



## ESTIMATION DU RETOUR SUR INVESTISSEMENT POUR LES INFRASTRUCTURES EN EAU AU QUÉBEC

RÉALISÉ POUR



RAPPORT FINAL

OCTOBRE 2021

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

**Bertrand Montel**, directeur scientifique des études économiques, Groupe AGÉCO  
**Kristelle Audet**, conseillère, Groupe AGÉCO.

**Philippe Derome**, étudiant, HEC Montréal.

**Justin Leroux**, expert externe, professeur titulaire au département d'économie appliquée de HEC Montréal.

## AVEC LA COLLABORATION DE

**Mathieu Laneuville**, Réseau Environnement.

**Marc Didier Joseph**, CERIU.

Des villes de **Montréal, Laval, Longueuil** et **Québec**.

**Des experts** de Réseau Environnement et de Polytechnique Montréal.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>Contexte et mandat confié .....</b>	<b>1</b>
1.1	Contexte .....	1
1.2	Mandat .....	2
<b>2.</b>	<b>Cadre méthodologique .....</b>	<b>3</b>
2.1	Approche générale .....	3
2.2	Catégorisation des investissements et trajectoire d'investissement .....	3
2.3	Définition des scénarios .....	4
2.4	Choix de l'horizon temporel .....	5
2.5	Détermination du taux d'actualisation .....	5
2.6	Identification des profits .....	6
2.7	Enjeux méthodologiques.....	7
2.7.1	Temporalité des profits.....	7
2.7.2	Part des profits.....	7
2.7.3	Transfert de profits .....	7
<b>3.</b>	<b>Définition des trajectoires d'investissement .....</b>	<b>8</b>
3.1	Investissement d'entretien .....	8
3.2	Investissement de rattrapage .....	8
3.3	Investissement d'amélioration.....	9
3.4	Scénarios de trajectoire d'investissement .....	11
<b>4.</b>	<b>Calculs des bénéfices engendrés par les investissements de rattrapage et d'amélioration des infrastructures en eau .....</b>	<b>15</b>
4.1	Synthèse des résultats.....	15
4.2	Bénéfices liés aux coûts d'exploitation des infrastructures en eau.....	17
4.2.1	Estimation des performances .....	17
4.2.2	Coût d'exploitation des usines de traitement (Eau potable et eaux usées).....	18
4.2.3	Coûts directs des réparations sur canalisations .....	19
4.2.4	Coûts indirects des réparations sur canalisations .....	19
4.2.5	Coût des pertes en eau .....	21
4.2.6	Réduction du risque de rupture d'approvisionnement.....	21
4.3	Bénéfices reliés à l'amélioration de la santé humaine .....	23

4.3.1	Réduction de la contamination de l'eau potable par des agents pathogènes .....	24
4.3.2	Réduction des déversements d'eaux usées et des contaminations associées.....	24
4.3.3	Réduction éventuelle de la charge en perturbateurs endocriniens dans l'eau .....	26
4.3.4	Réduction de la contribution à l'antibiorésistance des agents pathogènes .....	27
4.4	Bénéfices reliés à l'amélioration de la santé des écosystèmes .....	28
4.4.1	Amélioration du traitement des eaux usées.....	28
4.4.2	Réduction de la charge en micropolluants des effluents de station d'assainissement .	29
4.4.3	Réduction de la charge en microplastique .....	29
4.5	Bénéfices reliés à la réduction des risques d'inondations reliés aux changements climatiques .....	30
4.6	Bénéfices liés à la réduction des risques de catastrophes.....	32
<b>5.</b>	<b>Synthèse des résultats .....</b>	<b>33</b>
5.1	Calcul du retour sur investissement pour le scénario Rattrapage 10 ans .....	33
5.2	Analyse de sensibilité .....	34
5.2.1	Taux d'actualisation .....	34
5.2.2	Paramètres d'évaluation des bénéfices et des profits .....	34
<b>6.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>38</b>
<b>Annexe I</b>	<b>.....</b>	<b>39</b>
A.1	Calcul des bénéfices associés à l'amélioration de la santé humaine .....	39
A.1.1	Réduction de la contamination de l'eau par des agents pathogènes .....	39
A.1.2	Réduction des déversements d'eaux usées et des contaminations associées .....	40
A.2	Calcul des bénéfices associés à l'amélioration des écosystèmes.....	42
	Réduction de la charge en micropolluants des effluents de station d'assainissement .....	42
A.3	Autres bénéfices .....	45
<b>Annexe II</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>49</b>

## 1. CONTEXTE ET MANDAT CONFIE

---

### 1.1 CONTEXTE

Les infrastructures en eau jouent un rôle déterminant dans le développement économique et social de nos régions, mais aussi pour la santé humaine et celle de nos écosystèmes.

Ces infrastructures englobent nos réseaux d'eau potable, d'eaux usées, d'eaux pluviales ainsi que les usines de traitement, stations de pompage, bassins et réservoirs. Les bris associés à ces infrastructures entraînent des conséquences importantes sur nos activités quotidiennes, tel qu'en témoignent les impacts des bris du réseau d'aqueduc sur la congestion routière ou ceux des avis d'ébullition pour les familles, les écoles, et les commerces.

La fourniture d'une eau de qualité à la population du Québec est un service essentiel. D'autre part, notre qualité de vie et la santé de notre économie s'appuient grandement sur le bon fonctionnement de nos infrastructures en eau. Des investissements importants et en continu sont donc nécessaires pour en assurer la qualité.

Malheureusement, les infrastructures en eau ont souffert d'un déficit chronique d'investissement au Québec au cours des dernières décennies. Par conséquent, les risques de défaillance sont substantiels pour nombre d'entre elles. En effet, le rapport le plus récent sur l'état des infrastructures en eau des municipalités du Québec pour 2020 (CERIU, 2021) mentionne que près de 30 % de la valeur de remplacement totale des actifs en eau est à risque de défaillance en ce moment. De cette portion, 11 % sont à risque de défaillance élevé ou très élevé et 19 % à risque de défaillance modéré. La valeur totale de remplacement de ces actifs à risque de défaillance est de plus de 41 milliards de dollars.

De plus, les impacts des changements climatiques sur les infrastructures en eau sont de plus en plus concrets et nécessiteront des investissements additionnels pour améliorer la résilience de notre réseau. En effet, les changements climatiques vont exercer une pression grandissante sur les infrastructures en eau du Québec, particulièrement sur la gestion des eaux pluviales et les ouvrages de surverses.

Afin de limiter les impacts des changements climatiques sur le bien-être des Québécois et sur les écosystèmes du Québec, les infrastructures en eau du Québec doivent être adaptées et repensées dès maintenant. Cette adaptation nécessitera des investissements et des réflexions bien au-delà de leur simple remplacement.

Le contexte actuel est particulièrement propice à la réalisation d'investissement dans les infrastructures en eau. Le plan de relance économique post-Covid-19 s'appuie sur l'investissement dans les infrastructures. Le plan québécois des infrastructures 2021-2031 prévoit près de 135 milliards de dollars d'investissement notamment pour les priorités gouvernementales que sont la santé, l'éducation, l'enseignement supérieur, les transports et la culture.

Cette étude démontre la rentabilité d'investir dans les infrastructures en eau. Par conséquent, ces dernières ne sont pas à négliger et doivent, elles aussi, faire l'objet d'investissements importants. Il y a donc là une occasion unique d'investir dans les infrastructures en eau.

## 1.2 MANDAT

Plus important regroupement de spécialistes en environnement au Québec, Réseau Environnement agit comme catalyseur de solutions innovantes pour une économie verte<sup>1</sup>. Carrefour d'informations et d'expertises favorisant l'émergence de solutions environnementales, l'association assure l'avancement des technologies et de la science dans une perspective de développement durable. Elle rassemble des expertes et des experts des domaines public, privé et parapublic qui œuvrent dans les secteurs de l'eau, des matières résiduelles, de l'air, des changements climatiques, de l'énergie, des sols, des eaux souterraines et de la biodiversité\*.

Afin d'accompagner les pouvoirs publics, Réseau Environnement souhaite disposer d'une estimation du retour des investissements dans les infrastructures en eau au Québec. Ainsi, il pourra démontrer le bien-fondé de faire des infrastructures en eau une cible prioritaire des investissements de relance économique au Québec.

Les infrastructures à considérer sont les infrastructures ponctuelles d'eau potable, de traitement des eaux usées, et les infrastructures linéaires d'eau potable et d'eaux usées et pluviales.

L'objectif de cette étude exploratoire est de fournir à Réseau Environnement une première estimation du retour sur investissement pour les différentes catégories d'infrastructures en eau. Comme nous le verrons par la suite, le manque de données et l'incertitude relative aux connaissances scientifiques sur certains sujets nous ont conduits à adopter une approche prudente dans nos estimations des profits générés par ces investissements.

Nous ne distinguerons pas ici les infrastructures grises des infrastructures vertes dans notre analyse. Ainsi les montants d'investissements ont été établis à partir des valeurs de remplacement des infrastructures actuelles, sans présupposer la combinaison réelle des divers types d'infrastructures grise et verte.

---

<sup>1</sup> L'économie verte est une approche pour mettre en œuvre le développement durable. C'est une économie qui entraîne une amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale tout en réduisant de manière significative les risques environnementaux et la pénurie des ressources.

