

Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent : Volet eaux municipales

Rapport final

Novembre 2015



Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent : Volet eaux municipales

Rapport final, version définitive, publique
Novembre 2015

Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, au Gouvernement du Québec et à Ouranos, dans le cadre du volet eaux municipales de l'*Étude économique des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint Laurent*, pilotée par Ouranos

Titre de projet Ouranos : Étude économique des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint Laurent

Numéro de projet Ouranos : 510019-123

Numéro de projet AECOM : 6031-5949

Citation suggérée : Chan, C.F., Coppens, C., Boisjoly, L., et Baillargeon, C.A. (2015). *Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent : volet eaux municipales*. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, au Gouvernement du Québec et à Ouranos. Montréal : AECOM.134p.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs. Toute utilisation de cette publication et de son contenu n'engage pas Ouranos et ses partenaires.

Pour plus d'information sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques, nous vous invitons à consulter les sites www.adaptation.rncan.gc.ca et www.ouranos.ca

Équipe de réalisation

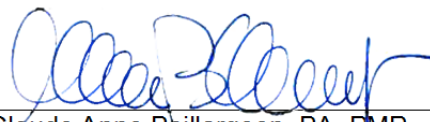
Rapport préparé par :



Le 28 janvier 2016

Chee F. Chan, Urb. M. Urb., B. Sc.
Cédric Coppens, ing. – volet Eau potable
Lucie Boisjoly, ing. – volet Eaux Usées

Rapport vérifié par :



Le 28 janvier 2016

Claude Anne Baillargeon, BA, PMP
Économiste

Collaborations

Nicolas Audet, Ouranos
Manon Circé, Ouranos
Claude Desjarlais, Ouranos
David Huard, Ouranos
Annie Carrière, Ville de Montréal

Liste des révisions

Révision #	Révisé par	Date	Description de la révision
1	Chee Chan	2 septembre 2015	Tenir compte des commentaires du client reçus le 24 août 2015
2	Chee Chan	12 novembre 2015	Réponses aux commentaires reçus le 7 octobre, 2015
3	Chee Chan	28 janvier 2016	Révisions des pages titres

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet piloté par Ouranos avec le soutien de Ressources naturelles Canada et du Gouvernement du Québec.

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur collaboration :

André Veilleux	Ville de Châteauguay
Benoît Barbeau	École Polytechnique de Montréal
Bernard Simard	Ville de Lavaltrie
Caroline Verreault	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire
Catherine Mercier Shanks	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
François Leduc	Régie de l'eau de l'Île Perrot
Hervé Logé	Ville de Montréal
Hugo Monette	Ville de Longueuil
Laura Fagherazzi	Hydro Québec
Lincoln Le Breton	Ville de Berthierville
Luc Brault	Ville de Candiac
Marie-Anne Gabriel	Ville de Montréal
Martin Bergeron	Ville de Berthierville
Martin Massicotte	Ville de Verchères
Martine Gélinau	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
Nick Heisler	Commission mixte internationale
Normand Massicotte	Régie intermunicipale de l'eau potable Varennes, Sainte-Julie, Saint-Amable
Philippe Cordey	Aquatech Société de Gestion de l'eau inc.
Pierre-Marc Rondeau	Hydro Québec
Rémi Haf	Ville de Montréal
René Lussier	Ville de Contrecoeur
Richard Gagné	Ville de Lavaltrie
Robert Perreault	Ville de La Prairie
Steve Ponton	Ville de La Prairie
Vincent Veilleux	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
Yannick Vinette	Ville de Longueuil

L'étude a bénéficié aussi de l'aide du Groupe de travail sur l'économie de la Plateforme d'adaptation.



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Réserves et Limites

Le rapport ci-joint (le « Rapport ») a été préparé par AECOM (« Consultant ») pour le bénéfice du client (« Client ») conformément à l'entente entre le Consultant et le Client, y compris l'étendue détaillée des services (le « Contrat »).

Les informations, données, recommandations et conclusions contenues dans le Rapport (collectivement, les « Informations ») :

- sont soumises à la portée des services, à l'échéancier et aux autres contraintes et limites contenues au Contrat ainsi qu'aux réserves et limites formulées dans le Rapport (les « Limites »);
- représentent le jugement professionnel du Consultant à la lumière des Limites et des standards de l'industrie pour la préparation de rapports similaires;
- peuvent être basées sur des informations fournies au Consultant qui n'ont pas été vérifiées de façon indépendante;
- n'ont pas été mises à jour depuis la date d'émission du Rapport et leur exactitude est limitée à la période de temps et aux circonstances dans lesquelles elles ont été collectées, traitées, produites ou émises;
- doivent être lues comme un tout et par conséquent, aucune section du Rapport ne devrait être lue hors de ce contexte;
- ont été préparées pour les fins précises décrites dans le Rapport et le Contrat;

Le Consultant est en droit de se fier sur les informations qui lui ont été fournies et d'en présumer l'exactitude et l'exhaustivité et n'a pas l'obligation de mettre à jour ces informations. Le Consultant n'accepte aucune responsabilité pour les événements ou les circonstances qui pourraient être survenus depuis la date à laquelle le Rapport a été préparé.

Le Consultant convient que le Rapport représente son jugement professionnel tel que décrit ci-dessus et que l'Information a été préparée dans le but spécifique et pour l'utilisation décrite dans le Rapport et le Contrat, mais ne fait aucune autre représentation ou garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, en ce qui concerne le Rapport, les Informations ou toute partie de ceux-ci.

À moins que (1) le Consultant et le Client n'en conviennent autrement par écrit; (2) ce soit requis en vertu d'une loi ou d'un règlement; ou (3) ce soit utilisé par un organisme gouvernemental révisant une demande de permis ou d'approbation, seul le Client est en droit de se fier ou d'utiliser le Rapport et les Informations.

Le Consultant n'accepte et n'assume aucune responsabilité de quelque nature que ce soit envers toute partie, autre que le Client, qui pourrait avoir accès au Rapport ou à l'Information et l'utiliser, s'y fier ou prendre des décisions qui en découlent, à moins que cette dernière ait obtenu l'autorisation écrite préalable du Consultant par rapport à un tel usage (« Usage non conforme »). Tout dommage, blessure ou perte découlant d'un Usage non conforme du Rapport ou des Informations sera aux propres risques de la partie faisant un tel usage.

Ces Réserves et Limites font partie intégrante du Rapport et toute utilisation du Rapport est sujette à ces Réserves et Limites.

Sommaire exécutif

Ouranos un consortium de recherche en changement climatique au Québec (Ouranos) coordonne une étude économique régionale portant sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation de différents usages et activités économiques liées au fleuve Saint-Laurent. L'étude est financée par la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada (RNCAN). Cette étude économique régionale du fleuve Saint-Laurent porte sur le tronçon du fleuve s'étendant de la frontière ontarienne jusqu'à Trois-Rivières (le corridor d'étude). Dans le cadre de cette étude, six volets d'activités sont évalués, soit :

- le transport maritime;
- les eaux municipales (c.-à-d. l'approvisionnement en eau potable et le rejet des eaux usées);
- les écosystèmes, services écologiques et pêche;
- le tourisme et la plaisance;
- la production hydroélectrique; et
- les valeurs foncières.

AECOM a été mandatée pour réaliser le volet eaux municipales (l'étude), portant sur l'évaluation des impacts des changements climatiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau potable et de rejet des eaux usées (les infrastructures), ainsi que sur les communautés et les activités économiques qui dépendent de l'eau potable, ou qui sont touchés par le rejet des eaux usées (le milieu) dans le corridor d'étude. L'identification et l'évaluation économique des solutions d'adaptation pour atténuer ces impacts seront également réalisées dans cette étude.

Des changements dans le régime de précipitation, combinés avec une augmentation de l'évaporation de l'eau des Grands Lacs et des tributaires du fleuve pourraient contribuer à la réduction des débits et des niveaux d'eau dans le fleuve. Trois scénarios futurs de niveaux et de débit du fleuve ont été élaborés par l'équipe d'Ouranos :

- un scénario de référence sans changement climatique;
- un scénario « What-if » 1 avec changements climatiques, qui comporte les niveaux d'étiage les plus bas, et
- un scénario « What-if » 2 avec changements climatiques, qui comporte des variations de niveau plus accentuées.

Volet eau potable

L'approvisionnement en eau potable de près de 2,5 millions personnes à l'intérieur du corridor d'étude provient des usines de traitement d'eau potable (UTEP) qui s'approvisionnent à partir du fleuve. Vingt-sept usines de traitement d'eau potable ont été considérées dans le cadre de cette étude. Parmi celles-ci, neuf usines localisées en amont du barrage Beauharnois d'Hydro-Québec ont été retirées de l'analyse¹. Ces usines s'approvisionnent dans le lac Saint-François, dont le niveau d'eau est régulé par le barrage hydroélectrique de Beauharnois. Cette régulation assure le bon fonctionnement hydraulique des ouvrages de captage de ces neuf UTEP. Les 18 usines retenues pour l'étude sont présentées dans le tableau suivant.

¹ Ces usines sont, de l'ouest à l'est, St.-Régis (État de N.Y.), St-Régis (QC), Saint-Zotique, Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Grande-Île, Salaberry-de-Valleyfield, Pointe-des-Cascades et Beauharnois. Soulignons également que le modèle hydraulique du fleuve utilisé par l'équipe d'Ouranos pour la conception des scénarios ne couvre pas le lac Saint-François.

Tableau SE 1 Usines de traitement d'eau potable

N°	Usine de traitement	Procédé de traitement	Capacité de production nominale (m ³ /jour)	Nombre de prise d'eau
1	Bécancour	chloration, filtration, ozonation	18 300	1
2	Berthierville	chloration, filtration, ultraviolet	20 000*	1
3	Candiac	chloration, filtration, ozonation	76 100	2
4	Châteauguay	chloration, filtration, ultraviolet	90 720	3
5	Contrecoeur	chloration, filtration	9 800*	1
6	Dorval	chloration, filtration, charbon	68 000	3
7	Île-Perrot	chloration, filtration, ozonation	10 200*	1
8	La Prairie	chloration, filtration	27 000	3
9	Lachine	chloration, filtration, ozonation	100 000	1
10	Lavaltrie	chloration, filtration, ultraviolet	7 570*	1
11	Longueuil (usine locale et usine régionale)	chloration, filtration, charbon	340 000	2
12	Longueuil SPPI (parc industriel)	aucun traitement**	22 731	2
13	Longueuil (St-Lambert)	chloration, filtration, charbon	135 000	2
14	Montréal (usine Atwater, usine Des Bailleurs)	(Atwater-chloration, filtration, Des Bailleurs - chloration, filtration, ozonation)	2 477 600	1
15	Pointe-Claire	chloration, filtration, charbon	181 700*	3
16	Régie de l'eau de L'Île-Perrot	filtration, chloration	23 000*	1
17	Régie intermunicipale de l'eau potable de Varennes, Sainte-Julie et Saint-Amable (RIEP)	chloration, filtration, ozonation	72 000*	2
18	Verchères	chloration, filtration	6 000*	1

* Usines dont la capacité a été modifiée depuis 2004, ou sera modifiée à court terme.

** Usine de pompage d'eau brute, pas d'une usine d'eau potable.

Les bas niveaux d'eau du fleuve peuvent affecter la capacité de captage des UTEP et donc leur capacité de production. Pour assurer la production nominale d'eau potable, un niveau d'eau minimum dans le fleuve est requis pour vaincre **la perte de charge** des conduites d'adduction entre les prises d'eau et le puits d'eau brute. La présente étude considère qu'une pénurie d'eau potable se produit lorsque le niveau d'eau du fleuve descend sous le niveau critique d'eau requis pour la production de la capacité nominale de l'usine. L'ampleur potentielle de la pénurie d'une usine est estimée comme étant la différence entre la capacité de production nominale et la capacité de captage lors des périodes d'étiage.

Le niveau d'eau dans le fleuve doit également être au-dessus des élévations des prises d'eau de manière à assurer une **submersion** satisfaisante de celles-ci. Une bonne submersion des prises d'eau réduit les risques d'entraînement de flottants et donc les risques de colmatage et d'encrassement des grilles et des conduites d'adduction.

À l'aide des données techniques sur les infrastructures provenant de l'étude de Carrière et Barbeau (2004), ainsi qu'une collecte de donnée réalisée auprès des opérateurs des 18 usines en automne 2014, les pertes de charge des UTEP ont été calculées selon la formule de Hazen-William (Brière, 2000). Les niveaux d'eau minimums des usines ont été également estimés. La présente étude considère une hauteur de submersion minimale de 1,5 fois le diamètre de la conduite d'adduction (Knauss, 1987). Si la prise d'eau est équipée d'un ouvrage de captage avec une vitesse faible au passage des grilles (< 0,15 m/s), la submersion requise n'excèdera pas 1,50 m.

Les niveaux d'eau critiques pour chacune des usines ont pu être comparés avec les niveaux d'eau des scénarios projetés. Cette évaluation indique que deux usines peuvent rencontrer des pénuries de production d'eau potable sur la base des scénarios et des critères retenus. Six (6) autres auraient un fonctionnement dégradé des

ouvrages de captage, mais seraient probablement encore en mesure de capter un débit égal à la capacité nominale de l'usine. Le tableau ci-dessous résume les problématiques de ces usines vulnérables au bas niveau du fleuve.

Tableau SE 2 Sommaire des problématiques des usines identifiées comme étant vulnérables

UTEP*	Problématique potentielle		
	Hauteur de submersion des prises d'eau	Capacité hydraulique du système de captage	Conséquence
1		Insuffisante	Risque de pénurie d'eau
2		Insuffisante	Risque de pénurie d'eau
3	Faible marge de sécurité pour les 2 prises	Faible marge de sécurité	Fonctionnement hydraulique dégradé
4	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 3		Fonctionnement hydraulique dégradé
5	Submersion faible pour 1 prise d'eau sur 3		Fonctionnement hydraulique dégradé
6	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 2		Fonctionnement hydraulique dégradé
7	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 3	Faible marge de sécurité	Fonctionnement hydraulique dégradé
8	Submersion faible pour 1 prise d'eau sur 2		Fonctionnement hydraulique dégradé

*Les noms des UTEP ont été masqués pour maintenir la confidentialité des résultats

Les impacts monétaires potentiels de bas niveau du fleuve associés à l'abaissement des niveaux d'eau découlent en premier lieu des pénuries anticipées d'eau potable. Des impacts monétaires potentiels peuvent découler également de la diminution de la qualité de l'eau, en nécessitant des traitements plus poussés pour purifier l'eau brute. Toutes les usines dans le corridor d'étude peuvent en théorie subir un impact par la dégradation de la qualité d'eau à cause de la réduction du niveau et du débit du fleuve. Toutefois, cette étude n'a pas quantifié les impacts liés à la dégradation potentielle de la qualité de l'eau, car les scénarios futurs ne contiennent pas d'information sur l'évolution des facteurs biophysiques ayant une influence sur la qualité d'eau (p. ex. température supérieure, turbidité, augmentation de la croissance et la décomposition des plantes aquatiques et des algues).

Pour estimer les impacts monétaires liés à la pénurie d'eau potable, cette dernière est répartie de manière proportionnelle entre les diverses catégories d'usagers (p. ex. résidentiel, commercial, industriel) dans les secteurs desservis par les usines 1 et 2. La valeur monétaire de la pénurie est ensuite calculée en multipliant le volume d'eau en pénurie par la valeur de l'eau attribuable à ces diverses catégories d'usagers. L'eau potable peut également servir à des usages indirects, tels que les activités récréatives (p. ex. parcs d'eau, piscines), mais ces quantités d'eau sont généralement moins importantes et ne sont pas estimées dans cette étude.

Sur l'horizon de l'étude, la pénurie pour l'usine 1 est la moins fréquente des deux usines. La pénurie dans le scénario What-if 1 ne se produirait qu'une seule fois, soit en novembre 2042. Le volume de la pénurie est environ 7 700 m³ pendant une semaine, ce qui équivaut une réduction d'environ 13 % de la capacité nominale journalière de l'usine 1. L'impact monétaire de la pénurie est estimé à 3 100 \$ (intervalle de 2 750 \$ à 3 560 \$) en valeur actuelle avec un taux d'escompte de 4 %. La fréquence et l'intensité de la pénurie sont plus prononcées pour l'usine 2. Elle se produirait 14 fois (semaines) entre les années 2041 à 2043, tant en été qu'en hiver. Il y a une période durant laquelle la pénurie potentielle s'étendrait sur cinq semaines consécutives en été 2043. Le volume de la pénurie varie de 3 100 à 22 650 m³ / semaine, soit environ 0,5 % à 4 % de la capacité nominale journalière de l'usine 2. L'impact monétaire total de la pénurie est estimé à 53 730 \$ (intervalle de 46 200 \$ à 63 230 \$) en valeur actuelle avec un taux d'escompte de 4 %.

En avril et mai 2015, des consultations auprès des opérateurs des UTEP² et des réflexions par les spécialistes d'AECOM ont permis d'identifier des solutions d'adaptation pertinentes à chaque usine. Pour quatre des usines

² En avril et mai 2015, des demandes de consultation ont été envoyées aux gestionnaires des huit usines ayant été identifiées dans le cadre de cette étude comme étant vulnérables. Toutefois, seulement cinq des huit usines ont répondu à la demande.

vulnérables, ces solutions comportent généralement la modification ou le remplacement de pompes existantes par des équipements pouvant fonctionner à de plus bas niveau d'eau, ainsi que le remplacement, l'agrandissement ou la reconfiguration des systèmes d'adduction pour réduire la perte de charge des systèmes, effectivement diminuant les contraintes hydrauliques en lien avec de plus bas niveaux d'eau. Les coûts d'immobilisation de mise en place ont été estimés. Cette étude émet comme hypothèse qu'il n'y a pas de coût d'exploitation supplémentaire important à prendre en compte, car ils font déjà partie des budgets existants pour l'exploitation des équipements.

Pour trois des huit usines, aucune solution n'a été identifiée, car leur situation (c.-à-d. fonctionnement hydraulique dégradé) n'a pas été jugée sévère. Les raisons de ce choix incluent le fait que l'usine serait encore capable de fournir 100 % de sa capacité nominale même en période de bas niveau d'eau, que l'érosion de la marge de sécurité n'est pas inquiétante, ou qu'ils ont des procédures opérationnelles permettant de pallier ce type de situation.

Les bénéfices des solutions d'adaptation sont les coûts économisés en lien avec les pénuries évitées, ainsi que la sécurisation du système d'approvisionnement d'eau potable au niveau des usines. Toutefois, ce dernier bénéfice n'est pas quantifié dans le cadre de cette étude, étant donné que l'établissement de la valeur sécurisation nécessiterait le recours à des méthodes de quantification économique (p. ex. évaluation de la volonté de payer pour sécuriser le système d'approvisionnement) qui dépassent le mandat convenu avec Ouranos. Le tableau ci-dessous résume les avantages et les coûts de la mise en place des solutions d'adaptation identifiées pour les usines vulnérables.

Tableau SE 3 Sommaire des avantages et coûts des solutions d'adaptation

UTEP	Solution d'adaptation	Coûts approximatifs	Avantages
1	Modifier ou remplacer les pompes existantes	250 000 \$	8 930 \$* + sécurisation du système d'approvisionnement
2	Remplacement de conduite, installation de pompes submersibles	5 250 000 \$	155 700 \$* + sécurisation du système d'approvisionnement
3	Aucune solution d'aménagement envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
4	Étude d'impact des changements climatiques non complétée à cause de l'insuffisance d'information	-	-
5	Modifier les vannages dans le puits de pompage et agrandir et abaisser l'ouverture principale en amont du dégrilleur de la prise 1	200 000 \$	sécurisation du système d'approvisionnement
6	Aucune solution d'aménagement n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
7	Aucune solution d'aménagement n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
8	Renforcer/remplacer la prise d'eau 1 par une conduite d'adduction de diamètre supérieure	3 000 000 \$	sécurisation du système d'approvisionnement

Une analyse coûts-avantages a été réalisée pour les deux usines pouvant subir une pénurie d'eau potable. Le tableau suivant résume les résultats de cette analyse coûts-avantages sur l'horizon de 50 ans avec un taux d'actualisation de 4%.

Tableau SE 4 Résultats de l'analyse coûts-avantages des solutions d'adaptation

VAN 4 %, Horizon 50 ans	UTEP 1	UTEP 2
Coûts	109 710 \$	2 303 880 \$
Avantages – pénurie évitée (Sc. 1 seulement)	3 100 \$	53 730 \$
Coûts nets	106 610 \$	2 250 150 \$
Ratio C/A	35	42

Les résultats de l'analyse coûts-avantages démontrent que les **coûts nets** des solutions d'adaptations sont importants si seules les pénuries en lien avec les changements climatiques sont considérées. La valeur nette des coûts se chiffre autour de 100 000 \$ pour l'usine 1 (ratio C/A de 35) et à plus de 2,2 M \$ pour l'usine 2 (ratio C/A de 42). Les tests de sensibilité appliquant un taux d'actualisation de 2 % et 6 % ne modifient pas sensiblement ces résultats. Notons également que l'évaluation des avantages de la pénurie a été effectuée en utilisant la valeur de l'eau établie dans l'annexe D. Il faudrait que la valeur de la pénurie soit 40 fois plus élevée pour renverser ce résultat.

Une autre analyse de sensibilité a été réalisée en appliquant les coûts de l'eau potable liés à un incident à l'usine de traitement de Longueuil en janvier 2015. L'incident a engendré une rupture complète de l'offre de l'eau potable pour une grande partie de la ville. La Ville a dépensé 745 000 \$ pour acheter 1 300 m³ d'eau en bouteille pour dépanner ses résidents, ce qui équivaut à 557 \$ / m³ (en \$ 2012). À une telle valeur de l'eau, les avantages nets des solutions d'adaptations seraient d'environ 19 M \$ (ratio A/C de 9). Toutefois, il faut souligner que le cas de Longueuil est difficilement applicable à cette étude, puisqu'il s'agit d'une rupture complète de l'offre. Les changements climatiques engendraient plutôt une réduction partielle de l'offre; dans ce contexte il est considéré que les valeurs de l'eau utilisée dans l'analyse principale sont plus près de la valeur réelle de l'eau en cas de pénurie liée aux changements climatiques.

Malgré que les coûts des solutions semblent démesurés par rapport aux coûts évités des pénuries, il faut toutefois souligner que ces solutions permettent de répondre à d'autres objectifs que l'adaptation aux changements climatiques, tels que les besoins croissants de l'augmentation¹ projetée de la population dans le corridor d'étude³, la réhabilitation ou le renouvellement des infrastructures, ainsi que la sécurisation du système de production d'eau potable. Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible d'identifier la portion des coûts d'investissement attribuable exclusivement à l'adaptation aux changements climatiques, ce qui explique en partie les coûts démesurés par rapport aux avantages.

Cette étude a pu identifier les usines vulnérables sur le plan hydraulique aux bas niveaux d'eau du fleuve. Toutefois, elle n'a pu évaluer l'impact des facteurs biophysiques en lien avec la qualité de l'eau à traiter (température, algues, moules zébrées, turbidité, pollution) ou des problématiques de frasil (température de l'eau; réduction des couverts de glace) sur la capacité de captage. Ceci n'a pas permis ni une évaluation économique des impacts, ni l'identification des solutions d'adaptation. Les consultations menées auprès des opérateurs des certaines UTEP, ainsi que la documentation existante de cette problématique (Carrière & Barbeau, 2004; Hudon, 2011), ont permis de souligner l'importance de ces facteurs dans la production de l'eau potable. Une piste d'étude future pourrait se concentrer sur l'évaluation de la qualité d'eau dans le fleuve, sa relation avec le niveau d'eau du fleuve et les facteurs biophysiques qui l'influencent, ainsi que la capacité de traitement des systèmes déjà en place. Une fois que l'impact des changements climatiques sur la qualité d'eau sera mieux circonscrit, une évaluation des solutions d'adaptation pourra être réalisée.

³ Une analyse de la croissance de la population a été réalisée dans le cadre de cette étude. Elle a été basée sur les données de Statistique Canada et de l'Institut de la Statistique du Québec (voir **Annexe A**). Sur l'horizon de 2015 à 2064, le bassin de population desservie par les UTEP à l'intérieur du corridor d'étude passerait de 2,5 millions à 3,0 ou 4,0 millions personnes (taux de croissance annuel moyen de 0,34 à 0,91% respectivement).

Volet eaux usées

Les stations d'épuration des eaux usées (SEEU) qui rejettent des effluents dans le fleuve traitent les eaux usées municipales générées par environ 2,5 millions personnes. Pour les SEEU, une baisse du débit du fleuve réduirait la capacité du fleuve à diluer adéquatement les polluants résiduels encore présents dans ces effluents suite au traitement. Ceci pourrait nuire ou rendre impraticables certaines activités en aval des SEEU (p. ex. les activités récréatives, la pêche sportive, prises d'eau potable) et contribuer à la diminution de la qualité de l'environnement (p. ex. qualité des habitats aquatiques, biodiversité).

Cette étude a tenté d'identifier les SEEU dont les effluents ne seraient pas adéquatement dilués de façon à respecter les critères de qualité de l'eau du Ministère de l'environnement du Québec (MDDELCC) dans des conditions de débit du fleuve selon les scénarios futurs. Il est considéré que l'effluent n'est pas adéquatement dilué si les concentrations de polluants ne sont pas diminuées de façon à rencontrer les critères de qualité d'eau au bout de la zone de mélange allouée, soit à 300 m en aval du point de rejet de l'effluent.

Les 28 SEEU à l'intérieur du corridor d'étude, les processus de traitement utilisés, le débit de conception et le débit moyen rejeté par jour en 2013 sont présentés dans le tableau ci-dessous. La dernière colonne présente le ratio entre le débit rejeté en 2013 pour chaque usine et le débit total rejeté par l'ensemble des SEEU dans le corridor à l'étude.

Tableau SE 5 Stations d'épuration des eaux usées, types de traitement et débit moyen par jour

N°	Station d'épuration	Type de traitement ⁴	Débit de conception (m ³ /j)	Débit moyen rejeté en 2013 (m ³ /j)	% du débit total 2013 rejeté par les usines
1	BEAUHARNOIS	BA(FO)	7 184	6 490	< 1 %
2	BÉCANCOUR (GENTILLY)	EA	2 003	2 410	< 1 %
3	BÉCANCOUR (SECTEUR OUEST)	EA	4 546	5 259	< 1 %
4	BERTHIERVILLE	EA	7 500	6 780	< 1 %
5	CONTRECOEUR	EA	3 595	3 600	< 1 %
6	MONTRÉAL (STATION JEAN-R.-MARCOTTE)	PC	2 786 000	2 376 411	77 %
7	MONTRÉAL (ÎLE NOTRE-DAME)	EA	5 300	4 209	< 1 %
8	LAVALTRIE	EA	4 438	6 905	< 1 %
9	LES CÈDRES	EA	1 708	2 457	< 1 %
10	L'ÎLE-PERROT	BF	8 419	7 498	< 1 %
11	LONGUEUIL	PC	330 000	356 313	12 %
12	BEAUHARNOIS (MELOCHEVILLE)	EA	1 527	3 613	< 1 %
13	NICOLET	EA	10 327	5 785	< 1 %
14	NOTRE-DAME-DE-L'ÎLE-PERROT	EA	7 920	5 405	< 1 %
15	PINCOURT	BA	7 900	8 303	< 1 %
16	TROIS-RIVIÈRES (POINTE-DU-LAC)	EA	1 313	1 960	< 1 %
17	REPENTIGNY	PC	43 181	24 328	< 1 %
18	LA PRAIRIE (SAINTE-CATHERINE)	BA	65 254	58 949	2 %
19	SAINT-IGNACE-DE-LOYOLA	EA	603	585	< 1 %
20	SAINT-LOUIS-DE-GONZAGUE	EA	300	366	< 1 %

⁴ Les processus de traitement utilisés sont par disques biologiques (BD), biofiltration (BF), boues activées (BA), boues activées – fossé d'oxydation (BA(FO)), étangs aérés (EA), étangs non aérés (mesure débit à l'effluent) (ENAQ), filtre intermittent à recirculation (FIR) et traitement physico-chimique (PC).

N°	Station d'épuration	Type de traitement ⁴	Débit de conception (m ³ /j)	Débit moyen rejeté en 2013 (m ³ /j)	% du débit total 2013 rejeté par les usines
21	SAINT-SULPICE	EA	1 240	1 041	< 1 %
22	SAINT-ZOTIQUE (AGRANDISSEMENT)	EA	4 312	3 464	< 1 %
23	SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	BA	52 447	54 779	2 %
24	SOREL-TRACY	EA	41 500	25 867	< 1 %
25	VARENNES	EA	8 515	10 957	< 1 %
26	VERCHÈRES	EA	4 900	3 179	< 1 %
27	TROIS-RIVIÈRES Métropolitain	EA	97 037	64 678	2 %
28	VAUDREUIL-DORION	BA	12 000	16 400	< 1 %
Total			3 520 969	3 067 989	100 %

Cette étude n' a pas permis de se prononcer avec certitude sur les impacts potentiels des changements climatiques sur la capacité du fleuve à diluer les effluents des stations d'épuration à l'étude. Selon les représentants du MDDELCC, le seul moyen de déterminer la capacité de dilution dans la zone de mélange est par le biais d'une modélisation de l'écoulement d'eau à l'aide d'un logiciel de simulation. Un tel exercice nécessite des informations détaillées concernant les caractéristiques physiques du milieu et de l'émissaire de même que sur les conditions de rejet de l'effluent. Le recours à la modélisation n'était toutefois pas envisageable dans le cadre de la présente étude. Malgré ce défi, AECOM a procédé avec une évaluation qualitative de la performance des SEEU par rapport aux scénarios futurs.

À la lumière de cette analyse qualitative, il est permis de croire que les débits futurs du fleuve seraient adéquats pour assurer la dilution suffisante pour la plupart des SEEU dans le corridor d'étude dans les scénarios What-if 1 et 2. Pour ces stations, le débit total du fleuve est largement supérieur au débit minimum requis pour diluer adéquatement leurs effluents. Cependant, on ne peut tirer aucune conclusion pour les stations de Montréal, Longueuil et Trois-Rivières, dont les débits d'effluent sont relativement importants par rapport au débit d'eau passant dans le fleuve ou ses tributaires. Compte tenu de la nature qualitative et hypothétique des conclusions, aucune valeur monétaire ne pouvait être attribuée.

L'identification des solutions d'adaptation et l'analyse économique n'ont pu être réalisées pour le volet eaux usées, la quantification des impacts sur les stations d'épuration des eaux usées n'étant pas achevée. Il faudrait réaliser des analyses qui dépassent le présent mandat avant de procéder à une analyse de solutions pour le volet des eaux usées.

Table des matières

Sommaire exécutif.....	i
Liste des acronymes	xii
1 Introduction.....	1
1.1 Mandat	1
1.2 Contexte – Changements climatiques et les eaux municipales.....	1
1.3 Structure de l'étude.....	2
1.4 Objectif et structure du document	3
2 Méthodologie de l'étude.....	5
2.1 Scénarios futurs de niveau et de débit d'eau	5
2.2 Volet eau potable – Évaluation des impacts sur les infrastructures municipales	5
2.2.1 Impacts qualitatifs des changements climatiques sur l'eau potable	5
2.2.2 Identification des usines à évaluer.....	7
2.2.3 Évaluation détaillée de la performance des usines	8
2.2.4 Estimation de la pénurie d'eau potable.....	9
2.2.5 Attribution d'une valeur monétaire à la pénurie.....	10
2.2.6 Solutions d'adaptation	11
2.2.7 Analyse coûts-avantages	11
2.3 Volet des eaux usées	12
2.3.1 Identification des stations d'épuration des eaux usées	12
2.3.2 Identification des stations d'épuration d'eaux usées vulnérables	13
3 Résultats – volet d'eau potable	17
3.1 Évolution de la vulnérabilité.....	17
3.2 Récapitulatif des usines les plus vulnérables.....	18
3.3 Descriptif des UTEP à risque de pénurie d'eau	19
3.3.1 UTEP 1	19
3.3.2 UTEP 2	19
3.4 Descriptif des UTEP en fonctionnement dégradé.....	20
3.4.1 UTEP 3	20
3.4.2 UTEP 4	21
3.4.3 UTEP 5	22
3.4.4 UTEP 6	23
3.4.5 UTEP 7	24
3.4.6 UTEP 8	25
3.5 Estimations des impacts monétaires de bas niveaux d'eau du fleuve	26

3.5.1	Les impacts monétaires de la diminution potentielle de la qualité de l'eau	26
3.5.2	Les impacts monétaires des pénuries d'eau	27
3.6	Limites de l'évaluation	30
4	Résultats – Volet des eaux usées	31
4.1	Discussion des résultats	32
4.1.1	Station Jean-R. Marcotte de Montréal	32
4.2	Limites de l'évaluation	33
4.3	Pistes d'études futures	33
5	Solutions d'adaptation aux changements climatiques et analyse coûts-avantages	35
5.1	Solutions générales	35
5.2	Solutions spécifiques à chaque ville	36
5.2.1	UTEP 1	37
5.2.2	UTEP 2	37
5.2.3	UTEP 3	37
5.2.4	UTEP 5	38
5.2.5	UTEP 6	38
5.2.6	UTEP 7	38
5.2.7	UTEP 8	39
5.3	Avantages et coûts de mise en place des solutions d'adaptation	39
5.4	Analyse coûts-avantages	40
6	Conclusions	43
6.1	Volet des eaux potables	43
6.1.1	Pistes d'études futures	44
6.2	Volet des eaux usées	45
7	Bibliographie	47

Liste des tableaux

Tableau 2-1	Facteurs biophysiques de l'eau brute ayant une influence sur le fonctionnement des UTEP	6
Tableau 2-2	Usines de traitement d'eau potable	7
Tableau 2-3	Valeur de l'eau par secteur, utilisation directe	10
Tableau 2-4	Répartition de la consommation en eau par catégorie d'utilisateur	11
Tableau 2-5	Stations d'épuration des eaux usées (SEEU), types de traitement et débit moyen par jour	12
Tableau 2-6	Critères de qualité de l'eau et concentrations en amont	13
Tableau 3-1	Comparaison des UTEP vulnérables dans l'étude de C&B 2004 et la présente étude	17

Tableau 3-2	Sommaire des problématiques des usines vulnérables	18
Tableau 3-3	Quantification de la pénurie.....	29
Tableau 4-1	SEEU et des débits minimum requis pour rencontrer les critères de qualité d'eau	31
Tableau 5-1	Sommaire des avantages et coûts de mise en place des solutions d'adaptation.....	39
Tableau 5-2	Résultats de l'analyse coûts-avantages des solutions d'adaptation	40
Tableau 5-3	Résultats de l'analyse de sensibilité basée sur la valeur de l'eau en bouteille	41

Liste des figures

Figure 1-1	Schéma de l'étude	2
Figure 3-1	Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de l'UTEP 2, 2015 - 2064.....	28
Figure 3-2	Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de UTEP 1, 2040 - 2045.....	28
Figure 3-3	Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de l'UTEP 2, 2040 - 2045.....	29

Liste des annexes

Annexe A	Document de cadrage méthodologique
Annexe B	Réponses aux questionnaires
Annexe C	Sommaire des résultats des niveaux d'eau critique, eau potable
Annexe D	Note technique sur la valeur de l'eau
Annexe E	Memoranda d'avancement
Annexe F	Principes de base d'une analyse coûts-avantages

Liste des acronymes

CCME	Conseil canadien des ministres de l'Environnement
DBO5	demande biochimique en oxygène après cinq jours
ICI	Institutionnel, commercial, industriel
IGLD	International Great Lakes Datum
L/pers.*jour	Litre par personne par jour
m ³ /jour	Mètre cube par jour
MAMOT	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (anciennement MAMROT)
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (maintenant le MDDELCC)
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MES	Matières en suspension
OER	Objectifs environnementaux de rejet
PEHD	Polyéthylène haute densité
QTM	Quartile de mois
SEEU	Station d'épuration d'eau usée
SOMAE	Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux
SQEEP	Stratégie québécoise d'économie d'eau potable
UTEP	Usine de traitement d'eau potable
VET	Valeur économique totale

1 Introduction

La Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada (RNCAN) finance deux grandes études sur les impacts des changements climatiques sur l'économie des régions du Canada. Dans le cadre de ce financement, Ouranos, le consortium de recherche sur l'impact des changements climatiques coordonne une étude économique régionale sur les impacts des changements climatiques liés aux usages et activités économiques du fleuve Saint-Laurent. Cette étude porte sur le tronçon du fleuve s'étendant à partir de la frontière ontarienne jusqu'à Trois-Rivières (le corridor d'étude). Dans le cadre de cette étude, six volets d'activités sont évalués, soit⁵ :

- le transport maritime;
- les eaux municipales (c.-à-d. l'approvisionnement en eau potable et le rejet des eaux usées);
- les écosystèmes, services écologiques et pêche;
- le tourisme et la plaisance;
- la production hydroélectrique; et,
- les valeurs foncières.

1.1 Mandat

En mars 2014, AECOM a été mandatée pour réaliser le volet sur les eaux municipales de cette étude économique régionale. Ce mandat, dénommé « Étude eaux municipales », porte sur l'évaluation des impacts des changements climatiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau potable et de rejet des eaux usées (les infrastructures), ainsi que sur les communautés et les activités économiques qui dépendent de l'eau potable, ou qui sont touchés par le rejet des eaux usées (le milieu) dans le corridor d'étude. Le mandat comporte également l'identification et l'évaluation économique des solutions d'adaptation pour atténuer ces impacts.

1.2 Contexte – Changements climatiques et les eaux municipales

Selon les scénarios développés par la communauté scientifique, les changements climatiques pourraient engendrer une baisse du niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent. Des changements dans le régime de précipitation, combinés avec une augmentation de l'évaporation de l'eau des Grands Lacs et des tributaires du fleuve pourraient contribuer à la réduction des débits et des niveaux d'eau dans le fleuve (Bourque & Simonet, 2007).

Or, l'approvisionnement en eau potable de près de 2,5 millions personnes à l'intérieur du corridor d'étude est assuré par des usines de traitement d'eau potable (UTEP) qui s'approvisionnent à partir du fleuve. Une réduction du niveau du fleuve pourrait compromettre la capacité des UTEP à fournir de l'eau potable aux usagers (p. ex. résidentiels, commerciaux, industriels, municipaux) compromettant ainsi les activités qui en dépendent (p. ex. production, consommation, hygiène) et la santé publique.

De même, les stations d'épuration des eaux usées (SEEU) qui rejettent des effluents dans le fleuve traitent les eaux usées municipales générées par environ 2,5 millions personnes. Pour les SEEU, une baisse du débit du fleuve réduirait la capacité du fleuve à diluer adéquatement les polluants résiduels encore présents dans ces effluents suite au traitement. Ceci pourrait nuire ou rendre impraticables certaines activités en aval des SEEU (p. ex. les activités récréatives, la pêche sportive, prises d'eau potable) et contribuer à la diminution de la qualité de l'environnement (p. ex. qualité des habitats aquatiques, biodiversité).

⁵ Soulignons également qu'une autre étude économique régionale, chapeautée par le Centre Mowat de l'Université de Toronto, portant sur les mêmes usages et activités économiques sur les Grands Lacs, est en cours de réalisation. Cette étude produira des informations complémentaires à l'étude sur le fleuve. Ensemble, les deux études fourniront une évaluation économique des changements climatiques sur une grande partie du territoire du bassin des Grands Lacs/fleuve Saint-Laurent.

1.3 Structure de l'étude

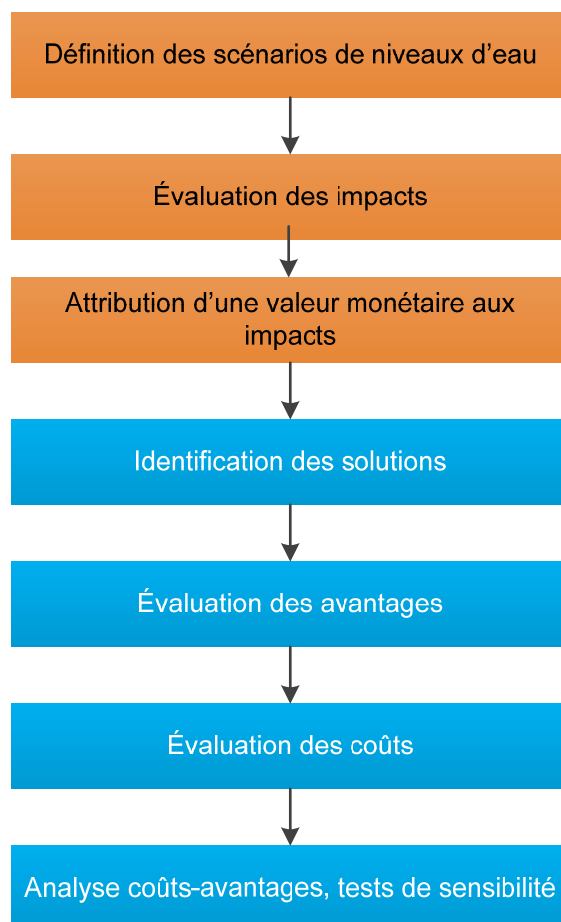
L'étude eaux municipales vise à évaluer les impacts des changements climatiques sur les infrastructures municipales reliées à l'eau potable et aux eaux usées. Elle est divisée en deux grandes phases. La première phase consiste à évaluer les enjeux et les impacts physiques des changements climatiques sur les infrastructures et sur le milieu. Ensuite, une valeur monétaire est attribuée à ces impacts. Ces impacts sont comparés à la situation qui pourrait se produire dans un scénario futur sans changement climatique afin de tenter de quantifier les impacts liés aux changements climatiques.

Dans la deuxième phase, l'étude identifie des solutions d'adaptation visant à réduire les impacts identifiés lors de la première phase. Les solutions d'adaptation sont identifiées en consultation avec les gestionnaires des infrastructures. Elles sont évaluées à l'aide d'une analyse coûts-avantages et des recommandations sont formulées pour bonifier l'état des connaissances économiques des impacts des changements climatiques sur le secteur des eaux municipales.

