprendre/consommation/equilibre-offre-demande.html> (page consultée le 7 avril 2011).

Hydro-Québec. (2011d). Ce qui fait varier votre consommation. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/residentiel/consommation/index.html> (page consultée le 7 avril 2011).

INSPQ. (2008). Changements climatiques au Québec méridional : approvisionnement en eau potable et santé publique : projections climatiques en matière de précipitations et d'écoulements pour le sud du Québec. [En ligne]. http://www.ouranos.ca/media/publication/35_Resume_Approvisionnementeau potableetsantepublique_Fevrier2009.pdf (page consultée le 31 mars 2011).

Marsh, J. (2011). Saint-Laurent, fleuve. L'Encyclopédie Canadienne. [En ligne]. <http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=F1ARTF0007094> (page consultée le 30 mars 2011).

MDDEP. (2002a). Le Saint-Laurent. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/fleuve.htm> (page consultée le 30 mars 2011).

MDDEP. (2002b). La gestion de l'eau au Québec : document de consultation publique. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/consultation/themes3.htm> (page consultée le 31 mars 2011).

MDDEP. (2002c). Milieux humides. [En ligne] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/milieuxhumides.htm> (page consultée le 5 avril 2011).

Ministère de l'environnement. (2004). Bilan de la qualité de l'eau potable au Québec : janvier 1995 – juin 2002). [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/bilan03/bilan.pdf> (page consultée le 31 mars 2011).

Moura, P. (2008). Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain. [En ligne]. <http://ori-oai-search.insa-lyon.fr/notice/view/default%253AUNIMARC%253A167710> (page consultée le 27 avril 2011).

MRNF. (2011). Les barrages hydroélectriques au Québec. [En ligne]. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/hydroelectricite/barrages.jsp> (page consultée le 7 avril 2011).

MTQ. (2009). Le transport des marchandises sur le Saint-Laurent depuis 1995. [En ligne]. http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/maritime/rap_transp_marchandises.pdf (page consultée le 30 mars 2011).

Olivier, M. (2009). Chimie de l'environnement. 6e édition, Les productions Jacques Bernier, 368 pages.

Ouranos. (2008). Approvisionnement en eau potable et santé publique : projections climatiques en matière de précipitations et d'écoulements pour le sud du Québec. Rapport de recherche No R-997. [En ligne] http://www.ouranos.ca/media/publication/35_Rapport_Mailhot_sante_2008.pdf (page consultée le 12 février 2011).

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof and Co-authors 2007: Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 23-78.

Port de Montréal. (2011). Au cœur du continent. [En ligne]. http://www.port-montreal.com/site/1_0/1_1.jsp?lang=fr (page consultée le 30 mars, 2011).

Prince, M. (2010). *La gestion des eaux de ruissellement en milieu urbain*. Université de Sherbrooke, 60 p.

Radio-Canada. (1989). Pollution du fleuve Saint-Laurent. [En ligne]. http://archives.radio-canada.ca/economie_affaires/transports/clips/4089/ (page consultée le 30 mars 2011).

Radio-Canada. (1996a). Le Saguenay sous les eaux. [En ligne]. http://archives.radio-canada.ca/environnement/catastrophes_naturelles/dossiers/50/ (page consultée le 7 avril 2011).

Radio-Canada. (1996b). Le Saguenay : bilan de l'année. [En ligne]. http://archives.radio-canada.ca/environnement/catastrophes_naturelles/dossiers/50/ (page consultée le 7 avril 2011).

Radio-Canada. (2010). Le bas niveau de la rivière des Mille-Îles. [En ligne]. http://www.radio-canada.ca/emissions/la_tribune/2010/chronique.asp?idChronique=113698 (page consultée le 4 avril 2011).

RAPPEL. (2008). L'eutrophisation (vieillesse) des lacs. [En ligne] <http://www.rappel.qc.ca/lac/eutrophisation.html> (page consultée le 4 avril 2011).

Ressources Naturelles Canada. (2007). Impacts et adaptation liés aux changements climatiques. [En ligne]. http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/water_3_f.php (page consultée le 31 mars 2011).

Ressources Naturelles Canada. (2009). Un temps de changements : les changements climatiques au Québec. [En ligne]. http://adaptation.nrcan.gc.ca/posters/qc/qc_06_f.php (page consultée le 30 mars, 2011).

Robinson, M. Ward, R.C. (2000). Principles of Hydrology. 4th edition. McGraw Hill. England. P.450.