## 2. CADRE MÉTHODOLOGIQUE

---

### 2.1 APPROCHE GÉNÉRALE

L'estimation du retour sur investissement requiert :

- De déterminer le montant des investissements à réaliser ;
- D'estimer les bénéfices nets générés par ces investissements. Considérant que l'eau est un bien public, que la gestion des infrastructures en eau est de la responsabilité des municipalités, et que leur financement est assuré par les divers paliers de gouvernement (fédéral, provincial et municipal), nous évaluerons le retour sur investissement du point de vue des pouvoirs publics (combien économiseraient-ils grâce à une meilleure gestion de ces infrastructures, grâce aux coûts évités), et des acteurs socio-économiques qui résident dans les municipalités (santé, qualité de vie, revenus des ménages et des entreprises, etc.) ;
- D'intégrer l'incertitude inhérente à toute projection. Cette dernière exigence nous amène à :
  - Adopter une approche par scénario,
  - Discuter nos choix pour l'horizon temporel de projection, et pour le taux d'actualisation utilisé pour pouvoir comparer nos scénarios,
  - Réaliser des analyses de sensibilité pour les paramètres clés de notre modèle de calcul des profits.

### 2.2 CATÉGORISATION DES INVESTISSEMENTS ET TRAJECTOIRE D'INVESTISSEMENT

Les investissements à réaliser dans les infrastructures en eau québécoises peuvent être classés dans quatre catégories :

- **Investissements de maintien** : investissements récurrents permettant de maintenir le système des infrastructures en eau du Québec (SIEQ) dans un état stable.
- **Investissements de rattrapage** : investissements qui permettront de ramener le système des infrastructures en eau du Québec (SIEQ) à un état conforme aux recommandations de bonne gestion de ces actifs. Cela permettra de fournir les services d'eau aux diverses catégories d'utilisateurs selon les normes de service attendues. Les investissements de rattrapage sont appelés à ne pas être récurrents.
- **Investissements d'amélioration** : investissements qui permettront d'amener le SIEQ à un état supérieur aux recommandations de bonne gestion de ces actifs. Ces investissements incluent notamment les investissements permettant l'adaptation aux changements climatiques du SIEQ.

La combinaison dans le temps des différentes catégories d'investissements définit une **trajectoire d'investissement** qui déterminera l'évolution de l'état du SIEQ, et de ses performances, dans le temps. Cette notion de trajectoire d'investissement est centrale dans la définition des scénarios.

## 2.3 DÉFINITION DES SCÉNARIOS

### SCENARIO DE REFERENCE

- La trajectoire d'investissement est définie par les niveaux actuels d'investissements dans le SIEQ, sans investissement supplémentaire de rattrapage ni d'amélioration. Ces investissements incluent les investissements de maintien et des investissements permettant un rattrapage partiel.
- La projection de l'état du SIEQ, et de ses performances, repose sur les performances actuelles et leur probable évolution compte tenu des investissements envisagés. En particulier, les changements climatiques entraîneront très probablement une baisse des performances du SIEQ et une hausse des coûts associée à cette baisse de performance.
- Les impacts socio-économiques des performances du SIEQ dans ce contexte définiront la référence à partir de laquelle seront évalués les coûts évités et les profits éventuels engendrés par les trajectoires d'investissement alternatives.

### UN SCENARIO ALTERNATIF

- La trajectoire d'investissement du scénario alternatif sera définie par les niveaux actuels d'investissements, plus des investissements supplémentaires de rattrapage pour remettre à niveau le SIEQ, et d'amélioration pour adapter le SIEQ aux changements climatiques et aux futures normes de traitement des eaux usées.
- La projection de l'état du SIEQ, et de ses performances, repose sur les performances actuelles et leur probable évolution compte tenu des investissements envisagés. L'amélioration attendue des performances du SIEQ par rapport aux performances projetées dans le scénario de référence va se traduire en coûts évités, qui constitueront le socle des profits qui serviront à l'estimation du RSI. Le niveau de performance projeté pour le SIEQ se définit comme l'état de performances visé par les bonnes pratiques de gestion des actifs en eau, en intégrant l'impact des changements climatiques notamment sur la fréquence et l'amplitude des événements extrêmes. L'adaptation aux changements climatiques vise la résilience du système, soit sa capacité à maintenir ses performances en dépit des impacts des changements climatiques.
- Les investissements possibles pour atteindre l'état cible du SIEQ peuvent varier selon les circonstances de chaque système local d'infrastructure en eau qui en définissent les contraintes techniques. Dans un souci de prudence, et pour limiter le risque de surestimation du retour sur investissement, nous chercherons à maximiser le montant des investissements permettant d'atteindre l'état ciblé. Cela peut être fait en utilisant la valeur de remplacement à neuf pour les investissements de rattrapage (le remplacement à la valeur à neuf ne tient pas compte de la possibilité d'utiliser d'autres solutions peut-être plus économiques).
- Les investissements de rattrapage sont réalisés sur les 10 premières années pour atteindre un déficit d'investissement nul après cette période.



## 2.4 CHOIX DE L'HORIZON TEMPOREL

En règle générale, les analyses portant sur les investissements dans les infrastructures en eau se projettent sur un horizon de 50 ans, aligné sur la durée de vie active de ces actifs. L'utilisation sur un horizon aussi long est d'autant plus justifiée dans le contexte des changements climatiques, car certains profits ne sont générés que très graduellement ou se manifestent lors d'événements dont la probabilité augmente avec le temps.

Néanmoins, un horizon de 50 ans présente le désavantage de rendre la définition d'hypothèses raisonnables plus difficiles : les fourchettes de valeur tendent à augmenter avec le temps, rendant leur utilisation peu pertinente. Le choix d'un horizon de 25 ans limiterait ce risque.

En outre, les impacts des changements climatiques sont bien présents, le rattrapage du déficit chronique d'investissement devient de plus en plus pressant. Aussi, il nous semble que le choix d'un horizon de 25 ans pour inscrire nos trajectoires d'investissement traduit l'urgence d'agir.

## 2.5 DÉTERMINATION DU TAUX D'ACTUALISATION

Le choix du taux d'actualisation est particulièrement important et traduit la préférence temporelle que l'on souhaite donner à divers horizons de temps selon des valeurs éthiques, selon la perception et l'acceptation du risque. Le choix du taux d'actualisation peut grandement influencer la trajectoire d'investissements publics avec des conséquences sur la qualité de vie de plusieurs générations.

Pour nous guider dans ce choix, nous nous sommes référés à la littérature récente sur les taux d'actualisation recommandés pour les analyses des coûts et des investissements en infrastructures publiques reliés aux changements climatiques. Dans la littérature, ce taux d'actualisation est communément appelé « taux d'actualisation social » (TAS) ou « *social discount rate* » (SDR), en anglais. Cela est dû aux considérations sociétales qui s'imposent dans l'analyse des coûts et des investissements reliés à la lutte aux changements climatiques.

Les TAS utilisés dans les plus importantes études québécoises reliées aux changements climatiques et aux investissements dans les infrastructures publiques semblent avoir diminué au cours des deux dernières décennies. Une étude du CIRANO pour l'Agence des partenariats publics privés du Québec en 2007 a porté sur les taux d'actualisation pour l'évaluation des investissements publics au Québec. Elle conclut que le TAS réel utilisé, excluant le taux d'inflation, était de 6 % (Montmarquette et Scott, 2007). Près d'une décennie plus tard, en 2015, le TAS réel utilisé dans une étude d'Ouranos était de 4 %. Cette étude portait sur l'évolution des impacts des changements climatiques et de leurs coûts, pour le Gouvernement du Québec, avec des analyses de sensibilité à 2 % et 6 % (Larrivée et coll., 2015).

Ce déclin du TAS au fil du temps est également confirmé dans une récente étude menée par la Banque fédérale de réserve de San Francisco (Bauer et Rudebusch, 2021). Les auteurs constatent que le TAS a fortement diminué depuis les 30 dernières années, principalement en raison du déclin important des taux d'intérêt au cours de cette période. Parmi les facteurs ayant influencé le déclin des taux d'intérêt, notons entre autres la baisse de la croissance de la productivité ainsi que les flux importants d'épargne provenant de la Chine et des marchés émergents.

Selon Bauer et Rudebusch (2021), l'utilisation d'un TAS réel oscillant entre 0,5-2 % est cohérente avec le contexte économique et financier actuel et l'hypothèse que les taux d'intérêt demeureront relativement bas à long terme. Cette fourchette corrobore également les résultats d'un vaste sondage de plus de 200 experts académiques sur le TAS approprié dans un contexte d'investissements publics entraînant des conséquences intergénérationnels (Drupp et coll., 2018). Selon cette étude, 92 % des experts sondés utiliseraient un TAS dans une fourchette de 1-3 % et les trois quarts des répondants considèrent un TAS de 2 % acceptable.

Ces fourchettes de TAS recommandés sont similaires au TAS de 1,4 % utilisé dans l'une des plus importantes études sur les coûts économiques des changements climatiques menées à ce jour, *The Economics of Climate Change: The Stern Review* (Stern, 2007). Cette étude avait été demandée par le Gouvernement britannique et menée par l'expert Nicolas Stern. Le TAS proposé dans l'étude avait semé la controverse à l'époque, considéré alors comme étant beaucoup trop faible par rapport aux taux d'intérêt plus élevés de cette période comparativement à aujourd'hui.

Depuis, on constate qu'une majorité d'experts se rallie à l'utilisation d'un TAS oscillant autour de 2 %. De manière intéressante, un TAS plus faible permet de donner un poids plus important aux générations futures, en réduisant la vitesse à laquelle les coûts futurs se déprécient.

Étant donné ces considérations, nous opterons pour l'utilisation d'un TAS de 1,7 % tel qu'utilisé par le MAMH, avec des analyses de sensibilité à 1 % et 3 %.