Figure 1-1 Schéma de l'étude

**Phase 1: Impacts
sur les
infrastructures et
le milieu**

**Phase 2:
Solutions
d'adaptation**



1.4 Objectif et structure du document

L'objectif de ce document est de présenter les résultats des deux phases de l'étude. Ce rapport est divisé en sept chapitres :

- le chapitre 1 présente le mandat, le contexte ainsi que la structure de l'étude;
- le chapitre 2 présente la méthodologie d'évaluation des deux volets de l'étude. Des informations techniques et économiques détaillées en appui à cette méthodologie sont présentées dans le rapport de cadrage et dans la note technique sur la valeur de l'eau qui sont joints en annexe de ce rapport;
- le chapitre 3 présente les résultats de l'analyse des impacts physiques et monétaires des changements climatiques sur le volet de l'approvisionnement en eau potable, ainsi que les limitations de l'étude;
- le chapitre 4 présente les résultats de l'analyse des impacts physiques sur le volet du rejet des eaux usées. Pour ce volet, les impacts monétaires n'ont pas pu être quantifiés dans le cadre du présent mandat;
- le chapitre 5 présente les solutions d'adaptation, l'évaluation des avantages et les coûts de mise en place, et l'analyse coûts-avantages pour le volet d'eau potable seulement;
- le chapitre 6 présente les conclusions et les recommandations pour des études futures.

2 Méthodologie de l'étude

Ce chapitre présente une description de la méthodologie utilisée pour la réalisation des principales tâches de l'étude, soit :

- la définition des scénarios de niveaux d'eau;
- l'évaluation des impacts sur les infrastructures municipales;
- l'attribution d'une valeur monétaire aux impacts;
- l'élaboration des solutions d'adaptation;
- l'analyse coûts-avantages.

La description de la méthodologie présentée ci-dessous est relativement sommaire, car elle est déjà expliquée en détail dans le rapport de cadrage méthodologique joint sous **l'annexe A** de ce rapport. Le présent chapitre couvre la méthodologie des volets sur l'eau potable et sur les eaux usées.

2.1 Scénarios futurs de niveau et de débit d'eau

L'évaluation des impacts physiques sur les infrastructures et sur le milieu repose sur trois scénarios de projections de la variation des niveaux d'eau et des débits du fleuve :

- un scénario de référence sans changement climatique (scénario de référence);
- un scénario « What-if » 1 avec changements climatiques (chaud et sec) (scénario What-if 1);
- un scénario « What-if » 2 avec changements climatiques (variations de niveau plus accentuées) (scénario What-if 2).

Ces scénarios ont été définis et modélisés par l'équipe d'Ouranos. Le scénario What-if 1 présente les niveaux d'étiage les plus bas. Les données sur les niveaux d'eau et les débits couvrent la période de 2015 à 2064, soit 50 ans. Ces données sont présentées par quartile de mois (QTM). L'année est divisée en 48 quartiles. Donc, chaque scénario comporte 2 400 valeurs de niveau et de débit. Les données sur les niveaux d'eau et les débits ont été établies pour chaque UTEP et SEEU aux points des prises d'eau brute ou des émissaires de rejet d'effluents dans le fleuve, référencés par coordonnées GPS⁶.

La précision de l'étude est limitée, entre autres, par le fait que les données sont présentées par QTM. Chaque QTM représente environ 7,5 jours en moyenne. Donc, la durée des impacts évalués est d'au minimum un QTM.

2.2 Volet eau potable – Évaluation des impacts sur les infrastructures municipales

La présente section récapitule les principales étapes de la méthodologie présentée dans le document de cadrage et dans la note technique sur l'estimation de la valeur de l'eau. Le texte suivant contient également des précisions et des raffinements apportés à la méthodologie présentée dans le document de cadrage.

2.2.1 Impacts qualitatifs des changements climatiques sur l'eau potable

En outre des caractéristiques techniques des infrastructures (p. ex. les prises d'eau, les puits de pompage, les pompes, les systèmes d'assainissement, etc.), la capacité des UTEP à fournir de l'eau potable dépend des caractéristiques de l'eau brute à traiter. Les deux principaux facteurs biophysiques qui influencent la capacité à produire une eau potable en quantité et en qualité suffisante sont le niveau d'eau (à la prise d'eau) et la température. Ces deux facteurs ont également une influence sur d'autres facteurs, soit la qualité d'eau et la

⁶ Les coordonnées GPS des prises d'eau et des émissaires ont été répertoriées par Carrière et Barbeau (2004), et ont été validées à nouveau dans le cadre de cette étude.

présence d'algues, de plantes aquatiques, de moules zébrées et de frasil. Les impacts potentiels de ces facteurs sur l'opération des UTEP sont décrits dans le tableau suivant.

Tableau 2-1 Facteurs biophysiques de l'eau brute ayant une influence sur le fonctionnement des UTEP

Facteur	Raison	Impact sur l'opération de l'usine
Niveau d'eau et débit ⁷	Le niveau d'eau peut affecter la capacité à s'approvisionner en eau, soit parce que le niveau d'eau s'abaisse sous le niveau de la prise d'eau, soit parce que le niveau d'eau n'est plus suffisant pour permettre le transfert de l'eau au puits de pompage au débit requis.	Une baisse de niveau d'eau peut affecter la capacité hydraulique des UTEP à s'approvisionner en eau brute (voir section 2.2.3 pour plus de détails).
Température de l'eau	Une augmentation de la température de l'eau (qui peut découler d'une hausse de l'ensoleillement et/ou d'une réduction du débit et des niveaux) favorise la croissance d'algues (p. ex. efflorescence algale) et de plantes aquatiques, dont les résidus de leur décomposition réduiront la qualité de l'eau brute (p. ex. problèmes de goût et d'odeur, cyanotoxins).	L'augmentation de la présence d'algues microscopiques et de plantes aquatiques (et des résidus de leur décomposition) peut nécessiter un ajustement du traitement ou des traitements additionnels.
Qualité d'eau	La qualité d'eau est un facteur qui dépend du niveau (débit), de la température, ainsi que de la source d'eau. Lorsque le niveau d'eau est bas, la turbidité et la charge en polluants pourraient être plus élevées. La source d'eau a une influence sur les teneurs en particules et en substances colorées. Dans le cas du fleuve Saint-Laurent, l'eau des tributaires autres que le lac Ontario est généralement plus difficile à traiter pour ces raisons. La teneur élevée des éléments nutritifs (azote et phosphore), provenant principalement du ruissellement d'eau pluviale des terres agricoles, peut contribuer à la croissance d'algues et de plantes aquatiques, surtout en combinaison avec une hausse de température d'eau et de l'ensoleillement (Hudon, 2011).	L'augmentation de la présence d'algues microscopiques et de plantes aquatiques (et des résidus de leur décomposition) peut nécessiter un ajustement du traitement ou des traitements additionnels.
Moules zébrées	Les conditions de bas débits peuvent favoriser la fixation des moules zébrées dans les prises d'eau (Hudon, 2011).	La présence de colonies de moules zébrées dans les prises d'eau peut réduire, par colmatage, la capacité d'approvisionnement en eau brute.
Frasil	En hiver, lorsque des conditions particulières de gel se produisent, l'eau de surface agitée peut empêcher la formation d'une couche de glace à sa surface. Dans ces conditions, la glace, nommée le frasil, peut se former sous forme de cristaux, d'aiguilles ou de flocons mélangés à la totalité de la masse liquide (Brière, 2000).	Le frasil peut adhérer très facilement aux grilles et aux conduits d'adduction, ce qui peut bloquer l'écoulement de l'eau brute par colmatage. La capacité de production d'eau potable peut être restreinte de manière importante, voire être nulle.

⁷ Il faut noter que le débit d'eau est directement proportionnel au niveau d'eau. Plus le niveau d'eau est bas, plus le débit d'eau est faible. Toutefois, en ce qui concerne la capacité des usines de produire de l'eau, c'est le niveau d'eau à la prise qui est pertinent.

Les changements climatiques pourraient modifier les régimes et les tendances de ces facteurs, ce qui pourrait par la suite nuire à la production d'eau potable par les UTEP. La considération de ces facteurs est donc importante à l'analyse de la performance des usines dans le contexte des changements climatiques. Il faut toutefois souligner que le volet «eau potable» de cette étude n'a considéré que le facteur de **niveau d'eau**, car les informations sur les scénarios futurs ne portent que sur les niveaux et débits d'eau et ne contiennent aucune information sur la température, la qualité d'eau ou le frasil.

Cependant, les facteurs biophysiques autres que le niveau demeurent des préoccupations importantes pour les opérateurs des UTEP. Lors des consultations menées dans le cadre de cette étude, des commentaires et des préoccupations concernant ces autres facteurs biophysiques ont été évoqués par certains opérateurs des UTEP. Ces informations sont incluses dans ce rapport à titre informatif.

2.2.2 Identification des usines à évaluer

Au total, 28 UTEP ont été initialement considérés dans le cadre de cette étude. Les usines dans le corridor d'étude ont été identifiées par Carrière et Barbeau (2003). Au cours de l'automne 2014, la liste des UTEP a été réduite suite aux investigations et à la collecte des données par AECOM. Les explications de cette réduction sont présentées ci-dessous.

L'usine de Sainte-Anne-de-Bellevue a été retirée de l'analyse, car elle a été fermée. La population desservie par l'ancienne usine est maintenant approvisionnée à partir de l'usine de Pierrefonds. Cette dernière s'approvisionne dans la rivière des Outaouais, et elle est donc hors de la zone d'étude.

Neuf usines localisées en amont du barrage Beauharnois d'Hydro-Québec ont également été retirées de l'analyse⁸. Ces usines s'approvisionnent dans le lac Saint-François, dont le niveau d'eau est régulé par le barrage hydroélectrique de Beauharnois. Hydro-Québec a confirmé l'hypothèse qu'il n'est pas prévu de modifier la gestion actuelle des niveaux d'eau du lac Saint-François. Cette régulation vise principalement à assurer la viabilité du transport maritime qui emprunte la voie maritime du Saint-Laurent, mais assure également le bon fonctionnement hydraulique des ouvrages de captage de ces neuf UTEP.

Les 18 usines retenues pour l'étude sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 2-2 Usines de traitement d'eau potable

N°	Usine de traitement	Procédé de traitement	Capacité de production nominale (m ³ /jour)	Nombre de prise d'eau
1	Bécancour	chloration, filtration, ozonation	18 300	1
2	Berthierville	chloration, filtration, ultraviolet	20 000*	1
3	Candiac	chloration, filtration, ozonation	76 100	2
4	Châteauguay	chloration, filtration, ultraviolet	90 720	3
5	Contrecoeur	chloration, filtration	9 800*	1
6	Dorval	chloration, filtration, charbon	68 000	3
7	Île-Perrot	chloration, filtration, ozonation	10 200*	1
8	La Prairie	chloration, filtration	27 000	3
9	Lachine	chloration, filtration, ozonation	100 000	1
10	Lavaltrie	chloration, filtration, ultraviolet	7 570*	1
11	Longueuil (usine locale et usine régionale)	chloration, filtration, charbon	340 000	2

⁸ Ces usines sont, de l'ouest à l'est, St.-Régis (État de N.Y.), St-Régis (QC), Saint-Zotique, Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Grande-Île, Salaberry-de-Valleyfield, Pointe-des-Cascades et Beauharnois. Soulignons également que le modèle hydraulique du fleuve utilisé par l'équipe d'Ouranos pour la conception des scénarios ne couvre pas le lac Saint-François.

N°	Usine de traitement	Procédé de traitement	Capacité de production nominale (m³/jour)	Nombre de prise d'eau
12	Longueuil SPPI (parc industriel)	Aucun traitement**	22 731	2
13	Longueuil (St-Lambert)	chloration, filtration, charbon	135 000	2
14	Montréal (usine Atwater, usine Des Bailleurs)	(Atwater-chloration, filtration, Des Bailleurs - chloration, filtration, ozonation)	2 477 600	1
15	Pointe-Claire	chloration, filtration, charbon	181 700*	3
16	Régie de l'eau de L'Île-Perrot	Filtration, chloration	23 000*	1
17	Régie intermunicipale de l'eau potable de Varennes, Sainte-Julie et Saint-Amable (RIEP)	chloration, filtration, ozonation	72 000*	2
18	Verchères	chloration, filtration	6 000*	1

* Usines dont la capacité a été modifiée depuis 2004, ou sera modifiée à court terme.

** Usine de pompage d'eau brute, pas d'une usine d'eau potable.

2.2.3 Évaluation détaillée de la performance des usines

La mise à jour des données et des résultats de l'étude de Carrière et Barbeau (2004) a été nécessaire pour l'analyse de la performance des 18 usines. Pour ce faire, des appels téléphoniques et l'envoi de questionnaires aux opérateurs des usines ont été réalisés entre octobre 2014 et février 2015. Ceci a permis d'identifier les travaux effectués et les modifications apportées aux infrastructures de captage depuis la réalisation de l'étude Carrière et Barbeau (2004). Les réponses aux questionnaires sont incluses à l'**annexe B**. Les points suivants ont, en particulier, été investigués :

- la modification depuis 2004, ou projetée à court- terme, de la capacité de production nominale d'eau potable;
- la modification des prises d'eau, des conduites d'adduction ou des puits de pompage d'eau brute depuis 2004;
- les problématiques liées au niveau d'eau vécues depuis 2004 et les mesures d'atténuation mises en place.

Des bas niveaux d'eau du fleuve peuvent affecter la capacité de captage des UTEP et donc leur capacité de production. Pour capter le débit nominal, un niveau d'eau minimum est requis pour vaincre **la perte de charge** des conduites d'adduction entre les prises d'eau et le puits d'eau brute. Le niveau d'eau doit également être au-dessus des élévations des prises d'eau de manière à assurer une bonne **submersion** de celles-ci.

Capacité hydraulique et perte de charge des conduites d'adduction

La capacité hydraulique des conduites d'adduction est fonction :

- du niveau d'eau dans le fleuve;
- du niveau d'eau minimum dans le puits d'eau brute permettant le bon fonctionnement des pompes basse pression;
- de la perte de charge des conduites d'adduction.

La perte de charge des conduites d'adduction dépend:

- de la longueur des conduites;
- du diamètre intérieur des conduites;
- des pertes de charges singulières créées par les raccords (coudes, té), les grilles des prises d'eau, les dégrilleurs, la dissipation d'énergie en entrée du puits d'eau brute...);
- du coefficient de rugosité Hazen-Williams (C_{HW}) des conduites.

Les pertes de charges linéaires sont calculées avec la formule de Hazen-William (Brière, 2000). Les pertes de charges singulières sont remplacées par une longueur de conduite équivalente générant la même perte de

charge. Le coefficient de rugosité C_{HW} varie avec le matériau, l'âge et l'encrassement des conduites; Ainsi, le débit d'une conduite dont le coefficient C_{HW} est de 130 est de 30 % supérieur au débit d'une conduite dont le coefficient C_{HW} est de 100 (Brière 2000). Les coefficients C_{HW} utilisés dans cette étude sont ceux estimés par mesures expérimentales dans le rapport Carrière et Barbeau (2004) : 85 pour les conduites métalliques, 93 pour les conduites en béton et 120 pour les conduites en PEHD.

Hauteur de submersion des prises d'eau

Dans certains cas, une faible hauteur de submersion des prises d'eau détermine le niveau d'eau critique pour une usine. La hauteur de submersion minimale vise à assurer un bon entonnement des eaux en entrée des prises d'eau pour éviter les risques de formation de vortex et d'entraînement d'air qui peuvent réduire la capacité hydraulique. Une bonne submersion des prises d'eau réduit également les risques d'entraînement de flottants et donc les risques de colmatage et d'encrassement des grilles et des conduites d'adduction.

La hauteur minimale de submersion est influencée par divers paramètres comme la forme de la prise d'eau, les vitesses d'écoulement du fleuve aux abords de la prise d'eau, les vitesses et le colmatage au niveau des grilles d'aspiration. Comme règle générale, les prises d'eau avec grilles sur le dessus devraient être recouvertes d'au moins 1 m d'eau (Brière, 2000). Pour les prises d'eau à grilles latérales, une hauteur de submersion d'au moins 1 m d'eau sera également considérée à partir du radier des grilles ou du dessus du tuyau d'adduction. La hauteur de submersion devrait également dépasser de 1 à 1,5 fois le diamètre de la conduite d'adduction pour limiter les risques de formation de vortex (Knauss, 1987). Le présent rapport considère une hauteur de submersion minimale de 1,5 fois le diamètre de la conduite d'adduction. Si la prise d'eau est équipée d'un ouvrage de captage avec une vitesse faible au passage des grilles ($< 0,15$ m/s), la submersion considérée n'excèdera pas 1,50 m.

Les niveaux d'eau critiques pour la perte de charge des adductions ont été évalués par Carrière et Barbeau (2004). Ces niveaux ont été réévalués pour les usines dont la capacité de production ou les ouvrages de captage ont été modifiés depuis 2004. Les lecteurs sont invités à consulter l'étude de Carrière et Barbeau, ou le document de cadrage méthodologique (**annexe A**) pour de plus amples informations sur le calcul des seuils de niveau, ainsi que sur les notions de perte de charge ou d'émersion. Un tableau sommaire des résultats des calculs des niveaux d'eau critiques pour les 18 usines est présenté dans l'**annexe C**.

Les niveaux d'eau critiques pour chacune des usines ont pu être comparés avec les niveaux d'eau des scénarios projetés. Cette évaluation a identifiée huit usines comme étant vulnérables au bas niveau du fleuve. Deux (2) usines peuvent rencontrer des pénuries de production d'eau potable sur la base des scénarios et des critères retenus. Six (6) autres auraient un fonctionnement dégradé des ouvrages de captage, mais seraient probablement encore en mesure de capter un débit égal à la capacité nominale de l'usine.

Les résultats préliminaires de cette analyse, réalisés en hiver 2015, ont été présentés aux fins de validation aux opérateurs des usines identifiées précédemment. Des invitations pour rencontrer ces opérateurs ont été envoyées en avril 2015. Les opérateurs de cinq des huit usines ont répondu à la demande de rencontre et ils ont été rencontrés par la suite par l'équipe d'AECOM en avril et mai 2015. Les résultats de l'analyse, ainsi que les validations réalisées lors des rencontres, sont présentés au chapitre 3.

2.2.4 Estimation de la pénurie d'eau potable

Lorsque le niveau d'eau descend en bas du niveau critique évalué pour une usine, la capacité de captage et donc de production d'eau potable se trouve ainsi réduite.

La présente étude considère qu'une pénurie d'eau potable se produit lorsque le niveau d'eau du fleuve descend sous le niveau critique d'eau requis pour la production de la capacité nominale de l'usine. Cette hypothèse est une approche simplificatrice, mais conservatrice, car l'étude suppose donc que la demande en eau est égale en tout temps à la capacité nominale de production de l'usine. Cette approche a l'avantage de ne pas avoir à considérer les projections de croissance des populations et des consommations en eau sur un horizon de 50 ans,

qui pourrait passer de 2,5 million personnes à 3,0 – 4,0 million personnes d'ici 2065 (voir l'analyse de la croissance de la population présentée à l'**annexe A**). Il est en effet, très probable considérant cette croissance que les capacités de production d'eau potable devront être augmentées dans les prochaines décennies pour répondre à une demande accrue. Cette augmentation de la demande est cependant indépendante de l'impact des changements climatiques comme tel.

Donc, la quantité potentielle de la pénurie d'une usine est estimée en évaluant la différence entre la capacité de production nominale et la capacité de captage lors des périodes d'étiage (voir équation 1 ci-dessous). Les niveaux d'eau critiques des usines pour assurer 100 % de la capacité de production sont présentés dans le chapitre 3. La capacité réduite de captage pour chaque niveau d'eau inférieur au niveau d'eau critique a également été estimée.

Rappelons que les données de niveau d'eau sont présentées en QTM. Donc, la quantité totale de la pénurie sur 50 ans est égale à la somme de la pénurie potentielle de chaque QTM.

$$Pénurie\ d'eau\ totale(m^3) = \sum_{QTM=1}^{2400} \text{capacité de production nominale} - \text{capacité de captage}_{QTM} \quad (1)$$

2.2.5 Attribution d'une valeur monétaire à la pénurie

La pénurie d'eau potable est répartie de manière proportionnelle entre les diverses catégories d'usagers (p. ex. résidentiel, commercial, industriel). La valeur monétaire de la pénurie est ensuite calculée en multipliant le volume d'eau en pénurie par la valeur de l'eau attribuable à ces diverses catégories (voir équation 2 ci-dessous). L'eau potable peut également servir à des usages indirects, tels que les activités récréatives (p. ex. parcs d'eau, piscines), mais ces quantités d'eau sont généralement moins importantes et ne sont pas prises en compte. La valeur monétaire de la pénurie peut donc être estimée de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Valeur monétaire de la pénurie} = & (\$_{résidentielle} \times \%consommation_{résidentielle} + \$_{commerciale} \times \%consommation_{commerciale} \\ & + \$_{industrielle} \times \%consommation_{industrielle}) \times Pénurie\ d'eau\ totale \end{aligned} \quad (2)$$

L'estimation de la valeur de l'eau a fait objet d'une note technique produite dans le cadre de cette étude. La note technique est jointe à l'**annexe D** du présent rapport. Le tableau suivant présente un sommaire des valeurs qui ont été retenues pour l'évaluation des impacts monétaires associés à la pénurie d'eau potable.

Tableau 2-3 Valeur de l'eau par secteur, utilisation directe

Secteur d'utilisation	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Intervalle pour l'analyse de sensibilité
Résidentiel	1,282 \$ / m ³	1,138 – 1,48 \$ / m ³
Commercial	0,626 \$ / m ³	*0,563 – 0,689 \$ / m ³
Industriel	0,227 \$ / m ³	0,079 – 0,375 \$ / m ³

* Valeurs non disponibles dans la littérature, alors, une approximation de ±10 % est utilisée.

Pour déterminer la répartition de la consommation en eau potable entre les diverses catégories d'usagers, les sources suivantes ont été consultées :

- enquête sur l'utilisation municipale de l'eau (Environnement Canada, 2009);
- base de données compilée par le MAMOT dans le cadre de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable (SQEEP).

Une part de l'eau distribuée n'est pas consommée et n'est pas facturable aux usagers. Cette part d'eau non consommée est principalement due aux pertes et fuites dans les réseaux de distribution. Il peut s'agir également de prélèvements illicites. Enfin, de l'eau est également prélevée par les services incendies ou pour le nettoyage de la voirie et des réseaux sanitaires municipaux. La répartition de la consommation de l'eau et de la pénurie d'eau a été normalisée en excluant cette part d'eau non consommée.

La répartition de l'utilisation de l'eau potable dans les municipalités desservies par les usines pouvant rencontrer une pénurie d'eau est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 2-4 Répartition de la consommation en eau par catégorie d'usager

Catégorie d'usager	UTEP 1**	UTEP 2**
<i>Résidentiel</i>	80 %	55,9 %
<i>Commercial*</i>	19 %	10,2 %
<i>Industriel</i>	1 %	19,3 %

* Inclus les usages municipaux et institutionnels.

** Normalisé en excluant la portion liée à aux pertes et aux usages non comptabilisés.

Les résultats de l'évaluation monétaire des pénuries d'eau sur un horizon de 50 ans sont présentés au chapitre 3.

2.2.6 Solutions d'adaptation

Pour combler les problèmes liés à la baisse du niveau du fleuve et la pénurie d'eau potable, des solutions d'adaptation sont proposées pour les usines ayant été identifiées comme vulnérables. L'approche pour l'identification des solutions d'adaptation repose sur deux tâches complémentaires. D'abord, une évaluation des usines vulnérables par les spécialistes d'AECOM en eaux municipales a été réalisée pour identifier des mesures d'adaptation potentielles. En parallèle, les opérateurs de ces usines ont été consultés pour obtenir leurs avis sur les solutions envisageables en lien avec leur situation particulière. Rappelons que les opérateurs de cinq des huit usines ont été rencontrés en avril et mai 2015 afin de valider l'évaluation de la performance de ces usines. Lors de ces rencontres, les solutions envisageables ont également fait l'objet de discussions. Les résultats de ces activités sont présentés au **chapitre 5**.

L'évaluation des avantages et des coûts de mise en place des solutions d'adaptation a été réalisée par les spécialistes d'AECOM en consultation avec les opérateurs des usines. Les résultats de ces activités sont également présentés au chapitre 5.

2.2.7 Analyse coûts-avantages

Les bénéfices des solutions d'adaptation, ainsi que leurs coûts, sont comparés à l'aide d'une analyse coûts-avantages. Les résultats de l'analyse coûts-avantages sont présentés au chapitre 5. La méthodologie générale d'une analyse coûts-avantages est présentée dans l'**annexe F** de ce rapport.

Les paramètres de l'analyse coûts-avantages précisent les variables nécessaires à la réalisation de cette analyse coûts-avantages. Ils concernent l'année de référence de l'évaluation, le taux d'actualisation et l'horizon de l'étude. Les avantages et les coûts des solutions d'adaptation sont mesurés en dollars constants de 2012. Un taux d'actualisation de 4 % a été retenu dans le cadre de la présente étude. Deux analyses de sensibilité des résultats ont été effectuées. La première est basée sur la variation du taux d'actualisation de 2 % à 6%. La deuxième est basée sur l'application de quelques valeurs de l'eau équivalentes aux coûts de l'eau en bouteille. L'horizon de l'étude économique est le même que les scénarios futurs de niveau d'eau, soit 50 ans entre 2015 et 2064.

2.3 Volet des eaux usées

La section suivante décrit les grandes étapes de la méthodologie de base pour le volet des eaux usées déjà présentée dans le document de cadrage. Le texte suivant contient également des précisions et des raffinements apportés à la méthodologie présentée dans ce document.

2.3.1 Identification des stations d'épuration des eaux usées

La liste des stations d'épuration des eaux usées (SEEU) municipales dans le corridor d'étude a été répertoriée par le MAMOT (2010). Les SEEU rejetant des effluents dans le fleuve Saint-Laurent, ainsi que les processus de traitement utilisés, le débit de conception et le débit moyen rejeté par jour en 2013 sont présentés dans le tableau ci-dessous. La dernière colonne présente le ratio entre le débit rejeté en 2013 pour chaque usine et le débit total rejeté par l'ensemble des SEEU dans le corridor à l'étude.

Tableau 2-5 Stations d'épuration des eaux usées (SEEU), types de traitement et débit moyen par jour

N°	Station d'épuration	Type de traitement ⁹	Débit de conception (m³/jj)	Débit moyen rejeté en 2013 (m³/jj)	% du débit total 2013 rejeté par les usines
1	BEAUHARNOIS	BA(FO)	7 184	6 490	< 1 %
2	BÉCANCOUR (GENTILLY)	EA	2 003	2 410	< 1 %
3	BÉCANCOUR (SECTEUR OUEST)	EA	4 546	5 259	< 1 %
4	BERTHIERVILLE	EA	7 500	6 780	< 1 %
5	CONTRECOEUR	EA	3 595	3 600	< 1 %
6	MONTRÉAL (STATION JEAN-R.-MARCOTTE)	PC	2 786 000	2 376 411	77 %
7	MONTRÉAL (ÎLE NOTRE-DAME)	EA	5 300	4 209	< 1 %
8	LAVALTRIE	EA	4 438	6 905	< 1 %
9	LES CÈDRES	EA	1 708	2 457	< 1 %
10	L'ÎLE-PERROT	BF	8 419	7 498	< 1 %
11	LONGUEUIL	PC	330 000	356 313	12 %
12	BEAUHARNOIS (MELOCHEVILLE)	EA	1 527	3 613	< 1 %
13	NICOLET	EA	10 327	5 785	< 1 %
14	NOTRE-DAME-DE-L'ÎLE-PERROT	EA	7 920	5 405	< 1 %
15	PINCOURT	BA	7 900	8 303	< 1 %
16	TROIS-RIVIÈRES (POINTE-DU-LAC)	EA	1 313	1 960	< 1 %
17	REPENTIGNY	PC	43 181	24 328	< 1 %
18	LA PRAIRIE (SAINTE-CATHERINE)	BA	65 254	58 949	2 %
19	SAINT-IGNACE-DE-LOYOLA	EA	603	585	< 1 %
20	SAINT-LOUIS-DE-GONZAGUE	EA	300	366	< 1 %
21	SAINT-SULPICE	EA	1 240	1 041	< 1 %
22	SAINT-ZOTIQUE (AGRANDISSEMENT)	EA	4 312	3 464	< 1 %
23	SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	BA	52 447	54 779	2 %
24	SOREL-TRACY	EA	41 500	25 867	< 1 %
25	VARENNES	EA	8 515	10 957	< 1 %

⁹ Les processus de traitement utilisés sont par disques biologiques (BD), biofiltration (BF), boues activées (BA), boues activées – fossé d'oxydation (BA(FO)), étangs aérés (EA), étangs non aérés (mesure débit à l'effluent) (ENAQ), filtre intermittent à recirculation (FIR) et traitement physico-chimique (PC).

N°	Station d'épuration	Type de traitement ⁹	Débit de conception (m ³ /j)	Débit moyen rejeté en 2013 (m ³ /j)	% du débit total 2013 rejeté par les usines
26	VERCHÈRES	EA	4 900	3 179	< 1 %
27	TROIS-RIVIÈRES Métropolitain	EA	97 037	64 678	2 %
28	VAUDREUIL-DORION	BA	12 000	16 400	< 1 %
Total			3 520 969	3 067 989	100 %

Au total, 28 SEEU rejettent des effluents dans le fleuve à l'intérieur du corridor d'étude. Il est intéressant de noter que le débit moyen rejeté par la station d'épuration de l'île de Montréal (2 376 410 m³/j) et celle de Longueuil (356 310 m³/j) comptait, en 2013, pour environ 89 % du débit total rejeté par les 28 SEEU à l'étude.

2.3.2 Identification des stations d'épuration d'eaux usées vulnérables

Le fleuve Saint-Laurent est le milieu récepteur des rejets des SEEU. On cherche donc à identifier les SEEU dont les rejets ne seraient pas en mesure de respecter les critères de qualité de l'eau dans des conditions de débit du fleuve selon les scénarios futurs qui ont été définis. Ces stations sont considérées comme vulnérables aux impacts des changements climatiques, car leurs effluents risquent d'amener une dégradation de la qualité du milieu récepteur.

La méthodologie proposée pour l'identification des SEEU vulnérables aux changements climatiques comporte essentiellement les étapes suivantes:

1. Compiler les données de conception (débit de conception) et les exigences de rejet (contaminants et concentrations) de chacune des SEEU. Ces données sont recueillies à partir de la base de données du Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE) du MAMOT (2010).
2. À partir de ces données (débit de conception et exigences), estimer le débit minimum requis dans le fleuve pour rencontrer les critères de qualité d'eau, en prenant en compte les concentrations initiales dans le milieu. Ce débit minimum a été établi selon la méthodologie de base utilisée pour l'établissement des objectifs environnementaux de rejet (OER) du MDDELCC (MDDEFP, 2007) (voir **annexe A** pour plus de détails). Un débit minimum a été estimé pour chaque polluant considéré pour le rejet des eaux usées municipales, soit la DBO5, les MES, le phosphore total et les coliformes fécaux. Les critères de qualité d'eau, ainsi que les concentrations déjà présentes dans le milieu (concentrations en en amont du point de rejet - valeurs typiques selon le Guide du MDDELCC) sont présentés dans le tableau ci-dessous. Lorsque, pour un même paramètre, plusieurs valeurs de critères ont été définies, c'est la valeur la plus contraignante qui est utilisée en supposant que tous les usages existent en aval du point de rejet.

Tableau 2-6 Critères de qualité de l'eau et concentrations en amont

Critères	Matières en suspension (MES)	DBO5	Phosphore	Coliformes fécaux
Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)	- ¹	- ¹	- ¹	200 UFC/100mL
Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹
Protection des activités récréatives et de l'esthétique	- ¹	- ¹	0,03 mg/L	Baignade : 200 UFC/100mL Autres : 1000 UFC/100mL
Protection de la vie aquatique (Effet aigu)	Augmentation maximale de 25 mg/L par rapport à	- ¹	- ¹	- ¹

Critères	Matières en suspension (MES)	DBO5	Phosphore	Coliformes fécaux
	la concentration naturelle ou ambiante			
Protection de la vie aquatique (Effet chronique)	Augmentation moyenne maximale de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle	3 mg/L ²	- ¹	- ¹
Protection de la faune terrestre piscivore	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹
Concentration en amont établie selon le Guide du MDDELCC (2007)	4,0 mg/L ³	1,0 mg/L ³	0,011 mg/L ⁴	155 UFC/100mL ⁵

- 1- Aucun critère de qualité retenu pour cet usage.
 - 2- Cette valeur correspond au déficit maximal tolérable en oxygène pour la vie aquatique à une température estivale moyenne de 21 °C.
 - 3- En supposant que le territoire en amont est agricole à 100 %.
 - 4- Valeur par défaut pour la région des Basses-Terres du Saint-Laurent.
 - 5- En supposant que le territoire en amont est agricole à 50 %.
- Source : (MDDEFP, 2013; 2007)

3. Identifier le débit minimum requis le plus contraignant (c'est-à-dire, le polluant nécessitant le taux de dilution le plus élevé) pour le respect des critères de qualité d'eau. Ce débit minimum requis est calculé sur les exigences de rejet établies par le MDDELCC. Toutefois, puisque pour la plupart des SEEU, les concentrations rejetées sont inférieures aux exigences, le débit minimum requis serait en fait moindre que celui évalué pour les mêmes conditions.
4. Enfin, le débit minimum requis pour chaque SEEU est comparé avec les débits minimums du fleuve des scénarios futurs afin d'évaluer si le débit sera suffisant pour assurer une dilution adéquate des effluents. Les débits minimums du fleuve représentent le plus faible débit moyen sur sept jours consécutifs ayant une probabilité de récurrence d'une fois par deux ans (Q2,7). Ce seuil de débit est utilisé par le MDDELCC pour l'évaluation des OER. Les débits minimums du fleuve sont tirés du scénario What-if 1, celui-ci présentant les débits les plus faibles parmi les trois scénarios considérés.

Les quatre étapes ci-dessus représentent une approche théorique, élaborée à partir du Guide du MDDELCC pour établir les objectifs environnementaux de rejet (OER) pour les contaminants du milieu aquatique (MDDEFP, 2007). AECOM a consulté les représentants du MDDELCC en automne 2014 sur l'utilisation de cette approche dans le contexte de la présente étude.

Lors de ces consultations, les représentants du MDDELCC ont soulevé des interrogations sur l'utilisation de cette méthodologie dans le cas particulier du fleuve Saint-Laurent. Plus précisément, les débits minimums des scénarios futurs ne pourraient pas être utilisés comme indicateur du pouvoir de dilution du fleuve. Ces débits représentent le volume d'eau disponible sur toute la largeur du fleuve (d'une rive à l'autre). Toutefois, les caractéristiques hydrodynamiques du fleuve font en sorte que l'ensemble du débit n'est pas disponible pour la dilution des effluents au point de rejet. La largeur du fleuve et sa vitesse d'écoulement généralement lente font en sorte que les eaux ne se mélangent pas de façon uniforme et que des chenaux peuvent se former.

Selon les représentants du MDDELCC, le seul moyen de déterminer le facteur de dilution à un point donné dans le fleuve est par le biais d'une modélisation de l'écoulement d'eau à ce point à l'aide d'un logiciel de simulation comme CORMIX. Un tel exercice nécessite des informations détaillées concernant les caractéristiques physiques du milieu, de l'émissaire de même que sur les conditions de rejet de l'effluent¹⁰, telles que :

¹⁰ Un représentant du MDDELCC souligne que la modélisation avec CORMIX ne serait pas applicable pour le cas particulier de la station de Montréal à cause de ses caractéristiques particulières (débit important, configuration de l'émissaire, etc.).

Milieu

- Bathymétrie
- Vitesse du courant
- Température/densité de l'eau
- Coefficient de Manning (en lien avec la rugosité du substrat)

Effluent

- Configuration de l'émissaire (diamètre, longueur, profondeur, orientation)
- Configuration du diffuseur, s'il y a lieu
- Débit de l'effluent
- Température/densité de l'effluent
- Localisation du rejet (distance par rapport à la rive)

Le recours à la modélisation n'était pas envisageable dans le cadre de la présente étude. La collecte de données nécessaires et l'utilisation de modèles représentaient un effort qui dépassait l'envergure du mandat. Selon les représentants du MDDELCC, aucune étude ou donnée pouvant servir à la validation du pouvoir de dilution à différents points dans le fleuve n'est disponible. Si certaines données existent, elles ne sont probablement pas à jour (p. ex. en termes des infrastructures ou des débits d'effluent actuels). De plus, elles ne sont pas nécessairement applicables aux débits plus faibles des scénarios futurs.

Compte tenu de ces constats, AECOM a procédé avec une évaluation qualitative de la performance des SEEU par rapport aux scénarios futurs. Cette évaluation ne permet toutefois pas d'identifier les usines qui pourraient compromettre la qualité d'eau dans les conditions futures du fleuve. Elle permet seulement d'identifier les SEEU qui ne seraient pas susceptibles d'affecter la qualité de l'eau principalement en raison du faible débit d'effluent rejeté par ces stations. Pour les autres stations, il pourrait y avoir un potentiel que leurs effluents puissent affecter la qualité de l'eau sur une plus grande distance dans les conditions futures de débit du fleuve. Toutefois, il n'est pas possible d'établir dans quelle mesure les usages en aval du point de rejet de ces usines pourraient en être affectés. C'est la raison pour laquelle l'évaluation des impacts monétaires, ainsi qu'une analyse coûts-avantages n'ont pu être effectués pour ce volet. Les résultats de cette évaluation sont présentés au chapitre 4 du présent rapport.

3 Résultats – volet d'eau potable

Ce chapitre présente les résultats de l'analyse de vulnérabilité des usines de traitement d'eau potable face à des scénarios futurs de niveau d'eau.

Le chapitre débute par un rappel de la liste des usines d'eau potable dont la localisation de la prise avait été identifiée comme étant vulnérable par l'étude Carrière et Barbeau en 2004. Les modifications qui ont été effectuées aux usines depuis 2004 sont également présentées. Ensuite, la nature des problématiques de huit UTEP identifiées comme étant vulnérables sont décrites. Enfin, les impacts monétaires découlant des pénuries potentielles pour deux usines sont présentés.

3.1 Évolution de la vulnérabilité

L'étude de Carrière et Barbeau (2004) avait identifié certaines UTEP dans le corridor d'étude comme étant les plus vulnérables en cas de faible niveau du fleuve. Plus précisément, leur étude avait identifié les usines de Verchères et Montréal, ainsi que les UTEP 1, 2, 3, 7, et 8 comme étant vulnérables pour un niveau d'eau de 20,04 m à Pointe-Claire (niveau historique minimum, étude de Carrière et Barbeau)¹¹. Dans la présente étude, le niveau minimum selon le scénario le plus critique, le scénario What-if 1, est de 19,98 m à Pointe-Claire. Le portrait des vulnérabilités a évolué depuis 2004. Le tableau ci-dessous compare les UTEP identifiées comme étant vulnérables par Carrière et Barbeau en 2004 avec les UTEP identifiés comme vulnérables dans le cadre de la présente étude.

Tableau 3-1 Comparaison des UTEP vulnérables dans l'étude de C&B 2004 et la présente étude

Usine de traitement d'eau potable	Identifiée vulnérable, Étude 2004	Identifiée vulnérable, Étude 2015
Montréal	Oui	Non
Verchères	Oui	Non
UTEP 1	Oui	Oui
UTEP 2	Oui	Oui
UTEP 3	Oui	Oui
UTEP 4	Non	Oui
UTEP 5	Non	Oui
UTEP 6	Non	Oui
UTEP 7	Oui	Oui
UTEP 8	Oui	Oui

L'évolution du portrait des vulnérabilités entre 2004 et la présente étude peut être attribuée à diverses raisons :

- Montréal et Verchères ont réalisé des travaux de renforcement de leurs infrastructures de production d'eau potable afin de diminuer leurs vulnérabilités aux baisses de niveaux d'eau.
- À l'UTEP 1, l'ancienne conduite d'adduction et l'ancien puits d'eau brute ont été abandonnés et ont été remplacés par de nouveaux ouvrages. Toutefois, la capacité de production nominale a été, ce qui ne s'est pas traduit par une diminution de la vulnérabilité aux bas niveaux d'eau. Ces nouvelles infrastructures sont nettement moins sensibles aux étiages du fleuve mais l'usine demeure néanmoins vulnérable pour le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1.

¹¹ Une UTEP est considérée vulnérable si l'indicateur de performance jaune ou rouge est déclenché. Consulter l'étude de Carrière et Barbeau pour les définitions des indicateurs de performance.

- Les usines 2 et 7 n'ont effectué aucun travail de renforcement, mais leur capacité de production nominale a été augmentée.
- Les autres usines n'ont pas réalisé de travaux de renforcement, ni d'augmentation de leur capacité de production nominale et en conséquence les faibles niveaux d'eau des scénarios futurs demeurent un facteur de vulnérabilité.

3.2 Récapitulatif des usines les plus vulnérables

Sur la base des niveaux minimum considérés dans la présente étude (scénario What-if 1), deux usines présentent des risques de voir leur capacité de production d'eau potable limitée et donc d'être en situation de pénurie d'eau potentielle.

Six autres usines ont été identifiées comme ayant la capacité de prélever un débit égal à la capacité nominale de l'usine, mais avec un fonctionnement hydraulique dégradé des ouvrages de captage, tel que :

- **une marge de sécurité réduite**, surtout en cas d'encrassement des conduites d'adduction;
- **la faible submersion d'une prise** sur deux ou trois, donc le risque accru de formation de vortex et de captage de l'eau de moins bonne qualité (présence des flottants);
- **le dénoyage partiel des grilles** latérales de captage et donc le risque accru de colmatage ou de captage de flottants.

La faible submersion des prises et / ou le dénoyage partiel des grilles peut entraîner la perte de redondance des ouvrages de captage. La redondance des prises d'eau offre la possibilité de chercher de l'eau de meilleure qualité aux différents points dans le fleuve en cas de variation de cette dernière (p.ex. changement de température, courants d'eau, concentrations variables d'algues et de bactéries, problématique de frasil). Les prises d'eau sont souvent localisées à des profondeurs et des endroits différents dans le fleuve afin de fournir une flexibilité dans le captage de la meilleure qualité d'eau selon les conditions du jour ou de la semaine. La perte de redondance enlève donc cette flexibilité opérationnelle et amène un fonctionnement hydraulique dégradé.

Le tableau ci-dessous présente un sommaire des problématiques des usines les plus vulnérables.