## 2.6 IDENTIFICATION DES PROFITS

Notre estimation portera sur les profits spécifiques résultant des investissements dans le SIEQ (ne pouvant pas être obtenus par d'autres investissements), qui sont, a priori, de deux types :

- **Les coûts évités** : profits créés par l'évitement de certains coûts grâce à l'amélioration de l'état actuel du SIEQ (p. ex. : les coûts associés aux interruptions du service en eau potable ou les coûts associés à des bris de canalisation d'eaux usées).
- **Les bénéfices directs** : profits liés à l'accroissement de la capacité de production de biens et services grâce à l'amélioration du SIEQ (capacité et performances). Par exemple, accroissement de la capacité d'une usine de transformation alimentaire pour laquelle la capacité du système d'eau potable aurait été limitante. Autre exemple, amélioration de la qualité d'eau de baignade des plages municipales.

Les profits (coûts évités et bénéfices directs) incluent les profits sociaux et environnementaux qui ne sont pas toujours monnayables. En l'absence d'évaluation financière, les profits seront intégrés qualitativement dans l'estimation du retour sur investissement.

Les bénéfices directs peuvent revêtir un caractère très spéculatif selon les données disponibles pour l'analyse. Aussi, nous donnerons la priorité à l'évaluation des coûts évités et nous adopterons une approche conservatrice. Par conséquent, les bénéfices totaux réels seront vraisemblablement sous-estimés.

Les différentes trajectoires d'investissement vont se caractériser par des calendriers différents d'investissement sur la période de référence, et donc aussi par des distributions temporelles différentes de leurs profits respectifs. En conséquence, nous aurons recours à l'actualisation pour pouvoir comparer les diverses trajectoires retenues pour l'analyse.

Les profits correspondent essentiellement aux coûts évités par l'amélioration du SIEQ permise par les investissements dans les infrastructures en eau. Il nous faut donc d'abord identifier les coûts engendrés par l'état actuel du SIEQ, et ceux anticipés pour les impacts des changements climatiques.

## 2.7 ENJEUX MÉTHODOLOGIQUES

### 2.7.1 TEMPORALITÉ DES PROFITS

Les liens de causalité entre les investissements et les profits associés peuvent être tels qu'il existe des décalages, des effets de seuil, des dynamiques non linéaires.

Dans le cadre de cette étude, et pour des raisons pratiques, nous ferons l'hypothèse que :

- Les profits se manifestent de manière linéaire, au prorata des montants investis (si 100 % des investissements donnent 100 % des profits, alors 50 % de l'investissement donneront 50 % des profits),
- Les profits se matérialisent dès l'année suivant l'année des investissements correspondants.

### 2.7.2 PART DES PROFITS

Certains des investissements dans les infrastructures en eau ne contribueront que partiellement à l'amélioration de la situation sous-jacente à la création de profits. Compte tenu de la complexité de la plupart de ces situations, il peut être très difficile d'attribuer quantitativement la part des profits qui revient aux investissements réalisés.

Aussi, nous opterons parfois pour la présentation d'un profit total par type d'investissement (p. ex., investissements en infrastructures ponctuelles), plutôt que par investissement spécifique (p. ex., station d'épuration). Par ailleurs, en certaines occasions, nous avons dû poser des hypothèses sur les parts des profits entre types d'infrastructures.

### 2.7.3 TRANSFERT DE PROFITS

Nous verrons que l'évaluation financière de plusieurs profits non marchands générés par les investissements dans les infrastructures en eau repose sur des méthodologies qui conduisent à des résultats très contextualisés (consentement à payer, prix hédonistes, prix fictifs). En toute rigueur, le transfert des profits ainsi évalués vers un autre contexte ne devrait pas se faire directement et devrait suivre la méthode de transfert de profit.

Dans le cadre de cette étude, nous soumettons le transfert de profit à notre jugement critique, en soulignant les limites identifiées pour l'utilisation de références obtenues dans des contextes différents.

### 3. DÉFINITION DES TRAJECTOIRES D'INVESTISSEMENT

---

Dans cette section, nous allons détailler les investissements considérés dans notre analyse et présenter les scénarios de trajectoire d'investissement.

#### 3.1 INVESTISSEMENT D'ENTRETIEN

Il s'agit des investissements récurrents permettant de maintenir le système des infrastructures en eau du Québec (SIEQ) dans un état stable. Ceci est associé à un niveau de performance du SIEQ qui constitue la base d'évaluation des profits engendrés par un niveau d'investissement supérieur.

Les indicateurs de performances qui permettront d'établir les améliorations de performances sous-jacentes aux profits évalués sont les suivants :

- Infrastructures linéaires d'eau potable : taux de bris, perte d'eau ;
- Infrastructures linéaires d'eaux usées et pluviales : taux de bris, nombre de débordements d'égouts unitaires ;
- Infrastructures ponctuelles d'eau potable : qualité de l'eau potable, nombre d'interruption de services ;
- Infrastructures ponctuelles d'eaux usées et pluviales : qualité des rejets, nombre de déversements directs sans traitement.

Le montant annuel de ces investissements a été établi à partir de l'application InfraMunicipal<sup>2</sup> développée par le CERIU.

#### 3.2 INVESTISSEMENT DE RATTRAPAGE

Les investissements de rattrapage sont les investissements qui permettront de ramener le système des infrastructures en eau du Québec (SIEQ) à un état conforme aux recommandations de bonne gestion de ces actifs. Ainsi, des services d'eau peuvent être fournis aux diverses catégories d'utilisateurs selon les normes de service attendues. Ce rattrapage vise essentiellement à réduire la part des infrastructures considérées comme étant dans un état insatisfaisant.

Les investissements de rattrapage sont appelés à ne pas être récurrents. Le montant annuel de ces investissements pour les deux scénarios a été établi à partir de l'application InfraMunicipal.

Le rattrapage inclut pour les infrastructures ponctuelles en eau l'installation de chambres de régulation de pression. Selon les données transmises par une ville partenaire de l'étude, ces chambres permettent de réduire le nombre de bris de 45 %. Nous ferons l'hypothèse que le rattrapage va permettre d'installer des chambres sur 20 % du réseau québécois d'aqueducs.

---

<sup>2</sup> Accessible en ligne : <https://inframunicipal.ca/>

**Bénéfices attendus :**

- Réduction des coûts d'exploitation (réduction du nombre de réparations et de ruptures de services),
- Réduction du risque de bris ou pannes catastrophiques,
- Réduction des dommages causés par des inondations en raison du mauvais état des infrastructures municipales.

**3.3 INVESTISSEMENT D'AMÉLIORATION****INVESTISSEMENT D'AMÉLIORATION DES INFRASTRUCTURES EN EAU POTABLE (LINEAIRES ET PONCTUELLES)**

Les investissements d'amélioration des infrastructures en eau potable retenus dans cette étude sont ceux qui rendront ces infrastructures plus résilientes vis-à-vis des changements climatiques. Les investissements visant l'amélioration des technologies de traitement dans une perspective de santé de la population ne sont pas inclus dans cette analyse, tout comme les bénéfices qui y seraient associés.

Les principaux impacts des changements climatiques concernent l'approvisionnement en eau potable et donc les infrastructures ponctuelles en eau potable (prise d'eau, usine de traitement, chambre de régulation de pression). Selon BAC-FCM (2020), le montant des investissements annuels d'adaptation aux changements climatiques des infrastructures de traitement de l'eau serait de 0,05 % du PIB du Québec selon le ratio proposé pour l'ensemble du Canada. Cependant, les auteurs ne précisent pas si les infrastructures de traitement de l'eau concernent l'eau potable, les eaux usées ou les deux.

À partir de la lecture des risques associés aux infrastructures, il nous semble que la grande majorité des investissements seraient requis pour l'adaptation du traitement des eaux usées. Nous proposons donc de retenir une part de 30 % des investissements qui seraient alloués au traitement de l'eau potable, et 70 % au traitement des eaux usées.

Sous l'hypothèse d'un PIB constant de 431 milliards de dollars<sup>3</sup> (cf. hypothèse de demande constante des services en eau), cela correspondrait à des investissements annuels de 65 millions de dollars.

**Bénéfices attendus :**

- Réduction du nombre de réparations et de ruptures de service dues aux changements climatiques,
- Réduction du risque de bris ou de pannes catastrophiques dus aux changements climatiques.

**INVESTISSEMENT D'AMÉLIORATION DES INFRASTRUCTURES LINEAIRES POUR LES EAUX USEES ET PLUVIALES**

Selon Mailhot (2021), si l'impact des changements climatiques sur la fréquence des surverses est minimal, il est en revanche important sur les risques de débordements d'égouts (ampleur, fréquence, sévérité). Plusieurs possibilités techniques existent pour réduire ce risque, et il faut tenir compte d'une hausse anticipée de 18 % des débits maximums à gérer. Dans ce cas, l'option qui maximise l'investissement pour un même bénéfice est le redimensionnement des canalisations à la taille

<sup>3</sup> Moyenne 2016-2019 du PIB au prix de base en dollars enchaînés 2012, converti en dollars 2021.

supérieure<sup>4</sup> (Desjarlais et Larrivée, 2011 ; Mailhot et coll., 2014). Selon les données de Bolduc et coll. (2011) et une liste de prix de Lécuyer et Fils Ltée (2019), le surcoût d'une canalisation de taille supérieure serait compris entre 10 % et 20 %.

Les investissements annuels d'amélioration représenteraient ainsi 15 % (c.-à-d. le milieu de la fourchette précédente) des investissements de maintien et de rattrapage. Ceux-ci sont évalués à 780 millions par an pour les conduites d'eaux usées et pluviales, soit 117 millions de dollars annuellement.

Le montant de ces investissements annuels d'adaptation aux changements climatiques serait de 0,03 % du PIB du Québec selon le ratio proposé par BAC-FCM (2020) pour le système d'égouts. En faisant l'hypothèse d'un PIB constant de 362 milliards de dollars<sup>5</sup> (cf. une demande constante des services en eau), on observerait des investissements annuels de 109 millions de dollars. Ce chiffre rejoint le montant évalué à partir du surcoût de 15 %.

Nous retiendrons des investissements d'adaptation représentant 15 % des investissements de rattrapage et de maintien, initialement établi sur le dimensionnement actuel du réseau.

#### **Bénéfices attendus :**

- Réduction du nombre de réparations et de ruptures de service dues aux changements climatiques,
- Réduction des dommages liés à l'augmentation des épisodes de pluies diluviennes,
- Réduction du risque de bris ou de pannes catastrophiques dus aux changements climatiques.

#### **INVESTISSEMENT D'AMÉLIORATION DES INFRASTRUCTURES PONCTUELLES D'EAUX USEES**

En ce qui concerne les améliorations des infrastructures ponctuelles en eaux usées, et sur la base des fiches de recommandation publiées à l'occasion du groupe de travail Assainissement 2.0 piloté par Réseau Environnement, l'investissement annuel serait d'environ 610 millions de \$ par année sur une période de 10 ans selon les experts consultés :

- 550 millions de dollars pour traiter les composés nocifs normés<sup>6</sup> et non encore normés (traitements primaires, secondaires et tertiaires/avancés),
- 60 millions pour la gestion des débits (contrôle à la source, surverses, systèmes non raccordés).

En ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques, et en reprenant les données de BAC-FCM (2020) — 0,05 % du PIB pour le traitement des eaux — ainsi que notre estimation d'une part de 70 % pour le traitement des eaux usées, les investissements annuels seraient de 150 millions de

---

<sup>4</sup> La gestion à la source par les bassins de rétention est une pratique de gestion des eaux pluviales souvent privilégiée.

Le redimensionnement comme unique solution a été retenu dans le seul but de maximiser le montant des investissements et ainsi avoir une estimation prudente du retour sur investissement.

<sup>5</sup> Moyenne 2016-2019 du PIB au prix de base en dollars enchaînés 2012.

<sup>6</sup> Selon le Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées, les usines d'assainissement des eaux usées doivent se mettre aux normes d'ici 2030.

dollars. Une partie de ces investissements est déjà incluse dans les investissements pour la gestion des débits.

#### **Bénéfices attendus :**

- Amélioration de la qualité des rejets d'eaux usées,
- Réduction du volume de rejets non traités.

### **3.4 SCÉNARIOS DE TRAJECTOIRE D'INVESTISSEMENT**

#### **SCENARIO DE REFERENCE : STATU QUO**

Ce scénario de référence a été établi en collaboration avec le CERIU. Il correspond au maintien du niveau actuel d'investissement sur toute la période de 25 ans. Le scénario du Statu Quo correspond à un investissement cumulé sur 25 ans de près de 22 milliards de dollars.

Le montant total des investissements par catégorie d'infrastructure est présenté au Tableau 3.1 : les deux tiers des investissements sont consacrés aux infrastructures linéaires.

**Tableau 3.1**  
**Montant des investissements — Scénario Statu Quo**

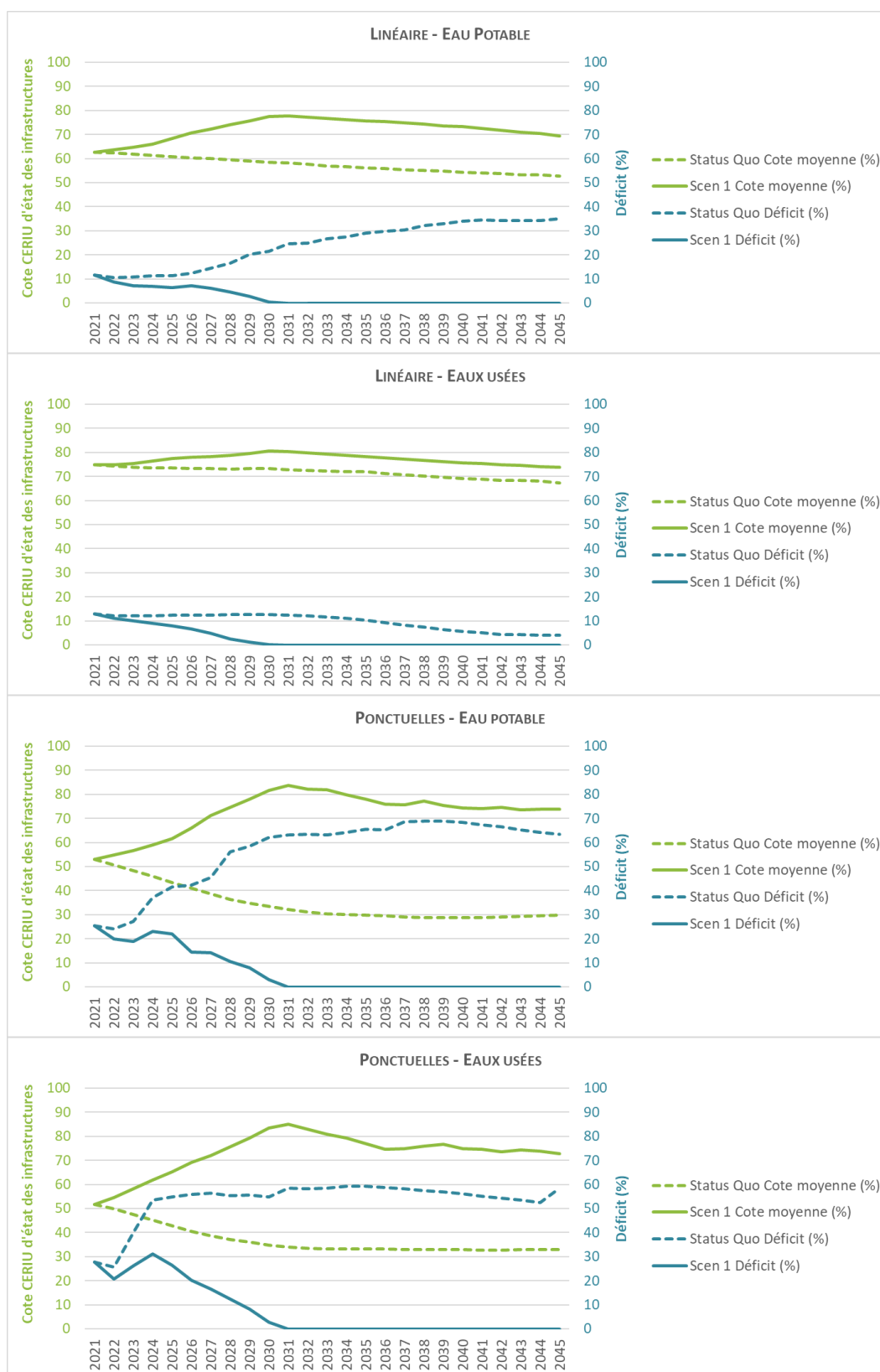
	MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS ACTUALISÉS SUR 25 ANS (M\$)
Linéaire Eau potable	7 080
Linéaire Eaux usées et pluviales	8 294
Ponctuelles Eau potable	2 819
Ponctuelles Eaux usées et pluviales	3 500
<b>TOTAL</b>	<b>21 693</b>

Taux d'actualisation de 1,7 %

La Figure 3.1 permet de constater que, selon ce scénario d'investissement :

- L'état des infrastructures d'eau potable (linéaires et ponctuelles) et des infrastructures ponctuelles d'eaux usées se dégrade fortement avec un accroissement important du déficit d'investissement,
- Pour les infrastructures linéaires d'eaux usées et pluviales, le déficit d'investissement diminue sans se résorber et leur état moyen se maintient globalement sur la période de 25 ans.

**Figure 3.1**  
**Évolution du déficit d'investissement et de la cote CERIU moyenne d'état des infrastructures pour les scénarios Statu Quo et Rattrapage 10 ans (Scen 1)**



Source : Groupe AGÉCO d'après CERIU-Inframunicipal



**Figure 3.2**  
**Trajectoire d'investissement pour les scénarios Statu Quo et Rattrapage 10 ans (Scen 1)**



Source : Groupe AGÉCO d'après CERIU-Inframunicipal

## SCENARIO 1 : RATTRAPAGE 10 ANS

Ce scénario a été établi en utilisant l'Application Inframunicipal du CERIU. Nous avons procédé par itération pour déterminer un montant annuel d'investissement permettant de résorber le déficit d'investissement en 10 ans. Il s'agit donc d'une trajectoire possible et non nécessairement d'une trajectoire optimale.

Le scénario du Rattrapage 10 ans correspond à un investissement cumulé sur 25 ans de plus de 44 milliards de dollars, soit des investissements nets par rapport au scénario Statu Quo de 22,5 milliards de dollars. Le montant des investissements par catégorie d'infrastructure est présenté au Tableau 3.1.