Tableau 3-2 Sommaire des problématiques des usines vulnérables

UTE ^P	Problématique potentielle		
	Hauteur de submersion des prises d'eau	Capacité hydraulique du système de captage	Conséquence
1		Insuffisante	Risque de pénurie d'eau
2		Insuffisante	Risque de pénurie d'eau
3	Faible marge de sécurité	Faible marge de sécurité	Fonctionnement hydraulique dégradé
4	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 3		Fonctionnement hydraulique dégradé
5	Submersion faible pour 1 prise d'eau sur 3		Fonctionnement hydraulique dégradé
6	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 2		Fonctionnement hydraulique dégradé
7	Submersion faible pour 2 prises d'eau sur 3	Faible marge de sécurité	Fonctionnement hydraulique dégradé
8	Submersion faible pour 1 prise d'eau sur 2		Fonctionnement hydraulique dégradé

Les sections suivantes détaillent la nature des contraintes reliées aux bas niveaux dans le fleuve pour chacune des usines considérées vulnérables. Pour chacune d'elles, un tableau récapitule les seuils de niveau d'eau¹² et leurs impacts sur la capacité de production de l'eau potable. Le niveau minimum du fleuve du scénario What-if 1

¹² Référencés au zéro des cartes de navigation, basées sur le système *International Great Lakes Datum 1985* (IGLD85).

(le scénario futur avec les étiages les plus sévères) est indiqué. Les niveaux minimums du scénario What-if 2 et du scénario de référence sont également indiqués lorsqu'ils sont inférieurs aux seuils de vulnérabilité des usines.

3.3 Descriptif des UTEP à risque de pénurie d'eau

3.3.1 UTEP 1

L'usine de traitement d'eau potable 1 a été classée comme vulnérable dans l'étude Carrière et Barbeau (2004). Le niveau d'eau minimum requis pour permettre de produire à la capacité nominale était 4,45 m en 2004. Depuis, l'ancienne conduite d'adduction de 550 mm et l'ancien puits d'eau brute ont été abandonnés et ont été remplacés par une nouvelle conduite de 750 mm et un nouveau puits d'eau brute en 2009. Ces nouvelles infrastructures sont nettement moins sensibles aux étiages du fleuve. L'usine demeure néanmoins vulnérable pour le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (3,65 m). À ce niveau, l'usine ne peut théoriquement pomper que 86 % de sa capacité nominale. Le niveau minimum du scénario What-if 1 (3,65 m) est également très proche du niveau d'arrêt complet du pompage (3,60 m).

Par ailleurs, la nouvelle prise d'eau est située approximativement au même endroit et à la même profondeur que l'ancienne prise d'eau, l'ancienne prise d'eau rencontrait des problèmes de frasil en hiver. Il est donc possible que la nouvelle prise rencontre le même type de problème.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
0,93		Élévation de la prise d'eau
1,93		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau
3,60		Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
3,65	6 532 m ³ /jour	Niveau min Scénario What-if 1
3,66	7 570 m ³ /jour	Capacité de production nominale

3.3.2 UTEP 2

L'usine de traitement d'eau potable 2 est équipée de deux prises d'eau, une de 600 mm de diamètre (prise 1) et une de 900 mm de diamètre (prise 2). Les deux prises d'eau sont situées à proximité du chenal navigable du fleuve et à environ 600 m des puits d'eau brute. L'usine de traitement d'eau potable 2 a été classée comme vulnérable dans l'étude Carrière et Barbeau (2004). Depuis 2004, la capacité nominale de l'usine a été augmentée de 45 000 m³/s à 72 000 m³/s. Le niveau minimum d'eau du scénario « What-if » 1 est inférieur au niveau requis pour assurer la nouvelle capacité de production nominale de l'usine. L'usine peut théoriquement pomper 96 % de sa capacité nominale à ce niveau d'étiage. La restriction est donc relativement faible¹³.

Les informations de l'exploitant rencontré en avril 2015 indiquent que l'usine a rencontré quelques épisodes de présence faible de cyanobactéries depuis 2011. Ces cyanobactéries ont été éliminées par simple écumage dans les décanteurs de l'usine. Bien que l'usine soit équipée d'un système d'ozonation, l'exploitant se pose la question de la capacité de traitement de l'usine en cas d'une efflorescence algale avec de très fortes concentrations en cyanobactérie. Concernant le frasil, les prises d'eau sont sensibles à ce problème en hiver en particulier lorsque les couverts de glace sont faibles.

¹³ Il faut toutefois préciser que certains plans de détails des interconnexions entre les deux conduites de captage et les deux puits d'eau brute n'ont pas été obtenus et que des hypothèses ont dû être posées pour faire les calculs reliés à l'hydraulique du système, ce qui diminue donc la précision de ces calculs.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
-1,45		Élévation de la prise d'eau 1
-0,30		Élévation de la prise d'eau 2
-0,33		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
0,83		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2
2,62		Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
3,94	68 980 m ³ /jour	Niveau min Scénario What-if 1
4,04	72 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale

3.4 Descriptif des UTEP en fonctionnement dégradé

3.4.1 UTEP 3

L'usine de traitement d'eau potable 3 est équipée de deux prises d'eau, une dans le fleuve (prise 1) et une sur le bord de la voie maritime (prise 2). L'usine a été classée comme vulnérable dans l'étude Carrière et Barbeau (2004). L'usine n'a pas effectué de travaux de renforcement du système de captage depuis cette étude. La prise 1 dans le fleuve n'est pas en mesure de fournir le débit nominal de l'usine toute seule, même avec un niveau de crue dans le fleuve. Donc, l'ouverture de la prise 2 et l'ouverture de la conduite d'interconnexion reliant les deux conduites d'adduction alimentant l'usine sont nécessaires pour assurer une production d'eau à la capacité nominale. L'ouverture de la prise d'eau 2 amène de l'eau de la voie maritime qui est une eau de moins bonne qualité que l'eau du fleuve prélevé par la prise d'eau 1. L'usine est équipée d'un système d'ozonation pour traiter les goûts et les odeurs.

Le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (9,06 m) est légèrement au-dessus de la hauteur d'eau minimum pour la submersion adéquate de la prise 1 (8,93 m). À ce niveau minimum (9,06 m), la prise d'eau aura également tendance à capter des eaux plus proches de la surface et donc potentiellement de moins bonne qualité (présence de flottants). La submersion de la prise d'eau 2 est par contre nettement supérieure (hauteur de submersion de 2,36 m) et la prise d'eau 2 est en mesure de fournir la totalité du débit nominale si la conduite d'interconnexion reliant les deux conduites d'adduction est ouverte.

Le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (9,06 m) est légèrement au-dessus du niveau critique de pompage pour la production nominale de l'usine (8,90 m, avec les deux prises d'eau en fonction ou la prise d'eau 2 et le conduit d'interconnexion en fonction). L'usine peut donc à priori fournir 100 % de sa capacité de production nominale, mais la marge de sécurité est limitée. Ainsi les conduites d'adductions sont plus sensibles à l'encrassement, phénomène qui augmente les pertes de charges hydrauliques et qui réduit donc la capacité hydraulique de captage.

Des problèmes de frasil peuvent être rencontrés. La prise d'eau 2 en bords de berge avec la conduite d'interconnexion est utilisée lorsque des problèmes de frasil se produisent.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
6,70		Élévation de la prise d'eau 2
7,80		Élévation de la prise d'eau 1
8,40		Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
8,20		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2
8,90	76 100 m ³ /jour	Capacité de production nominale avec ouverture de la prise 2 et de la conduite d'interconnexion entre les deux conduites d'adduction .
8,93		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
9,06		Niveau min Scénario What-if 1
9,43		Niveau min Scénario What-if 2
9,70		Niveau min Scénario de référence
13,91		Niveau nécessaire pour prise 1 de l'usine de fournir 100 % de la capacité de production nominale toute seule

3.4.2 UTEP 4

Usine de traitement d'eau potable 4 est alimentée principalement en eau souterraine (60 %) et également en eau du lac Saint-Louis (40 %). Elle est équipée de deux puits (Marchand et Chèvrefils) captant l'eau de la nappe phréatique à proximité du lac Saint-Louis et qui ont des prises d'eau directement dans le lac. Le puits Marchand est équipé de deux prises d'eau (530 mm et 600 mm) dans le lac. Le puits Chèvrefils est équipé d'une prise d'eau (1050 mm) dans le lac. Ces prises d'eau dans le lac fournissent un débit complémentaire au débit d'eau souterraine notamment en cas de nappe basse.

La capacité de production nominale en eau potable de l'usine est de 90 720 m³/jour (Carrière et Barbeau (2004)). La capacité nominale des prises d'eau du puits Marchand est de 30 240 m³/jour. La capacité nominale de la prise d'eau du puits Chèvrefils est de 52 920 m³/jour. Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1, les deux prises d'eau du puits Marchand n'ont pas la hauteur minimale de submersion adéquate et sont donc vulnérables à la présence de vortex et à l'entonnement de flottants. La prise 2 du puits Marchand est la plus critique avec seulement 40 cm de submersion. Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1, la prise d'eau du puits Chèvrefils aura une hauteur minimum de submersion adéquate.

Dans le cas du scénario What-if 1 et sur la base des critères de submersion, l'opérateur ne disposera plus des compléments de débit apportés par les prises d'eau 1 et 2 du puits Marchand. Le fonctionnement et la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable de la ville desservie sont donc considérés comme étant dégradés. Un complément d'information et d'étude seraient requis pour évaluer le risque de concomitance d'insuffisances dans les apports des ressources souterraines et des prises d'eau du fleuve et évaluer ainsi les risques en termes de pénuries d'eau pour la ville.

Puits Marchand

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
17,50	30 240 m ³ /jour	Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
17,91		Capacité de production nominale avec les prises 1 et 2 ouvertes
19,20		Élévation de la prise d'eau 1
19,60		Élévation de la prise d'eau 2
20,00		Niveau min Scénario What-if 1
20,20		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
20,20		Niveau min Scénario What-if 2
20,44		Scénario de référence
20,60		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2

Puits Chèvrefils

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
17,50	52 920 m ³ /jour	Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
17,84		Capacité de production nominale avec la prise 1 ouverte
18,45		Élévation de la prise d'eau 1
19,45		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
20,00		Niveau min Scénario What-if 1

3.4.3 UTEP 5

L'usine de traitement d'eau potable 5 dispose de deux prises d'eau principales (prises 1 et 2 avec des conduites d'adduction de 900 mm) et d'une prise d'eau secondaire (prise 3 avec une conduite de 450 mm). Il est à noter que la prise d'eau 3 est une prise secondaire de petit diamètre et n'est donc pas capable de servir de prise de redondance aux prises d'eau principales 1 et 2. L'usine a bénéficié de travaux de mise à niveau en 2012 avec l'installation d'un filtre additionnel, d'un système d'ozonation et d'un système de désinfection UV. Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1, la prise d'eau 2 n'a plus la hauteur minimum de submersion adéquate et est donc vulnérable à la présence de vortex et à l'entonnement de flottants. La prise d'eau 1 a par contre une hauteur de submersion adéquate et sa capacité hydraulique est suffisante pour fournir la totalité du débit nominal de l'usine. Dans le cas du scénario What-if 1, l'usine a donc la capacité de capter et de produire le débit nominal.

Comme l'opérateur ne dispose plus de la prise d'eau principale 2 comme ouvrage de redondance et de sécurisation de la prise d'eau 1 au niveau What-if 1, le fonctionnement et la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable sont considérés comme étant dégradés. On note en particulier que la prise 1 est sensible aux problèmes de frasil en hiver. La prise 2 située en bord de berge a été construite pour être utilisée lorsque la prise 1 connaît des problèmes de frasil. Si la prise 2 ne peut être utilisée en cas de niveau d'étiage hivernal très bas, l'opérateur indique qu'il dispose de procédures de décolmatage de la prise 1 en envoyant de l'eau à contre-courant en provenance de la prise 3. Selon l'exploitant, ces procédures de décolmatage pourraient être améliorées en modifiant les vannages dans le puits de pompage entre les conduites des prises 1 et 3.

Il est à noter que l'ouverture principale entre l'amenée de conduite de la prise 1 et le dégrilleur est de 600 mm de largeur alors que la conduite de la prise 1 est de 900 mm de diamètre. Cette ouverture est également surélevée par rapport au fond du puits de pompage. La configuration de cette ouverture n'est pas optimum au niveau hydraulique et crée donc des pertes de charges additionnelles.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
7,05		Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
6,80		Élévation de la prise d'eau 1
7,60		Élévation de la prise d'eau 2
7,84	27 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale avec la prise 1 uniquement
7,93		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
8,67		Niveau min Scénario 1
8,73		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2

3.4.4 UTEP 6

L'usine de traitement d'eau potable 6 dispose de deux prises d'eau, une prise d'eau principale dans le fleuve (prise d'eau 1 avec une conduite de 1 980 mm) et une prise d'eau d'urgence dans la voie maritime (prise d'eau 2 avec une conduite de 1 800 mm). La prise d'eau d'urgence est un simple entonnement de la conduite d'adduction sans ouvrage de captage ou de grille.

Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1, la prise d'eau 2 n'a pas la hauteur minimum de submersion adéquate et est donc vulnérable à la présence de vortex et à l'entonnement de flottants. Pour la prise d'eau 1, le niveau d'eau minimum prévu du scénario What-if 1 (4,47 m) est juste suffisant pour assurer la hauteur minimum de submersion de la prise (4,40 m). On notera qu'à ce niveau What-if 1, le haut des grilles latérales de la prise 1 seront légèrement dénoyés, ce qui augmentera légèrement la vitesse au passage des grilles (de quelques pourcents) et les risques d'entonnement de flottants¹⁴. Dans le cas du scénario What-if 1, l'usine a donc la capacité de capter la totalité du débit d'eau nominal en utilisant uniquement la prise 1. Toutefois, l'opérateur ne disposera plus de la prise 2 comme ouvrage de redondance et de sécurisation, et le fonctionnement hydraulique de la prise 1 avec le haut de la grille légèrement dénoyé sera également dégradé. Le fonctionnement et la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable sont donc considérés comme étant dégradés.

La prise 1 peut rencontrer des problèmes de frasil en hiver. La prise d'eau 2 située en bords de berge est alors utilisée.

Les filières de traitement des usines (régionale et locale) incluent la possibilité d'ajouter de la poudre de charbon activé pour améliorer le goût et les odeurs. En été, la prise principale 1 rencontre occasionnellement des problèmes de cyanobactéries. À l'usine régionale, les cyanobactéries sont éliminées au-dessus des filtres. Il est à noter que l'usine n'est pas équipée de procédé de traitement tel que l'ozonation qui élimine les cyanotoxines qui peuvent être libérées par les cyanobactéries.

¹⁴ Lors de l'été 2012, le niveau d'eau observé par l'exploitant affleurerait avec le dessus de la prise principale 1 située à l'élévation 4,90 m.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
0,50		Élévation minimum dans le puits d'eau brute pour le fonctionnement des pompes
1,51	340 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale avec la prise 1 uniquement
2,90		Élévation de la prise d'eau 1 dans le fleuve
3,40		Élévation de la prise d'eau 2 dans la voie maritime
4,40		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
4,47		Niveau min Scénario What-if 1
4,60		Élévation du haut des grilles de la prise d'eau 1
4,61		Niveau min Scénario What-if 2
4,96		Niveau min Scénario de référence
5,69		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2

3.4.5 UTEP 7

L'usine de traitement d'eau potable 7 est équipée de deux prises d'eau principales, la prise 1 avec une conduite d'adduction de 1 200 mm et la prise 2 avec une conduite d'adduction de 1 800 mm. L'usine est également équipée d'une prise d'eau d'urgence 3 de 900 mm sur le bord du quai de la marina. La prise d'eau 3 peut être utilisée en hiver lorsque les deux prises d'eau principales rencontrent des problèmes de frasil. L'usine a été classée comme vulnérable dans l'étude Carrière et Barbeau (2004). La capacité nominale de l'usine a été augmentée de 125 000 m³/jour à 181 700 m³/jour depuis 2004.

Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (19,98 m), la prise d'eau 1 n'a pas la hauteur minimum de submersion adéquate (20,47m) et est donc vulnérable à la présence de vortex et à l'entonnement de flottants. Pour la prise d'eau 2, la hauteur d'eau minimum du scénario What-if 1 est tout juste suffisante pour assurer la hauteur minimum de submersion adéquate de la prise (19,93 m). La marge de sécurité est donc faible pour la prise d'eau 2 en termes de submersion.

Suite à l'augmentation de la capacité nominale de l'usine, le niveau d'eau minimum requis pour assurer le débit nominal est passé de 19,77 m (capacité nominale 2003 de 125 000 m³/jour) à 19,95 m (capacité nominale actuelle de 181 700 m³/jour). Le niveau minimum requis actuel (19,95 m) est très proche du niveau d'eau d'étiage minimum du scénario What-if 1 (19,98 m). La marge de sécurité est donc faible en termes de capacité hydraulique de l'adduction. Les conduites d'adduction et le dégrilleur sont donc particulièrement sensibles aux encrassements, une problématique qui augmente les pertes de charges hydrauliques et réduit la capacité hydraulique.

Concernant les épisodes de frasil, la capacité hydraulique de la conduite d'adduction en 900 mm de la prise d'eau d'urgence 3 est insuffisante pour capter le débit de production nominale de l'usine (181 700 m³/jour). La capacité hydraulique de la prise 3 permet néanmoins de capter au moins 70 000 m³/jour, ce qui apparaît suffisant en hiver sachant que les débits moyens journaliers observés ces cinq dernières années varient entre 45 501 à 69 838 m³/jour et que la tendance de la consommation en eau du réseau est à la baisse¹⁵. Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (19,98 m), la prise d'eau 3 n'a pas la hauteur minimum de submersion adéquate (21,55m) : la hauteur d'eau au-dessus de la conduite d'adduction de 900 mm n'est que de 0,57 m et la hauteur d'eau au-dessus du haut des grilles n'est que de 0,28 cm. La prise 3 est donc vulnérable à l'entonnement de flottants et des huiles de moteur de la marina si elle est ouverte en période d'étiage en été.

Dans le cas du scénario What-if 1, l'usine a donc la capacité théorique de capter le débit d'eau nominal actuel (181 700 m³/jour) en utilisant la prise 2. Toutefois, l'opérateur ne dispose plus des prises 1 et 3 comme ouvrage de complément et de sécurisation de la prise d'eau 2. La capacité de production nominale est également à risque

¹⁵ Selon les informations reçus des responsables de l'usine obtenues dans le cadre de ce projet.

en cas d'encrassement des conduites d'adduction ou du dégrilleur. Les consultations avec l'opérateur indiquent que la situation de risque pour ces ouvrages de captage est connue. Des aménagements de sécurisation ont déjà été implantés, en particulier des interconnexions avec les réseaux de distribution d'eau potable des villes avoisinantes. En cas de bas niveau dans le fleuve, une partie de la demande d'eau peut être fournie par ces interconnexions et l'UTEP 7 peut donc produire à débit réduit.

L'usine de traitement n'a pas rencontré à date de problème de cyanobactérie.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
18,93		Élévation de la prise d'eau 2 (72") (haut du massif en béton à grilles)
18,97		Élévation de la prise d'eau 1 (48") (prise d'eau à grilles latérales)
19,41		Élévation de la prise d'eau 3 (36") (prise d'eau à grilles latérales)
19,77	125 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale en 2003 (avec prise 2 ouverte uniquement)
19,93		Élévation minimum pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2
19,95	181 700 m ³ /jour	Capacité de production nominale actuelle (avec prise 2 ouverte uniquement)
19,70		Haut des grilles de la prise 3
19,98		Niveau min Scénario What-if 1
20,21		Niveau min Scénario What-if 2
20,42		Niveau min Scénario de référence
20,47		Élévation minimum pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
21,55		Élévation minimum pour une submersion adéquate de la prise d'eau 3

L'exploitant rencontré le 12 mai 2015 a indiqué que certaines de leurs mesures des niveaux d'eau au fleuve et dans le puits d'eau brute et mesures de débit indiquent que les pertes de charge réelles seraient nettement supérieures à celles calculées lors de l'étude Carrière et Barbeau (2004). Des vérifications seraient à faire pour expliquer la différence (vanne partiellement fermée, encrassement des grilles, obstruction par des moules zébrées, différence de référentiel, etc.).

3.4.6 UTEP 8

L'usine de traitement d'eau potable 8 est équipée de deux prises d'eau, la prise 1 située dans le fleuve avec une conduite d'adduction de 900 mm et la prise 2 située sur la berge de l'Île Notre-Dame avec une conduite d'adduction de 1 200 mm. L'usine a été classée comme vulnérable dans l'étude Carrière et Barbeau (2004).

Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 (8,45 m)¹⁶, la prise d'eau 1 n'a pas une submersion adéquate (8,49 m) en considérant le critère de submersion. À ce niveau d'étiage, les grilles latérales de la prise d'eau 1 seraient dénuyées d'une cinquantaine de centimètres. Donc, on constate que la prise 1 de 900 mm a une capacité hydraulique insuffisante pour capter la totalité du débit de production. La prise d'eau 2 a par contre une hauteur de submersion adéquate et sa capacité hydraulique est suffisante pour fournir la totalité du débit nominal de l'usine. Dans le cas du scénario What-if 1, l'usine a donc la capacité de capter et de produire la totalité du débit nominal. Mais, comme l'opérateur ne dispose plus de la prise 1 comme ouvrage de complément et de sécurisation de la prise d'eau 2, la capacité d'approvisionnement en eau potable est considérée dégradée. De plus, comme la prise 2 est située en berge et non pas dans le fleuve comme la prise 1, il est vraisemblable que celle-ci ne capte pas de l'eau d'aussi bonne qualité.

La prise 1 peut rencontrer des problèmes de frasil en hiver. La prise d'eau 2 située en bords de berge est alors utilisée. De la poudre de charbon activé peut être ajoutée dans l'usine pour améliorer le goût et les odeurs. En été, il y a eu quelques détections de cyanobactéries qui sont éliminées au-dessus des filtres. Il est à noter que

¹⁶ Lors de l'étiage de l'été 2012, les hauts des grilles de la prise 1 ont émergées. Des photos prises par l'exploitant indiquent une dizaine de centimètres d'émergence fin juillet – début août 2012. Le niveau d'eau modélisé à ces dates est de 8,84 m pour la prise 1. Les élévations de la grille de la prise 1 ont été recalées par rapport à cette élévation.

l'usine n'est pas équipée de procédé de traitement tel que l'ozonation qui élimine les cyanotoxines qui peuvent être libérées par les cyanobactéries.

Élévation de l'eau à l'ouvrage de prise (m)	Débit de production	Description du seuil ou l'impact
6,20		Élévation de la prise d'eau 2
7,36		Élévation de la prise d'eau 1
7,70		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 2
7,74	135 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale avec la prise 2 ouverte
8,45		Niveau min Scénario What-if 1
8,49		Élévation minimum de l'eau pour une submersion adéquate de la prise d'eau 1
8,69		Niveau min Scénario What-if 2
8,83		Niveau min Scénario de référence
8,94		Haut des grilles latérales de la prise 1
9,67	135 000 m ³ /jour	Capacité de production nominale avec la prise 1 uniquement

3.5 Estimations des impacts monétaires de bas niveaux d'eau du fleuve

Les impacts monétaires potentiels de bas niveaux et de bas débits du fleuve sont principalement associés à :

- la diminution potentielle de la qualité de l'eau du fleuve et donc des besoins en traitement plus poussés pour purifier l'eau brute;
- l'abaissement des niveaux d'eau et donc le risque de réduction des capacités de captage des usines résultant en un risque de pénurie d'eau potable.

La réduction de niveau d'eau du fleuve peut également engendrer une réduction de la marge de sécurité ou la perte de la redondance pour la production d'eau potable. Ces circonstances sont inquiétantes pour les opérateurs des UTEP, car les risques de problème ou de pénurie de production d'eau potable sont accrus. Des incidents ou des accidents, ou des conditions d'encrassement ou de colmatage des conduites pourraient créer des problèmes de production. Toutefois, les coûts liés à la réduction de la redondance ou la marge de sécurité ne sont pas estimés dans le cadre de cette étude, leur évaluation demandant d'estimer la volonté de payer des consommateurs, ce qui n'a pas été inclus dans ce mandat.

3.5.1 Les impacts monétaires de la diminution potentielle de la qualité de l'eau

Concernant la diminution prévisible de la qualité de l'eau brute, l'approche ne peut être que qualitative à ce stade. Les modélisations hydrologique-hydrauliques dont dispose Ouranos ne contiennent pas de volet sur la qualité de l'eau (p. ex. température supérieure, turbidité, augmentation de la croissance et la décomposition des plantes aquatiques et des algues). En l'absence de données sur l'évolution de ces facteurs biophysiques, il est difficile de quantifier le phénomène de dégradation de la qualité de l'eau et encore plus de tenter d'attribuer une valeur monétaire à cet impact. Toutes les usines dans le corridor d'étude peuvent en théorie subir un impact, car la dégradation de la qualité d'eau en lien avec les changements climatiques peut se produire sur toute la longueur du fleuve. Les usines ayant des prises d'eau avec une faible submersion seront a priori parmi les plus sensibles, car elles captent des eaux proches de la surface (présence de flottants, température supérieure).

À titre d'information, l'étude de Carrière et Barbeau a estimé les coûts supplémentaires liés au traitement par le chlore à l'usine de Montréal en cas de mauvaise qualité d'eau. Ils ont trouvé que Montréal a appliqué un dosage de 6 % de plus en moyenne quand la qualité d'eau brute était de plus mauvaise qualité. En supposant la capacité de production nominale actuelle de l'usine (2,5 M m³ / jour), si le dosage de chlore doit être augmenté durant une période de 6 mois, les coûts additionnels par année équivalent à environ 37 000 \$ de plus par année (Carrière &

Barbeau, 2004). Toutefois, leurs résultats ne sont pas généralisables aux autres UTEP dans le corridor d'étude à cause de l'influence des eaux de la rivière des Outaouais sur la qualité d'eau brute de Montréal¹⁷.

3.5.2 Les impacts monétaires des pénuries d'eau

L'évaluation de la pénurie a été réalisée pour les usines présentant un risque de réduction de leur capacité de production (inférieure à la capacité nominale) : UTEP 1 et 2. Pour illustrer la fréquence et l'intensité de la pénurie potentielle, les scénarios futurs ainsi que le niveau requis pour la production de la capacité nominale d'eau potable de l'UTEP 2 sont présentés à la Figure 3-1. La situation pour UTEP 1 (figure non présentée) est semblable. Des graphiques portant sur la période critique entre 2040 et 2045 sont ensuite présentés pour l'UTEP 1 (Figure 3-2) et l'UTEP 2 (Figure 3-3).

On peut constater que les pénuries potentielles d'eau potable des deux usines sont liées avec une période de faibles niveaux projetée pour les années 2041 à 2043. De plus, ces pénuries se produiraient seulement dans le cas du scénario What-if 1. Aucune pénurie potentielle ne se produirait dans le cas du scénario de référence, ni dans le scénario What-if 2.

Le Tableau 3-3 présente une estimation de pénuries d'eau, les périodes où elles arriveraient pour les deux usines, ainsi que les impacts monétaires (en dollars constants de 2012). Les impacts monétaires pour les années intermédiaires sont également présentés, calculés à partir de la variation de la valeur de l'eau présentée au chapitre 2.

La pénurie pour l'UTEP 1 est la moins fréquente des deux usines. La pénurie dans le scénario What-if 1 ne se produirait qu'une seule fois, soit un QTM en novembre 2042. Le volume de la pénurie est environ 7 700 m³ / QTM, ce qui représente une réduction d'environ 13 % de la capacité nominale de l'usine. L'impact monétaire de la pénurie est estimé à 3 100 \$ (intervalle de 2 750 \$ à 3 560 \$) en valeur actuelle avec un taux d'escompte de 4 %, basé sur la valeur des usages directs de l'eau potable. Il faut rappeler que l'opérateur a déjà réalisé des travaux de renforcement des ouvrages de captage, ce qui a eu pour effet de réduire significativement les impacts des changements climatiques sur la capacité de captage de l'usine.

La fréquence et l'intensité de la pénurie sont plus prononcées pour l'UTEP 2. Elle se produirait 14 fois entre les années 2041 à 2043, tant en été qu'en hiver. Le volume de la pénurie varie de 3 100 à 22 650 m³ / QTM, soit environ 0,5 % à 4 % de la capacité nominale de l'usine. L'impact monétaire total de la pénurie est estimé à 53 730 \$ (intervalle de 46 200 \$ – 63 230 \$) en valeur actuelle à un taux d'escompte de 4 %, basé sur la valeur des usages directs de l'eau. Il y a une période durant laquelle la pénurie potentielle s'étendrait sur cinq QTM consécutifs, soit entre le 22e et le 26e QTM de l'année 2043 (juin à juillet).

¹⁷ L'eau de la rivière des Outaouais nécessite plus de traitement pour le rendre potable que l'eau provenant des Grands Lacs, car elle contient plus de matières organiques, elle est moins minéralisée et elle est plus turbide. Pour cette raison, les coûts supplémentaires de traitement de l'eau à Montréal ne sont pas généralisables aux autres UTEP sur le fleuve qui sont moins ou peu influencées par l'eau de la rivière des Outaouais.

Figure 3-1 Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de l'UTEP 2, 2015 - 2064

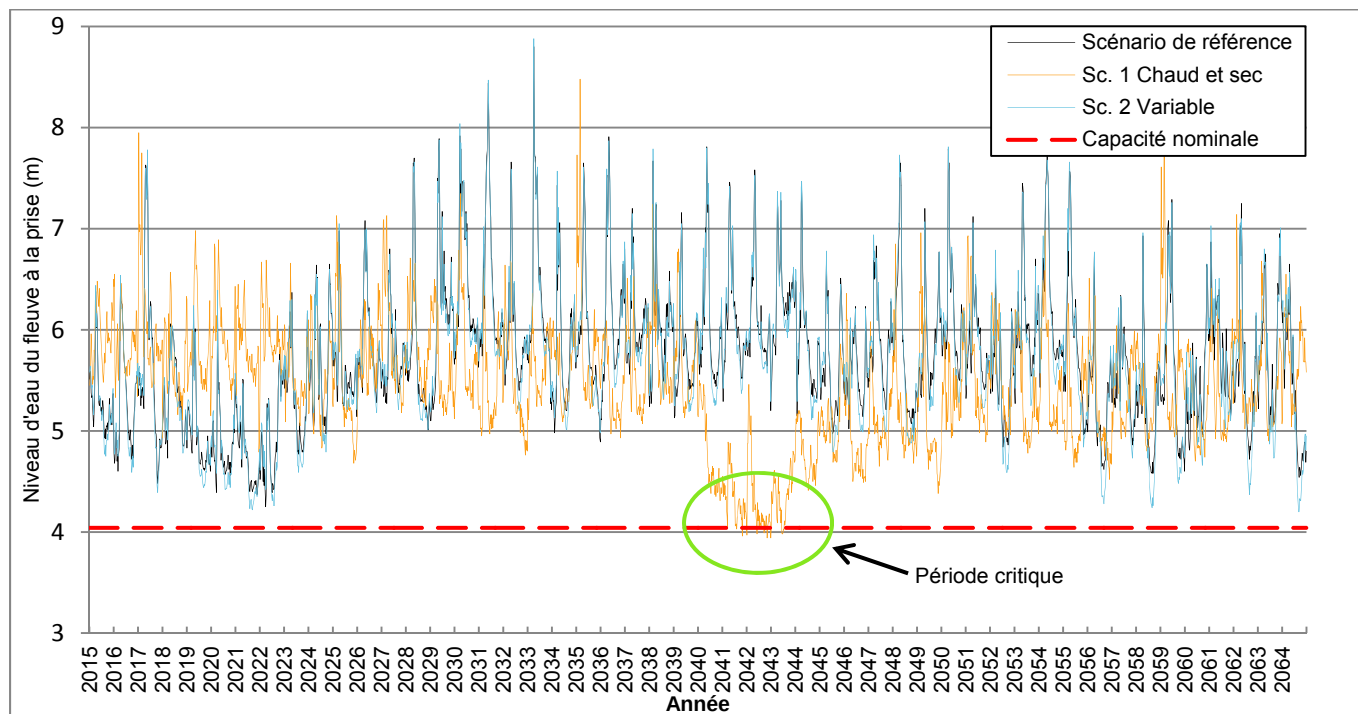


Figure 3-2 Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de UTEP 1, 2040 - 2045

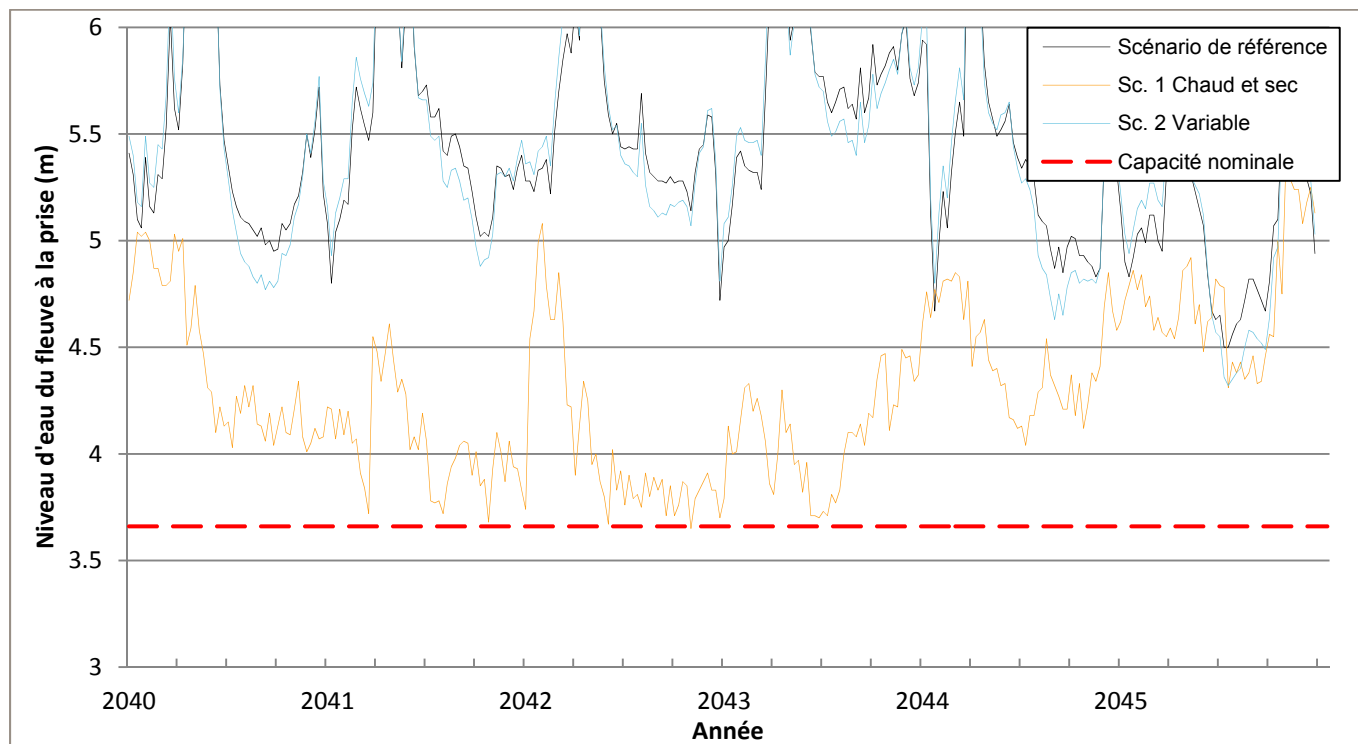
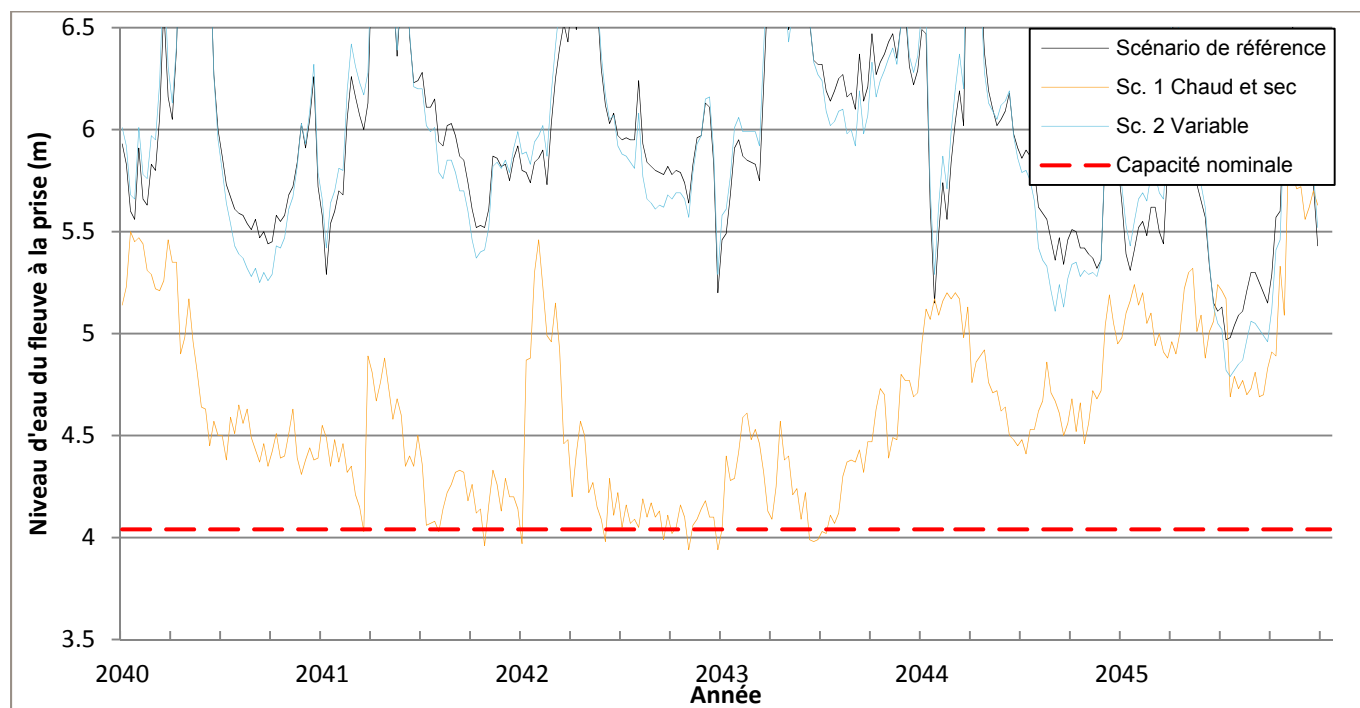


Figure 3-3 Hydrogrammes et niveau minimum pour la production de la capacité nominale de l'UTEP 2, 2040 – 2045**Tableau 3-3 Quantification de la pénurie**

Année	QTM	Mois	UTEP 2		UTEP 1	
			Quantité pénurie (m ³ / QTM)	Valeur monétaire (\$ 2012)	Quantité pénurie (m ³ / QTM)	Valeur monétaire (\$ 2012)
2041	11	mars	3 105	3 000 \$	0	0 \$
2041	29	août	3 105	3 000 \$	0	0 \$
2041	40	oct.	18 075	17 430 \$	0	0 \$
2042	1	jan.	15 915	15 350 \$	0	0 \$
2042	21	juin	13 755	13 270 \$	0	0 \$
2042	35	sept.	11 610	11 200 \$	0	0 \$
2042	37	oct.	5 220	5 040 \$	0	0 \$
2042	41	nov.	22 650	21 850 \$	7 785	8 930 \$
2042	48	déc.	22 650	21 850 \$	0	0 \$
2043	22	juin	11 610	11 200 \$	0	0 \$
2043	23	juin	13 755	13 270 \$	0	0 \$
2043	24	juin	11 610	11 200 \$	0	0 \$
2043	25	juil.	3 105	3 000 \$	0	0 \$
2043	26	juil.	5 220	5 040 \$	0	0 \$
Total sur 50 ans			161 385 m ³	155 700 \$	7 785 m ³	8 930 \$
Valeur actuelle avec taux d'escompte de 4 %				53 730 \$		3 100 \$

3.6 Limites de l'évaluation

Il faut rappeler que la pénurie estimée est théorique, car elle est calculée sur la capacité nominale de l'usine. Il est possible que la demande d'eau à l'usine soit inférieure à sa capacité nominale, ce qui peut atténuer l'importance et l'impact de la pénurie. Pour les niveaux d'étiage simulés en dehors de la période estivale, il est vraisemblable que la demande en eau soit nettement inférieure à la capacité nominale de l'usine.

L'impact monétaire estimé dans cette étude ne concerne que la valeur des pénuries d'eau potable. Il est important de souligner que les problèmes de qualité d'eau, non quantifiés dans cette étude, constituent vraisemblablement un autre enjeu important associé aux changements climatiques. Pour la totalité des usines du périmètre d'étude et, en particulier, pour les huit usines identifiées comme critiques dans le cadre de cette étude, des problèmes de dégradation de la qualité d'eau captée pourraient être observés en raison des changements climatiques. Les coûts d'investissements et d'opération additionnels pour des traitements plus poussés de l'eau brute n'ont pas été quantifiés dans le cadre de cette étude.

Il faut également souligner qu'avec l'augmentation possible de la température de l'eau et la réduction possible des couverts de glaces en hiver, les périodes de bas niveau d'eau hivernales pourraient créer des problèmes accrus d'opération à cause du frasil qui peut se former près de la surface de l'eau vive. Le frasil peut réduire ou même boucher le système de captage de l'eau ou les pompes. Certaines usines sont déjà équipées de systèmes anti-frasil. Cette problématique n'a pas été évaluée dans le cadre de cette étude, car les scénarios ne contiennent pas d'information à ce sujet (p. ex. température de l'eau, couverture de glaces).

L'étude n'a pas évalué l'impact des facteurs biophysiques en lien avec la qualité de l'eau à traiter (température, algues, moules zébrées, turbidité, pollution) ni les problématiques de frasil sur la capacité de captage. Une analyse qualitative aurait pu être réalisée sur les impacts de ces facteurs biophysiques, mais d'une part ces problématiques sont déjà connues et documentées (Carrière & Barbeau, 2004; Hudon, 2011) et d'autre part une estimation économique liée aux changements climatiques sera difficile à réaliser et à justifier sur cette base purement qualitative.