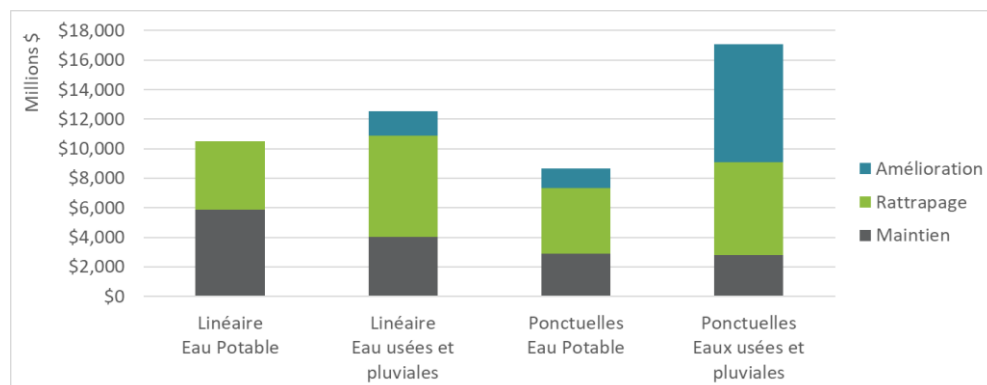
**Tableau 3.2**  
**Montant des investissements — Scénario Rattrapage 10 ans**

	MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS ACTUALISÉS SUR 25 ANS (M\$)	INVESTISSEMENTS NETS PAR RAPPORT AU STATU QUO (M\$)
Linéaire Eau potable	10 508	3 428
Linéaire Eaux usées et pluviales	12 522	4 228
Ponctuelles Eau potable	8 641	5 821
Ponctuelles Eaux usées et pluviales	17 127	13 627
<b>TOTAL</b>	<b>48 797</b>	<b>27 104</b>

Taux d'actualisation de 1,7 %

La Figure 3.1 permet de constater que, selon ce scénario d'investissement, l'état de l'ensemble des infrastructures s'améliore. En ce qui concerne le profil des investissements sur la période de 25 ans (Figure 3.2), on constate que pour les infrastructures linéaires, une fois passé le cycle de rattrapage des dix premières années, le niveau d'investissement annuel demeure inférieur à celui du scénario Statu Quo. Cela traduit des économies substantielles sur le plan des dépenses de capitalisation à planifier. Finalement, selon ce scénario, de manière générale, 32 % des investissements seront consacrés au maintien des infrastructures, 45 % au rattrapage du déficit d'investissement, et 22 % à l'amélioration des infrastructures. Néanmoins, chaque catégorie d'infrastructures présente un profil différent (Figure 3.3).

**Figure 3.3**  
**Profil d'investissement selon la catégorie d'infrastructures pour le scénario Rattrapage 10 ans**



Montant cumulé sur 25 ans actualisé à 1,7 %

#### **4. CALCULS DES BÉNÉFICES ENGENDRÉS PAR LES INVESTISSEMENTS DE RATTRAPAGE ET D'AMÉLIORATION DES INFRASTRUCTURES EN EAU**

---

Les bénéfices engendrés par le rattrapage du déficit d'investissement et l'amélioration des infrastructures en eau peuvent être classés sous quatre catégories :

- Bénéfices liés à une plus grande efficacité des opérations associées aux infrastructures en eau,
- Bénéfices reliés à l'amélioration de la santé humaine,
- Bénéfices reliés à l'amélioration des écosystèmes,
- Bénéfices reliés à la réduction des risques d'inondations reliés aux changements climatiques.

Nous verrons dans les sections qui suivent que certains des bénéfices identifiés ne peuvent pas être évalués financièrement de manière raisonnable et rigoureuse en raison du manque de données.

##### **4.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS**

L'ensemble des bénéfices du scénario Rattrapage 10 ans pour lesquels une évaluation financière a pu être réalisée se chiffrent à près de 43 milliards de dollars sur la période de 25 ans considérée ici (Tableau 4.1, page suivante).

Considérant les nombreux bénéfices qui n'ont pas pu être évalués et une approche très prudente dans l'évaluation financière lorsqu'elle était possible, ce montant constitue très certainement une évaluation basse des bénéfices générés par les investissements du scénario Rattrapage 10 ans.

**Tableau 4.1**  
**Récapitulatif des profits et bénéfices engendrés par la trajectoire d'investissement du scénario Rattrapage 10 ans**  
**Montant cumulé sur 25 ans (M\$) actualisé à 1,7 %**

PROFITS IDENTIFIÉS ET ÉVALUÉS		BÉNÉFICES IDENTIFIÉS, MAIS NON ÉVALUÉS
<b>Linéaire Eau potable</b>	<b>15 069</b>	
Réduction du nombre de bris	10 271	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction de la congestion (section 4.2.4),</li> <li>▪ Réduction des pertes d'achalandage ou de production (section 4.2.4),</li> <li>▪ Réduction des externalités environnementales liées aux chantiers,</li> <li>▪ Réduction de la probabilité d'un bris catastrophique.</li> </ul>
Réduction des fuites d'eau	4 798	
<b>Linéaire Eaux usées et pluviales</b>	<b>7 783</b>	
Réduction du nombre de réparations	1 433	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction de la congestion (section 4.2.4),</li> <li>▪ Réduction des pertes d'achalandage ou de production (section 4.2.4),</li> <li>▪ Réduction des externalités environnementales liées aux chantiers,</li> <li>▪ Réduction de la probabilité d'un bris catastrophique.</li> </ul>
Réduction des dégâts d'eau	5 695	
Réduction du risque de déversement d'eaux usées non traitées lié aux changements climatiques	655	
<b>Ponctuelles Eau potable</b>	<b>7 374</b>	
Réduction du risque de rupture d'approvisionnement en eau	3 785	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coûts sociaux des ruptures prolongées de service.</li> </ul>
Réduction du risque de maladies d'origine hydrique	81	
Réduction des bris de canalisation (régulation de pression)	207	
Réduction des frais d'exploitation des usines d'eau potable	3 301	
<b>Ponctuelles Eaux usées et pluviales</b>	<b>16 485</b>	
Réduction du risque pour la santé humaine lié aux perturbateurs endocriniens	7 817	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impact sur les activités économiques dépendant de la qualité de l'eau (Annexe I),</li> <li>▪ Impact sur la valeur des propriétés résidentielles riveraines (Annexe I),</li> <li>▪ Réduction de la probabilité d'un événement catastrophique,</li> <li>▪ Impact des microplastiques et des composés nocifs, autres que les perturbateurs endocriniens, les produits pharmaceutiques et les soins personnels sur la santé humaine et la santé des écosystèmes.</li> </ul>
Réduction du risque pour la santé humaine lié au développement de l'antibiorésistance des agents pathogènes	436	
Réduction du risque santé des écosystèmes récepteurs lié aux micropolluants	2 581	
Réduction du risque de déversement d'eaux usées non traitées lié aux changements climatiques	3 274	
Réduction des frais d'exploitation des usines de traitement	2 377	
<b>Total des profits</b>	<b>46 710</b>	

Source : Groupe AGÉCO

## 4.2 BÉNÉFICES LIES AUX COUTS D'EXPLOITATION DES INFRASTRUCTURES EN EAU

Nous considérerons ici seulement deux éléments d'efficience des opérations qui sont déterminés par l'état des infrastructures et le niveau de déficit d'investissement :

- Les dépenses d'exploitation des infrastructures, qu'elles soient linéaires ou ponctuelles, engendrées par les bris (dépenses de réparation, perte de productivité),
- Les pertes d'eau dans le réseau d'aqueduc.

Nous commencerons par estimer les indicateurs de performances qui nous permettront d'extrapoler les bénéfices unitaires.

### 4.2.1 ESTIMATION DES PERFORMANCES

#### ESTIMATION DU TAUX DE BRIS SELON L'ETAT DES CANALISATIONS

Les données publiées par Folkman (2018) permettent de faire les constats suivants :

- Le taux de bris des canalisations d'eau potable au Canada est de 17,5 bris/100 milles/an (0,11 bris/km/an),
- Pour l'Amérique du Nord, on peut considérer que 80 % des bris se produisent dans des canalisations ayant plus de 50 ans, ce qui représente 28 % du linéaire.

À partir de ces deux éléments, on peut estimer les taux suivants :

- 5 bris/100 milles/an (0,03 bris/km/an) pour les canalisations de moins de 50 ans,
- 50 bris/100 milles/an (0,31 bris/km/an) pour les canalisations de plus de 50 ans.

Des données, fournies par une ville partenaire de l'étude, montrent un taux de 0,27 bris/km/an pour un réseau de 619 km composé à 83 % de canalisations considérées fragiles ou très fragiles (c.-à-d. relativement âgées). À partir de ces données, nous pouvons calculer un ratio moyen de 1,9 bris de branchement pour chaque bris de canalisation. Nous proposons d'utiliser un ratio de 1:1 afin de réduire le risque de surestimation en l'absence de données suffisantes.

D'après CERIU (2013), le nombre de bris totaux par kilomètre selon la cote d'état du CERIU pour les canalisations d'eau potable est le suivant :

- Moins de 1 bris/km/an pour les canalisations cotées A-B-C,
- Plus de 2 bris/km/an pour les canalisations cotées D-E.

Nous proposons d'utiliser les taux de bris suivants qui nous semblent conservateurs :

- 0.1 bris/km/an pour les canalisations cotées A-B-C (89 % du linéaire),
- 2 bris/km/an pour les canalisations cotées D-E (11 % du linéaire).

La moyenne pondérée du nombre de bris serait 0,31 bris/km ( $0,89 \times 0,1 + 0,11 \times 2$ ).

Les données du MAMH<sup>7</sup> montrent près de 10 000 fuites d'eau par an pour 41 000 km, soit 0,24 fuite par kilomètre par an.

Nous n'avons pas trouvé de données équivalentes pour les canalisations d'égouts. En première approximation et par souci de prudence, nous proposons d'utiliser des taux de bris correspondant à la moitié de ceux des canalisations d'eau potable.

## ESTIMATION DES PERTES EN EAU

Les données utilisées sont celles du MAMH<sup>7</sup> pour 2018.

L'objectif des investissements de rattrapage et d'amélioration est d'atteindre un IFI de 4 à l'horizon de 10 ans et de le maintenir par la suite. En l'absence de ces investissements, l'IFI demeure constant à 6.

Nous partirons des pertes inévitables pour le système actuel de 50,2 milliards de litres/an (3,7 % du volume distribué).

L'IFI actuel de 6 correspond à des pertes totales de 302,9 milliards de litres/an (22,5 % du volume distribué).

Le volume total d'eau distribuée passera linéairement de 536 litres/pers/jour à 458 litres/pers/jour en 2027 (décalage de l'objectif du MAMH de 2025 à 2027).

## ESTIMATION DES PERTES D'EFFICIENCE DANS LES USINES DE TRAITEMENT D'EAU (POTABLE ET USEE)

Contrairement aux bris sur canalisation, nous n'avons pas trouvé d'indicateur de nature technique permettant de mesurer l'impact du déficit d'investissement sur les performances des infrastructures ponctuelles. Ces dernières incluent notamment les usines de traitement de l'eau, en amont (eau potable) ou en aval (eaux usées).

Nous proposons de passer directement à une estimation de l'impact du déficit d'investissement sur les dépenses d'exploitation, avant amortissement et frais financiers.

### 4.2.2 COUT D'EXPLOITATION DES USINES DE TRAITEMENT (EAU POTABLE ET EAUX USEES)

Selon un rapport sur le coût et les sources de revenus des services d'eau (MAMH, 2015), les coûts d'exploitation des infrastructures en eau augmentent avec leur âge. Combler le déficit d'investissement permettrait de rajeunir les infrastructures. Selon les données présentées dans ce rapport, le coût d'exploitation se situe autour de 4,5 \$/m<sup>3</sup> pour les infrastructures de plus de 50 ans. Il est à 3 \$/m<sup>3</sup> pour les infrastructures de moins de 20 ans d'âge, soit une différence de 33 %. Par souci de prudence, nous retiendrons un facteur d'amélioration de 20 % comme bénéfice du rattrapage d'investissement par rapport au statu quo.

---

<sup>7</sup> [www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels/](http://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels/)

En outre, la poursuite d'un déficit d'investissement devrait se traduire par une hausse des dépenses d'exploitation pour le scénario Statu Quo. Les données de la Ville de Montréal<sup>8</sup> montrent une hausse des dépenses d'exploitation avant amortissement de 12 % sur 3 ans soit environ 4 % en terme nominal, et 2 % en termes réels. Si le déficit d'investissement se prolonge, il est raisonnable de faire l'hypothèse que les dépenses d'exploitation vont augmenter à un rythme plus rapide. Nous proposons d'indexer les dépenses d'exploitations du scénario Statu Quo à 3 % par an en termes réels.

Selon la base de données sur l'eau du MAMH (données de 2018), le coût d'exploitation moyen avant amortissement au Québec est d'environ :

- 200 \$/Ml/an d'eau potable distribuée,
- 100 \$/Ml/an d'eaux usées traitées.

#### 4.2.3 COUTS DIRECTS DES REPARATIONS SUR CANALISATIONS

Le coût direct des réparations sur les canalisations sera estimé à partir des références proposées dans le calculateur développé par le MAMH pour l'analyse coûts-bénéfice des chambres de régulation de pression.

Les coûts moyens des travaux de réparation des bris sur les aqueducs sont de 14 000 \$/bris sur canalisation, et de 11 000 \$/bris sur les branchements.

Pour les canalisations et les branchements d'égouts, nous avons retenu les valeurs suivantes après consultation : 12 000 \$/bris sur canalisation, et 10 000 \$/bris sur branchement.

#### 4.2.4 COUTS INDIRECTS DES REPARATIONS SUR CANALISATIONS

Ce même calculateur propose des références pour certaines des externalités associées aux chantiers de réparation des canalisations (Tableau 4.2). Nous avons procédé à certains ajustements sur les indemnisations de dommages et les avis d'ébullition.

**Tableau 4.2**  
**Valeur des externalités des chantiers de réparation de bris sur canalisation d'eau potable**

	MONTANT \$/BRIS	MONTANT AJUSTÉ \$/BRIS
Indemnisation des dommages	1 172 \$	3 500 \$
Avis d'ébullition d'eau	1 099 \$	612 \$
Frais juridiques	354 \$	354 \$
Mobilisation des services d'urgence	518 \$	518 \$
<b>TOTAL</b>	<b>3 143 \$</b>	<b>4 984 \$</b> <b>arrondi à 5 000 \$</b>

Source : Groupe AGÉCO d'après MAMH

<sup>8</sup> <https://ville.montreal.qc.ca/vuesurlesindicateurs/index.php?kpi=2515#tableau-2>

## INDEMNISATION

Les bris de canalisation entraînent des dégâts d'eau pour laquelle les municipalités peuvent recevoir des demandes d'indemnisation. Le montant utilisé dans le calculateur est celui des indemnités versées par les municipalités et non celui des dommages réels.

Ce montant doit donc être corrigé pour refléter les dommages totaux. Selon les données fournies par la Ville de Montréal en 2018<sup>9</sup>, la ville verse un tiers des montants demandés. Le montant utilisé dans le calculateur (1 172 \$/bris) sera ainsi multiplié par trois (3 500 \$/bris) afin de refléter la totalité du désagrément subi par les citoyens.

## AVIS D'EBULLITION D'EAU — NIVEAU RESIDENTIEL

Certains chantiers vont nécessiter un avis d'ébullition d'eau, car la potabilité de l'eau n'est plus garantie pour les ménages concernés.

Nous ajusterons le prix moyen utilisé dans le calculateur (2 \$/l) pour refléter le prix actuel de l'eau en bouteille au détail. Nous prendrons ainsi un prix moyen de 0,75 \$/l<sup>10</sup> plus le coût environnemental d'un litre d'eau en bouteille évalué à 0,085 \$ US/l (Villanueva et coll., 2021), soit 0,119 \$/l.

Ce coût n'est pas appliqué aux externalités des réparations d'égouts.

## CONGESTION

La congestion et les entraves à la circulation (automobile, cycliste et piétonne) sont identifiées comme des externalités majeures des travaux de réparation.

Malheureusement, nous ne disposons pas de données permettant de l'évaluer, ni pour l'ensemble du Québec ni pour des villes particulières.

Les données disponibles dans la littérature vont de 2 500 \$ pour un chantier à Gatineau en 2010 (Mouchikhine, 2013), à 500 000 \$ pour un chantier à Winnipeg en 1994 (CERIU, 2010).

## PERTES D'ACTIVITES, D'ACHALANDAGE ET DE PRODUCTION

Nous n'avons pas pu estimer l'impact sur les activités commerciales, institutionnelles et industrielles des avis d'ébullition d'eau. À titre d'exemple, un avis d'ébullition d'eau peut forcer un restaurant, un café à fermer pendant plusieurs heures. Le PIB annuel du secteur de la restauration à Montréal est de l'ordre de 1,7 milliard de dollars<sup>11</sup>, soit, pour une journée productive de 10 h, 6 jours par semaine, 545 000 \$/heure pour l'ensemble du secteur. Si l'ensemble du secteur perd un total de 5 h d'activité cumulée par an, cela représente une perte directe de PIB de près de 2,7 millions de dollars par an pour Montréal.

<sup>9</sup> [www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201811/25/01-5205566-montreal-82-millions-en-reglements-a-lamiable-depuis-2011.php](http://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201811/25/01-5205566-montreal-82-millions-en-reglements-a-lamiable-depuis-2011.php)

<sup>10</sup> Relevé ponctuel des prix de l'eau embouteillée sur des sites internet de détaillants québécois.

<sup>11</sup> [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=6897,67887843&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67887843&_dad=portal&_schema=PORTAL)



De la même manière, l'effet des entraves à la circulation sur les activités commerciales, institutionnelles et industrielles n'a pas pu être évalué. Le PIB horaire du secteur du détail à Montréal en 2018 était de 2,1 millions de dollars<sup>12</sup> (6,2 milliards pour 8 heures d'activité en moyenne par jour sur toute l'année). Si les entraves à la circulation liées aux chantiers de réparation des canalisations à Montréal entraînaient une perte moyenne de 5 heures d'activités pour chacun des secteurs du détail et de la restauration, cela équivaldrait à une perte de PIB de plus de 13 millions annuellement.

#### 4.2.5 COUT DES PERTES EN EAU

La valeur retenue pour les pertes en eau est de 3 \$/m<sup>3</sup>, selon la valeur de référence proposée par le MAMH.

#### 4.2.6 RÉDUCTION DU RISQUE DE RUPTURE D'APPROVISIONNEMENT

##### RISQUE ASSOCIE AU DEFICIT D'INVESTISSEMENT

Nous n'avons pas pu trouver de donnée quantifiant le risque d'une interruption majeure de l'approvisionnement en eau potable causée par une défaillance des usines liée au déficit d'investissement.

Nous proposons de considérer deux types d'évènements : des incidents majeurs et un incident catastrophique.

Le premier type entraîne des avis d'ébullition prolongés, mais pas de rupture de l'approvisionnement. De tels évènements concerneraient chaque Québécois 2,5 fois dans les 25 prochaines années. L'avis d'ébullition durerait 5 jours et la consommation d'eau pour l'alimentation (hydratation et cuisine) serait assurée par l'achat d'eau embouteillée.

Le second type d'évènement serait un évènement catastrophique pour lequel nous avons imaginé le scénario décrit ci-après, en l'absence de scénario déjà existant :

- L'usine de traitement de l'eau doit cesser subitement son fonctionnement en raison du bris d'équipement majeur obsolète (conséquence directe du déficit d'investissement). La population et les entreprises, commerces et établissements seront privés d'eau potable pour 5 jours. La baisse de pression occasionnée par la rupture de l'approvisionnement en eau crée des infiltrations qui contaminent les aqueducs. Une fois l'eau rétablie après 5 jours, un avis d'ébullition est en vigueur pendant 30 jours, mais n'empêche pas des éclosions de maladies gastro-intestinales, avec des cas sévères et des décès.
- Cet évènement se produit 1 fois tous les 25 ans et touche 15 % de la population du Québec (1 275 000 personnes). Il se situe essentiellement dans les villes de plus de 100 000 habitants dont les infrastructures ponctuelles d'eau potable sont les plus vétustes (CERIU, 2021).