L'impact monétaire de la pénurie d'eau est estimé sur la base d'une consommation proportionnelle de l'eau par les différents types d'usagers de l'eau dans la municipalité. Elle ne tient pas compte des mesures d'adaptation que certains usagers pourraient adopter lors des périodes de pénurie. Par exemple, certaines industries ou usines pourraient réduire ou différer leur consommation en eau de façon temporaire, surtout si la pénurie survient sur une courte période (seulement 1 QTM). De plus, l'ordre de grandeur des pénuries (de 0,5 à 13 % de la capacité nominale des usines) suggère qu'il est peu probable qu'une coupure complète du service d'eau se produise. Dans ces circonstances, les municipalités pourraient émettre des restrictions d'usages (interdiction d'arrosage, interdiction de lavage de voiture) qui amèneraient certains usagers, comme les usagers résidentiels à réduire leur consommation en eau pour limiter l'impact de la pénurie.

4 Résultats – Volet des eaux usées

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation de la performance des SEEU face aux scénarios futurs. Le Tableau 4-1 présente un sommaire de ces résultats. Les débits minimums requis pour diluer les effluents d'eaux usées municipales sont présentés dans la troisième colonne du tableau. Les débits minimums du fleuve au point de rejet des effluents (Q2,7, Scénario What-if 1, débit total d'une rive à l'autre) sont présentés à la quatrième colonne. Enfin, la comparaison entre le débit minimum du fleuve et le débit minimum requis pour rencontrer les critères de qualité d'eau est effectuée à l'aide d'un ratio de ces deux valeurs, présenté dans la dernière colonne du tableau. Les SEEU sont présentés selon leurs ratios en ordre décroissant.

Il est considéré que l'effluent est adéquatement dilué si les concentrations de polluants sont diminuées de façon à rencontrer les critères de qualité d'eau au bout de la zone de mélange allouée, soit à 300 m en aval du point de rejet de l'effluent.

Tableau 4-1 SEEU et des débits minimum requis pour rencontrer les critères de qualité d'eau

N°	Station d'épuration	Débit min requis (m ³ /s)	Débit min du fleuve, SC1, Q2,7 (m ³ /s)	Ratio débit fleuve / débit requis (sans unité)
1	BEAUHARNOIS	0,79	5 531	7 002
19	SAINT-IGNACE-DE-LOYOLA	1,5	7 791	5 103
20	SAINT-LOUIS-DE-GONZAGUE	1,5	5 531	3 612
26	VERCHÈRES	2,3	7 577	3 217
16	TROIS-RIVIÈRES (POINTE-DU-LAC)	3,3	8 010	2 409
2	BÉCANCOUR (GENTILLY)	5,1	8 010	1 579
21	SAINT-SULPICE	6,3	7 577	1 197
23	SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	5,8	5 531	959
18	LA PRAIRIE (SAINTE-CATHERINE)	7,2	6 643	926
5	CONTRECOEUR	9,1	7 577	832
4	BERTHIERVILLE	9,4	7 577	811
3	BÉCANCOUR (SECTEUR OUEST)	12	8 010	696
14	NOTRE-DAME-DE-L'ÎLE-PERROT	10	6 634	672
13	NICOLET	13	8 010	622
17	REPENTIGNY	13	7 577	589
22	SAINT-ZOTIQUE (AGRANDISSEMENT)	10,9	5 900	540
8	LAVALTRIE	23	7 577	334
25	VARENNES	22	6 643	308
15	PINCOURT	2,8	734	259
12	BEAUHARNOIS (MELOCHEVILLE)	1,9	370	194
9	LES CÈDRES	2,1	370	174
10	L'ÎLE-PERROT	4,9	734	151
24	SOREL-TRACY	52	7 791	151
7	MONTRÉAL (ÎLE NOTRE-DAME)	54	6 643	122
11	LONGUEUIL	98	6 643	68
27	TROIS-RIVIÈRES Métropolitain	121	8 010	66
28	VAUDREUIL-DORION	18	734	41
6	MONTRÉAL (STATION JEAN-R.-MARCOTTE)	830	6 643	8

4.1 Discussion des résultats

Le ratio du débit minimum du fleuve par rapport au débit minimum requis pour assurer la dilution adéquate indique, à titre qualitatif, le pouvoir potentiel du débit du fleuve de diluer les polluants d'une SEEU. Rappelons qu'il s'agit d'une approche théorique, car en réalité, l'ensemble du débit du fleuve d'une rive à l'autre n'est pas disponible pour la dilution à cause de ses caractéristiques hydrodynamiques. Dans le meilleur des cas, celui de l'effluent de la station de Beauharnois, le débit du fleuve (d'une rive à l'autre) est environ 7 000 fois plus grand que le débit minimum requis pour diluer adéquatement les polluants. Dans le pire des cas, pour la station Jean-R.-Marcotte de Montréal, le débit du fleuve (d'une rive à l'autre) représente seulement huit (8) fois le débit minimum requis.

À la lumière de cette comparaison, on émet l'hypothèse que les débits futurs du fleuve prévus dans les scénarios What-if 1 et 2 seraient adéquats pour assurer un niveau de dilution suffisant pour la plupart des SEEU dans le corridor d'étude. Pour ces stations, le débit total du fleuve représente de 300 à 7 000 fois le débit minimum requis pour diluer adéquatement les effluents. Même si le débit total du fleuve n'intervient pas complètement dans la dilution de l'effluent, le débit disponible est vraisemblablement suffisamment élevé pour assurer une dilution adéquate à l'intérieur de la zone de mélange pour ces stations. La vitesse du courant au point de rejet est également un facteur qui influence l'étendue de la zone de mélange. Toutefois, en supposant que la vitesse demeure proportionnelle au débit, on peut également émettre l'hypothèse que le pouvoir de dilution ne sera que faiblement affecté pour les stations dont le débit de l'effluent est relativement faible.

On ne peut tirer aucun constat pour quatre stations, dont le débit minimum requis pour la dilution représente moins de 300 fois le débit d'étiage du fleuve prévu pour le scénario What-if 1. Pour ces quatre SEEU, soit Longueuil, Trois-Rivières (Métropolitain), Vaudreuil-Dorion et Montréal (Station Jean-R.-Marcotte), ce ratio est inférieur à 100. On peut supposer que les effluents de ces stations pourraient ne pas se diluer suffisamment rapidement en période de faible débit. Ceci implique que la qualité d'eau pourrait être affectée de façon négative sur une plus grande distance que la zone de mélange généralement allouée. Pour les stations de Longueuil, Trois-Rivières et Montréal, cette situation résulte des débits importants des effluents provenant de ces trois agglomérations. Dans le cas de Vaudreuil-Dorion, l'effluent de sa station est relativement important par rapport au débit d'eau passant dans le chenal de Vaudreuil, le cours d'eau récepteur.

Soulignons que ces constats ne peuvent pas être validés qu'avec la modélisation de la diffusion du panache de l'effluent dans les eaux du fleuve.

4.1.1 Station Jean-R. Marcotte de Montréal

Il est déjà connu que l'effluent de la station Jean-R.-Marcotte de Montréal affecte la qualité d'eau en aval du point de rejet (Comité de concertation Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2008). Compte tenu du débit d'effluent important de Montréal, des représentants de la station Jean-R. Marcotte de Montréal ont été consultés en janvier 2015 afin d'évaluer si des informations seraient disponibles pour permettre d'approfondir l'analyse de l'impact potentiel. Des informations supplémentaires pouvant alimenter l'analyse n'étaient pas disponibles, mais quelques constats ont été partagés par rapport à la situation de la station de Montréal.

Montréal a commencé dernièrement une évaluation de l'impact de son effluent sur la qualité de l'eau par des mesures de concentration en aval du rejet. Ces données pourraient éventuellement fournir à une meilleure connaissance de l'impact de son effluent sur le milieu. Selon les résultats obtenus, la concentration des polluants dans le panache de l'effluent, à l'exception des coliformes fécaux, atteint la concentration de fond entre un à deux kilomètres en aval du point de rejet, dépendamment des conditions d'écoulement du fleuve (Montréal, 2015). Ceci implique que le fleuve réussit à diluer l'effluent de Montréal aux concentrations en amont de Montréal, mais à une distance plus grande que la zone de mélange théoriquement allouée de 300 mètres. Quant aux coliformes fécaux, Montréal éliminera cette problématique par la mise en place d'un système de désinfection par ozonation en 2019, ce qui réduira l'impact de son effluent au niveau bactériologique (Ville de Montréal, 2013).

4.2 Limites de l'évaluation

Cette étude a tenté d'évaluer l'impact des effluents des SEEU sur le milieu sur la base des critères de qualité de l'eau. Le critère le plus restrictif a été utilisé afin de s'assurer d'une qualité de l'eau adéquate pour tous les usages, qui ceux-ci soit présents ou non (p. ex. baignade, pêche sportive, habitat du poisson).

Elle a également tenté d'évaluer si les conditions futures du fleuve avec changements climatiques pourraient diminuer la capacité de dilution du fleuve de manière à compromettre la qualité d'eau en aval des SEEU. Comme démontré plus haut, il n'a pas été possible de se prononcer avec certitude sur l'impact possible sur la qualité de l'eau. Compte tenu de la nature qualitative et hypothétique des constats, aucune valeur monétaire n'a pu être attribuée.

Enfin, l'approche méthodologique reposait sur l'identification de situations où les critères de qualité de l'eau ne seraient pas respectés en aval des points de rejet des effluents pour les scénarios futurs. S'il avait été possible de déterminer (par exemple, par modélisation de la diffusion du panache) les concentrations en aval selon les scénarios, il aurait tout de même été difficile de se prononcer sur le degré de la dégradation potentielle de la qualité d'eau pour les scénarios futurs compte tenu que la situation actuelle de la qualité de l'eau en aval du point de rejet de chacune des stations n'est pas clairement connue. Il y a lieu de croire que, sans amélioration aux SEEU, les plus faibles débits du fleuve en conditions de changements climatiques pourraient engendrer une dégradation de la qualité de l'eau. Le niveau de cette dégradation (écart avec la situation de référence) dépend de plusieurs facteurs, dont les conditions hydrodynamiques au point de rejet selon les scénarios, qui ne peuvent être évaluées que par l'utilisation d'outils plus sophistiqués, comme les modèles de simulation de la dispersion en milieu aquatique.

4.3 Pistes d'études futures

L'évaluation précédente ne permet pas de statuer avec certitude sur l'impact potentiel des effluents des SEEU sur le milieu pour les scénarios futurs. Toutefois, sur la base de cet exercice, les études futures sur l'impact des rejets des eaux usées municipales devraient se concentrer sur les stations dont les débits de rejet sont plus importants (Montréal, Trois-Rivières Métropolitain et Longueuil). La modélisation de l'écoulement des panaches de l'effluent de ces stations est probablement la méthode à privilégier.

Un programme de suivi de la qualité d'eau du fleuve est actuellement en place (Comité de concertation Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2008). Des données chronologiques sur la qualité de l'eau pourraient également être utilisées pour l'analyse des résultats. Par exemple, une autre approche méthodologique serait de lier ces données aux conditions d'écoulement du fleuve ainsi qu'aux rejets des effluents des usines au moment des mesures. Ensuite, on pourrait tenter d'estimer la variation de la qualité d'eau à l'aide des scénarios futurs pour évaluer les impacts sur les usages de l'eau (p. ex. baignade, pêche, habitat du poisson).

5 Solutions d'adaptation aux changements climatiques et analyse coûts-avantages

Ce chapitre présente une évaluation des solutions d'adaptation pour pallier les problématiques de bas niveau d'eau dans le fleuve, identifiées précédemment. Ce chapitre commence avec une discussion générale sur la gamme de solutions pertinentes aux UTEP. Ensuite, les solutions spécifiques aux huit UTEP vulnérables sont présentées. L'évaluation des coûts et des avantages des solutions spécifiques, ainsi qu'une comparaison à l'aide d'une analyse coûts-avantages concluent ce chapitre.

5.1 Solutions générales

De manière générale, les solutions d'adaptation potentielles pour atténuer les problématiques hydrauliques de production d'eau potable peuvent se classer à l'intérieur de trois grandes catégories, soit l'augmentation de la capacité de production d'eau potable, la réduction de la consommation d'eau, et la régularisation du niveau d'eau du fleuve.

1. L'augmentation de la capacité de production de l'eau potable, surtout durant les périodes sèches, implique surtout des mesures d'ingénierie. La mise en place de ces mesures relève des municipalités et des gestionnaires des UTEP. Les mesures incluent (EPA, 2015):
 - le nettoyage des grilles et des conduits d'adduction, et l'enlèvement des moules zébrées lorsque présentes, pour diminuer la perte de charge du système d'adduction ;
 - la modification de la configuration des prises d'eau, des puits d'eau et des pompes pour accommoder de plus faibles niveaux d'eau ;
 - la mise en place des pompes temporaires lors des périodes de faible niveau d'eau (p.ex. directement dans le fleuve ou dans les puits d'eau brute) pour permettre le pompage d'un volume d'eau additionnel au cours de ces périodes ;
 - l'ajout d'interconnexions avec le réseau des villes avoisinantes pour permettre l'approvisionnement d'eau potable en période de faible niveau d'eau ou d'urgence, avenant que les usines avoisinantes ne subissent pas non plus de problématique de production ;
 - la construction de nouvelles prises d'eau plus profondes ou localisées dans un endroit moins problématique ;
2. Les mesures de réduction de la consommation d'eau visent à réduire la quantité d'eau que l'usine doit fournir. La responsabilité pour la mise en place de ces mesures peut relever des municipalités ainsi que les autres paliers de gouvernement. Les mesures incluent (EPA, 2015):
 - l'augmentation de la tarification de l'eau pour inciter une consommation d'eau plus considérée, voire réduite, auprès des consommateurs (p. ex. résidentiels, commerciaux, industriels) ;
 - la mise en place de programme d'incitatifs ou de subventions pour installer des équipements réduisant la consommation d'eau. La gamme d'équipements inclut:
 - o des pommes de douches, des robinets, des toilettes et des électroménagers à faible débit ;
 - o des systèmes de captage et l'utilisation d'eau pluviale ;
 - o des systèmes de réutilisation d'eau grise (p. ex. eau de douche, de robinet, ou de lavage pour les toilettes) ;
 - la mise en place ou la révision des règlements concernant l'utilisation de l'eau potable, surtout lors des périodes chaudes et sèches d'été (p.ex. interdiction d'arrosage du gazon, de lavage des autos) ;
 - la réduction des fuites d'eau du réseau de distribution pour permettre qu'un plus grand volume de l'eau produite par l'usine atteigne les consommateurs. Les municipalités peuvent :
 - o employer des systèmes de détection de fuites dans le réseau ;
 - o remplacer les conduits et les joints du réseau pour les rendre plus étanches;
 - o réparer des fissures et des bris dans le réseau;

- o Instaurer un programme d'optimisation et de réduction de la pression de service sur le réseau de distribution pour réduire le potentiel de bris et les débits des fuites.
3. La régularisation du niveau d'eau durant les périodes sèches pour assurer un niveau minimum nécessaire au fonctionnement normal des UTEP. Cette solution ne relève pas la compétence des municipalités, mais plutôt des autorités fédérales canadiennes et américaines en collaboration avec les États américains et les provinces canadiennes qui partagent la gestion des ressources hydriques des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. La régularisation d'eau dans le fleuve Saint-Laurent est déjà assujettie à une entente entre ces autorités (CMI, 2014).

Seules les mesures d'ingénierie de la première catégorie sont considérées dans le cadre de cette étude. Elles relèvent directement des compétences des municipalités et des opérateurs des UTEP.

La deuxième catégorie des actions relève également les compétences des municipalités, mais n'est pas considérée dans le cadre de cette étude. Diverses actions visant la réduction de la consommation d'eau potable sont déjà entamées par plusieurs municipalités au Québec dans le cadre de la Stratégique québécoise d'économie d'eau potable (SQEEP), adoptée par le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) en 2011¹⁸. Malgré qu'elles auront des bénéfices en termes d'adaptation aux changements climatiques, ces actions visent d'autres objectifs tels une meilleure utilisation des infrastructures existantes et d'une ressource naturelle limitée, la diminution des coûts d'opération et d'investissement, ainsi que la protection de l'environnement. En outre, puisque la présente étude repose sur la capacité nominale des UTEP, l'évaluation de la demande n'a pas été réalisée, ce qui ne permet pas une quantification des bénéfices de ces types d'actions dans le cadre de cette étude bien qu'il faut reconnaître lesco-bénéfices que ces actions pourraient avoir sur la sécurisation de l'offre d'eau potable. Toutefois, pour les raisons énumérées ci-dessus, elles n'ont pas été prises en compte.

Enfin, la troisième catégorie d'actions concernant la régularisation du niveau d'eau dépasse les compétences des municipalités, et ne sera donc pas considérée dans le cadre de la présente étude. Cependant, si des mesures de régulation devaient être prise pour atténuer les impacts des bas niveaux d'eau sur le transport maritime par exemple, il va de soi que les impacts potentiels de ces bas niveaux, qui seraient ainsi évités, constitueraient des avantages additionnels à prendre en compte dans l'analyse.

5.2 Solutions spécifiques à chaque ville

Des consultations auprès de cinq des huit opérateurs des UTEP¹⁹ et des réflexions par les spécialistes d'AECOM ont permis d'identifier des solutions d'adaptation pertinentes à chaque usine. Parfois, aucune solution n'a été identifiée pour certaines usines vulnérables, car leur situation (c.-à-d. fonctionnement hydraulique dégradé) n'a pas été jugée sévère par les opérateurs et/ou par les spécialistes d'AECOM. Les raisons pour ce choix incluent :

- l'écart important entre la demande d'eau potable pour ces usines et leurs capacités nominales;

¹⁸ La SQEEP a été adoptée dans le cadre de la Politique nationale de l'eau (Gouvernement du Québec, 2002; MAMROT, 2011). La SQEEP reconnaît deux grandes circonstances contribuant à la consommation élevée d'eau au Québec, soit les pertes d'eau liées aux fuites dans les réseaux, ainsi que la surconsommation et l'utilisation abusive de la ressource. La stratégie vise une réduction d'au moins 20 % de la consommation moyenne d'eau par personne pour l'ensemble du Québec. La valeur de référence est de 777 L/(pers./jour) en 2001, lors du lancement de la Politique nationale de l'eau, faisant en sorte que la réduction ciblée par la SQEEP est 622 L/(pers./jour), ce qui correspond à la moyenne canadienne de 2001. Les consommations résidentielle, industrielle, commerciale, institutionnelle et municipale ainsi que les pertes dans le système sont comprises dans cette cible. La SQEEP vise également une réduction des pertes d'eau par des fuites à moins de 20% du volume total d'eau produit, ainsi qu'un taux de fuites maximal de 15 m³ par jour par kilomètre de conduite de distribution (m³/jour*km). L'atteinte des objectifs de la SQEEP a été fixée au 31 décembre 2016 (MAMROT, 2011)

Dans le cadre de la SQEEP, les municipalités du Québec sont appelées à réaliser plusieurs actions, incluant la production d'un état de la situation concernant les infrastructures municipales et l'utilisation par ses populations, l'adoption d'un plan d'action de réduction et d'une réglementation interdisant le gaspillage de l'eau, la mise en place d'un programme de détection des fuites, l'installation des compteurs d'eau dans les immeubles non résidentiels, et l'application d'une tarification adéquate (MAMROT, 2011).

¹⁹ En avril et mai 2015, des demandes de consultation ont été envoyées aux gestionnaires des huit usines ayant été identifiées dans le cadre de cette étude comme étant critiques. Toutefois, seulement cinq des huit usines ont répondu à cette demande.

- l'usine est encore en mesure de fournir 100 % de sa capacité nominale même en période de bas niveau d'eau; ou,
- les opérateurs peuvent vivre avec l'érosion de la marge de sécurité (p. ex. ils ont des procédures opérationnelles pouvant combler la lacune de façon temporaire).

Les solutions d'adaptation décrites dans les sections suivantes visent à répondre aux problèmes hydrauliques en lien avec le niveau d'eau. Les opérateurs des UTEP et les spécialistes d'AECOM ont jugé que ces solutions permettraient d'éviter des problèmes de pénurie d'eau et de fonctionnement hydraulique dégradé identifiés dans le cadre de cette étude.

Tel que mentionné précédemment, cette étude ne peut pas traiter des problèmes de qualité d'eau en lien avec les changements climatiques à cause de manque d'information sur les facteurs biophysiques qui les influencent. Toutefois, des solutions d'adaptation concernant la dégradation de la qualité d'eau ont parfois été soulevées lors des consultations. Elles sont incluses dans la discussion suivante à titre informatif.

5.2.1 UTEP 1

Pour éviter un arrêt du système de pompage en cas de niveau bas du fleuve, une solution envisageable est de réduire la hauteur d'eau minimum de pompage requise dans le puits d'eau brute. Actuellement, 1,3 m de hauteur d'eau est requis dans le puits d'eau brute pour le bon fonctionnement des pompes existantes. Des solutions comme la modification ou le remplacement des pompes existantes pour qu'elles puissent fonctionner avec une hauteur d'eau plus faible pourraient être envisagées (Coût sommaire du remplacement du système de pompage d'environ 250 000 \$, estimé par AECOM). Une autre option qui pourrait également être évaluée avec le fournisseur des pompes existantes est la faisabilité et les risques en termes d'usure accélérée de faire fonctionner de manière ponctuelle les pompes existantes avec une hauteur d'eau moindre que la hauteur d'eau minimum préconisée.

5.2.2 UTEP 2

Une réunion de présentation des résultats de l'étude et de discussion des aménagements et améliorations possibles a été tenue avec le service d'opération de l'usine le 27 avril 2015.

Pour augmenter la capacité de captage en cas de niveau bas du fleuve, une solution possible identifiée par l'exploitant serait de remplacer la conduite d'adduction de la prise 1 de diamètre 600 mm par une nouvelle conduite de diamètre supérieure (au moins 750 mm). Le remplacement de cette ancienne conduite pourrait être réalisé soit sur la totalité de la conduite, soit simplement sur un tronçon (Coût sommaire : 5 000 000 \$). Il est également envisageable d'installer des pompes submersibles requérant une hauteur d'eau plus faible dans le puits d'eau brute (Coût sommaire : 250 000 \$).

5.2.3 UTEP 3

Le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 est légèrement au-dessus du niveau critique de pompage pour la production nominale de l'usine (avec les deux prises d'eau en fonction ou la prise d'eau 2 et le conduit d'interconnexion entre les deux conduites d'adduction en fonction). Le système de captage a donc la capacité hydraulique de prélever 100 % de la capacité de production nominale de l'usine au niveau d'eau What-if 1. Aucune solution d'aménagement n'est donc envisagée en termes de contraintes hydrauliques. Il est néanmoins à noter que l'ouverture de la prise d'eau 2 amène de l'eau de la voie maritime qui est une eau de moins bonne qualité que l'eau du fleuve prélevée par la prise d'eau 1.

5.2.4 UTEP 5

Une réunion de présentation des résultats de l'étude et de discussion des aménagements et améliorations possibles a été tenue avec le service d'opération de l'UTEP 5 le 5 mai 2015. Les solutions d'adaptation identifiées sont :

- modifier les vannages dans le puits de pompage entre les conduites des prises 1 et 3 pour optimiser la procédure de décolmatage de la prise 1 en cas de problèmes de frasil à la prise 1 et de non-disponibilité de la prise 2 (Coût sommaire : 100 000 \$) ;
- agrandir et abaisser l'ouverture principale en amont du dégrilleur de la prise 1 pour améliorer les conditions hydrauliques et pour réduire les pertes de charge au passage de la chambre du dégrilleur (Coût sommaire : 100 000 \$).

5.2.5 UTEP 6

Une réunion de présentation des résultats de l'étude et de discussion des aménagements et améliorations possibles a été tenue avec le service d'opération de l'UTEP 6 le 7 mai 2015.

Le niveau minimum d'eau du scénario What-if 1 est légèrement au-dessus du niveau minimum de submersion de la prise principale 1. Le système de captage a donc la capacité hydraulique de prélever 100 % de la capacité de production nominale de l'usine au niveau d'eau What-if 1. Selon les gestionnaires, aucune solution d'aménagement n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques à l'étiage. Il est à noter que la prise principale 1 rencontre occasionnellement des problèmes de cyanobactéries. Si la qualité de l'eau en termes de cyanobactérie, efflorescence algale et cyanotoxines se dégradait, des adaptations pourraient être requises au niveau de la filière de traitement de l'usine ou au niveau du positionnement de l'ouvrage de captage 1 pour tenter de capter un écoulement de meilleure qualité.

5.2.6 UTEP 7

Une réunion de présentation des résultats de l'étude et de discussion des aménagements et améliorations possibles a été tenue le 12 mai 2015 avec le service d'opération de l'UTEP 7.

La production d'eau de l'usine a baissé progressivement ces dernières années pour les raisons suivantes :

- réduction de la consommation d'eau dans le parc industriel (fermetures d'usines) ;
- transfert de l'alimentation en eau de la ville de Sainte-Anne-de-Bellevue et Senneville par l'UTEP 7 à l'usine de Pierrefonds ;
- mise en place d'un programme de détection et de réduction de fuites dans le réseau de distribution ;
- réalisation des économies d'eau chez les particuliers dans le cadre de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable (accessoires et équipements à faible consommation d'eau) ;
- mise en place d'un règlement de restriction d'arrosage.

Les débits de pointe journalière d'eau produite ces cinq dernières années n'ont pas dépassé 61 % de la capacité nominale de l'UTEP 7. Le débit de pointe journalier est donc significativement en dessous de la capacité nominale de l'usine et pourrait de plus continuer à baisser. Cette stratégie de réduction de la demande en eau diminue les débits de pointe à capter et réduit donc les vitesses et les pertes de charge dans les conduites d'adduction. Ces réductions des débits contribuent donc à la sécurisation du système de captage en cas de niveau bas dans le fleuve. Des aménagements de sécurisation ont également été implantés, en particulier des interconnexions avec les réseaux de distribution d'eau potable des villes avoisinantes. En cas d'urgence, une partie de la demande d'eau du réseau de l'UTEP 7 peut être fournie par ces interconnexions. Pour ces raisons, aucune solution d'aménagement des ouvrages de captage n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques à l'étiage.

5.2.7 UTEP 8

Une réunion de présentation des résultats de l'étude et de discussion des aménagements et améliorations possibles a été tenue le 7 mai 2015 avec le service d'opération de l'UTEP 8.

Au niveau minimum d'eau du scénario What-if 1, la prise d'eau principale 1 n'a pas une submersion adéquate. La conduite d'adduction de 900 mm a également une capacité hydraulique insuffisante pour capter la totalité du débit de production. Actuellement, les besoins de production en journée de pointe ne sont que de 61 % de la capacité de production de l'usine. À terme, avec l'augmentation des besoins et les hypothèses de changement climatiques, les aménagements envisageables sont de remplacer la prise d'eau 1 par une conduite d'adduction de diamètre supérieure (de l'ordre de 1 200 mm) avec une chambre de captage (Coût sommaire : 3 000 000 \$)

Il est à noter que des cyanobactéries ont été détectées épisodiquement. Si la qualité de l'eau en termes de cyanobactérie, efflorescence algale et cyanotoxines se dégradait, des adaptations pourraient être requises au niveau de la filière de traitement de l'usine.

5.3 Avantages et coûts de mise en place des solutions d'adaptation

Les avantages des solutions d'adaptation sont les coûts économisés en lien avec les pénuries évitées, ainsi que la sécurisation du système d'approvisionnement d'eau potable au niveau des usines. Toutefois, ce dernier avantage n'est pas quantifié dans le cadre de cette étude, étant donné que l'établissement de la valeur sécurisation nécessiterait le recours à des méthodes de quantification économique qui dépassent le mandat convenu avec Ouranos²⁰.

Les coûts approximatifs de mise en place des solutions ont été identifiés par les opérateurs des usines lors des consultations tenues en avril et mai. Ces coûts proviennent souvent d'estimations des projets d'amélioration ou de renforcement déjà prévus. Ils représentent une évaluation approximative des coûts d'investissement, sans inclure les coûts d'exploitation. Cette étude émet comme hypothèse qu'il n'y a pas de coût d'exploitation supplémentaire important à tenir en compte. Ces coûts font déjà partie des budgets existants pour l'opération des équipements, et le remplacement des équipements n'engendre pas de coût d'exploitation supplémentaire important. Le tableau ci-dessous résume les avantages et les coûts de la mise en place des solutions d'adaptation pour les usines critiques.

Tableau 5-1 Sommaire des avantages et coûts de mise en place des solutions d'adaptation

UTEP	Solution d'adaptation	Coûts approximatifs	Avantages
1	Modifier ou remplacer les pompes existantes	250 000 \$	8 930 \$* + sécurisation du système d'approvisionnement
2	Remplacement de conduite, installation de pompes submersibles	5 250 000 \$	155 700 \$* + sécurisation du système d'approvisionnement

²⁰ Une évaluation de la volonté de payer pour sécuriser le système d'approvisionnement pourrait donner une indication de la valeur de ce bénéfice. À titre indicatif, le coût des solutions identifiées pour les autres usines critiques (en fonctionnement hydraulique dégradé) suggèrent une valeur liée à la réduction de la marge de sécurité ou la perte de redondance. Par exemple, dans le cas de l'UTEP 5 où l'utilisation de la prise 2 de l'usine devient problématique lors des périodes de bas niveau d'eau, l'opérateur a proposé certaines modifications afin de réduire les pertes de charge de sa prise principale et pour la sécuriser en cas de problème de frasil. Le coût d'investissement d'environ 200 000 \$ pourrait être considéré comme la valeur attribuable pour sécuriser la production d'eau potable. Un projet de renforcement de la prise principale de l'UTEP 8 en remplaçant une conduite d'adduction par une conduite avec un plus grand diamètre pourrait également assurer une meilleure capacité et une marge de sécurité accrue. Ces projets d'investissements pourraient donc suggérer des valeurs liées à la sécurisation des systèmes de production d'eau potable, car ils représentent des valeurs que les opérateurs sont potentiellement prêts à investir (payer). Toutefois, afin d'intégrer ces valeurs dans une analyse avantages-coûts, une analyse plus poussée de cette piste d'étude sera nécessaire.

UTEP	Solution d'adaptation	Coûts approximatifs	Avantages
3	Aucune solution d'aménagement envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
4	Étude d'impact des changements climatiques non complétée à cause de l'insuffisance d'information (voir section 3.4.2)	-	-
5	Modifier les vannages dans le puits de pompage et agrandir et abaisser l'ouverture principale en amont du dégrilleur de la prise 1	200 000 \$	sécurisation du système d'approvisionnement
6	Aucune solution d'aménagement n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
7	Aucune solution d'aménagement n'est envisagée en termes de contraintes hydrauliques	-	-
8	Remplacer la prise d'eau 1 par une conduite d'adduction de diamètre supérieure	3 000 000 \$	sécurisation du système d'approvisionnement

* Valeur estimée non actualisée de la pénurie sur 50 ans en \$ de 2012.

5.4 Analyse coûts-avantages

Une analyse coûts-avantages a été réalisée pour les deux usines pouvant subir une pénurie d'eau potable. Il n'est pas possible de réaliser une telle analyse pour les autres usines vulnérables, car les avantages ou coûts évités n'ont pu être évalués monétairement dans le cadre de cette étude.

Rappelons que les périodes de pénuries se produisent seulement vers les années 2040 selon le scénario futur de niveau d'eau. Les deux usines pouvant subir une pénurie n'ont pas besoin de renforcer leurs infrastructures à court terme, car la demande d'eau potable n'atteint pas la capacité nominale de ces usines. Compte tenu de ces circonstances, les investissements pour ces deux usines sont attribués à l'année 2036 dans cette analyse coûts-avantages, soit environ cinq ans avant que le problème de pénurie d'eau puisse se produire.

Le tableau suivant résume les résultats de l'analyse coûts-avantages sur l'horizon de 50 ans avec un taux d'actualisation de 4%. Les résultats des tests de sensibilité utilisant un taux d'actualisation de 2% et de 6% sont également présentés.

Tableau 5-2 Résultats de l'analyse coûts-avantages des solutions d'adaptation

VAN 4 %, horizon 50 ans	UTEP 1	UTEP 2
Coûts	109 710 \$	2 303 880 \$
Avantages – pénurie évitée (Sc. 1 seulement)	3 100 \$	53 730 \$
Coûts nets	106 610 \$	2 250 150 \$
Ratio C/A	35	42
Test de sensibilité, VAN 2%		
Coûts	164 950 \$	3 463 820 \$
Avantages – pénurie évitée (Sc. 1 seulement)	5 230 \$	90 970 \$
Coûts nets	159 713 \$	3 372 850 \$
Ratio C/A	32	38

Test de sensibilité, VAN 6%		
Coûts	73 540 \$	1 544 320 \$
Avantages – pénurie évitée (Sc. 1 seulement)	1 850 \$	32 060 \$
Coûts nets	71 690 \$	1 512 257 \$
Ratio C/A	40	48

Les résultats de l'analyse coûts-avantages démontrent que les coûts nets des solutions d'adaptations sont importants pour la société lorsque l'on considère seulement les pénuries en lien avec les changements climatiques. Le coût net se chiffre autour de 100 000 \$ pour l'UTEP 1 (ratio C/A de 35), et de plus de 2 M \$ pour l'UTEP 2 (ratio C/A de 42).

Les tests de sensibilité effectués en appliquant un taux d'actualisation de 2 % et 6 % ne modifient pas cette conclusion. Dans le cas des deux usines, la valeur des avantages en lien avec l'évitement de la pénurie d'eau est d'environ 40 fois moins que les coûts des solutions d'adaptation. Même une analyse utilisant les valeurs hautes de la pénurie d'eau (voir section 3.5.2 pour l'intervalle de l'impact monétaire de la pénurie d'eau) ne permet pas de modifier cette conclusion.

Il faut que la valeur de l'eau attribuable à la pénurie soit significativement plus élevée avant que les solutions deviennent rentables. À titre illustratif, une autre analyse de sensibilité a été réalisée en appliquant une valeur de l'eau équivalente au coût de l'eau en bouteille. Deux valeurs ont été utilisées. Selon un reportage de Radio-Canada, le coût de l'eau en bouteille achetée en vrac au Canada équivalait à environ 160 \$ / m³ en 2014 (soit 156 \$ en dollar de 2012) (Stastna, 2014). Dans un autre cas, un incident à l'usine d'eau potable de Longueuil en mi-janvier 2015 a causé l'interruption complète de l'approvisionnement en eau potable pour une grande partie de la ville de Longueuil. Pour répondre à cette situation d'urgence, la Ville a dépensé 745 000 \$ pour acheter 1 300 m³ d'eau en bouteille, soit 573 \$ / m³ (soit environ 557 \$ en dollar de 2012) (Champagne, 2015; Radio Canada, 2015). Si ces coûts de l'eau potable étaient appliqués à l'analyse (pour l'usage résidentiel seulement)²¹, les solutions deviendraient économiquement rentables pour la société. Le tableau suivant résume cette analyse de sensibilité.

Tableau 5-3 Résultats de l'analyse de sensibilité basée sur la valeur de l'eau en bouteille

VAN 4 %, Horizon 50 ans	UTEP 1	UTEP 2
Test de sensibilité, Valeur de l'eau 156 \$ / m³		
Coûts	109 710 \$	2 303 880 \$
Avantages – achat de l'eau en bouteille évité (Sc. 1 seulement)	335 120 \$	5 652 040 \$
Avantages nets	225 410 \$	3 348 160 \$
Ratio A/C	3,1	2,5
Test de sensibilité, Valeur de l'eau 557 \$ / m³		
Coûts	109 710 \$	2 303 880 \$
Avantages – achat de l'eau en bouteille évité	1 203 430 \$	20 292 620 \$
Avantages nets	1 093 720 \$	17 988 740 \$
Ratio A/C	10,9	8,8

²¹ Les valeurs de l'eau en bouteille ne sont pas attribuables aux usages commercial et industriel. Ces derniers sont moins susceptibles d'employer de l'eau en bouteille pour dépanner des situations de pénurie.

Dans le cas de valeur basse de l'eau de $156 \$ / m^3$, les avantages nets dégagés par les investissements aux deux usines sont environ 2,5 à 3,1 fois de plus que les coûts des solutions. Dans le cas de valeur haute de l'eau de $557 \$ / m^3$, les avantages nets sont de 8,8 à 10,9 fois plus élevés. Ces résultats positifs ne sont pas étonnants, étant donné que ces coûts de l'eau en bouteille sont environ 120 à 435 fois plus élevés que la valeur de l'eau utilisée dans l'analyse principale²². Il faut souligner que cette analyse de sensibilité est présentée seulement à titre illustratif.

Dans le cas d'une pénurie évaluée dans le cadre de cette étude, soit une réduction partielle de la disponibilité d'eau, il est peu probable que les consommateurs soient prêts à payer autant pour le remplacement direct de l'eau, compte tenu des coûts élevés de l'eau en bouteille. Ils auraient plutôt tendance à réduire leur usage de l'eau en premier. Le cas de Longueuil est encore moins applicable à cette étude puisqu'il s'agit d'une interruption complète de l'approvisionnement alors que les changements climatiques engendraient plutôt une réduction partielle de l'offre. Pour ces raisons, il est considéré que les valeurs de l'eau utilisées dans l'analyse principale représentent mieux la valeur réelle de la pénurie liée aux changements climatiques.

À la lumière de l'analyse principale, les coûts des solutions semblent démesurés par rapport aux coûts évités des pénuries en lien avec les changements climatiques. Toutefois, il faut souligner que ces solutions permettraient de répondre à d'autres objectifs que le simple problème des bas niveaux d'eau. Notamment, ces investissements permettraient de répondre aux besoins croissants de l'augmentation de la population, de la réhabilitation ou du renouvellement des infrastructures, ainsi que la sécurisation du système de production d'eau potable. Si les coûts des solutions semblent démesurés par rapport aux coûts évités de pénurie d'eau, c'est en bonne partie parce qu'il n'a pas été possible d'identifier la portion des coûts d'investissement attribuable seulement à l'adaptation aux changements climatiques ou encore d'identifier des mesures qui s'attaqueraient uniquement à répondre à ce problème. La fourniture de l'eau potable étant un service municipal critique, les investissements visent à combler une diversité de préoccupations, ce qui pourrait en même temps régler les problèmes résultant des bas niveaux d'eau en lien avec les changements climatiques.

²² Rappelons que la valeur de l'eau appliquée dans l'analyse principale a été identifiée par le biais d'une revue de la littérature. Elle reflète la valorisation de l'eau par les ménages en quantité et de qualité suffisante (voir Annexe D pour plus de détails).

6 Conclusions

Cette étude a tenté d'identifier et de quantifier l'impact des changements climatiques, c'est-à-dire les impacts des variations de niveau et de débit du fleuve Saint-Laurent, sur les infrastructures eaux municipales dans le corridor d'étude entre la frontière ontarienne et Trois-Rivières à partir de scénarios f portant sur les niveaux et les débits du fleuve pendant la période 2015 à 2064..

6.1 Volet des eaux potables

Dix-huit usines de traitement d'eau potable (UTEP) ont été évaluées de façon détaillée dans le cadre de cette étude. L'impact du faible niveau d'eau sur la capacité de ces usines de fournir de l'eau potable a été évalué. Deux UTEP présentent des risques de voir leur capacité de production d'eau potable limitée par le faible niveau d'eau du scénario What-if 1, le scénario ayant le plus faible niveau d'eau parmi les trois à l'étude. La quantité estimée de la pénurie sur 50 ans est relativement faible, représentant de 0,5 à 13 % de la capacité nominale des deux usines affectées. Six autres UTEP ont été identifiées comme étant capables de produire leur capacité nominale, mais avec un fonctionnement hydraulique dégradé. Elles peuvent subir des problèmes comme la perte de marge de sécurité, la perte de redondance et le risque accru de colmatage ou de captage de flottants.

En 2004, l'étude de Carrière et Barbeau avait identifié sept UTEP comme étant vulnérables aux faibles niveaux d'eau. Depuis ce rapport, deux UTEP (Montréal et Verchères) ont réalisé des mises à niveau de leurs ouvrages de captage et pompage et ne sont plus considérées comme vulnérables aux bas niveaux d'eau considérés dans la présente étude. Il est à noter que Montréal avec les usines Atwater et Desbaillets est de loin le plus grand producteur d'eau potable du secteur d'étude. L'UTEP 1 a également réalisé une mise à niveau de son ouvrage de pompage. L'UTEP est dorénavant capable de capter de l'eau à des niveaux beaucoup plus bas qu'en 2004, mais elle présente tout de même une vulnérabilité aux conditions d'étiage du scénario What-if 1. La mise à niveau de ces UTEP, et en particulier celles de Montréal, explique en partie pourquoi le potentiel de pénurie d'eau estimée dans le cadre de la présente étude n'est pas globalement plus élevé.

Les impacts monétaires potentiels de bas niveau du fleuve sont associés à l'abaissement des niveaux d'eau, ce qui peut créer des pénuries d'eau potable. Les impacts monétaires potentiels peuvent découler également de la diminution de la qualité de l'eau, ce qui peut nécessiter des traitements plus poussés pour purifier l'eau brute.

La valeur monétaire de la pénurie potentielle d'eau potable estimée dans le cadre de cette étude est faible. À un taux d'escompte de 4 % sur l'horizon de 50 ans de l'étude, cette valeur (en valeur actuelle) se chiffre à 56 830 \$ selon la valeur d'eau attribuable aux usages directs par les secteurs résidentiel, commercial et industriel (intervalle de 48 950 \$ à 66 790 \$). Ces pénuries se produiraient selon les scénarios utilisés essentiellement durant les années 2041 à 2043, soit la période où le faible niveau d'eau du fleuve serait sous les seuils critiques de niveau pour les deux UTEP.

Concernant la dégradation potentielle de la qualité de l'eau, cette étude ne peut quantifier ces impacts, car on ne dispose pas d'information sur l'évolution des facteurs biophysiques ayant une influence sur la qualité d'eau. Toutes les usines dans le corridor d'étude peuvent en théorie subir un impact par la dégradation de la qualité de l'eau brute.

Donc, il est important de souligner que les impacts monétaires estimés dans cette étude ne tiennent pas compte des coûts de traitement supplémentaire potentiellement engendré par la dégradation de la qualité d'eau. De plus, la perte de marge de sécurité et de redondance à cause du faible niveau d'eau peut être une situation inquiétante pour les opérateurs des usines qui seront en mode de fonctionnement hydraulique dégradé, car ils auront moins de marge de manœuvre en cas d'évènement imprévu (p. ex. colmatage, bris de conduite, accident, etc.).

Des consultations menées auprès des opérateurs des usines vulnérables ont permis d'identifier et d'évaluer des solutions d'adaptation pouvant régler les problèmes hydrauliques en lien avec de bas niveau d'eau. Pour quatre des usines vulnérables, ces solutions comportent généralement la modification ou le remplacement de pompes

existantes par des équipements pouvant fonctionner à de plus bas niveau d'eau, ainsi que le remplacement, l'agrandissement ou la reconfiguration des systèmes d'adduction pour réduire la perte de charge des systèmes, effectivement diminuant des contraintes hydrauliques en lien avec de plus bas niveaux d'eau. Pour trois des huit usines, aucune solution n'a été identifiée, car leur situation (c.-à-d. fonctionnement hydraulique dégradé) n'a pas été jugée sévère. Les raisons pour ce choix incluent le fait que l'usine serait encore capable de fournir 100 % de sa capacité nominale même en période de bas niveau d'eau, ou encore qu'elle serait en mesure de pallier de façon temporaire ce type de situation avec des procédures opérationnelles. Pour une des usines, aucune solution n'est identifiée à cause de l'insuffisance de l'information concernant l'importance de l'impact, et des informations supplémentaires doivent être obtenues auprès de l'opérateur.

Les solutions concernant les usines pouvant subir une pénurie d'eau potable ont été comparées avec les coûts d'implantation à l'aide d'une analyse coûts-avantages. Les résultats de cette analyse démontrent que celles-ci présentent des coûts nets pour la société si l'on considère seulement les pénuries en lien avec les changements climatiques. Malgré que les coûts des solutions semblent démesurés par rapport aux coûts évités des pénuries, il faut toutefois souligner que ces solutions permettraient de répondre à d'autres objectifs que l'adaptation aux changements climatiques. Notamment, ces investissements permettraient de répondre aux besoins croissants de l'augmentation de la population, de la réhabilitation ou du renouvellement des infrastructures, ainsi que de la sécurisation du système de production d'eau potable. La fourniture de l'eau potable étant un service municipal critique, ces investissements permettraient de répondre à une diversité de préoccupations, et en même temps de régler les problèmes de bas niveaux d'eau en lien avec les changements climatiques. Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible d'identifier la portion des coûts d'investissement attribuable exclusivement à l'adaptation aux changements climatiques, ce qui explique en partie les coûts démesurés par rapport aux avantages.

6.1.1 Pistes d'études futures

Cette étude a pu identifier les usines critiques en terme hydraulique aux bas niveaux d'eau du fleuve. Toutefois, elle n'a pas pu évaluer l'impact des facteurs biophysiques en lien avec la qualité de l'eau à traiter (p. ex. température, algues, moules zébrées, turbidité, pollution) ou des problématiques de frasil sur la capacité de captage (p. ex. température, couverts de glace). Ceci n'a pas permis ni une évaluation économique des impacts, ni l'identification des solutions d'adaptation. Les consultations menées auprès des opérateurs des certaines UTEP, ainsi que la documentation existante de cette problématique (Carrière & Barbeau, 2004; Hudon, 2011) soulignent l'importance de ces facteurs sur la production de l'eau potable. Certains opérateurs ont également souligné leurs préoccupations sur la performance de leurs systèmes de traitement (p. ex. ozonation) face à une dégradation significative de la qualité d'eau qui dépasse l'historique (p. ex. une efflorescence algale importante en lien avec une baisse de niveau et une hausse de température et de polluants dans l'eau). Une piste future d'étude pourrait se concentrer sur l'évaluation de la qualité de l'eau dans le fleuve, sa relation avec le niveau d'eau et les facteurs biophysiques qui l'influence, ainsi que la capacité de traitement des systèmes déjà en place. Une fois l'impact des changements climatiques sur la qualité d'eau mieux circonscrit, une évaluation des solutions d'adaptation pourrait être réalisée.

L'analyse des usagers non municipaux (p. ex. industries) qui prélèvent de l'eau directement du fleuve apporterait de l'information complémentaire à la présente étude. Comme point de départ, un répertoire de ces types d'usagers serait nécessaire. Des demandes ont été faites auprès du MDDELCC pour savoir si un tel répertoire ou base de données existait, surtout en lien avec les certificats d'autorisation attribués pour les prélèvements d'eau. Comme aucun répertoire des usages n'a été compilé à leur connaissance, un tel répertoire devrait être construit à partir d'enquêtes ou de sondages.

6.2 Volet des eaux usées

Cette étude ne peut pas se prononcer avec certitude sur les impacts potentiels des changements climatiques sur la capacité du fleuve à diluer les effluents des stations d'épuration à l'étude. Les caractéristiques d'écoulement du fleuve font en sorte que sa capacité de dilution est difficile à évaluer sans recours à la modélisation à l'aide d'un logiciel spécialisé. Toutefois, à la lumière de l'analyse réalisée, on peut émettre l'hypothèse que les débits futurs du fleuve seraient adéquats pour assurer la dilution suffisante pour la plupart des SEEU dans le corridor d'étude. On peut également émettre l'hypothèse que le pouvoir de dilution du fleuve ne serait que faiblement affecté par les scénarios futurs pour ces stations, car le débit de leur effluent est relativement faible. À l'inverse, on ne peut tirer aucun constat pour les stations de Montréal, Longueuil et Trois-Rivières, dont les débits d'effluent sont relativement importants par rapport au débit d'eau passant dans le fleuve ou ses tributaires.

Compte tenu de la nature qualitative et hypothétique des constats formulés précédemment, aucune valeur monétaire n'a pu être attribuée. De plus, l'identification des solutions d'adaptation et l'analyse économique n'a pas été réalisée pour le volet eaux usées, la quantification des impacts sur les stations d'épuration des eaux usées n'étant pas complétée. Il faudrait réaliser des analyses qui dépassent le présent mandat avant de procéder à une identification et une analyse de solutions pour le volet des eaux usées.

7 Bibliographie

- Bourque, A., & Simonet, G. (2007). Québec. Dans D. S. Lemmen, F. J. Warren, J. Lacroix, & E. Bush, *Vivre avec les changements climatiques au Canada* (pp. 171-226). Ottawa: Gouvernement du Canada.
- Brière, F. (2000). *Distribution et collecte des eaux* (éd. 2e). Montréal: Presses internationales polytechnique.
- Carrière, A., & Barbeau, B. (2003). *Impacts of level fluctuations in the St. Lawrence River on water treatment plant operation*. Montréal: École Polytechnique de Montréal.
- Carrière, A., & Barbeau, B. (2004). *Impacts of level fluctuations in the St. Lawrence River on water treatment plant operation*. Montréal: École Polytechnique de Montréal.
- Champagne, S. (2015, février 18). *Crise de l'eau à Longueuil: une facture salée*. Consulté le août 11, 2015, sur La Presse: www.lapresse.ca/actualites/regional/201502/18/01-4845134-crise-de-leau-a-longueuil-une-facture-salee.php
- CMI. (2014). *Plan 2014 : Régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*. Commission mixte internationale.
- Comité de concertation Suivi de l'état du Saint-Laurent. (2008). *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2008. Plan Saint-Laurent*. Ottawa, Québec: Environnement Canada, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Pêches et Océans Canada et Stratégies Saint-Laurent.
- Dupont, D., & Renzetti, S. (2008). Good to the Last Drop? An Assessment of Canadian Water Value Estimates. *Revue canadienne des ressources hydriques*, 33(4), 369-380.
- Environnement Canada. (2009). *Données sur l'utilisation municipale de l'eau*. Consulté le fév 20, 2015, sur www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=ED0E12D7-1, accédé le 20 fév 2015
- EPA. (2015). *Climate Ready Water Utilities Adaptation Strategies Guide for Water Utilities*. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- Gouvernement du Québec. (2002). *Politique nationale de l'eau*. Consulté le mai 30, 2014, sur Ministère du Développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques: www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/#mise
- Hudon, C. (2011, 05 16). *Le lac Saint-Louis est-il à risques*. Consulté le 02 27, 2014, sur Les niveaux d'eau et l'eau potable: www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=E2765ABF-1
- Knauss, J. (1987). *Swirling Flow Problems at Intakes. Hydraulic Structure Design Manual*. Rotterdam: IAHR-AIRH.A.A Balkema.
- MAMOT. (2010). *Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux*. Récupéré sur Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire: www.mamrot.gouv.qc.ca/infrastructures/suivi-des-ouvrages-dassainissement/
- MAMROT. (2011). *Stratégie québécoise d'économie d'eau potable*. Québec: Gouvernement du Québec.
- MDDEFP. (2007). *Calcul et l'interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique, 2e Édition*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

- MDDEFP. (2013). *Critères de qualité de l'eau de surface*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'État de l'environnement.
- MDDEFP. (2013). *Guide de présentation d'une demande d'autorisation pour réaliser un projet assujéti à l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction des politiques de l'eau.
- Montréal. (2015, février 18). Échange téléphonique avec une représentante de la Ville de Montréal, station Jean-R.-Marcotte. (AECOM, Intervieweur)
- Radio Canada. (2015, février 12). *La crise de l'eau a coûté 745 000 \$ à Longueuil*. Consulté le août 11, 2015, sur Radio Canada: <http://ici.radio-canada.ca/regions/montreal/2015/02/12/003-crise-eau-longueuil-745-mille-dollars-cout.shtml>
- Stastna, K. (2014, septembre 26). *Bottle versus tap: 7 things to know about drinking water*. Consulté le septembre 2, 2015, sur CBC News: www.cbc.ca/news/health/bottle-vs-tap-7-things-to-know-about-drinking-water-1.2774182
- Ville de Montréal. (2013). *Vers une gestion durable des eaux municipales, Bilan réalisé dans le cadre du programme Villes VERDD et l'Alliance des villes des Grands Lacs et du Saint-Laurent*. Montréal: Ville de Montréal.

Annexe A
Document de cadrage
méthodologique

Liste des révisions

Révision #	Révisé par	Date	Description de la révision
1	C. Chan	23 sep 2014	Commentaires sur la version préliminaire
2	C. Chan	18 sep 2015	Révisions pour intégration avec rapport final

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Mandat	1
1.2	Structure du document.....	1
2	Caractéristiques techniques des secteurs d'étude	2
2.1	Méthodologie	2
2.2	Eaux potables	2
2.2.1	Sensibilité des usines de traitement d'eau potable aux facteurs biophysiques	4
2.2.2	Le niveau du fleuve et la vulnérabilité des usines de traitement des eaux potables.....	4
2.2.2.1	Perte de charge	5
2.2.2.2	Émergence.....	6
2.2.3	Usines vulnérables	6
2.3	Eaux usées.....	7
2.3.1	Exigences de rejet et objectifs environnementaux de rejet (OER)	9
2.3.2	Critères de qualité de l'eau	9
2.3.3	Débit et zone de mélange	10
2.3.4	Eaux pluviales	10
2.3.5	Règlementation eaux usées municipales	11
2.3.5.1	CCME	11
2.3.5.2	Gouvernement fédéral	12
2.3.5.3	Québec	12
2.3.6	Sensibilité des infrastructures et du milieu récepteur	13
2.3.7	Identification des infrastructures ayant un impact sur le milieu récepteur	13
3	Caractéristiques socioéconomiques des secteurs d'étude.....	14
3.1	Population desservie	14
3.1.1	Croissance de la population	16
3.2	Besoins en eau potable	17
3.2.1	Besoins actuels en eau potable.....	17
3.2.2	Évolution des besoins en eau potable.....	19
3.2.3	Besoins futurs en eau potable.....	20
3.3	Caractéristiques économiques du corridor d'étude.....	21
4	Méthodologie d'étude des impacts des changements climatiques sur les eaux municipales	22
4.1	Définition des scénarios des niveaux d'eau.....	23
4.2	Évaluation des impacts sur les infrastructures et sur le milieu	23

4.2.1	Secteur de l'eau potable.....	23
4.2.2	Secteur des eaux usées	25
4.2.2.1	Identification des stations d'épuration d'eaux usées vulnérables.....	25
4.3	Attribution d'une valeur économique aux impacts	26
4.3.1	Valeur économique totale de l'eau	27
4.3.2	Méthodologie d'attribution d'une valeur économique aux impacts	28
4.4	Approche pour la sélection et l'évaluation des solutions d'adaptation	29
4.4.1	Choix des solutions d'adaptation.....	29
4.4.2	Évaluation des bénéfices des solutions d'adaptation.....	29
4.4.3	Évaluation des coûts de mise en place des solutions d'adaptation	30
4.4.4	Analyse avantages-coûts.....	30
4.4.4.1	Paramètres de l'étude	30
5	Bibliographie.....	31

Liste des tableaux

Tableau 2-1	Usines de traitement des eaux potables à l'intérieur du corridor d'étude, 2012	3
Tableau 2-2	Niveau critique d'eau selon le mécanisme déterminant par usine	6
Tableau 2-3	Usines vulnérables au faible niveau d'eau du fleuve (19,351 m à Pointe-Claire, 4 300 m ³ /s à Sorel)	7
Tableau 2-4	Stations d'épuration des eaux usées (SEUU), types de traitement et débit moyen par jour	8
Tableau 2-5	Critères de qualité de l'eau	10
Tableau 2-6	Facteurs biophysiques du fleuve ayant une influence sur les impacts sur le milieu	13
Tableau 3-1	Population desservie par les réseaux de distribution d'eau potable des municipalités concernées par le projet - 2012	14
Tableau 3-2	Population desservie par les stations de traitement des eaux usées concernées par le projet - 2012.....	15
Tableau 3-3	Volumes d'eau distribués (en L/pers./j), tous usages confondus.....	18
Tableau 3-4	Sommaire de l'utilisation des compteurs d'eau au Québec, en Ontario et au Canada en 2006 ...	18
Tableau 3-5	Estimation de la répartition de l'eau dans l'agglomération de Montréal (934 L/pers./jour), 2012 ..	19
Tableau 4-1	Catégories des solutions d'adaptation par volet d'étude.....	29

Liste des figures

Figure 4-1	Schéma de la méthodologie d'étude	23
Figure 4-2	Concept de la valeur économique totale	27

1 Introduction

La Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada (RNC) finance les grandes études sur les impacts des changements climatiques sur l'économie des régions du Canada. Dans le cadre de ce financement, le consortium de recherche sur l'impact des changements climatiques Ouranos coordonne une étude économique régionale sur les impacts des changements climatiques liés aux usages et activités économiques supportés par le fleuve Saint-Laurent. L'étude économique régionale du fleuve Saint-Laurent se concentre sur le tronçon du fleuve s'étendant à partir de la frontière ontarienne et jusqu'à la hauteur de Trois-Rivières (le corridor d'étude). Dans le cadre de cette étude, six volets d'activités seront évalués, soit¹ :

- Le transport maritime;
- Les eaux municipales (c.-à-d. approvisionnement en eau potable et rejet des eaux usées);
- Les écosystèmes, services écologiques et pêche;
- Le tourisme et plaisance;
- La production hydroélectrique; et,
- Les valeurs foncières.

1.1 Mandat

En mars 2014, AECOM a été mandatée pour réaliser le volet de cette étude économique régionale portant sur les eaux municipales. Ce mandat, dénommé « Étude eaux municipales », comporte une évaluation des impacts des changements climatiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau potable et de rejet des eaux usées (les infrastructures), ainsi que sur les communautés et les activités économiques qui dépendent de l'eau potable, ou qui sont touchés par le rejet des eaux usées (le milieu) dans le corridor d'étude. Le mandat comporte également l'identification et l'évaluation économique des solutions d'adaptation pour atténuer ces impacts.

1.2 Structure du document

L'objectif de ce document est de présenter le cadre méthodologique pour la réalisation de l'étude. Il est divisé en quatre chapitres.

- Le chapitre 1 présente le mandat et la structure de l'étude;
- Le chapitre 2 présente les caractéristiques techniques des secteurs de l'eau potable et des eaux usées;
- Le chapitre 3 présente certaines caractéristiques socioéconomiques des deux secteurs d'étude, caractérisation qui sera complétée ultérieurement;
- Le chapitre 4 présente la méthodologie d'étude pour évaluer les impacts physiques sur les infrastructures et sur le milieu. Ensuite, une valeur économique sera attribuée à ces impacts. Il présente également la méthodologie d'identification des solutions d'adaptation et d'évaluation de ces solutions par le biais d'une analyse avantages-coûts (phase 2 de l'étude).

Soulignons que les chapitres 2 et 3 présentent au lecteur des informations techniques et socioéconomiques des secteurs de l'eau potable et des eaux usées qui sont nécessaires pour la compréhension de la méthodologie d'étude proposée.

¹ Soulignons également qu'une autre étude économique régionale, chapeautée par le Centre Mowat de l'Université de Toronto, portant sur les mêmes usages et activités économiques sur les Grands Lacs, est en cours de réalisation. Cette étude produira des informations complémentaires à l'étude sur le fleuve. Ensemble, les deux études fourniront une évaluation économique des changements climatiques sur une grande partie du territoire du bassin des Grands Lacs/fleuve Saint-Laurent.

2 Caractéristiques techniques des secteurs d'étude

Ce chapitre présente une caractérisation technique des secteurs de l'eau potable et des eaux usées. Ceci comprend une présentation de la sensibilité des infrastructures aux facteurs biophysiques liés au fleuve (p. ex. température, niveau). La vulnérabilité des usines de traitement des eaux potables (UTEP) aux fluctuations des niveaux d'eau du fleuve est présentée pour fournir au lecteur une compréhension du fonctionnement des éléments des UTEP. Ceci est nécessaire pour évaluer les impacts physiques des changements climatiques sur ces infrastructures, ainsi que les impacts physiques sur le milieu récepteur (p. ex. les utilisateurs d'eau potable).

De la même manière, une explication des objectifs environnementaux de rejet ainsi que des critères sur la qualité d'eau est présentée afin de fournir au lecteur une compréhension du lien entre ces critères et le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées (SEEU). Ces informations sont également nécessaires pour l'évaluation des impacts physiques des changements climatiques sur le fonctionnement de ces infrastructures, ainsi que sur le milieu récepteur des effluents.

2.1 Méthodologie

La caractérisation de la situation technique relative à l'eau potable et aux eaux usées a été réalisée à l'aide d'une revue de la littérature et de la documentation, ainsi que de la consultation des représentants du ministère de l'environnement (MDDELCC), et du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). Soulignons qu'une étude importante a été réalisée par Carrière et Barbeau (2003) sur les impacts des fluctuations des niveaux d'eau du fleuve sur les usines municipales de traitement de l'eau potable. Cette étude a été très utile pour établir la base sur laquelle la présente étude se fonde.

2.2 Eaux potables

La caractérisation des usines de traitement des eaux potables (UTEP) a été réalisée à partir de l'étude réalisée par Carrière et Barbeau (2003). Dans le cadre de leur étude, le nombre et la localisation des UTEP sur le fleuve Saint-Laurent à l'intérieur du corridor d'étude ont été répertoriés. De plus, la configuration des usines, des puits et des prises d'eau, ainsi que la capacité nominale de production ont été évaluées sur la base de visites des sites et des questionnaires envoyés aux gestionnaires des infrastructures. La section suivante présente quelques données techniques tirées de l'étude de Carrière et Barbeau².

Les usines de traitement des eaux potables répertoriées par Carrière et Barbeau (2003) sont présentées dans le tableau ci-après. Une validation de cette liste a été réalisée avec la dernière compilation réalisée par le ministère de l'Environnement (MDDEFP, 2012). La dernière compilation du Ministère a été réalisée en août 2012. Soulignons que la plupart des UTEP s'approvisionnent dans le fleuve Saint-Laurent, ce qui inclut les prises d'eau situées dans les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre. Quelques exceptions sont toutefois notées dans le tableau.

² AECOM a déjà tenté d'obtenir des informations recueillies dans le cadre de l'étude de Carrière et Barbeau (2003) afin d'éviter de répéter l'exercice de collecte des données. Toutefois, ces données appartiennent à la Commission mixte internationale et une demande formelle sera faite au cours de l'été 2014 pour les obtenir. Pour cette raison, aucun effort n'a été consacré à date pour mettre à jour ces données techniques, car un tel exercice de collecte de donnée serait moins efficace. Toutefois, des enquêtes précises pourraient être entreprises pour mieux circonscrire les gains et pertes économiques découlant des usines qui seront identifiées dans le cadre de la présente étude comme étant vulnérables à la baisse du niveau du fleuve.

Tableau 2-1 Usines de traitement des eaux potables à l'intérieur du corridor d'étude, 2012

	Usine de traitement	Procédé de traitement ³	Capacité de production nominale (m ³ /jour) ⁴	Fraction de la capacité nominale utilisée ⁵	Nombre de prise d'eau
1	Beauharnois	chloration, filtration, ultraviolet	11 000	0,90	1
2	Bécancour	chloration, filtration, ozonation	18 300	0,66	1
3	Berthierville	chloration, filtration, ultraviolet	27 272	0,48	1
4	Candiac	chloration, filtration, ozonation	76 100	0,71	2
5	Châteauguay ⁶	chloration, filtration, ultraviolet	90 720	0,66	3
6	Contrecoeur	chloration, filtration	7 500	1,10	1
7	Côteau-du-Lac	chloration, filtration	6 500	0,79	1
8	Dorval	chloration, filtration, charbon	68 000	0,82	3
9	Île-Perrot ⁷	chloration, filtration, ozonation	9 800	0,93	1
10	La Prairie	chloration, filtration	27 000	0,88	2
11	Lachine	chloration, filtration, ozonation	100 000	0,80	1
12	Lavaltrie	chloration, filtration, ultraviolet	6 532	0,60	1
13	Les Côteaux	chloration, filtration	5 100	0,61	1
14	Longueuil (usine locale et usine régionale)	chloration, filtration, charbon	340 000	0,76	2
15	Longueuil SPPI (parc industriel)	Aucun traitement	22 731	n/d	2
16	Longueuil (St-Lambert)	chloration, filtration, charbon	135 000	0,65	2
17	Montréal (usine Atwater, usine DesBaillets)	(Atwater-chloration, filtration, DesBaillets - chloration, filtration, ozonation)	2 477 600	0,93	1
18	Pointe-Claire	chloration, filtration, charbon	125 000	0,93	2
19	Pointe-des-Cascades ⁸	n/d	1 090	0,93	1
20	Régie de l'eau de L'Île-Perrot	filtration, chloration	18 200	0,67	1
21	Régie intermunicipale de l'eau potable de Varennes, Ste-Julie et St-Amables	chloration, filtration, ozonation	45 000	1,02	2
22	Salaberry-de-Valleyfield	chloration, filtration, ozonation, charbon	67 000	0,88	1

³ En général, les usines de traitement des eaux potables dans le corridor d'étude emploient une combinaison de procédés de traitement en série pour traiter l'eau, soit la filtration, la chloration, l'ozonation, la filtration par charbon actif ou la désinfection aux ultraviolets. Source: Carrière & Barbeau, 2003; MDDEFP, 2012.

⁴ Source : Carrière et Barbeau (2003).

⁵ La fraction de la capacité nominale utilisée a été déterminée pour le débit maximum journalier demandé en 2002, tel que répertorié par l'étude de Carrière et Barbeau (2003). Les usines peuvent produire plus que leur capacité nominale en raison des marges de sécurité prévues lors de leurs conceptions.

⁶ L'usine de Châteauguay s'approvisionne des sources mixtes de l'eau souterraine et de l'eau du fleuve (MDDEFP, 2012).

⁷ L'usine de l'Île-Perrot (9) a été incluse dans l'étude de Carrière et Barbeau (2003). Toutefois, selon la base de données du MDDELCC (2012), l'usine s'approvisionne à partir du lac des Deux-Montagnes. L'inclusion de cette usine dans cette étude est à confirmer.

⁸ Usine de Pointe-des-Cascades (19) a été incluse dans l'étude de Carrière et Barbeau (2003). Toutefois, selon la base de données du MDDELCC (2012), l'usine s'approvisionne à partir de l'eau souterraine. L'inclusion de cette usine dans cette étude reste à confirmer.

Usine de traitement	Procédé de traitement ³	Capacité de production nominale (m ³ /jour) ⁴	Fraction de la capacité nominale utilisée ⁵	Nombre de prise d'eau
23 Sainte-Anne-de-Bellevue ⁹	chloration, filtration, charbon	5 400	1,02	n/d
24 Saint-Zotique	chloration, filtration, charbon	2 500	n/d	1
25 St-Regis (N.Y.)	chloration, filtration	3 780	0,34	1
26 St-Regis (QC, Ca)	chloration, filtration	2 063	0,39	1
27 Verchères	chloration, filtration	4 500	0,99	1

Au total, 29 usines seraient considérées dans le cadre de la présente étude. Les deux usines de la Ville de Montréal (usine Atwater et usine Des Bailleurs) s'approvisionnent à partir de la même prise d'eau, et elles ont été traitées comme une seule usine dans l'étude de Carrière de Barbeau (2003), ainsi que dans cette étude. Il en est de même pour les usines de Longueuil (usine locale et usine régionale).

La capacité nominale de production de chacune des UTEP a été répertoriée par Carrière et Barbeau (2003). Dans le tableau 2-1 ci-dessus, on peut constater que la demande maximale journalière d'eau (fraction de la capacité nominale utilisée) en 2002 est inférieure à la capacité de production nominale pour plusieurs usines. Toutefois, pour quelques usines comme Montréal, Pointe-Claire et Verchères, la demande maximale journalière observée en 2002 s'approche la capacité nominale. Pour les usines de Contrecoeur, de la Régie intermunicipale de l'eau potable de Varennes, Sainte-Julie et Saint-Amable, ainsi que celle de Sainte-Anne-de-Bellevue, la demande maximale journalière a dépassé la capacité nominale des usines. Cette situation n'est pas nécessairement problématique¹⁰, mais ceci indique que ces usines n'ont plus de capacité résiduelle pour répondre à des demandes supplémentaires (p.ex. provenant de la croissance de la population) ou en cas d'une diminution de la capacité de s'approvisionner en eau brute (Carrière et Barbeau, 2003).

2.2.1 Sensibilité des usines de traitement d'eau potable aux facteurs biophysiques

La capacité des UTEP à fournir de l'eau potable dépend surtout des caractéristiques techniques et opérationnelles des composantes de l'usine (p. ex. les prises d'eau, les puits de pompage, les pompes, les systèmes d'assainissement, l'entretien), mais également des caractéristiques de l'eau brute à traiter. Les deux principaux facteurs biophysiques qui influencent la capacité à produire une eau potable en quantité et en qualité suffisante sont le niveau d'eau (à la prise d'eau) et la température. Ces deux facteurs ont également une influence sur d'autres facteurs, soit la qualité d'eau et la présence d'algues, de plantes aquatiques et de moules zébrées. Les impacts potentiels de ces facteurs sur l'opération des usines sont décrits dans le rapport principal.

2.2.2 Le niveau du fleuve et la vulnérabilité des usines de traitement des eaux potables

L'évaluation de la vulnérabilité des UTEP aux fluctuations du niveau du fleuve, réalisée par Carrière et Barbeau (2003), repose sur l'identification du niveau d'eau critique du fleuve pour chacune des UTEP. Le niveau d'eau critique représente le niveau minimum du fleuve permettant d'assurer qu'une quantité suffisante d'eau brute soit disponible dans les puits de pompage des usines. Les puits de pompage sont reliés au fleuve par un système de prise d'eau et de conduites. L'eau brute s'accumule dans les puits de pompage par le principe de vase communicant. Le niveau d'eau critique du fleuve dépend alors de la configuration du système et du niveau des prises d'eau dans le fleuve (Carrière & Barbeau, 2003).

⁹ Usine de Sainte-Anne-de-Bellevue (23) a été incluse dans l'étude de Carrière et Barbeau (2003). Toutefois, selon la base de données du MDDELCC (2012), l'usine s'approvisionne à partir de l'eau du fleuve et de l'eau de la rivière Outaouais. L'inclusion de cette usine dans cette étude reste à confirmer.

¹⁰ Une infrastructure est capable de dépassée sa capacité nominale (c.-à-d. capacité de conception) en raison des marges de sécurité prévues lors de sa conception.

Dans l'étude de Carrière et Barbeau, le niveau d'eau critique a été défini comme étant celui en bas duquel l'usine ne sera plus en mesure de fournir 100 % de sa capacité nominale de production d'eau potable¹¹. Toutefois, on constate que la demande d'eau potable pour une usine donnée peut être inférieure à la capacité nominale de production (voir Tableau 2-1 ci-dessus). Dans ce cas, l'usine peut quand même fournir une quantité d'eau suffisante pour répondre adéquatement à la demande, même s'il n'est plus en mesure de fournir 100 % de sa capacité nominale. Autrement dit, l'usine possède encore une capacité résiduelle de production au-delà de la demande.

Malgré l'explication précédente, Carrière et Barbeau ont utilisé le seuil de 100% de la capacité nominale de production pour évaluer la vulnérabilité des UTEP, car ce seuil permet une évaluation conservatrice de la vulnérabilité. Cependant, ils ont considéré que toutes les mesures possibles disponibles (p. ex. utilisation de toutes les prises d'eau, ou des puits secondaires ou d'urgence) étaient utilisées par les gestionnaires d'usine pour tenter d'atteindre 100 % de la capacité nominale en cas de baisse du niveau d'eau.

Deux mécanismes peuvent affecter la capacité d'une UTEP à s'approvisionner en eau brute, soit la perte de charge ou l'émergence de la prise d'eau. L'évaluation de ces deux mécanismes permettra de déterminer les niveaux critiques du fleuve pour chacune des UTEP. Le mécanisme déterminant pour une usine dépend de la configuration de son système de prise d'eau. Les deux mécanismes sont décrits ci-dessous.

2.2.2.1 Perte de charge

Un certain niveau d'eau doit être maintenu au-dessus de la prise d'eau pour assurer la capacité nominale de production de l'usine. L'eau au-dessus de la prise d'eau est nécessaire pour surmonter la « perte de charge » dans la conduite d'alimentation du puits de pompage à cause de la friction générée par le transit d'eau dans le système de prise d'eau. Le concept de perte de charge peut être exprimé en termes de hauteur minimum d'eau au-dessus de la prise d'eau. Sa relation avec le débit d'eau passant dans le système est donnée par l'équation Hazen-Williams :

$$H = L_{eq.} \times \left[\frac{Q}{K A C_{HW}} \times \left(\frac{4}{D} \right)^{0,63} \right]^{\left(\frac{1}{0,54} \right)} \quad (1)$$

où :

- H = Perte de charge (m), ou le niveau minimum d'eau au-dessus de la prise d'eau
- $L_{eq.}$ = Longueur équivalente du système de prise d'eau, tenant compte de la friction générée par les grilles, des valves, des entrées et des sorties des tuyaux. Cette valeur a été déterminée de façon empirique par Carrière et Barbeau pour chacune des UTEP
- Q = Débit (m^3/s)
- A = La superficie de section transversale de la conduite (m^2)
- K = Facteur de conversion, égal à 0,85
- C_{HW} = Coefficient Hazen-Williams décrivant la rugosité du matériau de la conduite (p.ex. béton, fibre de verre, polyéthylène, acier galvanisé) et l'âge de la conduite dans le système de prise d'eau
- D = Diamètre de la conduite (m)

Dans l'étude de Carrière et Barbeau, le débit Q est égal à la capacité nominale de production de l'usine sauf pour trois usines, soit celles de Contrecoeur, de la Régie intermunicipale de l'eau potable de V. Ste-J. et St-A., et de Sainte-Anne-de-Bellevue. Pour ces trois usines, les débits maximaux journaliers répertoriés en 2002 ont été utilisés.

¹¹ La capacité nominale de production de chacune des UTEP a été répertoriée par Carrière et Barbeau (2003).

Si le niveau du fleuve descend sous le niveau critique calculé par Carrière et Barbeau pour chaque usine, celle-ci a été identifiée comme étant vulnérable. Dans ce cas, le débit d'eau Q passant dans la conduite de la prise est réduit et l'usine n'est plus en mesure de produire sa capacité nominale. Ce même concept est repris dans la présente étude : les niveaux du fleuve projetés par les scénarios « what-if » seront utilisés pour calculer les débits de production résiduels des UTEP (cette méthodologie est présentée plus en détail au chapitre 4).

2.2.2.2 Émergence

Pour certaines usines, l'émergence, plutôt que la perte de charge, détermine le niveau d'eau critique. L'émergence de la prise d'eau se produit si le niveau d'eau descend sous le niveau de l'entrée de la prise d'eau. À ce moment, l'air, plutôt que l'eau, entre dans la prise d'eau, réduisant ainsi de façon importante la capacité de production de l'usine. Si la prise d'eau émerge complètement du fleuve, la production de l'usine devient nulle. L'identification du niveau critique d'eau du fleuve par usine a été réalisée par Carrière et Barbeau (2003) sur la base des élévations des prises d'eau de chacune des UTEP.

2.2.3 Usines vulnérables

Les résultats de l'évaluation par Carrière et Barbeau (2003) de la vulnérabilité des UTEP aux fluctuations du niveau du fleuve sont présentés dans le tableau 2-3 ci-dessous. Pour établir une base de comparaison, les niveaux d'eau critiques du fleuve calculés pour les UTEP ont été traduits au système de référence des grands lacs-fleuve Saint-Laurent, « International Great Lakes Datum 85 » (IGLD 85). Le niveau d'eau mesuré à Pointe-Claire a été choisi comme point de référence. Donc, les niveaux critiques d'eau pour les UTEP (référéncés à Pointe-Claire), selon le mécanisme déterminant de vulnérabilité, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le mécanisme le plus contraignant à l'identification du niveau d'eau critique est indiqué en **rouge**. Le débit équivalent du fleuve correspondant à ces niveaux, tel que mesuré à Sorel, est également présenté.

Tableau 2-2 Niveau critique d'eau selon le mécanisme déterminant par usine

Usine	Niveau critique selon mécanisme de perte de charge		Niveau critique selon mécanisme d'émergence de la prise d'eau	
	Niveau d'eau référencé à Pointe-Claire, IGLD 85 (m)	Débit correspondant à Sorel (en m ³ /s)	Niveau d'eau référencé à Pointe-Claire, IGLD 85 (m)	Débit correspondant à Sorel (en m ³ /s)
Lavaltrie	20,75	7 987	17,70	1 965
Montréal	20,53	7 273	17,16	1 495
Verchères	20,42	6 924	- *	-*
Pointe-Claire	19,77	5 236	19,12	3 881
Candiac	19,75	5 170	18,90	3 517
Varennnes	19,30	4 218	-*	-*
Saint-Lambert	19,29	4 204	19,77	5 220
Régie de l'eau de l'île-Perrot	19,19	4 005	18,12	2 415
Bécancour	19,18	4 001	18,14	2 446
La Prairie	19,00	3 673	19,07	3 794
Lachine	18,79	3 324	16,86	1 284
Dorval	18,23	2 653	18,58	3 019

Usine	Niveau critique selon mécanisme de perte de charge		Niveau critique selon mécanisme d'émergence de la prise d'eau	
	Niveau d'eau référencé à Pointe-Claire, IGLD 85 (m)	Débit correspondant à Sorel (en m ³ /s)	Niveau d'eau référencé à Pointe-Claire, IGLD 85 (m)	Débit correspondant à Sorel (en m ³ /s)
Île-Perrot	18,31	2 596	17,63	1 903
Contrecoeur	17,54	1 815	15,01	459
Longueuil	14,47	332	18,49	2 889

*valeur calculée non disponible, mais l'usine a été évalué comme étant non-critique par Carrière et Barbeau (2003)

On constate que le niveau critique pour la plupart des usines évaluées dans l'étude de Carrière et Barbeau est déterminé par le mécanisme de la perte de charge. Toutefois, pour les usines de Saint-Lambert, La Prairie, Dorval et Longueuil, l'émergence de la prise d'eau est plus contraignante.

Une autre façon de représenter les usines vulnérables est de les évaluer selon des scénarios de niveau du fleuve. Dans le pire scénario de niveau d'eau évalué dans l'étude de Carrière et Barbeau (débit de 4 300 m³ / jour à Sorel), six UTEP ont été identifiés comme étant vulnérables : Lavaltrie, Montréal, Verchères, Pointe-Claire, St-Lambert et Candiac. L'émergence de la prise d'eau est le mécanisme déterminant pour l'usine de Saint-Lambert seulement. Les six UTEP vulnérables, les niveaux d'eau critiques en ordre décroissant et les débits y correspondant, sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2-3 Usines vulnérables au faible niveau d'eau du fleuve (19,351 m à Pointe-Claire, 4 300 m³/s à Sorel)

Usine	Niveau d'eau référencé à Pointe-Claire, IGLD 85 (m)	Débit correspondant à Sorel (en m ³ /s)	Mécanisme contraignant
1 Lavaltrie	20,75	7 987	Perte de charge
2 Montréal	20,53	7 273	Perte de charge
3 Verchères	20,42	6 924	Perte de charge
4 Pointe-Claire	19,77	5 236	Perte de charge
5 Saint-Lambert	19,77	5 220	Émergence
6 Candiac	19,75	5 170	Perte de charge

2.3 Eaux usées

La liste des stations d'épuration des eaux usées (SEEU) a été répertoriée par le MAMOT. Les noms des SEEU rejetant des effluents dans le fleuve Saint-Laurent, ainsi que les processus de traitement utilisés et le débit moyen par jour rejeté en 2013 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-4 Stations d'épuration des eaux usées (SEUU), types de traitement et débit moyen par jour

	Station d'épuration	Type de traitement ¹²	Région administrative	Débit moyen (m ³ /j.) 2012
1	BAIE-DU-FEBVRE (1993)	ENAQ	Centre-du-Québec	432
2	BEAUHARNOIS	BA(FO)	Montréal	7 184
3	BEAUHARNOIS (MELOCHEVILLE)	EA	Montréal	1 527
4	BÉCANCOUR (GENTILLY)	EA	Centre-du-Québec	2 003
5	BÉCANCOUR (SECTEUR OUEST)	EA	Centre-du-Québec	4 546
6	BERTHIERVILLE	EA	Lanaudière	7 500
7	CONTRECOEUR	EA	Montréal	3 595
8	LA PRAIRIE (SAINTE-CATHERINE)	BA	Montréal	65 254
9	LAVALTRIE	EA	Lanaudière	4 438
10	LES CÈDRES	EA	Montréal	1 708
11	L'ÎLE-PERROT	BF	Montréal	8 419
12	LONGUEUIL	PC	Montréal	330 000
13	MONTRÉAL (ÎLE NOTRE-DAME)	EA	Montréal	5 300
14	MONTRÉAL (STATION JEAN-R.-MARCOTTE)	PC	Montréal	2 786 000
15	NICOLET	EA	Centre-du-Québec	10 327
16	NOTRE-DAME-DE-L'ÎLE-PERROT	EA	Montréal	7 920
17	PINCOURT	BA	Montréal	7 900
18	REPENTIGNY	PC	Lanaudière	43 181
19	SAINT-IGNACE-DE-LOYOLA	EA	Lanaudière	603
20	SAINT-LOUIS-DE-GONZAGUE	EA	Montréal	300
21	SAINT-SULPICE	EA	Lanaudière	1 240
22	SAINT-ZOTIQUE (AGRANDISSEMENT)	EA	Montréal	4 312
23	SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	BA	Montréal	52 447
24	SOREL-TRACY	EA	Montréal	41 500
25	TROIS-RIVIÈRES (POINTE-DU-LAC)	EA	Mauricie	1 313
26	TROIS-RIVIÈRES (SAINTE-MARTHE)	FIR	Mauricie	49.5
27	VARENNES	EA	Montréal	8 515
28	VERCHÈRES	EA	Montréal	4 900
Total				3 412 414

¹² Les processus de traitement utilisés sont par disque biologique (BD), la biofiltration (BF), les boues activées (BA), les boues activées – fosée d'oxydation (BA(FO)), l'étang aéré (EA), l'étang non-aéré – mesure débit à l'effluent (ENAQ), le filtre intermittent à recirculation (FIR) et le traitement physico-chimique (PC).

Au total, il y a 28 SEEU rejetant des effluents dans le fleuve à l'intérieur du corridor d'étude. Il est intéressant de noter que le débit moyen de rejet par jour de Montréal, 2 786 000 m³/d. compte pour environ 82 % des débits rejetés par toutes les SEEU en 2012.

Les eaux usées municipales sont composées des eaux usées domestiques ainsi que des eaux usées contenant des résidus d'origine industrielle, commerciale et institutionnelle (CCME, 2006). Les eaux usées municipales sont collectées par un réseau d'égout et acheminées vers les ouvrages d'assainissement. Dans certains cas, les eaux pluviales sont également recueillies par le même réseau de collecte des eaux usées (c.-à.-d. un réseau unitaire). Les effluents des eaux usées municipales peuvent contenir des eaux usées sanitaires et d'autres déchets organiques en décomposition, des éléments nutritifs (p. ex. l'azote et le phosphore), des agents pathogènes (p. ex. virus et bactéries), des microorganismes, des matières en suspension (MES) et des produits chimiques domestiques et industriels (p. ex. des métaux), ainsi que des contaminants émergents (p.ex. les produits pharmaceutiques, les produits de soins personnels, les composés perturbant le système endocrinien et les ignifugeants bromés) (CCME, 2006).

2.3.1 Exigences de rejet et objectifs environnementaux de rejet (OER)

Pour chacune des stations d'épuration des eaux usées, des exigences de rejet ont été établies par le ministère de l'Environnement (MDDELCC). Selon le type de station et les équipements dont celle-ci est dotée, un ou plusieurs des paramètres suivants sont assujettis à une exigence de rejet :

- demande biochimique en oxygène (DBO5);
- matières en suspension (MES);
- phosphore total;
- coliformes fécaux.

Lorsque l'effluent d'une station d'épuration des eaux usées est rejeté dans un cours d'eau, les exigences de rejet sont établies sur la base de l'évaluation des objectifs environnementaux de rejet (OER) qui est faite par le MDDELCC dans le cadre de la demande d'autorisation (en vertu de l'article 32 de la LQE) d'un projet d'ouvrage d'assainissement. Les OER sont normalement déterminés préalablement à la conception d'un projet d'installation ou de modification d'un système de traitement des eaux usées afin de s'assurer que la chaîne de traitement est conçue en fonction de ces OER qui sont traduits, dans le cadre de l'autorisation, en exigences de rejet.

Les OER sont établis selon une méthode développée par le MDDELCC basée sur les critères de qualité de l'eau de surface, les conditions hydrodynamiques au point de rejet et les usages du milieu. Cette méthode permet de déterminer les concentrations et les charges de contaminants pouvant être rejetées dans un milieu aquatique sans compromettre les usages de l'eau. Dans l'établissement des OER, divers facteurs sont pris en compte. Les principaux facteurs sont le débit du fleuve au point de rejet qui détermine le volume d'eau disponible pour la dilution, ainsi que les critères de qualité de l'eau pour chacun des usages. Les autres facteurs considérés sont la qualité de l'eau en amont du point de rejet (concentration des contaminants déjà présents dans le milieu) et le débit de l'effluent lui-même. À partir de ces éléments, un bilan est établi de façon à ce que, pour chaque contaminant, l'addition de la charge de l'effluent à la charge déjà présente en amont du rejet respecte la charge maximale tolérable à la limite d'une zone de mélange restreinte.