Notre estimation sommaire des impacts d'un tel scénario se monte à 3 948 millions de dollars, répartie comme suit :

<sup>12</sup> [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=6897,67887843&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67887843&_dad=portal&_schema=PORTAL)

- Achat d'eau pour l'ensemble des besoins personnels (alimentation, hygiène, etc.) = 453 millions de dollars ;
  - Pendant la durée de la rupture (5 jours), les besoins complets des personnes en eau doivent être couverts par un approvisionnement externe, soit 200 l/personne/jour. Si nous prenons un coût moyen de l'eau potable de 200 \$/m<sup>3</sup>, combinant de l'eau en bouteille et de l'eau acheminée par citerne, le montant de ces dépenses serait de l'ordre de 255 millions de dollars.
  - Pendant la durée restante de l'avis d'ébullition (25 jours), les besoins en eau pour l'alimentation des personnes doivent être couverts par un approvisionnement externe (eau en bouteille au coût moyen de 0,62 \$/l, soit 10 l/personne/jour). Le montant de ces dépenses serait de l'ordre de 198 millions de dollars.
- Interruption des activités de certains secteurs (fabrication d'aliments et de boissons, restauration et hébergement, écoles et universités) = minimum de 165 millions de dollars ;
  - Nous ferons l'hypothèse que cet incident entraîne des pertes de 8 jours pleins d'activité (durée de la rupture plus la durée de la remise en service de l'approvisionnement en eau potable) pour les secteurs affectés.
  - Nous ferons une autre hypothèse en fixant à 15 % la proportion des activités des secteurs sensibles touchés par cet incident. Selon les données de l'ISQ, le PIB des secteurs sensibles (Transformation alimentaire et fabrication de boissons, hébergement-restauration, arts et culture, commerce de détail) est de l'ordre de 50 milliards de dollars. Si nous considérons un PIB hebdomadaire de 962 millions de dollars pour ces secteurs, le coût direct en ce qui concerne le PIB de cet incident serait de l'ordre de 165 millions de dollars. À noter que ce calcul ne tient pas compte des effets indirects (pertes induites dans les secteurs connexes).
  - Par ailleurs, ces pertes n'incluent pas les pertes économiques liées aux fermetures des écoles et des garderies qui pourraient se prolonger au-delà de la période de 8 jours. Il s'agit donc d'une estimation très prudente des pertes économiques.
- Interruption de la protection incendie = 410 millions de dollars ;
  - Il y a 17,5 incendies de bâtiments par jour au Québec (données de 2015, Sécurité publique du Québec<sup>13</sup>). La valeur moyenne des dommages est de 75 000 \$/incendie, pour une valeur protégée moyenne de 2,3 millions de dollars par bâtiment incendié. Il y a 0,01 décès par incendie.
  - Si la protection incendie est interrompue pendant 5 jours, 13 incendies ne seraient pas gérés au Québec (17,5\*5\*15 %). Certains de ces incendies peuvent dégénérer et détruire plusieurs bâtiments. Une étude portant sur les risques d'incendie et les pertes associées en cas de tremblement de terre à Montréal (Scawthorn, 2019) fournit des références sur le risque d'incendies majeurs non contrôlés en cas de rupture de l'approvisionnement en eau pour la protection incendie. Selon cette étude, 18 % des incendies deviennent des incendies majeurs concernant plusieurs bâtiments. La surface au sol moyenne pondérée des incendies (majeurs

<sup>13</sup> [https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/securite-publique/publications-adm/publications-secteurs/securite-incendie/statistiques-incendies/stats\\_incendies\\_2015.pdf?1608306211](https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/securite-publique/publications-adm/publications-secteurs/securite-incendie/statistiques-incendies/stats_incendies_2015.pdf?1608306211)

et non majeurs) serait alors de 7500 m<sup>2</sup>. Pour Montréal, la valeur totale des pertes est de 4200 \$/m<sup>2</sup>. Si nous appliquons ces paramètres à nos 13 incendies sans protection adéquate, nous obtenons des pertes potentielles de 410 millions \$.

- Épidémie de maladies gastro-intestinales et décès prématurés dans les centres de soins = 2 950 millions de dollars ;
  - La contamination des eaux par des agents pathogènes a conduit à 2 000 cas, dont 6 décès pour une population d'environ 5 000 habitants à Walkerton en Ontario en 2000. L'ampleur de l'épidémie est due à la négligence et l'incompétence des gestionnaires de l'usine de traitement. En faisant l'hypothèse que les mesures de contingence limiteraient l'ampleur de la contamination à 15 % du niveau de celle de Walkerton, soit 6 % de la population touchée avec 0,018 % de décès (au lieu de 40 % et 0,12 % respectivement), l'épidémie causerait 76 500 cas, dont 255 décès. Le coût serait de l'ordre de 2,8 milliards de dollars : 450 \$/cas de gastro-entérite<sup>14</sup>, et 11 millions de dollars par décès<sup>13</sup>.
  - En outre, la rupture de l'approvisionnement dans les centres de soins (hôpitaux et CHSLD) et le délai de mise en place des mesures de contingence pourraient entraîner des décès prématurés parmi les patients. Nous ferons l'hypothèse que 10 décès prématurés dans les centres de soins seraient dus à la rupture de l'approvisionnement en eau potable. Cela représenterait un coût de 110 millions de dollars.

Certains coûts sociaux d'une rupture prolongée de l'approvisionnement en eau potable n'ont pas été évalués : stress et anxiété, perte de confiance dans les institutions, etc.

## RISQUE ASSOCIE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques présentent un risque sur l'accès à l'eau lors de période de sécheresse extrême. La quantification de ces risques est encore peu développée.

Nous proposons de considérer une moyenne de 1 journée par an de rupture de l'approvisionnement en eau potable des Québécois qui devrait être compensée par des achats d'eau en bouteilles. Cette valeur nous semble prudente considérant que certaines sources d'approvisionnement sont particulièrement exposées au risque de sécheresse : à titre d'illustration, voir l'analyse de vulnérabilité réalisée pour la Communauté métropolitaine de Québec par Da Silva et coll. (2020).

## 4.3 BÉNÉFICES RELIÉS À L'AMÉLIORATION DE LA SANTÉ HUMAINE

L'amélioration de nos infrastructures en eau a le potentiel d'améliorer la santé des citoyens et il est possible de quantifier en termes financiers les impacts de cette amélioration. D'abord, l'amélioration des procédés de traitement de l'eau potable pourrait donner lieu à une réduction de la contamination de l'eau potable par des agents pathogènes. Les profits associés sont estimés entre 8 et 8,6 millions de dollars par année.

Ensuite, l'amélioration des infrastructures en eau visant une réduction des déversements d'eaux usées aurait le potentiel de réduire les contaminations ayant lieu dans le cadre d'activité récréative sur les

<sup>14</sup> Voir Annexe I.

plans d'eau. Pour la seule région de Montréal, les profits pour la santé humaine associés à la réduction du nombre contaminations par les débordements d'eaux usées sont estimés à 4,5 millions de dollars annuellement.

Par ailleurs, dans la mesure où les traitements disponibles permettraient de réduire la présence de perturbateurs endocriniens dans l'eau, des profits importants pourraient être dégagés, de l'ordre de plus de 485 millions de dollars par année.

Finalement, la réduction de la contribution des eaux usées au développement de l'antibiorésistance des agents pathogènes représenterait un profit annuel de 27 millions de dollars.

#### **4.3.1 REDUCTION DE LA CONTAMINATION DE L'EAU POTABLE PAR DES AGENTS PATHOGENES**

Aujourd'hui encore au Québec, la consommation d'eau du robinet peut donner lieu à des cas de maladies gastro-intestinales. Puisque la majorité de ces cas demeurent des infections bénignes, une proportion importante de ces derniers demeure non rapportée. À la lumière de la littérature existante, on peut estimer que le Québec enregistre entre 2 400 à 5 000 cas annuellement de maladies gastro-intestinales associées à la consommation d'eau du robinet. Selon nos hypothèses, ces cas occasionneraient un coût moyen de 450 \$ par cas de maladies transmises. En faisant l'hypothèse que l'amélioration des procédés de traitement de l'eau potable réduirait le nombre de cas de moitié, le profit estimé serait de l'ordre de 540 000 \$ à 1 125 000 \$ annuellement.

En ce qui concerne les décès évitables, on peut attribuer un coût acceptable pour éviter un futur décès statistique de 11 millions de dollars. Si nous évitions 0,68 décès par an au Québec grâce aux améliorations des procédés de traitement de l'eau potable, le profit annuel additionnel serait de l'ordre de 7,5 millions de dollars<sup>15</sup>.

Ensemble, les profits associés à la réduction de la contamination de l'eau potable par des agents pathogènes seraient donc entre 8 et 8,6 millions de dollars par année.

#### **4.3.2 REDUCTION DES DEVERSEMENTS D'EAUX USEES ET DES CONTAMINATIONS ASSOCIEES**

Les divers scénarios de changements climatiques s'accordent sur un point : nous assisterons à une augmentation de la fréquence des épisodes de pluviométrie intense. Ces derniers peuvent générer des débordements de la capacité du réseau de collecte des eaux pluviales et usées. Dans les zones urbaines denses, ces débordements peuvent être à l'origine de contaminations des eaux de surfaces, pouvant ainsi affecter les activités ainsi que les prises d'eau potable se situant en aval des lieux de rejets.