2.3.2 Critères de qualité de l'eau

Pour l'établissement des OER, divers critères de qualité de l'eau ont été définis pour chaque contaminant selon les usages. Le tableau ci-dessous présente les critères pour les contaminants conventionnels que l'on retrouve dans les effluents des stations d'épuration des eaux usées.

Tableau 2-5 Critères de qualité de l'eau

Critères	Matières en suspension (MES)	DBO5	Phosphore	Coliformes fécaux
Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)	• _1	• _1	• _1	200 UFC/100mL
Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)	• _1	• _1	• _1	• _1
Protection des activités récréatives et de l'esthétique	• _1	• _1	0,03 mg/L	Baignade : 200 UFC/100mL Autres : 1000 UFC/100mL
Protection de la vie aquatique (Effet aigu)	augmentation maximale de 25 mg/L par rapport à la concentration naturelle ou ambiante	• _1	• _1	• _1
Protection de la vie aquatique (Effet chronique)	augmentation moyenne maximale de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle	3 mg/L ²	• _1	• _1
Protection de la faune terrestre piscivore	• _1	• _1	• _1	• _1

1- Aucun critère de qualité retenu pour cet usage

2- Cette valeur correspond au déficit maximal tolérable en oxygène pour la vie aquatique à une température estivale moyenne de 21 °C

2.3.3 Débit et zone de mélange

Selon la méthode établie par le MDDELCC, le débit considéré pour l'établissement des OER est relié à la zone de mélange allouée ou la quantité d'eau allouée pour la dilution. Ce débit correspond à la plus restrictive des conditions suivantes :

- débit d'étiage (applicable pour les contaminants conventionnels, comme la DBO5, les MES, le phosphore et les coliformes fécaux);
- une zone de mélange qui s'étend sur une longueur maximale de 300 mètres (pour tous les contaminants, à l'exception du phosphore et des coliformes fécaux);
- une dilution maximale de l'effluent de 1 dans 100 (pour tous les contaminants, à l'exception du phosphore et des coliformes fécaux).

Pour l'application des critères de protection de la vie aquatique (effet chronique) des contaminants conventionnels, le débit d'étiage à considérer est le plus faible débit moyen sur sept jours consécutifs ayant une probabilité de récurrence d'une fois par deux ans ($Q_{2,7}$). Alors que pour les autres critères, le débit d'étiage correspond au plus faible débit moyen sur trente jours consécutifs ayant une probabilité de récurrence d'une fois par cinq ans ($Q_{5,30}$).

Dans le cas des stations d'épuration rejetant leur effluent dans le fleuve Saint-Laurent, il est fort probable que les exigences de rejet aient été établies sur la base d'une dilution maximale de 1 dans 100, à l'exception des exigences pour le phosphore et des coliformes fécaux qui doivent être établies sur le débit d'étiage.

2.3.4 Eaux pluviales

Parmi les changements climatiques associés à l'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère, les scénarios considérés par la communauté scientifique montrent que ces changements pourraient inclure une

augmentation de la fréquence et de l'intensité d'événements de précipitations extrêmes. Ce type d'événements peut présenter un impact sur les infrastructures de gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Ces infrastructures ont été conçues sur la base des données historiques sur les précipitations. Si les événements de pluies extrêmes augmentent en nombre et en intensité, cela pourrait signifier une augmentation du risque d'inondations et de refoulements d'égout. Toutefois, les réseaux d'égout unitaires sont généralement munis d'ouvrages de surverse qui, dans le cas où le réseau d'égout n'a pas la capacité suffisante pour permettre aux eaux de s'écouler vers la station d'épuration, évacuent les eaux (usées et pluviales) directement au cours d'eau. De façon générale, on pourrait donc associer aux événements de pluies extrêmes deux types d'impacts :

- Pour les réseaux de drainage pluvial (égout pluvial) : risque d'inondations et de refoulements d'égout;
- Pour les réseaux unitaires : risque d'augmentation du nombre d'événements et du volume de surverse, soit le rejet d'eaux usées non traitées dans le cours d'eau qui peut affecter la qualité de l'eau et ses usages.

L'évacuation des eaux des réseaux unitaires par les surverses représente un apport additionnel de contaminants dans le fleuve. Les contaminants présents sont principalement les matières en suspension, les matières organiques (DBO) les substances nutritives (le phosphore, l'azote) et les bactéries fécales. Au début d'un débordement, il y a une phase de lessivage où les dépôts accumulés dans les conduites sont emportés par les débits plus élevés. On peut supposer que, durant cette phase, les concentrations de contaminants peuvent excéder les concentrations de polluants des eaux sanitaires non traitées. Par la suite, les concentrations de contaminants dans les eaux de surverse diminuent.

Le programme de Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE) comporte un volet portant sur les ouvrages de surverse. L'objectif principal du programme de suivi des ouvrages de surverse est de vérifier si les exigences de rejet établies pour chaque ouvrage sont respectées. Ainsi, des données sont compilées sur le nombre de débordements par les surverses pour chacune des municipalités. Ces données montrent qu'effectivement le nombre d'événements de surverses enregistrées est très dépendant des conditions climatiques. Il faut également souligner que, de façon générale, les municipalités cherchent à mettre en place des mesures (comme l'utilisation de bassin de rétention) visant à réduire la fréquence des surverses.

Puisque l'objectif de la présente étude est d'identifier les impacts reliés aux stations d'épuration des eaux usées et aux stations de traitement de l'eau potable, les impacts des changements climatiques reliés à la capacité des réseaux d'égout unitaires d'acheminer ces eaux vers les stations d'épuration lors d'événements extrêmes ne seront pas évalués. Ce type d'évaluation nécessite des informations détaillées sur les réseaux et des ouvrages de surverse puisque la possibilité de débordement est directement liée aux caractéristiques physiques (hydrauliques) de chacun de ces ouvrages.

2.3.5 Règlementation eaux usées municipales

2.3.5.1 CCME

En 2009, le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) a adopté la *Stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'eaux usées municipales* dont l'objectif est d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement. Toutefois, le Québec n'a pas encore adhéré à la stratégie pancanadienne. Cette Stratégie vise à uniformiser à travers le Canada le mode de gestion des eaux usées municipales. Le premier volet vise à établir des normes de performance minimales et l'établissement des objectifs environnementaux de rejet propres à chaque site.

Les normes de performance minimale qui s'appliquent aux effluents rejetés dans les eaux de surface par tous les ouvrages d'assainissement municipaux sont les suivantes :

- demande biochimique en oxygène après cinq jours, partie carbonée (DBO_{5C}) – 25 mg/L;
- matières en suspension (MES) – 25 mg/L¹³;

¹³ Les MES peuvent dépasser la norme si les dépassements sont causés par les algues.

- chlore résiduel total (CRT) – 0,02 mg/L

La mise en application de ces normes sera fonction du risque, du financement disponible et de la viabilité financière des collectivités. Si des ouvrages d'assainissement existants ne satisfont pas aux normes de performance nationales, les gouvernements provinciaux détermineront le niveau de risque de chacun d'eux ainsi que l'échéancier de mise en application des normes. Les ouvrages à risque élevé devront se conformer dans un délai de 10 ans alors que les ouvrages à risque moyen et faible auront un délai de 20 et 30 ans respectivement pour se conformer.

Le second volet de la stratégie porte sur les mesures de gestion du risque qui devront être mises en oeuvre pour réduire les risques que présentent les débordements d'égouts unitaires et domestiques. Les normes nationales concernant les débordements d'égouts unitaires sont les suivantes :

- aucune augmentation de la fréquence des débordements d'égouts unitaires due aux opérations de développement ou de redéveloppement, à moins que l'augmentation ne fasse partie d'un plan de gestion des débordements d'égouts unitaires approuvé;
- aucun débordement d'égouts unitaires par temps sec, sauf pendant le dégel printanier et en cas d'urgence;
- enlèvement des matières flottantes; les ouvrages de débordement d'égout unitaire devraient être munis au minimum d'une chicane ou d'une grille pour retenir les matières flottantes.

Les normes nationales concernant les débordements d'égouts domestiques sont les suivantes :

- aucune augmentation de la fréquence des débordements d'égouts unitaires due aux opérations de développement ou de redéveloppement;
- aucun débordement d'égouts unitaires par temps sec, sauf pendant le dégel printanier et en cas d'urgence.

2.3.5.2 Gouvernement fédéral

Pour mettre en oeuvre la Stratégie, le gouvernement fédéral a édicté, le 29 juin 2012, en vertu de la *Loi sur les pêches* (L.R.C. 1985, c. F-14), le *Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées*. Ce règlement fédéral établit des normes technologiques de base, applicables à tous les ouvrages d'assainissement dont le débit journalier moyen est supérieur à 100 m³. De plus, le règlement impose notamment une norme en chlore résiduel total et en azote ammoniacal (ammoniac non ionisé).

2.3.5.3 Québec

Bien que le Québec n'ait pas encore adhéré officiellement à la Stratégie pancanadienne, le MDDELCC applique minimalement, depuis 2009, pour tout nouveau projet de système de traitement d'eaux usées d'origine domestique (incluant les projets de modernisation ou d'augmentation de la capacité), les normes de performance de la Stratégie du CCME pour la DBO5 et les MES. Également, à partir du 1^{er} avril 2014, le Ministère requiert que les extensions de réseaux d'égout ne doivent pas entraîner d'augmentation de la fréquence des débordements d'eaux usées brutes par rapport à la situation actuelle.

De plus, le gouvernement du Québec a adopté en décembre 2013 le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* qui incorpore les exigences générales de la Stratégie pancanadienne pour la DBO5 et les MES. La norme concernant le chlore résiduel n'est pas retenue puisque le ministère interdit la désinfection au chlore des eaux usées traitées. Le Règlement ne contient pas non plus de norme générale pour l'azote ammoniacal compte tenu de l'exigence à l'effet que l'effluent ne doit pas présenter une toxicité aiguë. Si les concentrations en azote ammoniacal sont suffisamment élevées pour causer des effets létaux, l'effluent échouera aux essais de toxicité aiguë pour la truite arc-en-ciel et ne sera pas conforme à la norme en toxicité aiguë. Par l'adoption de ce règlement, le ministère vise à ce que le Québec soit soustrait à l'application du règlement fédéral. Le règlement québécois permet également d'ajouter des normes plus contraignantes, au

besoin, en fonction de la sensibilité du milieu récepteur, par l'intermédiaire d'attestations d'assainissement que les municipalités devront obtenir pour chacun de leurs ouvrages d'assainissement des eaux usées.

Les attestations d'assainissement seront délivrées sur la base des renseignements disponibles et préciseront notamment les normes de rejets et de débordements, les exigences de suivi, la tenue de registre et autres critères particuliers applicables à chaque installation. La première obligation pour les opérateurs d'ouvrages d'assainissement sera de procéder à une caractérisation initiale qui sera effectuée sur une période d'un an et produire un rapport au ministre. Cette caractérisation initiale devra être réalisée selon l'échéancier qui s'étend de 2015 (pour les ouvrages de très grande taille, débit > 50 000 m³/jour) à 2022 (pour les ouvrages de petite et très petite taille). C'est à partir des résultats de la caractérisation initiale que le Ministère pourra établir les objectifs environnementaux de rejets pour chaque installation d'ici 2023.

Il faut souligner que les exigences pour la DBO5 et les MES ne s'appliquent pas aux stations d'épuration listées en annexe III du Règlement et pour lesquels des travaux visant l'agrandissement, la modernisation ou le remplacement de la station sont prévus dans un plan d'action soumis au ministre selon l'échéancier prévu à l'annexe III du Règlement.

2.3.6 Sensibilité des infrastructures et du milieu récepteur

Le fleuve, étant le milieu récepteur des effluents des stations d'épuration des eaux usées, fait en sorte que peu de facteurs biophysiques du fleuve ont un impact sur l'opération des SEEU. Seul un haut niveau du fleuve peut influencer le fonctionnement de l'usine. Le rejet des effluents traités dans le fleuve est fait par gravité, car les usines ne sont pas équipées des pompes à ces fins. Si le niveau du fleuve est trop haut, la pression hydraulique du fleuve peut forcer l'eau en recul dans l'émissaire vers la SEEU. Toutefois, selon l'étude de Carrière et Barbeau (2003), la plupart des usines sont équipées des clapets anti-refoulements pour éviter ce problème. Dans la même étude, aucune SEEU dans le corridor d'étude n'a été identifiée comme étant sensible à des conditions de haut niveau du fleuve.

Pour le milieu récepteur de l'effluent, c'est le débit du fleuve au point de rejet qui détermine, dans une certaine mesure, la performance à atteindre au niveau du traitement des eaux usées, puisque ce débit représente la capacité de dilution des eaux usées traitées requise pour respecter les critères de qualité de l'eau.

Tableau 2-6 Facteurs biophysiques du fleuve ayant une influence sur les impacts sur le milieu

Facteur	Raison	Impact
Débit	Les exigences de rejet des stations de traitement des eaux usées sont établies de façon à satisfaire aux critères de qualité de l'eau dans le milieu récepteur sur la base du débit d'étiage des cours d'eau (ou d'un facteur de dilution maximal). Si le débit est inférieur au débit d'étiage retenu pour l'estimation des exigences de rejet, cela pourrait affecter la capacité de dilution des rejets d'eaux usées.	Une diminution du débit pourrait affecter la qualité de l'eau dans le milieu récepteur et conséquemment ses usages (prise d'eau potable, vie aquatique, la consommation d'organismes aquatiques, activités récréatives).

2.3.7 Identification des infrastructures ayant un impact sur le milieu récepteur

L'identification des stations de traitement des eaux usées qui peut contaminer le milieu récepteur des effluents lors des périodes de faible débit d'eau sera réalisée dans le cadre de cette étude, car aucune documentation à ce sujet n'a pas encore été trouvée.

3 Caractéristiques socioéconomiques des secteurs d'étude

Ce chapitre présente un portrait démographique des secteurs de l'eau potable et des eaux usées, comprenant une discussion sur la population dans le corridor d'étude, ainsi que les besoins en eau potable. Ces discussions serviront de base à la méthodologie d'étude présentée au chapitre 4.

Comme mentionnée à l'introduction, la caractérisation socioéconomique des secteurs n'est pas terminée. Plusieurs types d'information, comme le nombre d'industries, les types d'industries, le nombre et les types de commerces, le nombre de ménages dans le corridor d'étude, ainsi que les activités économiques, renseigneront l'évaluation des impacts liés aux pénuries en eau potable, ou la pollution du fleuve pour le secteur des eaux usées. Toutefois, pour des raisons d'efficacité d'étude, il a été décidé que cette caractérisation socioéconomique détaillée sera complétée seulement pour les municipalités où les infrastructures affectées par les changements climatiques se retrouvent.

Donc, l'information présentée dans ce chapitre ne représente qu'une première ébauche pour renseigner globalement le processus d'élaboration de la méthodologie d'étude. Des collectes de données supplémentaires sur les caractéristiques socioéconomiques des municipalités touchées seront nécessaires ultérieurement.

3.1 Population desservie

Les usines de traitement des eaux potables à l'intérieur du corridor d'étude desservent environ 2,5 millions de personnes dans 58 municipalités (Carrière & Barbeau, 2003; MDDEFP, 2012). Le tableau ci-dessous présente les données pour chacune des municipalités.

Tableau 3-1 Population desservie par les réseaux de distribution d'eau potable des municipalités concernées par le projet - 2012

Usine de traitement	Population desservie (2012)
1 Beauharnois	8 743
2 Bécancour	9 302
3 Berthierville	8 206
4 Candiac	68 427
5 Châteauguay	54 455
6 Contrecoeur	5 600
7 Côteau-du-Lac	5 686
8 Dorval	18 311
9 Île-Perrot	9 857
10 La Prairie	18 150
11 Lachine	60 809
12 Lavaltrie	7 000
13 Les Côteaux	3 700
14 Longueuil (Usine locale, usine régionale)	272,900
15 Longueuil SPPI (parc industriel)	n/d

Usine de traitement	Population desservie (2012)
16 Longueuil (St-Lambert)	117 339
17 Montréal (usine Atwater, usine DesBaillets)	1 604 894
18 Pointe-Claire	127 202
19 Pointe-des-Cascades	1 042
20 Régie de l'eau de L'Ile-Perrot	21 936
21 Régie intermunicipale de l'eau potable de Varennes, Ste-Julie et St-Amables	56 278
22 Salaberry-de-Valleyfield	37 902
23 Sainte-Anne-de-Bellevue	3 731
24 Saint-Zotique	7 000
25 St-Regis (N.Y.)	465 ¹⁴
26 St-Regis (QC, Ca)	1 400 ¹⁵
27 Verchères	5 075
Total	2 535 410

Source : (Carrière & Barbeau, 2003; MDDEFP, 2012)

Le tableau suivant présente la population desservie par les stations d'épuration des eaux usées qui rejettent dans le fleuve Saint-Laurent à l'intérieur du corridor d'étude. Environ 2,5 million personnes dans 47 municipalités sont desservies par les SEEU (Carrière & Barbeau, 2003; MAMOT, 2013).

Tableau 3-2 Population desservie par les stations de traitement des eaux usées concernées par le projet - 2012

Stations d'épuration	Population desservie (2012)
1 BAIE-DU-FEBVRE (1993)	504
2 BEAUHARNOIS	10 172
3 BEAUHARNOIS (MELOCHEVILLE)	2 145
4 BÉCANCOUR (GENTILLY)	2 374
5 BÉCANCOUR (SECTEUR OUEST)	5 528
6 BERTHIERVILLE	5 020
7 CONTRECOEUR	3 486
8 LA PRAIRIE (SAINTE-CATHERINE)	64 430
9 LAVALTRIE	10 350
10 LES CÈDRES	2 325

¹⁴ L'usine St-Regis (N.Y.) n'est pas incluse dans la base de données du MDDELCC (2012). Cette valeur provient de l'étude de Carrière et Barbeau (2003).

¹⁵ Idem.

Stations d'épuration		Population desservie (2012)
11	L'ÎLE-PERROT	10 200
12	LONGUEUIL	350 000
13	MONTRÉAL (ÎLE NOTRE-DAME)	44 000
14	MONTRÉAL (STATION JEAN-R.-MARCOTTE)	1 780 000
15	NICOLET	7 812
16	NOTRE-DAME-DE-L'ÎLE-PERROT	12 245
17	PINCOURT	13 545
18	REPENTIGNY	69 955
19	SAINT-IGNACE-DE-LOYOLA	1 585
20	SAINT-LOUIS-DE-GONZAGUE	665
21	SAINT-SULPICE	2 250
22	SAINT-ZOTIQUE (AGRANDISSEMENT)	4 150
23	SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	37 784
24	SOREL-TRACY	47 342
25	TROIS-RIVIÈRES (POINTE-DU-LAC)	3 060
26	TROIS-RIVIÈRES (SAINTE-MARTHE)	100
27	VARENNES	10 970
28	VERCHÈRES	3 600
Total		2 505 597

Source : (Carrière & Barbeau, 2003; MAMOT, 2013)

On note que la population desservie par les UTEP est parfois différente de celle desservie par les SEEU. Ceci est dû au fait que certaines municipalités peuvent s'approvisionner en eau potable à partir d'une rivière tributaire au fleuve, mais rejette les effluents dans le fleuve (p. ex. SEEU de Trois-Rivières). Les municipalités dont les UTEP s'approvisionnent hors du fleuve ne sont pas incluses dans le secteur eau potable de la présente étude, mais sont incluses dans le secteur eaux usées de l'étude. Or, une UTEP donnée peut fournir de l'eau potable à plusieurs municipalités, mais les eaux usées de ces municipalités sont dirigées vers différentes SEEU (p. ex. UTEP de Pointe-Claire, Dorval et Montréal).

3.1.1 Croissance de la population

Dans le cadre de cette étude, il est d'abord important d'établir les projections de population pour l'horizon 2015-2065. L'estimation des projections de population sur l'horizon de l'étude, 2015 – 2065, pour les municipalités concernées par le projet se base sur les projections réalisées par Statistique Canada et l'Institut de la Statistique du Québec (ISQ).

Statistique Canada élabore ses projections de population selon différents scénarios plausibles en faisant varier les facteurs qui contribuent à la démographie. Les facteurs pris en compte pour établir les projections de population incluent :

- la croissance naturelle de la population : accouchements, mortalité, augmentation graduelle de l'espérance de vie et amélioration des conditions de santé des personnes âgées
- la migration : immigration vers le Canada, émigration du Canada et migration interprovinciale.

Les projections de population sont disponibles pour le Canada pour la période de 2009 à 2061. Toutefois, les projections de population pour la province du Québec ne sont disponibles que pour la période entre 2009 et 2036. À la différence des projections pour le Canada, les projections de population pour le Québec tiennent aussi compte des tendances de migration interprovinciale.

Les projections de population pour le Canada estiment que la population pourrait passer de 33,7 millions en 2009 à :

- 43,0 millions en 2061 selon un scénario de croissance faible avec un taux de croissance annuel moyen de 0,47 %
- 52,6 millions en 2061 selon un scénario de croissance moyenne avec un taux de croissance annuel moyen de 0,86 %
- 63,8 millions en 2061, selon un scénario de croissance forte avec un taux de croissance annuel moyen de 1,23 % (Statistique Canada, 2010)

Au Québec, la population pourrait passer de 7,8 millions en 2009 à entre 8,6 millions et 10 millions de personnes en 2036 selon des taux de croissance annuel moyen de 0,34% et 0,91%, respectivement (Statistique Canada, 2010).

En 2009, l'ISQ a établi des projections de population en tenant compte de la croissance des différentes régions administratives, couvrant la période de 2006 à 2031. Selon le scénario de référence A de l'ISQ, les régions administratives du sud sont privilégiées et vont connaître une plus forte croissance incluant les régions administratives de la Lanaudière (38 %) et de la Montérégie (22 %). Par contre, les régions administratives de Montréal (12 %), et du Centre du Québec (12,3 %) connaîtront une croissance plus modeste (Institut de la statistique du Québec, 2009).

Pour établir les projections de la population des municipalités à l'étude sur l'horizon 2012-2065, nous avons opté pour les taux de croissance annuels moyens du Québec, de 2009 à 2036, établis par Statistique Canada. Nous n'avons pas retenu les taux de croissance calculés pour l'ensemble du pays (0,47%, 0,86% et 1,23%), étant donné que la situation démographique du Québec est très différente de celle du Canada. De plus, nous sommes d'avis que les taux de croissance fixés par l'ISQ pour les régions administratives qui nous intéressent, couvrant la période de 2009 à 2031, ne peuvent être appliqués. En effet, les corridors d'étude desservent seulement certaines municipalités de ces régions. Ces taux risquant de varier énormément d'une municipalité à l'autre d'une même région, leur utilisation est très aléatoire. Sur cette base, nous estimons que la population des municipalités concernées par le projet pourrait passer de 2,5 millions en 2012 à :

- 3,0 millions en 2065 selon un scénario de croissance faible avec un taux de croissance annuel moyen de 0,34%
- 4,0 millions en 2065 selon un scénario de croissance forte avec un taux de croissance annuel moyen de 0,91%

3.2 Besoins en eau potable

3.2.1 Besoins actuels en eau potable

Un portrait de la consommation d'eau potable est présenté dans la section suivante. La consommation d'eau potable au Québec est comparée à celle des autres provinces. Ensuite, le portrait de l'utilisation d'eau potable par les municipalités dans le corridor d'étude est examiné.

Les Québécois sont parmi les plus grands consommateurs d'eau potable au Canada et au monde (Environnement Canada, 2011; MAMROT, 2010). Le volume moyen d'eau distribué par personne par jour au Québec était de 706 L par personne par jour (L/pers./j) en 2009. Ce volume d'eau était plus fort que la moyenne en Ontario (409 L/pers./j) ou au Canada (510 L/pers./j) en 2009 (Environnement Canada, 2011).

Tableau 3-3 Volumes d'eau distribués (en L/pers./j), tous usages confondus

	2009	2006	2004
Québec	706	795	848
Ontario	409	491	481
Canada	510	591	609

Sources : (Environnement Canada, 2011; MAMROT, 2011)

Deux facteurs contribuent au fort taux de distribution d'eau par personne au Québec. D'abord les pertes d'eau des réseaux de distribution sont plus grandes au Québec par rapport aux autres provinces canadiennes. Au Québec en 2006, la perte d'eau est estimée à 19,1 % du volume de distribution totale, comparée à 12% en Ontario et 12,8 % en moyenne au Canada (MAMROT, 2011). Deuxième, le nombre de clients résidentiels et industriels/commerciaux/institutionnels (ICI) pourvus des compteurs d'eau est très faible au Québec comparé au reste du Canada.

Tableau 3-4 Sommaire de l'utilisation des compteurs d'eau au Québec, en Ontario et au Canada en 2006

	Clients résidentiels (%)	Clients ICI (%)
Québec	16,5	36,6
Ontario	91,2	97,5
Canada	63,1	80,1

Source : (MAMROT, 2011)

L'utilisation des compteurs d'eau permet la facturation de l'eau en fonction du volume réel utilisé. Il permet également aux gestionnaires d'eau de détecter les fuites d'eau plus facilement, et de se renseigner sur la manière dont l'eau est utilisée durant l'année, et au fil du temps (Environnement Canada, 2011). Selon les résultats d'Environnement Canada, l'impact sur la consommation d'eau potable par les ménages est assez prononcé : « depuis 1991 [...] les ménages dont la tarification de l'eau se fait en fonction du volume, ont tendance à consommer beaucoup moins d'eau par personne que ceux ayant un tarif forfaitaire » (Environnement Canada, 2011, p. 9). En 2009, la consommation moyenne résidentielle était de 229 L/pers./j pour les municipalités qui facturent en fonction du volume, comparée à 376 L/pers./j (65% plus élevé) dans les municipalités sans compteur (Environnement Canada, 2011).

Il est toutefois important de noter que les canadiens et les québécois tendent vers une utilisation plus durable des ressources en eau. Une diminution de consommation a généralement été observée depuis 2004 (voir Tableau 3-3) (MAMROT, 2011). Au Québec, ceci est dû en partie à l'engagement du gouvernement à poursuivre une gestion plus efficace des ressources hydriques en se dotant d'une Politique nationale de l'eau en 2002 (présentée à la section suivante).

Depuis 2011, des bilans de l'usage de l'eau ont été produits par plusieurs municipalités dans le cadre de la Stratégique québécoise d'économie d'eau potable (SQEEP). L'utilisation d'eau par les différents secteurs (p. ex. industriel, commercial, institutionnel, municipal, et résidentiel) est fournie pour les années 2011 et 2012 pour

certaines municipalités¹⁶. À titre d'exemple, pour l'agglomération de Montréal, la distribution d'eau potable par personne par jour était 934 L/p/jour en 2012 (Ville de Montréal, 2013). Globalement, la Ville a estimé en 2012 que 67 % de l'eau produite est distribuée aux usagers (626 L/p/jour), l'autre 33 % (308 L/p/jour) représente des pertes potentielles liées principalement aux fuites d'eau du réseau, mais peut comprendre également des usages illicites ou non identifiés. De ce 67 % (626 L/p/jour), environ 40 % est utilisé par le secteur résidentiel (250 L/p/jour), 58 % par le secteur ICI (363 L/p/jour), et 2 % pour les usages municipaux (13 L/p/jour). La consommation d'eau à Montréal par secteur est présentée au tableau suivant.

Tableau 3-5 Estimation de la répartition de l'eau dans l'agglomération de Montréal (934 L/pers./jour), 2012

	Proportion (%)	Volume (L/pjour)
Pertes estimées	33 %	308
Distribuée aux clients	67 %	626
Total	100 %	934
Consommation résidentielle	40 %	250
Consommation ICI	58 %	363
Consommation municipale	2 %	13
Total	100 %	626

Source : (Ville de Montréal, 2013)

3.2.2 Évolution des besoins en eau potable

Plusieurs documents donnent une indication de l'évolution de la consommation d'eau potable au Québec. En 2002, le gouvernement du Québec s'est doté de la Politique nationale de l'eau, visant une gestion plus efficace des ressources en eau (Gouvernement du Québec, 2002). La politique présente 57 engagements gouvernementaux destinés à :

- mettre en place la gestion intégrée par bassin versant, afin de réformer la gouvernance de l'eau;
- implanter cette forme de gestion au Saint-Laurent en reconnaissant par ailleurs un statut particulier à ce cours d'eau d'importance;
- protéger la qualité de l'eau ainsi que les écosystèmes aquatiques;
- poursuivre l'assainissement de l'eau et améliorer la gestion des services d'eau;
- favoriser les activités récréotouristiques liées à l'eau.

La mise en œuvre de la Politique nationale de l'eau a été confiée au ministère d'État à l'Environnement et à l'Eau (maintenant le MDDELCC), ainsi qu'aux Ministères concernés par la gestion de l'eau en fonction de leurs champs d'expertise respectifs, et en vertu des lois et des règlements sous leur responsabilité (Gouvernement du Québec, 2002).

L'engagement 49 de la Politique nationale de l'eau est de :

¹⁶ Il est donc possible de connaître la répartition des usages de l'eau potable de différentes municipalités dans le corridor d'étude. Toutes les municipalités dotées d'un système d'approvisionnement en eau ou d'un réseau de distribution d'eau potable, quelles que soient leur taille ou leurs sources d'approvisionnement, doivent compléter le formulaire de l'usage de l'eau potable. Un aperçu de la base de données est disponible à partir de : http://www.mamrot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands_dossiers/strategie_eau/rapport_annuel_SEEP.xls. Toutefois, une inspection de la base de données révèle que toutes les municipalités n'ont pas encore réalisé leur déclaration. Nous devrions entrer en contact avec un représentant du MAMOT pour éclaircir cette situation. Ces informations peuvent être utiles lors de l'évaluation de la valeur économique de l'eau potable, présentée au chapitre 4.

«Élaborer une stratégie québécoise de conservation de l'eau potable qui rende conditionnelle l'attribution de toute aide financière à l'adoption de mesures d'économie d'eau et de réduction des fuites de la part des municipalités»

Pour donner suite à cet engagement, le MAMOT s'est doté d'une Stratégie québécoise d'économie d'eau potable (SQEEP) en 2011. La SQEEP reconnaît deux grandes circonstances contribuant à la consommation élevée d'eau au Québec, soit les pertes d'eau liées aux fuites dans les réseaux, ainsi que la surconsommation et l'utilisation abusive de la ressource. La stratégie vise donc une réduction d'au moins 20 % de la consommation moyenne d'eau par personne pour l'ensemble du Québec. La valeur de référence est de 777 L/(pers./jour) en 2001, lors du lancement de la Politique nationale de l'eau, faisant en sorte que la réduction ciblée par le SQEEP est 622 L/(pers./jour), ce qui correspond à la moyenne canadienne de 2001. Les consommations résidentielle, industrielle, commerciale, institutionnelle et municipale ainsi que les pertes dans le système sont comprises dans cette cible. La SQEEP vise également une réduction des pertes d'eau par des fuites à moins de 20% du volume total d'eau produit, ainsi qu'un taux de fuites maximal de 15 m³ par jour par kilomètre de conduite de distribution (m³/(jour*km)). L'atteinte des objectifs de la SQEEP a été fixée au 31 décembre 2016 (MAMROT, 2011).

Les municipalités du Québec sont appelées à réaliser, dans un premier temps, un état de la situation concernant les infrastructures municipales d'eau en place et les usagers à desservir, un plan d'action, un bilan de l'usage de l'eau, ainsi que l'adoption d'une réglementation interdisant le gaspillage de l'eau. La suite des actions, comme la mise en place d'un programme de détection des fuites, l'installation des compteurs d'eau dans les immeubles non résidentiels, et l'application d'une tarification adéquate, seront graduellement implantés en fonction des résultats du bilan de l'usage de l'eau spécifique à chaque municipalité.

En accompagnement des actions municipales, le gouvernement s'est également engagé à cinq mesures afin de contribuer à l'atteinte des objectifs de la SQEEP (MAMROT, 2011) :

- Fournir une aide financière aux municipalités ayant mis en œuvre toutes les mesures préconisées par le SQEEP ainsi que pour des projets d'infrastructure d'eau visant l'atteinte des objectifs de la SQEEP ;
- Revoir le Code de construction pour prescrire l'installation d'accessoires et d'équipements de consommation efficace d'eau (p.ex. pour les toilettes, robinets, pommes de douches, urinoirs, etc.) ;
- Encourager l'implantation des meilleures pratiques en consommation efficace d'eau dans tout projet de construction, d'agrandissement et de rénovation dans l'ensemble des immeubles gouvernementaux et les établissements des réseaux de la santé et de l'éducation (c.-à-d. commissions scolaires, Cégeps et universités) ;
- Produire et diffuser un guide d'information sur la mise en œuvre de la SQEEP destiné aux organismes municipaux ; et,
- Créer un comité de suivi de la SQEEP et diffuser les résultats.

3.2.3 Besoins futurs en eau potable

De toute évidence, la société québécoise est en voie de rencontrer les objectifs de réduction de l'utilisation d'eau potable établis par le gouvernement. Le taux de distribution d'eau par personne par jour au Québec a diminué durant la période de 2004 à 2009, et tout porte à croire que cette tendance se maintiendra pour atteindre l'objectif de 622 L/pers./jour d'ici 2017. La Ville de Montréal, l'une des plus importants distributeurs d'eau per capita dans la province, implante des compteurs d'eau et elle travaille de façon continue pour réduire les fuites d'eau du système (Ville de Montréal, 2013). La sensibilité de la population à l'enjeu de la conservation de l'eau, les mesures prises par les municipalités et les incitatifs et mesures prises par le gouvernement renforcent l'idée que l'objectif de distribution d'eau per capita sera atteint. Il se peut également que le gouvernement continue ses efforts pour réduire le taux d'utilisation d'eau après 2017. Toutefois, aux fins de cette étude, le taux d'utilisation d'eau per capita, tous secteurs confondus, est établi à 622 L/(pers./jour) (cible de 2017).

3.3 Caractéristiques économiques du corridor d'étude

L'évaluation des caractéristiques économiques du corridor d'étude n'a pas encore été réalisée. Les caractéristiques économiques à l'intérieur des municipalités du corridor d'étude (p.ex. nombre d'industries, types d'industries, nombre et types de commerces, activités économiques) pourraient renseigner l'évaluation des impacts liés aux pénuries en eau potable, ou la pollution du fleuve pour le volet des eaux usées. Il est prévu que cette caractérisation sera réalisée seulement pour les municipalités dont les infrastructures seront identifiées comme étant vulnérables aux impacts des changements climatiques sur le fleuve. Dès lors, la caractérisation des activités économiques se fera au fur et à mesure que seront identifiées les municipalités dont les infrastructures sont vulnérables.

4 Méthodologie d'étude des impacts des changements climatiques sur les eaux municipales

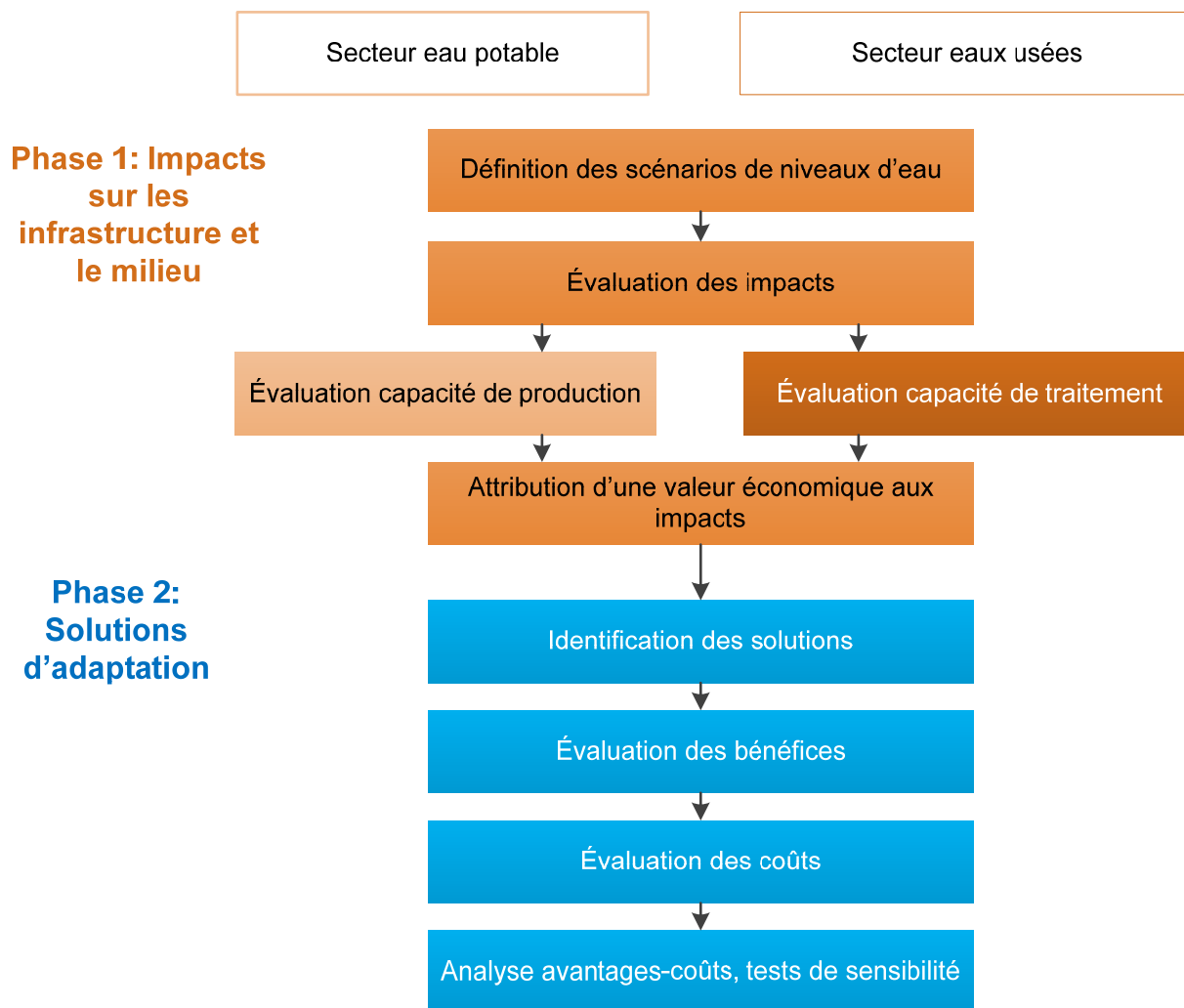
L'étude eaux municipales sera réalisée en deux phases. La première phase compare les impacts anticipés sur les infrastructures et le milieu de deux scénarios de changements climatiques aux impacts anticipés sans changement climatique.

L'évaluation des impacts des changements climatiques sur les infrastructures des eaux municipales et sur le milieu comprendra trois principales étapes :

- définition des scénarios des niveaux d'eau : les scénarios sans et avec changements climatiques seront définis à partir des données historiques ou projetées des niveaux d'eau du fleuve. Cette étape sera réalisée par l'équipe d'Ouranos.
- évaluation des impacts sur les infrastructures et sur le milieu : la capacité des infrastructures à continuer de fonctionner à pleine capacité, ou à capacité réduite sera évaluée. La capacité des infrastructures à fonctionner sera exprimée en termes de quantité d'eau potable produite, ou en termes de concentrations de polluants dans l'effluent pour le secteur des eaux usées.
- attribution d'une valeur économique aux impacts : Une valeur sera attribuée aux impacts identifiés précédemment en établissant une valeur économique associée à l'utilisation de l'eau potable pour le secteur de l'eau potable, et une valeur économique basée sur la volonté à payer pour éviter la dégradation de l'eau pour le secteur des eaux usées.

Au cours de la seconde phase, on définit d'abord des solutions d'adaptation. On évaluera ensuite leur capacité à réduire les impacts identifiés précédemment. Cette réduction des impacts (auxquels on aura attribué une valeur économique) correspond aux bénéfices attendus de l'implantation des solutions d'adaptation. Ces bénéfices seront alors comparés aux coûts requis pour mettre en place les solutions d'adaptation retenues afin d'évaluer leur rentabilité économique, le tout dans le cadre d'une analyse avantages-coûts.

La structure du chapitre suit donc les étapes décrites ci-dessus. Un schéma de la méthodologie d'étude est présenté à la figure ci-dessous.

Figure 4-1 Schéma de la méthodologie d'étude

4.1 Définition des scénarios des niveaux d'eau

Trois scénarios comportant des variations du niveau d'eau du fleuve sont considérés dans la présente étude. Ils sont décrits dans le rapport principal.

4.2 Évaluation des impacts sur les infrastructures et sur le milieu

4.2.1 Secteur de l'eau potable

Pour le fonctionnement des usines de traitement de l'eau potable, le facteur biophysique primordial est le niveau du fleuve au point de la prise d'eau des usines. Malgré l'influence des autres facteurs biophysiques sur la capacité de traitement de l'eau potable (p.ex. température d'eau, concentration d'algue, présence des moules zébrées, concentration des polluants), les scénarios « What-if » ne fournissent pas d'information permettant l'évaluation quantitative des impacts reliés à ces facteurs.

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les usines de traitement d'eau potable dont l'opération normale sera compromise. Les usines vulnérables ont été identifiées en 2003 par Carrière et Barbeau en comparant les

niveaux du fleuve projetés au point de référence¹⁷ (Pointe Claire) aux niveaux d'eau critiques identifiés pour chacun des UTEP.

Dans le cadre de la présente étude, une étape de validation sera réalisée afin d'évaluer si l'identification des UTEP vulnérables réalisée par Carrière et Barbeau est encore valide. Pour ce faire, un questionnaire sera envoyé aux gestionnaires des UTEP identifiés au chapitre 2. Le questionnaire demandera des renseignements sur certaines caractéristiques techniques des UTEP, telles que la capacité de production nominale actuelle, ainsi que la réalisation des activités de renforcement des ouvrages de prises d'eau et des conduites d'adduction des prises d'eau qui auraient eu lieu depuis 2003. Ces informations serviront à valider si les calculs réalisés par Carrière et Barbeau pour estimer les niveaux d'eau critiques sont encore représentatifs des circonstances actuelles des UTEP. Les calculs, ainsi que l'identification des usines vulnérables, seront actualisés avec les nouveaux renseignements fournis par le biais du questionnaire.

Ensuite, pour les usines identifiées comme étant vulnérables, la capacité de production résiduelle de ces usines, ainsi que la demande actuelle sur ces usines, seront évaluées. La capacité de production résiduelle sera estimée selon un des deux mécanismes suivants :

1. Si le niveau critique d'une usine vulnérable est dû au mécanisme de perte de charge, une version modifiée l'équation Hazen-Williams présentée au chapitre 2 sera utilisée pour calculer le débit résiduel, et donc la capacité résiduelle de production de l'usine de traitement d'eau potable.

$$H' = L_{eq.} \times \left[\frac{Q'}{A k C_{HW}} \times \left(\frac{4}{D} \right)^{0,63} \right]^{\left(\frac{1}{0,54} \right)} \quad (2)$$

La variable H' représente les niveaux du fleuve projetés par les scénarios. Les valeurs de $L_{eq.}$, A , k , C_{HW} , et D sont spécifiques à chaque prise d'eau des usines, et ces données proviennent de l'étude de Carrière et Barbeau (2003). L'entrée de ces valeurs dans l'équation (2) permet d'évaluer de nouveaux débits résiduels Q' de l'usine vulnérable en relation avec les niveaux du fleuve (H') de chacun des scénarios.

2. Dans le cas où l'émergence de la prise d'eau détermine le niveau critique pour l'usine, si les niveaux d'eaux du fleuve sont inférieurs au niveau d'eau critique de la prise d'eau, la capacité de production associée avec l'usine est considérée comme étant nulle. Toutefois, si l'usine possède une deuxième prise d'eau, les contraintes liées au fonctionnement de la deuxième prise d'eau, soit par le mécanisme de perte de charge ou par l'émergence, détermineront la capacité résiduelle de l'usine.

Les capacités résiduelles de production des UTEP vulnérables seront estimées pour chaque quartile de mois. Ensuite, l'adéquation entre la capacité résiduelle de production et la demande d'eau potable sera évaluée. Le résultat de cette comparaison est une estimation de la pénurie d'eau par quartile de mois, et ceci pour les 30 ans de chacun des scénarios. La pénurie totale d'eau potable sur 30 ans sera calculée et par la suite divisée par 30 pour ensuite calculer la pénurie annuelle moyenne d'eau potable.

Il est probable que la croissance des populations desservies par les UTEP vulnérables sur l'horizon de l'étude et conséquemment la demande en eau potable puisse dépasser la capacité nominale de production actuelle des UTEP. À ce moment, il est logique de supposer que des mesures (p.ex. agrandissement de la capacité de l'usine) soient mises en place pour assurer que l'approvisionnement d'eau soit suffisant. Toutefois, il est considéré que l'agrandissement de l'UTEP sera réalisé de façon à satisfaire seulement la demande d'eau projetée selon l'accroissement de la population, et non pas en fonction de la pénurie d'eau éventuelle liée aux changements climatiques. Ceci est l'hypothèse de statu quo - que les actions futures seront prises sans considération des impacts des changements climatiques. Cette hypothèse permet de mieux isoler les impacts liés aux changements climatiques. Donc, l'ordre de grandeur des pénuries d'eau estimées en évaluant les impacts des scénarios « what-if » sur l'état de la situation actuelle des UTEP sera maintenu dans l'horizon de l'étude.

¹⁷ Rappelons que ce point de référence a été utilisé par Carrière et Barbeau (2003) dans l'identification des usines vulnérables

Enfin, la pénurie annuelle moyenne sera évaluée en termes de pertes économiques tel que décrit à la section 4.3 de ce chapitre.

4.2.2 Secteur des eaux usées

Ici l'objectif est de déterminer l'effet des changements climatiques sur les stations d'épuration des eaux usées. Parmi les changements climatiques qui pourraient survenir au Québec, on peut s'attendre à ce que les périodes de sécheresse soient plus fréquentes et plus longues. Ceci aura pour conséquence d'amener une baisse du niveau et du débit du fleuve Saint-Laurent.

Le fleuve Saint-Laurent est le milieu récepteur des évacuations des stations d'épuration des eaux usées (SEEU). On cherchera donc à identifier les stations d'épuration des eaux usées dont les rejets ne seraient pas en mesure de respecter les critères de qualité de l'eau dans des conditions de débit dans le fleuve Saint-Laurent établies pour les scénarios de changements climatiques, tel que défini au chapitre 2.

4.2.2.1 Identification des stations d'épuration d'eaux usées vulnérables

La méthodologie proposée pour l'identification des SEEU vulnérables aux changements climatiques, dont les effluents risquent de contaminer le milieu récepteur, comporte les étapes suivantes (MDDEFP, Guide de présentation d'une demande d'autorisation pour réaliser un projet assujéti à l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement, Québec; MDDEFP, 2007) :

- compilation des exigences de rejet (contaminants et concentrations) de chacune des SEEU rejetant leur effluent dans la portion à l'étude du fleuve Saint-Laurent;
- pour chacun des contaminants pour lesquels une exigence de rejet a été établie, identification ou détermination du débit ou du volume d'eau alloué pour la dilution pour le respect des critères de qualité d'eau applicables.
- compilation des résultats d'échantillonnage des effluents des SEEU, soit la concentration des contaminants dans les effluents des stations rejetés au cours des 5 dernières années;
- comparaison des débits du fleuve pour les scénarios de changements climatiques avec les débits utilisés pour l'établissement des exigences de rejet pour chacune des stations;
- dans les cas où les débits prévus par les scénarios de changements climatiques seraient plus faibles que ceux requis pour assurer une dilution adéquate des effluents, les OER de ces stations seraient réévaluées sur la base des débits associés aux changements climatiques. Selon la méthodologie du MDDELCC, l'établissement des OER doit, dans certains cas, être fait sur la base d'une modélisation hydrodynamique. Aux fins de la présente étude, l'estimation des OER sera faite uniquement sur la base du débit.

La vulnérabilité des stations sera établie sur la base de la comparaison de ces nouveaux OER avec les concentrations de contaminants rejetés (au cours des dernières années). Si les concentrations observées sont supérieures à ces OER établis sur des débits plus faibles associés aux changements climatiques, il sera alors considéré que, dans ces conditions, ces stations n'auraient pas la capacité de traitement suffisante pour assurer la protection de la qualité de l'eau. Le nombre de quartiles de mois sur les 30 ans des scénarios, durant lesquels les stations n'auraient pas la capacité de traitement suffisante, sera calculé afin d'évaluer la fréquence d'occurrence de cette problématique. Ensuite, cette somme sera divisée par 30 pour ensuite calculer la fréquence annuelle moyenne de l'incapacité de traitement suffisante des SEEU.

Dans tous les autres cas, on supposera que les diminutions du débit du fleuve n'engendreraient pas d'effet sur les stations d'épuration des eaux usées.

La croissance de la population peut augmenter la charge de polluants à traiter par les SEEU, ainsi que la charge des polluants rejetés dans le fleuve. Toutefois, cette étude se concentre sur la concentration de contaminants dans les effluents qui seront rejetés dans le fleuve, autant pour les scénarios sans ou avec les changements climatiques. Comme dans le cas de l'eau potable, on suppose que l'amélioration des SEEU pour répondre à la croissance de la population (et l'augmentation de la quantité d'eaux usées à traiter) sera basée seulement sur les besoins de la population ainsi que sur les nouveaux objectifs environnementaux de rejets qui seront établis d'ici 2023 pour toutes les SEEU (voir section 2.1.2.5), et non pas en fonction des contraintes liées aux changements climatiques. Il est également supposé que le type et la performance des technologies de traitement des SEEU actuellement en place seront maintenus dans le futur. Ces hypothèses permettent l'évaluation des impacts sur la qualité de l'eau à considérer seulement les impacts liés aux changements climatiques.

4.3 Attribution d'une valeur économique aux impacts

L'évaluation des impacts physiques des changements climatiques sur les infrastructures de traitement des eaux municipales vise à identifier la pénurie potentielle en eau potable, ou la possibilité de contamination des eaux du fleuve par les eaux usées.

La quantification économique de ces impacts repose sur l'établissement de la valeur économique de l'eau. L'eau potable est une ressource naturelle de laquelle les ménages, les communautés, les entreprises et les industries retirent des bénéfices. L'eau est également une ressource soutenant les systèmes naturels, dont la biodiversité, les milieux aquatiques et les milieux humides qui eux, fournissent des services écosystémiques aux êtres humains. L'approche conceptuelle adoptée par les économistes pour attribuer une valeur aux ressources hydriques est résumée comme suit :

La valeur économique de l'eau est mieux comprise comme étant le bénéfice qui est fourni par l'utilisation ou l'accès à l'eau. Dans le cas des ménages, cet avantage est généralement compris comme étant l'augmentation du bien-être (ou « utilité ») possible grâce à l'utilisation de l'eau tandis que pour les entreprises, ce bénéfice se traduit par l'augmentation du profit grâce à l'utilisation de l'eau. Dans les deux cas, les économistes prévoient que les ménages et les entreprises seront "prêts à payer" pour obtenir ces bénéfices parce qu'ils retirent des bénéfices grâce à son utilisation. L'idée de la volonté à payer constitue la pierre angulaire des efforts des économistes pour évaluer la valeur de l'eau. (Renzetti & Dupont, 2007, p. 10).

Tous s'accordent à dire que la tarification actuelle pour les services d'eau (potable et usées) par les instances municipales au Canada ne représente pas la valeur économique réelle de l'eau. Durant la période entre 1988 à 2007, à l'exception de l'année 2001, les revenus reçus par les agences municipales d'eau au Canada étaient inférieurs aux dépenses. En 2007, les revenus ont couvert seulement 70 % des dépenses (Renzetti, 2009; Renzetti, 1999). Les coûts de remplacement sont sous-évalués et le taux d'investissement n'a pas été suffisant pour remplacer, voire maintenir les infrastructures âgées (Renzetti, 2009). De plus, jusqu'à un tiers des ménages au Canada, dont la grande majorité dans l'est du Canada (Québec, Terre-Neuve, Île de Prince-Édouard) n'est pas dotée de compteurs d'eau, contribuant à la surutilisation de la ressource (Renzetti, 2009). Au Canada, le prix chargé pour l'eau n'est pas sensible à la distance d'approvisionnement et au temps d'utilisation, même si les coûts d'approvisionnement varient en fonction de la distance et de la demande maximum lors de la période de pointe d'utilisation (Vander Ploeg, 2011). Enfin, les coûts des dommages environnementaux liés aux prélèvements de l'eau brute, ainsi qu'au déversement des eaux usées ne sont pas comptabilisés (Renzetti, 2009). L'écart entre les prix payés par les canadiens pour les services d'eau et la valeur économique réelle de l'eau est donc important. La tarification municipale de l'eau est sous-évaluée et ne tient pas compte des principes d'efficacité, de meilleures utilisations, ou de la rareté de la ressource.

Pour combler cette lacune, il a été proposé que le principe de comptabilisation de l'intégralité des coûts («full-cost accounting») soit adopté (Renzetti, 2009; Vander Ploeg, 2011). Cette méthode de comptabilisation de la valeur des ressources hydriques est particulièrement utile quand:

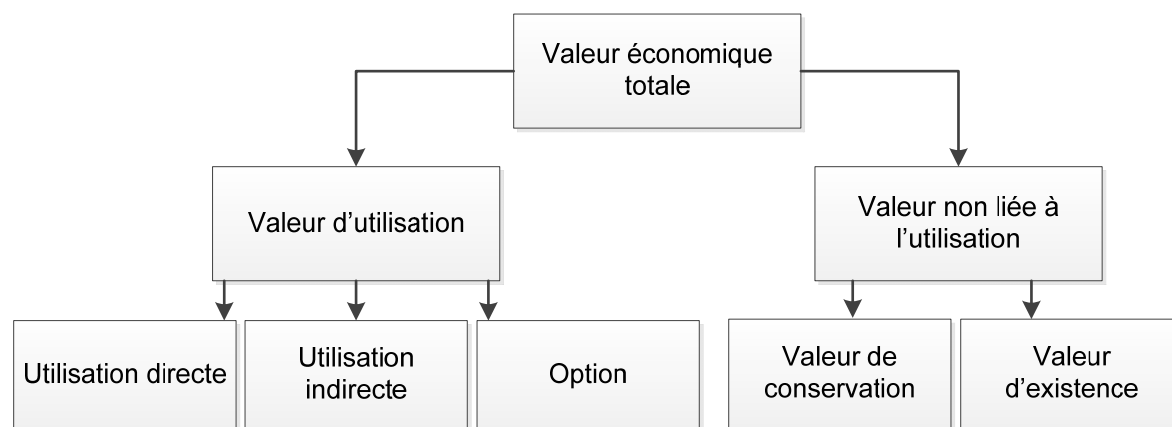
- on doit documenter l'évaluation d'impacts environnementaux telle la pollution d'eau;
- on souhaite évaluer un projet ou une politique; ou,
- on doit souligner l'importance d'un problème, tels les changements climatiques (CCME, 2010).

La présente étude repose donc sur une méthode de comptabilisation de l'intégralité des coûts, soit la valeur économique totale de l'eau (VET, « total economic value »).

4.3.1 Valeur économique totale de l'eau

La VET établit une catégorisation de différents usages des ressources hydriques, auxquelles des méthodes d'estimation et des valeurs peuvent être attribuées (CCME, 2006; Dupont & Renzetti, 2008). Le concept tente de comptabiliser tous les bénéfices attribuables à l'usage de l'eau qui dépassent le prix payé par les utilisateurs. La VET vise également à évaluer la contribution totale des ressources hydriques à la société et à l'économie (Dupont & Renzetti, 2008). La catégorisation des usages auxquels des valeurs peuvent être attribuées est (CCME, 2010; Dupont & Renzetti, 2008; Statistique Canada, 2013) :

Figure 4-2 Concept de la valeur économique totale



Brièvement, la description des usages sous chaque catégorie est :

- **l'utilisation directe** : bénéfices provenant de l'utilisation de l'eau par les industries (p.ex. production), les fermes (p.ex. irrigation et production) et les ménages (p. ex. consommation, lavage, hygiène);
- **l'utilisation indirecte** : bénéfices provenant des activités ayant lieu dans l'eau ou à proximité de l'eau, dont les activités récréatives, le tourisme, la pêche sportive, l'éducation et les sciences. Elles comprennent aussi les bénéfices liés aux services écosystémiques (p.ex. habitats, le cycle des éléments nutritifs, protection des berges);
- **l'option** : valeur attribuée à la conservation d'eau pour que l'option de l'utiliser (directe et indirecte) dans le futur soit disponible;
- **la valeur de conservation** : valeur attribuée par les individus pour assurer que les générations futures aient accès à l'eau propre;
- **la valeur d'existence** : valeur d'existence sans utilisation ou prélèvement, attribuée au fait de savoir que les ressources hydriques existent (p. ex. Lac Louise ou les chutes Niagara) et sont bénéfiques pour le paysage, l'identité collective, la valeur spirituelle, ainsi que pour la biodiversité et la faune.

De plus, Dupont et Renzetti (2008) ont identifié plusieurs facteurs ayant une influence sur la valeur de l'eau :

- **Qualité** : la valeur de l'eau dépend de sa qualité. L'installation des équipements d'épuration par les municipalités, les industries et les ménages démontrent que l'eau propre est plus recherchée que l'eau sale.
- **Temps** : la valeur de l'eau dépend de la période durant laquelle elle est disponible ou est en pénurie. Par exemple, une pénurie d'eau sur une courte période de temps (p.ex. 1 jour) pourrait être comblée par les industries par d'autres sources, ou par un report des activités. Une pénurie sur plusieurs jours ou semaines peut devenir extrêmement problématique, car les équipements qui en dépendent sont déjà installés et les activités ne peuvent plus être reportées. Toutefois, une pénurie systémique sur plusieurs saisons ou années peut inciter les industries à s'ajuster (p.ex. achat des équipements qui dépendent moins de l'eau, déplacement de l'entreprise de la région), ce qui diminue la valeur de l'eau qui a été perdue.
- **Quantité** : la valeur de l'eau est fonction de la quantité disponible. Généralement, plus la quantité d'eau utilisée par les industries ou les ménages est grande, plus la valeur associée à chaque unité d'eau supplémentaire consommée baisse.
- **Fiabilité** : la valeur de l'eau dépend de la fiabilité d'approvisionnement. Plus la source d'approvisionnement est fiable, plus la valeur de l'eau augmente;

Le concept de VET est utile pour structurer l'évaluation des ressources hydriques, autant pour le volet eau potable que le volet eaux usées de l'étude. Plusieurs méthodes ont été élaborées par les économistes pour tenter d'évaluer la valeur de l'eau à l'intérieur de chacune de ces catégories (p.ex. prix du marché, observation indirecte, évaluation contingente, méthode des coûts de voyage, méthode de dépense défensive, méthode de coûts de santé).

4.3.2 Méthodologie d'attribution d'une valeur économique aux impacts

L'impact des changements climatiques sur les UTEP considérées dans le cadre de la présente étude est la pénurie d'eau potable. La pénurie d'eau potable sera répartie sur les utilisateurs selon la répartition de la consommation des municipalités¹⁸. Ensuite, les valeurs de l'eau potable liées à son utilisation directe par utilisateur (résidentiel, commercial, institutionnel et industriel) seront attribuées. On suppose que la répartition de la consommation sera maintenue durant la période d'étude. L'eau potable peut également servir à des usages indirects, tels que les activités récréatives (p. ex. parcs d'eau, piscines), mais ces valeurs sont généralement beaucoup moins importantes que celles associées à l'utilisation directe (Dupont & Renzetti, 2008). Dans cette étude, les valeurs des gains et des pertes d'économiques liés à l'eau potable seront établies seulement pour l'utilisation directe.

Pour le secteur des eaux usées, l'impact des changements climatiques peut résulter en la dégradation de la qualité de l'eau du fleuve pour tous les usages en aval des SEEU. La valeur attribuable à cette dégradation sera évaluée en fonction des valeurs attribuables à l'eau qui sont liées à son utilisation indirecte (p.ex. activités récréatives), à l'option de son utilisation future, à sa conservation et à son existence.

Une note technique précisant les valeurs de l'eau qui seront utilisées dans l'évaluation des gains et des pertes d'économiques est incluse dans l'**annexe D** de ce rapport. Pour le secteur des eaux usées en particulier, une emphase particulière sera mise sur la volonté à payer par les populations pour améliorer la qualité d'eau, ou éviter la non-détérioration des biens et des services écologiques (Johnston & Thomassin, 2010; MDDEFP, 2013; Rollins, Frehs, Tate, & Zachariah, 1997).

¹⁸ Comme expliquée au chapitre 3, la répartition des usages de l'eau (c.-à-d. ménages, commerces et industries) est connue en ce moment pour l'Agglomération de Montréal. Des recherches plus poussées sont requises pour identifier la répartition de la consommation pour les autres municipalités dans le corridor d'étude. Notez toutefois que cet exercice sera réalisé seulement pour les municipalités dont les UTEP sont identifiés comme étant vulnérables aux impacts des scénarios « What-if ».

4.4 Approche pour la sélection et l'évaluation des solutions d'adaptation

4.4.1 Choix des solutions d'adaptation

Pour combler les problèmes liés à la baisse du niveau du fleuve et la pénurie d'eau potable, des solutions d'adaptation potentielles peuvent se classer à l'intérieur de trois grandes catégories de solutions présentées ci-après.

Tableau 4-1 Catégories des solutions d'adaptation par volet d'étude

Volet eaux potables	Volet eaux usées
1 L'augmentation de la capacité de production de l'eau potable des usines durant les périodes sèches. Cette catégorie de solutions relève surtout des mesures d'ingénierie, telles que la modification de la configuration des prises d'eau, des puits d'eau et des pompes, ou la construction des prises d'eau secondaires, etc.;	L'amélioration de la capacité de traitement des eaux usées. Cette catégorie de solutions relève surtout des mesures d'ingénierie de modification des procédés de traitement à la station d'épuration des eaux usées;
2 La réduction de la consommation d'eau. Les mesures à l'intérieur de cette catégorie de solutions incluent la mise en place d'une tarification pour inciter une réduction de la consommation d'eau auprès des consommateurs (résidentiels, commerciaux, industriels); la mise en place d'incitatifs pour installer des équipements réduisant la consommation d'eau (p. ex. toilettes, pommes de douches efficaces); la réduction des fuites d'eau du système d'aqueduc; la révision des règlements concernant l'utilisation de l'eau en été (p.ex. arrosage, lavage des autos);	n/a – la réduction de l'apport des eaux usées vers les SEEU liée à la réduction de la consommation d'eau ne constitue pas une solution pour ce volet. La charge de polluants à traiter par les SEEU demeure la même que le cas sans réduction de l'apport des eaux usées. Avec la même charge de polluants, un débit plus faible des eaux usées augmentera la concentration des polluants rejetés dans les eaux récepteurs.
3 La régularisation du niveau d'eau durant les périodes sèches pour assurer un niveau minimum nécessaire au fonctionnement normal de toutes UTEP et SEEU. Toutefois, cette solution ne relève pas la compétence des municipalités, mais plutôt de celle des autorités d'hydroélectricité ou de transport maritime.	

L'approche pour l'identification des solutions d'adaptation qui relèvent les compétences municipales (deux premières catégories) repose sur la revue de la littérature pour identifier les meilleures pratiques. Cette revue sera combinée à une évaluation par les spécialistes d'AECOM en eaux municipales de la situation des usines vulnérables afin d'identifier les mesures applicables et faisables. Pour la catégorie de solutions touchant la régulation du niveau, une discussion avec les équipes de recherche du volet hydroélectrique ainsi que du transport maritime devra avoir lieu pour évaluer les mesures possibles.

4.4.2 Évaluation des bénéfices des solutions d'adaptation

L'approche pour l'évaluation de l'efficacité des solutions d'adaptation est identique à la méthodologie décrite ci-dessus pour l'identification des usines de traitement d'eau potable et des eaux usées qui sont vulnérables aux bas niveaux du fleuve. Il s'agit d'évaluer si des pénuries d'eau potable peuvent survenir suite à la mise en place des solutions. En ce qui concerne les mesures pour la réduction de la consommation d'eau, l'efficacité de ces mesures à diminuer le taux de consommation d'eau sera estimé en fonction des expériences dans la littérature. Des hypothèses sur la demande totale de quantité d'eau potable qui en résulte seront posées. Ensuite, l'adéquation entre la demande et la capacité des usines de traitement d'eau potable sera évaluée.

La capacité des solutions d'ingénierie à améliorer la qualité des eaux usées rejetées dans le fleuve de manière à rencontrer les OER en condition de faible débit sera évaluée. Les solutions impliquant la régularisation du fleuve et les SEEU nécessiteront une réévaluation des OER sur la base des débits associés aux solutions de régularisation.

Donc, la capacité des solutions d'adaptation à diminuer les pénuries d'eau, ou à améliorer la qualité des eaux usées rejetées dans le fleuve, constitue les bénéfices des solutions d'adaptation.

4.4.3 Évaluation des coûts de mise en place des solutions d'adaptation

Les coûts pour la mise en place des solutions d'adaptation de nature d'ingénierie seront estimés par les ingénieurs d'AECOM. Cette évaluation sera basée sur une évaluation des caractéristiques et des contraintes des infrastructures identifiées comme étant vulnérables.

L'évaluation des coûts des solutions ciblant une réduction de la consommation d'eau potable sera réalisée par une estimation des coûts des équipements nécessaires (p. ex. toilettes, pommes de douches efficaces, compteurs d'eau) et par une extrapolation de ces coûts aux populations ou secteurs (résidentiel, commercial, industriel) ciblés. Enfin, les coûts de mise en place des politiques ou de règlements de réduction de la consommation seront négligés. La revue de la littérature sur les solutions d'adaptation identifiera également les coûts lorsqu'ils sont disponibles.

Enfin, l'évaluation des coûts liés à la régularisation de l'eau sera réalisée en collaboration avec les responsables des autres volets de l'étude économique régionale.

4.4.4 Analyse avantages-coûts

Les bénéfices des solutions d'adaptation, ainsi que leurs coûts, seront comparés à l'aide d'une analyse avantages-coûts. La méthodologie générale d'une analyse avantages-coûts est présentée ci-dessous. Les principes de base régissant l'analyse avantages-coûts sont présentés à l'**annexe F**:

4.4.4.1 Paramètres de l'étude

Les paramètres d'étude précisent les variables nécessaires à la réalisation d'une analyse avantages-coûts. Ils concernent l'année de référence de l'évaluation, le taux d'actualisation et l'horizon de l'étude. Les bénéfices et les coûts des solutions d'adaptation seront mesurés en dollars constants de 2012. Un taux d'actualisation de 4 % avec une analyse de la sensibilité des résultats à des taux de 2 % à 6 % ont été retenus dans le cadre de la présente étude. L'horizon de l'étude économique est de 50 ans, soit entre 2015 et 2065.

5 Bibliographie

- Bourque, A., & Simonet, G. (2007). Québec. Dans D. S. Lemmen, F. J. Warren, J. Lacroix, & E. Bush, *Vivre avec les changements climatiques au Canada* (pp. 171-226). Ottawa: Gouvernement du Canada.
- Carrière, A., & Barbeau, B. (2003). *Impacts of level fluctuations in the St. Lawrence River on water treatment plant operation*. Montréal: École Polytechnique de Montréal.
- CCME. (2006, décembre). *Les effluents d'eaux usées municipales au Canada*. Consulté le mai 31, 2014, sur http://www.ccme.ca/assets/pdf/mwwe_general_backgrounder_f.pdf
- CCME. (2010). *Water Valuation Guidance Document*. Ottawa: Le Conseil canadien des ministres de l'environnement.
- Dupont, D., & Renzetti, S. (2008). Good to the Last Drop? An Assessment of Canadian Water Value Estimates. *Revue canadienne des ressources hydriques*, 33(4), 369-380.
- Environnement Canada. (2011). *Rapport de 2011 sur l'utilisation de l'eau par les municipalités, Utilisation de l'eau par les municipalités, statistiques de 2009*. Ottawa: Environnement Canada.
- Gouvernement du Québec. (2002). *Politique nationale de l'eau*. Consulté le mai 30, 2014, sur Ministère du Développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques: www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/#mise
- Hudon, C. (2011, 05 16). *Le lac Saint-Louis est-il à risques*. Consulté le 02 27, 2014, sur Les niveaux d'eau et l'eau potable: www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=E2765ABF-1
- Institut de la statistique du Québec. (2009). *Perspectives démographiques du Québec et des régions 2006 - 2056, édition 2009*. Gouvernement du Québec.
- Johnston, R. J., & Thomassin, P. J. (2010). Willingness to Pay for Water Quality Improvements in the United States and Canada: Considering Possibilities for International Meta-Analysis and Benefit Transfer. *Agricultural and Resource Economics Review*, 39(1), 114-131.
- MAMOT. (2013, 04 05). *Liste des stations d'épuration*. Consulté le 05 23, 2014, sur Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire: www.mamrot.gouv.qc.ca/infrastructures/suivi-des-ouvrages-dassainissement/
- MAMROT. (2010). *Stratégie québécoise d'économie d'eau potable*. Consulté le mai 30, 2014, sur Ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire: www.mamrot.gouv.qc.ca/grands-dossiers/strategie-quebecoise-deconomie-deau-potable/a-propos-de-la-strategie/
- MAMROT. (2011). *Stratégie québécoise d'économie d'eau potable*. Québec: Gouvernement du Québec.
- MDDEFP. (2007). *Document synthèse sur le calcul et l'interprétation des objectifs environnementaux de rejet, Québec*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- MDDEFP. (2012, août 21). *Répertoire de tous les réseaux municipaux de distribution d'eau potable*. Consulté le avril 29, 2014, sur Ministère du Développement durable, environnement, faune et parcs: www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/index.asp

- MDDEFP. (2012, Août 21). *Répertoire des stations municipales de production d'eau potable approvisionnées en eau de surface*. Consulté le Avril 28, 2014, sur Ministère de Développement durable, environnement, faune et parcs: www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/potable/production/index.asp
- MDDEFP. (2013). *Étude d'impact économique portant sur le Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*. Québec: MDDEFP.
- MDDEFP. (Guide de présentation d'une demande d'autorisation pour réaliser un projet assujéti à l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement, Québec). 2013. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction des politiques de l'eau.
- Renzetti, S. (1999). *Municipal Water Supply and Sewage Treatment: Costs, Prices and Distortions*. St. Catharines, ON: Department of Economics, Brock University.
- Renzetti, S. (2009). *Wave of the Future: The Case for Smarter Water Policy*. Toronto: C.D. Howe Institute.
- Renzetti, S., & Dupont, D. P. (2007). *The Economic Benefits of Water Use in Canada*. Canadian Water Network.
- Rollins, K., Frehs, J., Tate, D., & Zachariah, O. (1997). Resource Valuation and Public Policy: Consumers' Willingness to Pay for Improving Water Service Infrastructure. *Canadian Water Resources Journal*, 22(2), 185-195.
- Statistique Canada. (2010, juin 18). *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires*. Consulté le 05 13, 2014, sur Statistiques Canada: <http://www5.statcan.gc.ca/olc-cel/olc.action?ObjId=91-520-X&ObjType=2&lang=fr&limit=0>
- Statistique Canada. (2013). *L'activité humaine et l'environnement, mesure des biens et services écosystémiques au Canada*. Ottawa: Ministre de l'Industrie.
- Vander Ploeg, C. G. (2011). Summary of Recent Canadian Literature on Water Pricing. Dans *Water Pricing: Seizing a Public Policy Dilemma by the Horns*. Canada: CanadaWest Foundation.
- Ville de Montréal. (2013). *Vers une gestion durable des eaux municipales, Bilan réalisé dans le cadre du programme Villes VERDD et l'Alliance des villes des Grands Lacs et du Saint-Laurent*. Montréal: Ville de Montréal.

Annexe B

Réponses aux questionnaires

Cette annexe est exclue de la version publique de ce rapport.

Annexe C
Sommaire des résultats des
niveaux d'eau critique, eau
potable

Cette annexe est exclue de la version publique de ce rapport.

Annexe D
Note technique sur la valeur de
l'eau

Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent: Étude eaux municipales

Note technique sur la valeur économique de l'eau

6031-5949

Février 2014

Table des matières

1	Introduction	2
2	Approche et méthodes d'évaluation	2
2.1	Concept de la valeur économique totale (VET).....	2
2.2	Composantes de la valeur économique totale.....	3
2.3	Les méthodes d'évaluation économiques.....	3
2.4	Méthodologie d'établissement des valeurs de l'eau	4
3	Résultats – la valeur économique de l'eau.....	4
3.1	Valeur d'utilisation	4
3.1.1	Les usages directs.....	4
3.1.2	Les usages indirects.....	8
3.1.3	La valeur d'option	9
3.2	Valeur non liée à l'utilisation.....	10
3.2.1	Valeur de conservation.....	10
3.2.2	Valeur d'existence	11
4	Conclusion	12
5	Références	13

Liste des tableaux

Tableau 3-1	Résultats des valeurs de l'eau pour les usages résidentiels directs	7
Tableau 3-2	Résultats des valeurs de l'eau pour les usages industriels et commerciaux directs	8
Tableau 3-3	Résultats des valeurs de l'eau pour des usages indirects de l'eau.....	9
Tableau 3-4	Résultats des valeurs de l'eau liés à sa conservation.....	11
Tableau 4-1	Sommaire des valeurs estimées dans le cadre de la VET.....	12

Liste des figures

Figure 2-1	Composantes de la valeur économique totale	3
Figure 2-2	Principales méthodes d'évaluation économique	4

1 Introduction

L'eau procure une utilité aux ménages qui la consomment pour étancher leur soif, pour cuisiner, ou encore pour leur hygiène, ainsi qu'aux entreprises qui l'utilisent comme intrant dans leur production. Elle procure également une utilité aux personnes qui l'utilisent pour des activités récréotouristiques. Ainsi, l'eau améliore indirectement le bien-être des communautés. Les océans, les lacs et les rivières soutiennent les écosystèmes et la biodiversité sur laquelle les communautés retirent des biens (p.ex. la nourriture) et des services environnementaux (p.ex. l'absorption de la pollution).

Toutefois, l'apposition d'une valeur économique à l'eau pose des difficultés particulières. D'une part, plusieurs usages de l'eau peuvent entraîner des externalités négatives qui ne sont pas quantifiées. Par exemple, les usines de traitement des eaux usées rejettent leurs effluents dans les cours d'eau, ce qui diminue la qualité de l'environnement et peut limiter d'autres usages, tel que la pratique d'activités récréotouristiques. Ces impacts ne sont pas nécessairement ni connus, ni quantifiés, ni compensés de façon adéquate. D'autre part, l'attribution d'une valeur monétaire aux nombreux usages de l'eau peut entraîner des problématiques d'agrégation et de double comptage, qui pourraient entraîner une sous-estimation ou une surestimation de la variation de bien-être des individus. Par exemple, l'attribution d'une valeur à la protection des habitats des poissons et à la pêche sportive peut entraîner un double comptage, car l'un ne va pas sans l'autre. Enfin, l'accès à l'eau potable constituera un enjeu d'autant plus grand dans les années à venir et la perte de bien-être des générations futures doit également être considérée.

La valeur économique totale (VET) offre un cadre conceptuel pour répondre à cette problématique en structurant l'évaluation de la valeur économique de l'eau. Elle permet non seulement d'éviter les problématiques d'agrégation et de double comptage en catégorisant de manière mutuellement exclusive chacune des propriétés à considérer, mais offre également une méthodologie d'évaluation adaptée à chacune de ces catégories.

Cette note technique vise à sensibiliser le lecteur à l'approche et aux méthodes d'évaluation de la valeur économique totale de l'eau. Elle présente également des valeurs tirées d'une revue de la littérature qui seront attribuées aux impacts identifiés dans le cadre de l'Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent : Étude eaux municipales.

2 Approche et méthodes d'évaluation

Cette section présente le concept général de la valeur économique totale, ses composantes ainsi que les différentes méthodes qui peuvent être employées pour attribuer une valeur à chacune des propriétés d'un actif environnemental.

2.1 Concept de la valeur économique totale (VET)

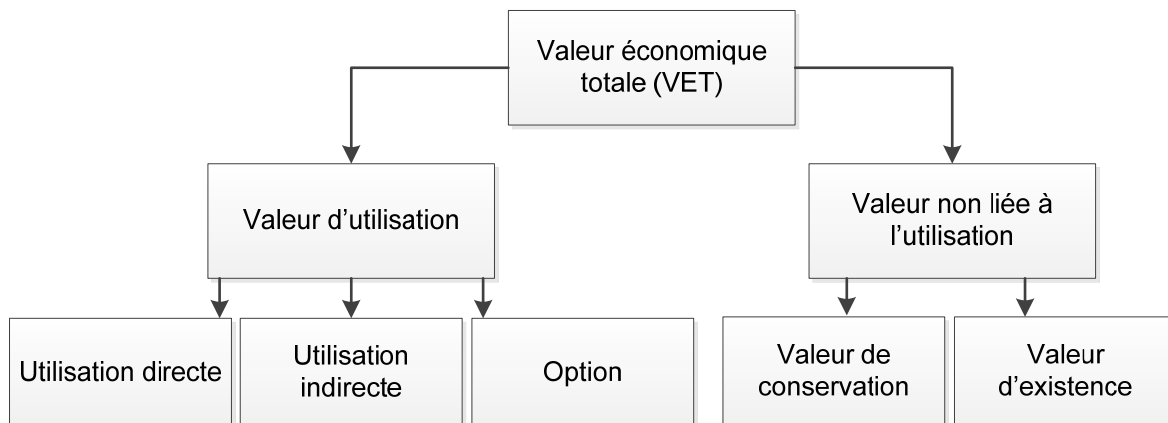
Tout projet ayant un impact sur un actif environnemental devrait intégrer dans l'analyse de ses coûts et de ses bénéfices le concept de la valeur économique totale (OCDE, 2006). Celle-ci fournit une mesure globale de la variation du bien-être des individus (ou de l'utilité) associé à un actif environnemental et entraîné par la mise en œuvre du projet. L'avantage d'utiliser la VET pour catégoriser les différentes valeurs des biens et services écologiques est qu'elle favorise une approche logique d'un point de vue économique et tente d'évaluer tous les aspects et les impacts qui doivent être considérés dans l'évaluation compréhensive de la valeur de l'environnement (Marbek 2010, NRC 2005).

Ce concept est pertinent dans le cadre de l'étude sur les eaux municipales, puisqu'il permettra de convertir en termes monétaires les valeurs que les ménages, les communautés, les entreprises et les industries accordent aux usages de l'eau ainsi que pour prévenir la dégradation de l'environnement qui découle du traitement des eaux usées. Ces valeurs permettront ensuite de comparer les bénéfices tirés d'une réduction des impacts des changements climatiques aux coûts requis pour mettre en place les solutions d'adaptation retenues.

2.2 Composantes de la valeur économique totale

La valeur économique totale de l'eau établit ainsi une catégorisation de différents usages hydriques. Comme l'illustre la Figure 2.1, la VET se décompose typiquement en valeur d'utilisation et de non-utilisation.

Figure 2-1 Composantes de la valeur économique totale



Source : figure adaptée d'OCDE (2006), Marbek, (2010), CCME (2006), NRC (2005) et Dupont & Renzetti (2008)

La **valeur d'utilisation** correspond aux bénéfices tirés d'une utilisation présente, future ou possible des biens et des services environnementaux. Les ménages et les entreprises tirent des bénéfices **directs** de l'eau lorsqu'ils l'utilisent à des fins de consommation (p. ex. boire, cuisiner, laver) ou de production (p. ex. irrigation des champs). Les bénéfices **indirects** peuvent provenir d'une utilisation à proximité de l'eau (p. ex. pêche sportive, tourisme éducation et sciences) ou bien des services écosystémiques fournis par l'eau (p. ex. habitats, le cycle des éléments nutritifs, protection des berges). La **valeur d'option** correspond, pour sa part, à la valeur que les individus et les entreprises sont disposés à payer pour conserver la possibilité d'utiliser ce bien ou ce service à l'avenir.

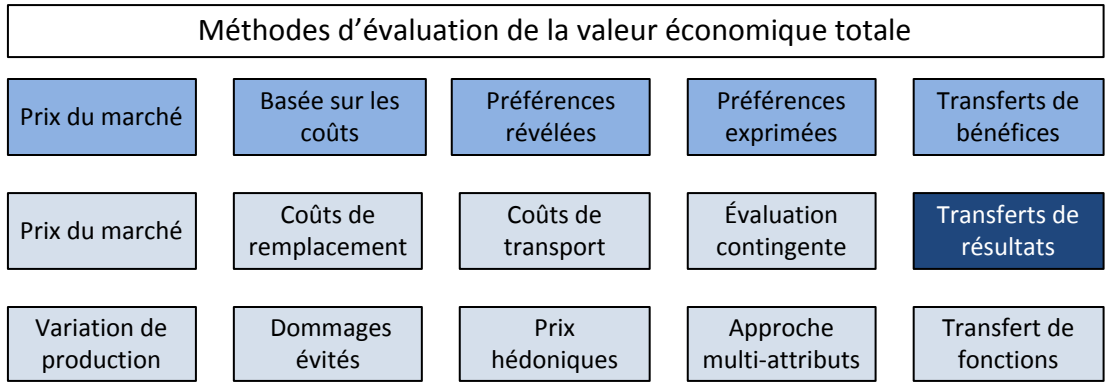
La **valeur non liée à l'utilisation** correspond au consentement à payer des individus et des entreprises pour préserver un bien qu'ils n'utilisent pas et qu'ils ne prévoient pas utiliser pour dans l'avenir. Les motivations peuvent varier. La valeur de **conservation** vient du souci que d'autres personnes, de la génération présente ou des générations futures, puissent avoir accès à cette ressource. La **valeur d'existence** n'est pas associée à aucun usage envisagé, ni présent ni futur, ni pour les individus eux-mêmes ni par personne d'autre. L'intérêt n'est fondé que sur l'existence même de ce bien, pour assurer la protection d'une espèce menacée ou la biodiversité.

2.3 Les méthodes d'évaluation économiques

La figure 2.2 offre une synthèse des principales méthodes d'évaluation qui ont été élaborées par les économistes pour tenter d'évaluer chacune des catégories de valeur mentionnées précédemment. Selon la nature du bien ou du service environnemental, l'évaluation peut s'appuyer sur les **marchés** observables (p. ex. prix du marché). Elle peut également prendre une approche basée sur les **coûts**, sur les **préférences révélées** (p. ex. prix hédonique) ou encore sur les **préférences exprimées** (p. ex. évaluation contingente). Ces méthodes d'évaluation, dites originales ou primaires, s'avèrent cependant longues et coûteuses lorsque la collecte de données primaires est possible. Les méthodes de **transfert de bénéfices** constituent une alternative acceptable, en particulier pour l'estimation des valeurs non marchandes (OCDE, 2006). Elle consiste à prendre les estimations réalisées dans le cadre d'études antérieures pour estimer les bénéfices et les coûts (avantages auxquels on renonce) qui découleront de la mise en œuvre d'un autre projet. Une attention particulière doit cependant être portée au choix des études considérées. Au besoin, des ajustements peuvent être apportés aux résultats pour qu'ils puissent

s'intégrer harmonieusement au contexte propre à l'étude. Pour de plus amples détails sur ces méthodes, les lecteurs sont invités à consulter la littérature¹.

Figure 2-2 Principales méthodes d'évaluation économique



Source : (Revéret, Dupras et He 2013, 43)

2.4 Méthodologie d'établissement des valeurs de l'eau

La méthode de transfert de résultats fut privilégiée dans le cadre de cette étude sur la valeur économique totale de l'eau. Une attention particulière a été portée : aux études dont la date de publication est récente et qui présentent des similitudes sur les plans géographiques et socio-économiques avec le Québec. Les études portant sur l'Amérique du Nord, le Canada, l'Ontario et le Québec en particulier, furent de ce fait favorisées.

Les valeurs rapportées dans ces études ont été converties en dollars constants de 2012², de manière à tenir compte de l'effet de l'inflation. Les valeurs rapportées ont finalement été uniformisées de manière à les rendre comparables (p. ex. par ménage, par m³) et adaptés au contexte de l'étude, soit le type d'industries sur le territoire, le nombre de ménages, le type de population et le profil de consommation de l'eau sur le corridor d'étude.

3 Résultats – la valeur économique de l'eau

La section suivante présente les résultats de la revue de la littérature pour l'identification des valeurs de l'eau, en suivant le cadre conceptuel de la valeur économique totale.

3.1 Valeur d'utilisation

Les valeurs d'utilisation correspondent aux coûts et aux bénéfices tirés d'une utilisation directe, indirecte ou éventuellement possible de l'eau. Cette section traite notamment de l'utilité qui découle de la consommation humaine de l'eau, des activités récréotouristiques ainsi que des services écosystémiques qui en dépendent.

3.1.1 Les usages directs

Les usages directs sont ventilés selon le type de consommateurs (résidentiel, industriel, agricole ou commercial). Sachant que l'eau municipale est très rarement utilisée à des fins agricoles, l'évaluation de l'eau à ces fins est exclue de la discussion suivante.

¹ Une source en particulier qui traite les différentes méthodes dans le contexte des changements climatiques est Reveret, J. P. et al. 2013, *L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques*, Montréal, Canada. Ouranos.

² Au moyen de l'indice d'ensemble des prix à la consommation pour le Canada de Statistique Canada (CANSIM, tableau 326-0021)

Usage résidentiel

Les ménages consomment l'eau à des fins domestiques (p. ex. pour éteindre la soif, pour cuisiner, pour laver). Les ménages accordent habituellement une valeur au fait d'avoir accès à de l'eau en quantité suffisante, mais également à la qualité de cette eau ainsi qu'à la fiabilité de son approvisionnement. Lors d'une diminution de l'offre de l'eau, les ménages peuvent expérimenter une baisse de la pression d'eau : les éviers et baignoires prennent plus de temps à se remplir, les électroménagers qui utilisent de l'eau (comme les machines à laver) prennent plus de temps pour opérer, les arroseurs automatiques fonctionnent plus lentement ou envoient l'eau moins loin, etc. Lors d'une circonstance plus extrême, par exemple la perte des moyens de production ou de transport pendant une période étendue, la coupure du service d'eau peut se produire. La valeur de l'eau pour les usages résidentiels est donc associée avec le fait d'avoir de l'eau en quantité et qualité suffisante, et pour maintenir la fiabilité du service d'approvisionnement d'eau.

Rollins *et al.* (1997), en collaboration avec *Environnement Canada* et l'*Université Guelph*, ont évalué la volonté de payer (VDP) des consommateurs canadiens d'avoir accès à de l'eau municipale de qualité et de quantité suffisante. L'étude porte sur les données d'une enquête pancanadienne menée auprès de 1 511 ménages en janvier 1996 et mesure, au moyen d'une évaluation contingente (traitement économétrique de la base de données), les montants additionnels que sont prêts à déboursier (VDP) les consommateurs selon leur province d'origine. Selon les résultats obtenus, la volonté de payer au Québec était de 26,97 \$ par mois par ménage en 1996, soit un équivalent de 443 \$ par ménage par an en dollars de 2012.

Gardner Pinfold *et al.* (2006) ont estimé la valeur économique totale de l'eau liée à son usage résidentiel dans la région du bassin de la rivière Saskatchewan Sud (SSRB) au Canada. De ce montant, ils distinguent la portion attribuable aux dépenses monétaires des ménages, du surplus du consommateur, c'est-à-dire la VDP additionnelle pour avoir accès à de l'eau propre et en quantité suffisante. Cette dernière a été évaluée à 360,78 \$ par ménage par an en dollars de 2005, soit un équivalent de 410,34 \$ par ménage par an en dollars de 2012. Rollins *et al.* (1997) ont étudié la VDP de l'eau selon la méthode par préférence exprimées, tandis que Gardner Pinfold *et al.* (2006) selon l'approche de la variation de production. Il est intéressant de constater que ces deux études présentent des résultats similaires et cohérents malgré l'utilisation de deux méthodes différentes.

Une autre façon d'évaluer la valeur de l'eau résidentielle est d'approcher la question par la dimension de gestion de risque de l'alimentation en eau, c'est-à-dire le risque de coupure d'eau. Barakat et Chamberlin (1994) ont cherché à identifier, au nom de « *California Urban Water Agencies* », la valeur que les usagers résidentiels placent sur la fiabilité de l'approvisionnement en eau, en particulier les montants qu'ils sont prêts à déboursier pour éviter des pénuries d'eau d'importance et de fréquence variables. Ils ont estimé qu'en Californie, les ménages avaient une VDP pour éviter des coupures d'eau qui se situaient entre 240\$ et 350\$ par ménage en dollars 2012 par an selon différents scénarios de coupures³. Griffin et Mjelde (2000) se sont prêtés au même exercice au Texas, et ont estimé que les ménages avaient une volonté de payer qui se situaient entre 170 \$ et 200 \$ par ménage en dollars 2012.

L'organisation *Ecosystem Economics* (Aylward *et al.*, 2010) a préparé pour le compte de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (UN FAO) une méta-analyse des études sur la valeur économique de l'eau. Ils ont ainsi examiné 63 études fournissant un total de 181 estimations de la valeur de l'eau selon différents usages, localisations et contextes. Cette méta-analyse intègre notamment 32 études portant sur l'Amérique du Nord, dont 15 sur le Canada. Parmi ces 32 études, neuf se concentrent sur la valeur résidentielle de l'eau. Cependant, plusieurs études estiment la VDP pour avoir accès à de l'eau potable sans préciser la quantité utilisée. Ce constat est problématique sur le plan méthodologique, puisque les valeurs d'utilisation sont sensibles aux variations de quantité. Afin de contourner le problème, les auteurs ont converti les estimations sur une base commune à partir de la classification de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui précise la quantité d'eau nécessaire selon son usage domestique. Ce cadre a permis aux auteurs d'appliquer un volume précis aux valeurs de l'eau estimées.

³ Les différents scénarios de coupures variaient selon deux critères : le % de réduction d'approvisionnement en eau par rapport à un service totalement efficient (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) et la fréquence de coupures par groupe d'années (1/30, 1/20, 1/10, 1/5, 1/3).

Dans la littérature évaluée par Aylward et al (2010)., la valeur de l'eau est souvent estimée lorsqu'on passe d'un «accès de base» à un «accès intermédiaire", ce qui correspond à une augmentation moyenne du volume d'eau consommé de 30 litres par personne et par jour. Ces hypothèses ont permis la directe comparaison des valeurs estimées pour « l'accès » à l'eau potable sur une base de volume comparable (\$/m³). Dans le contexte de la présente étude, il est intéressant de se limiter aux valeurs obtenues en Amérique du Nord, les contextes des autres continents étant très différents. Donc, selon la méta-analyse, la valeur de l'eau à usage domestique en Amérique du Nord a donc été estimée en moyenne à 1,194\$/m³ en dollars canadiens de 2012.

Renzetti (1999, 2009) propose une manière alternative aux méthodes d'obtention des VDP pour valoriser l'eau à usage résidentiel. À l'aide de la méthode de variation de production, Renzetti a évalué le coût marginal de l'eau résidentielle au Canada à l'aide d'une analyse économétrique des bases de données canadiennes. Le coût marginal correspond au coût de la production d'une unité supplémentaire, soit d'un mètre cube d'eau. Renzetti a estimé en 1999 le coût marginal de l'eau résidentielle en Ontario à 1,138\$/m³ en dollars canadiens de 2012. Dix ans plus tard, le coût marginal de l'eau municipale au Canada fut évalué à 1,48 \$/m³ en dollars canadiens de 2012. L'augmentation observée de la valeur peut-être attribuable à la zone géographique considérée.

Le Tableau 3.1 résume les résultats obtenus de la revue de la littérature sur l'évaluation de la valeur de l'eau liée à l'usage direct, résidentiel. Les valeurs sont présentées en dollars canadiens de 2012, et ont été converties lorsque nécessaires au \$ / m³ pour fournir une base de comparaison. Les méthodes d'évaluation économiques utilisées par ces études, ainsi que les régions de l'étude, sont également présentées.

Il est intéressant de noter que la VDP pour éviter une coupure d'eau obtenue par Barakat et Chamberlin (1994), ainsi que celle par Griffin et Mjelde (2000) sont significativement inférieures à celles de Rollins *et al.* (1997), Gardner Pinfold et al. (2006) et d'Aylward et al. (2010). Les résultats de la deuxième série d'études semblent plus pertinents. Les résultats de Barakat et Chamberlin (1994) et de Griffin et Mjelde (2000) ont été obtenus pour des localisations au climat chaud et faisant régulièrement face à des périodes de sécheresse, comme la Californie ou le Texas. Ces résidents ont développé des moyens de faire face à de telles ruptures de services (p. ex. réservoirs d'eau pluviale), atténuant leur volonté de payer pour éviter de telles circonstances.

Pour conclure, la valeur de l'eau en lien avec l'usage résidentiel pertinent au contexte de la présente étude se situe **entre 1,138 \$/m³ et 1,48 \$/m³** en dollars canadiens de 2012, pour une valeur moyenne⁴ de **1,282 \$/m³** en dollars canadiens de 2012.

***Note sur la conversion des résultats de certaines études (VDP en \$/ménage/an) vers un équivalent \$/m³ au Québec**

Si l'on considère que :

- selon l'Enquête sur l'eau potable et les eaux usées des municipalités, 2009, d'Environnement Canada, la consommation moyenne journalière en eau municipale est de 386L/jr au Québec, soit 0,386 m³/jr ou 140,89 m³/an.
- la taille moyenne d'un ménage au Québec est de 2,33 habitants, calculée ainsi : taille moyenne d'un ménage au Québec = Population au Québec / nombre de ménages au Québec. Selon les chiffres publiés par l'ISQ (Recensement 2011), la taille moyenne d'un ménage au Québec = 7 903 001 ÷ 3 395 345 = 2,33.

Alors, la consommation moyenne des ménages au Québec est de 328,27 m³/an. En divisant la volonté à payer (en \$/ménage par an) par ce chiffre, on obtient un équivalent en \$/m³.

⁴ Moyenne des valeurs pertinentes par rapport au contexte de la présente étude: 1,350\$/m³, 1,250\$/m³, 1,194\$/m³, 1,138\$/m³ et 1,480\$/m³.

Tableau 3-1 Résultats des valeurs de l'eau pour les usages résidentiels directs

Valeur de l'eau à usage résidentiel	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Équivalent \$/m ³ au Québec*	Méthode(s)	Région de l'étude	Source
Résultats par VDP					
VDP pour avoir de l'eau de manière fiable au Québec, en plus des dépenses existantes	443,04 \$/ménage/an	1,350 \$/m ³	Préférences exprimées	Canada, Québec et autres provinces	Rollins <i>et al.</i> (1997)
VDP pour avoir de l'eau propre en quantité, en plus des dépenses existantes	410,34 \$/ménage/an	1,250 \$/m ³	Variation de production	Canada, Saskatchewan	Gardner Pinfold <i>et al.</i> (2006)
VDP pour éviter une coupure d'eau (<i>différentes valeurs selon les scénarios de coupure qui varient en fonction de l'importance et la fréquence de la coupure</i>)	240,12 à 349,32 \$/ménage/an	0,731 à 1,064 \$/m ³	Préférences exprimées	États-Unis, Californie	Barakat et Chamberlin (1994)
VDP pour éviter une coupure d'eau	171,24 à 197,40 \$/ménage/an	0,522 à 0,601 \$/m ³	Préférences exprimées	États-Unis, Texas	Griffin et Mjelde (2000)
Valeur de l'eau (VDP convertie sur une base volumétrique) à usage domestique (Amérique du Nord)	Min : 0,328 \$/m ³ Max : 2,416 \$/m ³ Moyen : 1,194 \$/m ³		Transfert des bénéfices et Préférences exprimées	Amérique du Nord	Aylward <i>et al.</i> (2010)
Résultats par coût marginal					
Coût marginal de l'eau résidentielle (Ontario)	1,138 \$/m ³		Variation de production	Canada, Ontario	Renzetti (1999)
Coût marginal de l'eau municipale (Canada)	1,48 \$/m ³		Variation de production	Canada	Renzetti (2009)

Usages industriel et commercial

L'identification des valeurs liées aux usages industriels proviennent de deux principales études, la première de type meta-analyse, et la deuxième d'une analyse d'une base de données canadiennes sur les entreprises. Il est important de souligner que la valeur de l'eau pour les industries tend à être très variable en fonction des caractéristiques propres (p.ex. type, taille). Notamment en ce qui a trait à l'apport particulier de l'eau dans leurs processus de production ou de vente (p. ex. nécessaire au processus de production ou l'incorporation dans les produits), l'origine de la source d'eau (p. ex. approvisionnement directe des sources ou par des infrastructures municipales), de même que les technologies employées (p.ex. mesures d'efficacité ou de recirculation d'eau). Le choix d'une meta-analyse, ainsi qu'une analyse sur une grande base de données permettent un relevé rapide des données disponibles.

Aylward *et al.*, (2010), dont les résultats de leur méta-analyse sur les valeurs résidentielles de l'eau ont été présentés dans la précédente section, offrent également une synthèse des valeurs industrielles de l'eau. Parmi les 32 études en Amérique du Nord recensées, 14 sont en lien avec l'usage industriel. Toutes les valeurs associées à l'utilisation industrielle de ces études ont été estimées à l'aide de la méthode de la variation de production en utilisant de grandes bases de données d'informations sur l'utilisation de l'eau et les données financières des entreprises. Ces estimations de valeur s'étendent de 0,013 \$/m³ à 0,369 \$/m³, avec une valeur moyenne de **0,079 \$/m³** en dollars canadiens de 2012. Il est important de mentionner que la valeur maximale est associée aux industries de raffinement de pétrole, de charbon, de produits chimiques et de traitement des métaux. La valeur minimale est quant à elle associée aux industries de production des aliments, de caoutchouc et de textile.

Dachraoui et Harchaoui (2004) estiment la valeur de l'eau selon différents types d'industries et de commerces en utilisant également la méthode de variation de production. Ils ont cherché à comprendre le secteur industriel et commercial consommateur d'eau au Canada et à évaluer la contribution économique de l'eau en tant qu'intrant dans l'économie. Leur analyse est basée sur une évaluation économétrique d'une base de données environnementale KLEMS⁵ de Statistique Canada de type entrées-sorties (« input-output »). Cette dernière fournit

⁵ L'acronyme KLEMS désigne les entrées en terme de capital (K), de main-d'oeuvre (L, «labour»), d'énergie (E), de matériaux (M) et de services (S)

de l'information par industrie sur la production brute, les coûts de la main-d'œuvre, les coûts d'investissement capitaux, ainsi que l'utilisation d'eau par les industries (Dachraoui et Harchaoui 2004). L'étude ventile la valeur de l'eau selon les différents secteurs. Le coût marginal de l'eau à usage manufacturier au Canada a été estimé à **0,375\$/m³** en dollars canadiens de 2012, et celui à usage commercial à **0,626 \$/m³** en dollars canadiens de 2012.

Le tableau 3-2 résume les résultats des deux études considérées. Les valeurs sont présentées en dollars canadiens de 2012. Les méthodes d'évaluation économiques utilisées par ces études, ainsi que les régions de l'étude, sont également présentées.

Tableau 3-2 Résultats des valeurs de l'eau pour les usages industriels et commerciaux directs

Valeur de l'eau à usage industriel et commercial	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Méthode(s)	Région de l'étude	Source
Valeur brute de l'eau pour un usage industriel	Min : 0,013 \$/m ³ Max : 0,369 \$/m ³ Moyen : 0,079 \$/m³	Transfert des bénéfices et Variation de production	Amérique du Nord	Aylward <i>et al.</i> (2010)
Coût marginal de l'eau à usage commercial	0,626 \$/m³	Variation de production	Canada (Base de données 1981-1996)	Dachraoui et Harchaoui (2004)
Valeur de l'eau à usage manufacturier/Industrie de la fabrication	0,375 \$/m³	Variation de production	Canada (Base de données 1981-1996)	Dachraoui et Harchaoui (2004)

Pour conclure, la valeur de l'eau pertinente par rapport au contexte de la présente étude pour l'usage industriel est **0,227 \$/m³** en dollars canadiens de 2012, soit la moyenne des deux valeurs (**0,079 \$/m³** et **0,375 \$/m³**) provenant des deux principales études citées dans cette section. Pour l'usage commercial, la valeur est **0,626\$/m³** en dollars canadiens de 2012.

3.1.2 Les usages indirects

La valeur attribuable aux usages indirects peut être classée à l'intérieur de deux sous-catégories, soit les activités récréatives et touristiques en lien avec l'eau (p. ex. la pêche, la chasse, le bateau de plaisance, la baignade) et les services écosystémiques. En ce qui concerne les services écosystémiques, ce sont les composants et les processus naturels des écosystèmes qui fournissent des services et des biens qui sont bénéfiques pour les êtres humains. Les services écosystémiques en lien avec le fleuve Saint-Laurent incluent la régulation du climat (p. ex. modération des températures), la participation au cycle de vie des éléments nutritifs, la dilution des polluants, le filtrage, la rétention et le stockage de l'eau brut, le maintien de l'habitat d'une faune et d'une flore, ainsi que le maintien de la diversité génétique et biologique des espèces.

Le tableau 3-3 présente, à titre indicatif seulement, les valeurs attribuables aux usages indirects de l'eau. Il est important de souligner que les estimations n'ont pas été consolidées en ce moment. Tout d'abord, il est difficile d'additionner les valeurs associées à la récréation avec les valeurs attribuées aux services écosystémiques, considérant que ces deux aspects sont fortement inter reliés (Marbek 2010). Par exemple, la pêche récréative ou l'observation des animaux ne seraient pas possibles sans le maintien de l'habitat de la faune et la flore. La biodiversité est pour sa part maintenue grâce au bon fonctionnement des cycles nutritifs. D'ailleurs, il n'est pas encore certain comment les impacts des changements climatiques sur les infrastructures des eaux usées vont impacter, perturber, ou rendre impraticable ou non-fonctionnel les activités récréotouristiques, ou les composants et les processus naturels des écosystèmes qui fournissent des services écosystémiques (NRC 2005).

Tableau 3-3 Résultats des valeurs de l'eau pour des usages indirects de l'eau

Usages indirects	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Méthode(s)	Région de l'étude	Source
Activités récréatives et touristiques				
Pêche récréative				
Dépenses par jour de pêche récréative	9,60 \$ à 165 \$ par jour de pêche	Basées sur les coûts	Credit Valley Watershed, Ontario, Canada	DSS Management Consultants Inc. (2008)
VDP pour permettre la pêche récréative	29\$ à 60\$/ménage/an	Préférences exprimées	Hamilton Harbour, Ontario, Canada	Dupont et Renzetti (2005)
Valeur attribuable à tous les achats et investissements liés à la pêche récréative effectués par tous les pêcheurs du Québec	754 320 002\$/an au Québec	Variation de production	Québec, Canada	Pêche et Océans Canada (2010)
Bateau de plaisance				
VDP pour avoir de l'eau de qualité navigable	8,72\$/jour d'activité pour un utilisateur passif 46,03\$/jour d'activité pour un utilisateur actif	VDP – Approche par préférences exprimées	Hamilton Harbour, Ontario, Canada	Dupont et Renzetti (2005)
Valeur récréative en lien avec le bateau (à moteur ou sans moteur)	40.48\$ à 59.38\$/personne par jour d'activité	Transfert des bénéfices	Principalement États-Unis	Rosenberger et Loomis (2001)
Plages et rivages				
Montant dépensé par journée à la plage	54\$/ménage par jour de plage	Basées sur les coûts	Ontario Grands lacs	Krantzberg et De Boer (2006)
VDP pour pouvoir nager	36\$ à 110\$/ménage/an	VDP – Approche par préférences exprimées	Hamilton Harbour, Ontario, Canada	Dupont et Renzetti (2005)
Observation des oiseaux/animaux sauvages				
Surplus des consommateurs en lien avec l'observation des animaux sauvages	40,48\$/personne par jour d'activité	Transfert des bénéfices	Principalement États-Unis	Rosenberger et Loomis (2001)
Services écosystémiques				
Régulation de l'atmosphère (Balance de CO₂/O₂)				
Valeur annuelle de l'absorption de carbone des zones humides	14,89 \$/hectare	Transfert des bénéfices	Wilson (2008)	Lake Simcoe watershed wetlands, Ontario
Cycle des éléments nutritifs				
Valeur économique de contrôle des nutriments fournis par les zones humides	2 300 \$/hectare	Transfert des bénéfices	Wilson (2008)	Lake Simcoe watershed wetlands, Ontario
Habitats de la faune et la flore				
Valeur des écosystèmes des zones humides	1 366 \$/an/hectare	Transfert des bénéfices	Woodward and Wui (2001)	Meta-Analyse – 39 études américaines
Valeur de la protection de l'habitat et des espèces	845 \$/an/hectare	Transfert des bénéfices	Kazmierczak (2001)	Meta-Analyse – 8 études américaines
Valeur des écosystèmes des zones humides	282 \$/an/hectare	Transfert des bénéfices	Schuyt et Brander (2004)	Meta-Analyse – 89 études dans le monde

3.1.3 La valeur d'option

La valeur d'option correspond à la valeur que les consommateurs sont disposés à payer pour conserver la possibilité d'effectuer un jour un usage direct ou indirect de ce bien ou de ce service. Il n'est cependant pas toujours aisé de distinguer la valeur d'option de la valeur de conservation ou de la valeur d'existence, puisque les coûts nécessaires pour assurer la conservation de la ressource pour les générations futures ou la protection des écosystèmes sont en partie les mêmes que ceux qui sont nécessaires pour assurer une utilisation future de l'eau en quantité et en qualité suffisante. Il y a donc un risque de compter deux fois les mêmes bénéfices (Marbek

2010). Comme le concept de la valeur d'option est théorique et qu'il existe très peu de validation empirique, aucune valeur n'a été relevée pour cette catégorie dans la présente étude.

3.2 Valeur non liée à l'utilisation

La **valeur de non-utilisation** correspond au consentement à payer des individus et des entreprises pour préserver un bien qu'ils n'utilisent pas et qu'ils ne prévoient pas utiliser pour eux-mêmes dans l'avenir. Elle est composée de la valeur accordée à la conservation de l'eau et à la valeur accordée à la simple existence de l'eau.

3.2.1 Valeur de conservation

La recherche sur la valeur de conservation tente à estimer surtout la VDP pour l'amélioration ou la non-détérioration d'un bien (l'eau) environnemental. La VDP a été surtout mesurée à l'aide d'enquêtes et de sondages liés à des zones géographiques définies. Dans les études de relevé primaires, la région et la taille du territoire couvert ont une influence importante sur les valeurs obtenues. Cependant, la VDP canadienne pour l'amélioration de la qualité des eaux de surface a aussi été mesurée dans le cadre de méta-analyses. Ces études ont synthétisé toutes les données d'évaluations nord-américaines antérieures pour produire des valeurs de VDP moyennes selon un vaste éventail de scénarios d'amélioration ou la non-détérioration. Une méta-analyse permet d'obtenir des valeurs synthèses, moins liées aux caractéristiques localisées.

Johnston et Thomassin (2010) présentent une méta-analyse combinant des études menées au Canada et aux États-Unis qui estiment la volonté de payer des ménages pour améliorer la qualité de l'eau de manière à favoriser les habitats de vie aquatique et les usages récréatifs. La méta-analyse inclut 97 observations répertoriées dans 36 études publiées entre 1981 et 2003. Parmi ces études, 16 observations proviennent d'études canadiennes. Ils ont ainsi pu estimer la volonté de payer canadienne pour l'amélioration de la qualité des eaux de surface à 25,73 \$/ménage/an en dollars américains de 2002, soit **33,10 \$/ménage/an** en dollars canadiens de 2012.

Ge, Kling et Herriges (2013) ont aussi publié une méta-analyse. Ils ont examiné plus de 100 études et retenus 38 de ces études totalisant 332 observations relatives à la volonté de payer des pour l'amélioration de la qualité de l'eau d'un site donné. Puisque les études recensées utilisent différentes méthodes pour quantifier la qualité de l'eau, les auteurs ont développé une méthode permettant de convertir les différents indicateurs de qualité de l'eau utilisés en un indice de qualité de l'eau uniformisé. Les résultats démontrent que pour 10 points d'amélioration (sur un total de 100 points) de l'indicateur de qualité de l'eau, la VDP des ménages augmente de 45\$/ménage en dollars américains de 2010, soit un équivalent de 55\$/ménage en dollars canadiens de 2012. Les résultats démontrent également que la VDP est plus élevée pour les lacs et les estuaires que pour les rivières et qu'elle est plus faible pour améliorer la qualité de l'eau que pour éviter sa dégradation. Enfin, la taille du site affecté et de la région enquêtée auraient des effets importants sur la VDP. La taille du site aurait un effet positif, tandis que la taille de la région aurait un effet négatif. Ces résultats pourraient être attribuables à l'accessibilité, qui est mieux lorsque le site est plus grand, mais plus restreint lorsque la région considérée est grande. Comme le corridor du fleuve de la présente étude est un bassin hydrologique très grand, avec une population qui vit plutôt proche du plan d'eau, il y a lieu de croire que la VDP pour éviter la dégradation de l'eau sera **supérieure à 55\$ par ménage par an**.

En 2008, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC, le MDEEP en 2008) a mené une étude pilote en 2008 utilisant des modèles et un sondage en ligne pour déterminer la valeur que les résidents accordent à des améliorations précises des habitats dans certains affluents du fleuve Saint-Laurent au Québec. Trois scénarios ont été présentés. Ils portaient sur des améliorations environnementales permettant d'atteindre un niveau allant de « bon » à « excellent » pour la qualité de l'eau, la diversité et la valeur esthétique du paysage ainsi que les habitats des oiseaux et du poisson. Pour améliorer la qualité de l'eau, les répondants ont indiqué être prêts à payer jusqu'à 59 \$ par personne par an en dollars canadiens de 2008, soit un équivalent de 62,93 \$ en dollars 2012. Pour des améliorations liées à la diversité et à la valeur esthétique du paysage, les répondants étaient disposés à payer 79 \$ par personne par an en dollars 2008, soit un équivalent de 84,26 \$ en dollars 2012.

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a conçu des indicateurs agroenvironnementaux afin de mieux évaluer les biens et services rendus par les écosystèmes écologiques. Selon la synthèse des études nord-américaines effectuée par AAC, il est possible de mettre sur pied un modèle empirique qui prévoit les valeurs de la VDP des ménages en fonction de différents scénarios de niveaux de qualité de l'eau. L'étude conclut que la VDP annuelle canadienne des ménages pour passer d'une eau sur laquelle il est possible de naviguer à une eau propice à la pêche ou à la baignade serait de 101 \$ en dollars de 2008, soit un équivalent de **107,73 \$** en dollars canadiens de 2012.

Admowicz *et al.* (2005) évaluent la valeur accordée à une meilleure qualité de l'eau dans le secteur de la santé, soit plus précisément la réduction des risques de contamination microbienne et des cas de cancer. L'étude démontre que la VDP canadienne annuelle par ménage pour éviter de tels risques serait de 294 \$ en dollars de 2005, soit un équivalent de **334 \$/ménage/an** en dollars canadiens de 2012.

Ces diverses estimations sont présentées au tableau 3-4. À des fins de comparaisons, les valeurs sont présentées en dollars canadiens de 2012 et converties lorsque nécessaires en dollar / m³ pour fournir une base de comparaison. Les méthodes d'évaluation économiques utilisées par ces études, ainsi que les régions de l'étude, sont également présentées.

Tableau 3-4 Résultats des valeurs de l'eau liés à sa conservation

Estimation de la VDP	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Méthode(s)	Région de l'étude	Source
VDP au Canada pour l'amélioration de la qualité des eaux de surface	33,10 \$/ménage/an	Préférences exprimées et transfert de bénéfices	Meta-Analyse EU & Canada	Johnston et Thomassin (2010)
VDP pour améliorer la qualité de l'eau ou éviter sa dégradation de 10 points sur 100	55,09 \$/ménage/an	Préférence révélée (coûts de transport, prix hédonique), préférences exprimées et transfert de bénéfices	Meta-Analyse EU	Ge, Kling et Herriges (2013)
VDP au Québec pour l'amélioration de la qualité de l'eau	62,93 \$/personne/an Équi ⁶ : 146,43 \$/ménage/an	Préférences exprimées	Québec, Canada	Agriculture et Agroalimentaire Canada (2010)
VDP au Québec pour préserver la diversité et la valeur esthétique du paysage	84,26 \$/personne/an Équi : 196,33\$/ménage/an			
VDP au Canada pour passer d'une eau navigable à propice à la baignade	107,73 \$/ménage/an	Transfert de bénéfices	Canada	MDDEFP (2013)
VDP au Canada pour avoir de l'eau propre réduisant les risques d'infections microbiennes et de cancer	334 \$/ménage/an	Préférences exprimées	Canada	Admowicz, Dupont, Krupnick (2005)

L'écart observé entre les valeurs apparaît logique considérant la diversité des définitions employée pour caractériser une « eau de qualité » (et ses niveaux de qualité) ainsi que les difficultés à mesurer la valeur de conservation. Ces études apparaissent toutes applicables au contexte de la présente étude sur le fleuve Saint-Laurent puisqu'elles sont soit des méta-analyses nord-américaines ou des études appliquées au Québec ou au Canada. En éliminant les valeurs extrêmes (33,10 \$ \$/ménage/an et 334\$/ménage/an), la VDP moyenne serait de **126,44 \$/ménage/an** en dollars canadiens de 2012.

3.2.2 Valeur d'existence

Le concept de la valeur d'existence demeure largement théorique, à l'exception de certaines études qui portent sur des zones naturelles particulières. Sutherland et Walsh (1985) présentent un poids relatif pour chacune des valeurs non liées à l'utilisation de l'eau. Les valeurs non liées à l'utilisation semblent avoir un poids plutôt égal, avec la valeur de l'existence (13% de la VET) et de conservation étant légèrement plus élevées (13% de la VET) que la valeur d'option (11% de la VET).

⁶ Équivalent calculé en supposant que la taille moyenne d'un ménage au Québec est de 2,33 habitants

Ce concept comporte d'importantes lacunes d'information, tant en ce qui a trait à la nature des bénéfices que sur les interrelations qu'ils peuvent présenter. Certains chercheurs estiment notamment que la valeur d'existence demeurerait partiellement ou totalement incluse dans la valeur de conservation lorsqu'elle est évaluée empiriquement, bien que la distinction entre ces deux concepts soit claire sur le plan théorique (Marbek, 2010).

Par souci d'avoir une approche conservatrice et de ne pas surestimer la valeur de l'eau, la valeur d'existence est considérée incluse dans les autres valeurs estimées et donc ne sera pas intégrée dans la présente étude.

4 Conclusion

Le tableau suivant présente un sommaire des valeurs tirées d'une revue de la littérature réalisée dans le cadre de la présente étude. Ces valeurs sont présentées selon les catégories du cadre conceptuel de la valeur économique totale.

Il faut souligner qu'aucune valeur n'a été attribuée à la valeur d'utilisation indirecte, d'option ou d'existence. Dans le premier cas, cette étude n'a pu additionner les valeurs associées à la récréation avec les valeurs attribuées aux services écosystémiques, puisque ces deux aspects sont fortement inter reliés. Il est également difficile d'estimer comment les impacts des changements climatiques sur les infrastructures des eaux usées vont impacter, perturber, ou rendre impraticables ces usages indirects de l'eau. La valeur d'option, quant à elle, est théorique et il existe très peu de validation empirique. Dans le cas de la valeur d'existence, elle est considérée déjà incluse dans les autres valeurs estimées.

Tableau 4-1 Sommaire des valeurs estimées dans le cadre de la VET

Composantes de la valeur économique totale de l'eau	Valeur estimée (en \$ CA de 2012)	Intervalle pour l'analyse de sensibilité
Valeur d'utilisation		
Usages directs		
• Résidentiel	1,282 \$ / m ³	1,138 – 1,48 \$ / m ³
• Commercial	0,626 \$ / m ³	n/d (possibilité de ±10%)
• Industriel	0,227 \$ / m ³	0,079 – 0,375 \$ / m ³
Usages indirects		
• Récréation	n/d	n/d
• Services écosystémiques	n/d	n/d
Valeur d'option	n/d	n/d
Valeur non liée à l'utilisation		
Valeur de conservation	126,44 \$ / ménage / an	55,09 – 196,33 \$ / ménage / an
Valeur d'existence	n/d	n/d

5 Références

- Adamowicz, Dupont, Krupnick (2005), Willingness to Pay to Reduce Community Health Risks from Municipal Drinking Water: A Stated preference Study, Final Report to the United States Environmental Protection Agency.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2010, L'agriculture écologiquement durable au Canada, Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, Rapport n3
- Aylward, Seely, Hartwell, Dengel (2010), The Economic Value of Water for Agricultural, Domestic and Industrial Uses: A global Compilation of Economic Studies and Market prices, Ecosystem Economics, prepared UNFAO
- Barakat & Chamberlin, Inc., 1994, The Value of Water Supply Reliability: Results of a Contingent Valuation Survey of Residential Customers, Sacramento CA: California Urban Water Agencies
- Boardman et al. (2006) Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, Third Edition, New Jersey, Pearson Editions, 560 p.
- Dachraoui, Harchaoui (2004), Water Use, Shadow Prices and The Canadian Business Sector Productivity Performance, publié par le Ministère de l'industrie pour Statistique Canada, 11F0027MIE No. 026
- Dupont et Renzetti (2005), « Cost-Benefit Analysis of Water Quality Improvements in Hamilton Harbour, Canada » In Brouwer et Pearce (Eds). Cost-Benefit Analysis and Water Ressources, Edward Elgar Publishing, Pages: 195-222.
- DSS Management Consultants Inc (2008). "The Credit Watershed: Social, Economic and Environmental Services Provided to the Watershed Community: Valuation of Angling". Final report submitted to Credit Valley Conservation.
- Gardner Pinfold Inc. in association with Kurt Klein Group and M. Weber, 2006, Natural Capital – Value of Water, South Saskatchewan River Basin in Alberta, Report prepared for the Government of Alberta
- Ge, Kling, Herriges (2013), How much is clean water worth? Valuing Water quality improvement using a meta analysis, Meta Analysis in US - 38 distinct studies
- Griffin, Mjelde, 2000, Valuing Water Supply Reliability, American Journal of Agricultural Economics 82:414-426
- Johnston et Thomassin (2010), Willingness to pay for water quality improvements in the United-States and Canada: Considering possibilities for the International meta-analysis and benefit transfer, Agricultural and Resource Economics Review 39/1 114-131
- Krantzberg et De Boer (2006). A valuation of Ecological Services in The Great Lakes Basin Ecosystem to Sustain Healthy Communities and a Dynamic Economy, Prepared for the Ontario Ministry of Natural Ressources.
- Marbek (2010), Economic Value of Protecting the Great Lakes - Literature Review Report, Ontario Ministry of the Environment
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 2013, Étude d'impact économique portant sur le règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées
- NRC. *Valuing Ecosystem Services, Toward Better Environmental Decision-Making*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2005.
- OCDE (2006), Analyse coûts-bénéfices et environnement : Développements récents, réalisé par Pearce, Atkinson et Mourato, Éditions de l'OCDE, 335 p.
- Pêches et Océans Canada (2010), Enquête sur la pêche récréative au Canada, Catalogue No. Fs42-1/2010F
- Revéret, Jean-Pierre, Jérôme Dupras, et Jie He. *L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques*. Montréal: Ouranos, 2013.
- Rollins, Frehs, Tate, Zachariah, 1997, Resource valuation and public Policy: Consumers' Willingness to Pay for Improving Water Service Infrastructure, Canadian Water Resources Journal
- Rosenberger et Loomis (2001), Benefit Transfer of outdoor Recreation Use Values, US Department of Agriculture, Forest Service.
- Sutherland et Walsh (1985), Effect of Distance on the Preservation of Water Quality, Lands Economics 61 :281-291
- Wilson (2008), Lake Simcoe Basin's Natural Capital: The Value of the Watershed's Ecosystem Services, Préparé pour The David Suzuki Foundation, The Lake Simcoe Region Conservation Authority, The Friends of the Greenbelt Foundation Occasional Paper Series.
- Woodward et Wui (2001), The economic value of wetland services: a meta-analysis, Ecological Economics 37 :257-270

Annexe E
Memoranda d'avancement

Cette annexe est exclue de la version publique de ce rapport.

Annexe F
Principes de base d'une analyse
coûts-avantages

Principes de base d'une analyse coûts-avantages

Les principes de base qui régissent une analyse coûts-avantages sont les suivantes :

- **Avantages** - Les avantages positifs directs ou indirects générés par un projet. Ils sont déterminés de façon marginale, c'est-à-dire qu'ils représentent les avantages positifs additionnels dans un état « avec solution d'adaptation » par rapport à un état « sans solution d'adaptation » (scénario de statu quo avec changements climatiques). Le scénario de statu quo ne suppose pas un futur sans changement climatique, mais plutôt un futur sans mesure visant à atténuer les impacts de ces changements. Dans cette étude, la capacité des solutions d'adaptation à diminuer les pénuries d'eau, ou à améliorer la qualité des eaux usées rejetées dans le fleuve, constitue les bénéfices des solutions d'adaptation.
- **Coûts** - Les coûts de réalisation des solutions d'adaptation, qui incluent les coûts d'investissement, d'opération et d'entretien, d'administration, de même que ses impacts négatifs directs et indirects. Comme pour les avantages, ils sont déterminés de façon marginale.
- **Comparaison** - Afin de pouvoir être comparés, les avantages et les coûts d'une solution d'adaptation doivent être mesurés sur la base d'une unité commune. Afin d'éviter de comparer des coûts et avantages dans le temps dont les prix seraient augmentés par l'inflation, ces derniers sont mesurés en dollars constants de l'année de référence.
- **Actualisation** - Bien que les avantages et les coûts soient comptabilisés au moment où ils se réalisent ou sont encourus, ils doivent être actualisés afin de prendre en compte la valeur temporelle de l'argent. Cette notion reflète le fait que, généralement, un dollar dépensé aujourd'hui vaut plus qu'un dollar dépensé dans le futur. Dès lors, l'actualisation permet d'évaluer la valeur des avantages et des coûts d'un scénario d'adaptation au moment de la prise de décision quant à la réalisation de ce scénario. Le taux d'actualisation représente le poids que l'on donne aux répercussions futures d'une solution d'adaptation. Plus ce taux est élevé, moins les répercussions futures prennent de l'importance dans l'AAC.
- **Horizon temporel** - L'AAC est effectuée sur un horizon temporel donné. La durée de la période d'analyse correspond généralement à la durée de vie des ouvrages considérés. Puisque la durée de vie des différents ouvrages est variable, le modèle peut considérer le remplacement de certains ouvrages ainsi que leur valeur résiduelle.
- **Société** - La société visée correspond à la collectivité des individus qui contribuent à payer pour la réalisation du scénario d'adaptation et qui sont susceptibles d'être affectés par ses avantages et coûts directs et indirects.
- **Rentabilité économique** - Ce concept implique trois éléments :
 - Premièrement, la valeur économique réelle d'un projet pour une collectivité donnée;
 - Deuxièmement, la valeur actualisée de ses avantages doit dépasser la valeur actualisée de ses coûts;
 - Troisièmement, l'AAC permet de comparer divers projets ou scénarios visant un ou plusieurs objectifs. En effet, le scénario optimal ou le plus avantageux sera celui qui présente la rentabilité sociale la plus élevée.

L'analyse utilisera deux critères de comparaison, soit la valeur actualisée nette (VAN), et le ratio avantages-coûts (A/C). Ces méthodes sont décrites comme suit.

❖ Valeur actualisée nette (VAN)

La valeur actualisée nette (VAN) d'un projet correspond au bilan de la somme de ses avantages actualisés moins la somme de ses coûts actualisés. Elle se calcule selon la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{Avantages_t}{(1 + \rho)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{Coûts_t}{(1 + \rho)^t}$$

où ρ est le taux d'actualisation et T est la durée de la période d'analyse.

Une valeur actualisée nette supérieure à zéro signifie que les avantages engendrés par le projet dépassent ses coûts, donc que celui-ci est économiquement rentable. À l'inverse, une valeur actualisée nette négative implique que le projet n'est pas avantageux pour la société.

❖ Ratio avantages-coûts (A/C)

Le ratio avantages-coûts (A/C) d'un projet correspond au ratio de la somme de ses avantages actualisés sur la somme de ses coûts actualisés. Il se calcule selon la formule suivante :

$$A/C = \sum_{t=1}^T \frac{Avantages_t}{(1+\rho)^t} \div \sum_{t=1}^T \frac{Coûts_t}{(1+\rho)^t}$$

où ρ est le taux d'actualisation et T est la durée de la période d'analyse.

Un ratio avantages-coûts supérieur à un (1) signifie que les avantages engendrés par la solution d'adaptation dépassent ses coûts, donc que celle-ci est économiquement rentable. À l'inverse, un rapport avantages-coûts inférieur à un (1) implique que la solution d'adaptation n'est pas avantageuse pour la société.

Dans le cas d'une comparaison entre deux solutions d'adaptation, on aura recours à la fois au ratio avantages-coûts et à la VAN. En effet, on peut obtenir une VAN plus élevée en augmentant à la fois les coûts et les avantages sans que ce soit la solution la plus avantageuse. Dans ce cas, l'utilisation du ratio avantages-coûts permet de déceler le biais lié à la taille.



À propos d'AECOM

AECOM est une des plus importantes firmes pleinement intégrées de services professionnels et techniques, capable d'assurer la conception, la construction, le financement et l'exploitation d'infrastructures dans le monde entier pour des clients des secteurs public et privé. L'ensemble des employés de l'entreprise, incluant des architectes, des ingénieurs, des concepteurs, des planificateurs, des scientifiques et des professionnels de la gestion et des services de construction, répondent au besoin de clients dans plus de 150 pays. AECOM est classée au premier rang des entreprises de conception et de génie selon le palmarès annuel de l'industrie du magazine *Engineering News-Record*, et a été reconnue par le magazine *Fortune* comme une des entreprises les plus admirées du monde. La société est un leader sur tous les marchés clés qu'elle sert, notamment le transport, le bâtiment, l'environnement, l'énergie, le pétrole et le gaz, les immeubles de grande hauteur, l'eau et les services gouvernementaux. AECOM allie portée mondiale et connaissances locales, innovation et excellence technique afin d'offrir des solutions personnalisées et créatives répondant aux besoins des projets des clients. Classées dans la liste des entreprises du *Fortune 500*, les sociétés d'AECOM, incluant URS Corporation et le groupe Hunt Construction, ont enregistré des revenus d'environ 19 milliards de dollars pour la période de douze mois se terminant le 30 juin 2015.

Des renseignements supplémentaires sur AECOM et ses services sont disponibles au www.aecom.ca