Olds et coll. (2018) rappellent que les maladies gastro-intestinales augmentent dans la communauté après les pluies. Leurs travaux ont démontré qu'aux États-Unis, la contamination par les eaux usées, qui véhiculent de nombreux pathogènes gastro-intestinaux, est répandue dans les cours d'eau en zones

---

<sup>15</sup> Les détails sur les hypothèses retenues et la littérature pertinente sont présentés dans l'Annexe I.

urbaines à la suite de précipitations. De plus, cette contamination est 10 fois plus élevée à la suite des débordements d'égouts combinés.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Madoux-Humery (2015) à Montréal. Selon elle, environ 80 % des événements de pointe de concentration en *E. coli* au niveau des prises d'eau potable étaient reliés à des débordements d'égouts unitaires (DEU), causés par des précipitations de plus de 10 mm ou par la fonte des neiges. Selon elle, les concentrations en *E. coli* pendant ou après les DEU augmentent significativement aux prises d'eau potable, à proximité des rives et au centre de la rivière.

Les températures plus élevées et les précipitations extrêmes sont des facteurs qui contribuent aux épidémies de maladies hydriques au Canada (Thomas et coll., 2006). À cet effet et à partir de données québécoises, Jalliffier-Verne et coll. (2017) ont montré que, dans le cadre de scénarios de maintien du statu quo limitant l'augmentation de la fréquence des rejets dus aux débordements de systèmes d'égouts combinés, les concentrations moyennes d'*E. coli* dans les prises d'eau potable en aval devraient augmenter jusqu'à 87 % selon le scénario climatique futur. Elles pourraient entraîner des modifications des exigences en matière de traitement de l'eau potable dans le cas des scénarios climatiques les plus défavorables.

Les déversements d'eaux usées dus à des débordements d'égouts présentent donc un risque élevé de contamination par des agents pathogènes des milieux récepteurs. Dans le cas des eaux utilisées à des fins récréatives, cela se traduit par un risque de maladies d'origine hydriques pouvant conduire à la restriction des activités nautiques et de baignade.

Selon le MELCC (2013), « en amont de la région de Montréal, la qualité bactériologique de l'eau est bonne, mais en aval de celle-ci, elle se détériore de façon marquée. Les responsables de cette contamination bactériologique sont les stations d'épuration de Montréal, de Longueuil et de Repentigny. Ces stations déversent dans le fleuve de grandes quantités d'effluents qui ne sont pas désinfectés. À cela s'ajoute l'impact non négligeable des débordements des réseaux d'égout. La mauvaise qualité de l'eau évacuée par la région de Montréal tend à s'estomper dans le lac Saint-Pierre, mais est perceptible jusqu'à Bécancour. La fréquence annuelle de dépassement des critères de qualité pour les activités nautiques a été de 18 %, ce qui signifie que le critère établi pour proscrire les activités nautiques a été atteint pendant environ 66 jours. Cette proportion augmente pour la fréquence de dépassement des critères pour la baignade, qui a varié entre 37 % et 55 % au cours de la période 2000-2008 ».

Selon Cyr et coll. (2015), un déversement d'égout majeur non planifié au niveau de la Ville de Montréal en été pourrait se traduire par la fermeture temporaire des activités nautiques sur 30 km en aval. Nous n'avons pas pu chiffrer les pertes économiques qui en découlent.

Pour la région de Montréal, selon les données de la Communauté métropolitaine de Montréal (2019), il y aurait eu, en 2016, un minimum de 800 000 événements de baignades dans les plages surveillées sur son territoire. Dans le même temps, nous avons estimé, à partir des données d'une étude sur les activités de plein air au Québec (Chaire de tourisme Transat ESG UQAM, 2017), un minimum annuel de 250 000 événements d'activités nautiques non motorisées (voile, kayak, canot, planche à pagaie) dans la région de Montréal. Ensemble, cela représente donc un total de 1 050 000 événements

annuellement. Si nous reprenons le taux d'incidence des maladies transmises par l'eau lors de ces activités de 2 % proposé par DeFlorio-Barker et coll. (2018), il y aurait donc 21 000 cas annuellement dans la région de Montréal. Si nous faisons l'hypothèse que les contaminations par les débordements d'eaux usées ou les rejets non traités représentent 60 %<sup>16</sup> des cas, les bénéfices de réduire les débordements de 80 % sont ceux correspondant au coût de 10 000 cas de maladies transmises par l'eau. En prenant le coût de 450 \$/cas (Bartsch et coll., 2020 ; Collier et coll., 2021), le profit serait de 4,5 millions de dollars annuellement.

#### 4.3.3 REDUCTION EVENTUELLE DE LA CHARGE EN PERTURBATEURS ENDOCRINIENS DANS L'EAU

Les perturbateurs endocriniens rejetés dans l'environnement présentent des risques importants pour la santé humaine reconnus par les agences de santé publique de nombreux pays, incluant le Gouvernement du Canada. Les perturbateurs endocriniens proviennent des pesticides, des plastiques, des produits pharmaceutiques (antibiotiques, anti-inflammatoires, hormones, etc.). Ils sont également issus des produits de soins pour le corps et des cosmétiques, ou encore des retardateurs de flammes, des composés antiadhésifs, antitaches, des mousses anti-incendie, etc.

Parmi les effets nocifs reconnus des perturbateurs endocriniens, notons un retard ou une perturbation du développement intellectuel, sexuel, du système immunitaire, du système nerveux, des fonctions reproductives ainsi qu'une augmentation du risque de certains types de cancers<sup>17</sup>. Les effets les plus marqués des perturbateurs endocriniens ont lieu durant les premiers stades de développement de l'humain. En effet, une exposition aux perturbateurs endocriniens durant les stades critiques du développement peut avoir des effets considérables à long terme et possiblement sur plusieurs générations<sup>16</sup>.

L'eau consommée est responsable d'une partie de l'exposition des êtres humains aux perturbateurs endocriniens (Wee et Aris, 2019). Malgré leur présence dans l'eau potable, il demeure difficile à ce jour de mesurer leurs concentrations exactes. En cause, le large éventail de perturbateurs endocriniens à mesurer et les faibles quantités qui s'y rattachent (généralement en nanogrammes par litres). Pour cette raison, la plupart des perturbateurs endocriniens ne font pas l'objet de normes établies dans l'eau potable, malgré le risque qu'ils posent sur la santé à long terme. En effet, leurs effets nocifs sont étroitement liés à une exposition s'échelonnant sur de longues périodes. Finalement, des défis importants demeurent également au niveau de l'efficacité des traitements disponibles visant réduire les concentrations de perturbateurs endocriniens dans l'eau.

Malgré ce constat, il est fort plausible que les intérêts croissants des agences de santé publique sur la question donnent lieu à l'établissement de normes de concentrations pour les différents perturbateurs endocriniens au cours des 10 à 20 prochaines années. On peut également supposer que les technologies disponibles pour réduire les concentrations de perturbateurs endocriniens dans l'eau se développeront rapidement durant cette période. Pour cette raison, il est important de prendre en

<sup>16</sup> Rappel : selon le MELCC, les rejets urbains constituent les principales sources de contaminations dans les zones urbaines et péri-urbaines.

<sup>17</sup> Gouvernement du Canada. (2021) Prise en compte des effets liés au système endocrinien dans l'évaluation des risques. [www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/fiches-renseignements/effets-systeme-endocrinien-evaluation-risques.html](http://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/fiches-renseignements/effets-systeme-endocrinien-evaluation-risques.html) (page consultée le 7 octobre 2021).

compte certains bénéfices potentiels de la réduction des perturbateurs endocriniens dans l'eau par l'intermédiaire d'investissements dans les usines de traitement de l'eau.

En effet, les coûts économiques associés aux impacts des perturbateurs endocriniens sur la santé humaine sont très importants, évalués à 1,28 % du PIB dans l'Union européenne et à 2,33 % du PIB aux États-Unis (Attina et coll., 2016). Notons ici qu'environ 50 % des coûts sont des coûts directs liés aux soins de santé. L'autre moitié correspond à des coûts indirects liés à la perte de bien-être des personnes atteintes, incluant les pertes de productivité qui se reflètent dans le PIB.

Pour le Québec, un coût annuel représentant 1,5 % du PIB, reflétant un système de santé proche de celui de la plupart des pays européens, semble plausible. Faisons l'hypothèse prudente que l'exposition aux perturbateurs endocriniens à travers l'eau (ceci exclut : consommation d'eau embouteillée, hygiène, baignade et activités nautiques) représente 15 % de notre exposition totale. Par conséquent, les profits de la réduction de moitié de notre exposition à ces derniers, grâce à l'amélioration des traitements des eaux usées, seraient de l'ordre de 485 millions de dollars annuellement<sup>18</sup>.

L'impact des perturbateurs endocriniens sur la santé des écosystèmes est évalué dans la section 4.4.2.

#### 4.3.4 REDUCTION DE LA CONTRIBUTION A L'ANTIBIORESISTANCE DES AGENTS PATHOGENES

Les antibiotiques et les résidus antibiotiques contenus dans les eaux usées contribuent au développement de l'antibiorésistance de nombreux agents pathogènes (Pärnänen et coll., 2019 ; Paulsus et coll., 2019 ; Pina et coll., 2020).

L'usage des antibiotiques en élevage est aussi une source importante d'antibiorésistance, mais celle-ci n'est pas plus importante que celle liée à l'usage en santé humaine (Tang et coll., 2017 ; Koch et coll., 2017). Sur la base de ce qui précède, et à défaut d'avoir pu trouver une d'évaluation plus précise, nous ferons l'hypothèse que les eaux usées contribuent à hauteur de 40 % au développement de l'antibiorésistance.

L'évaluation du coût économique de l'antibiorésistance présente de nombreux défis méthodologiques (Jit et coll., 2020 ; Naylor et coll., 2018), et aucune évaluation de référence n'a été à notre connaissance publiée à ce jour. Néanmoins, Jit et coll. (2020) ont recensé plusieurs études réalisées aux États-Unis estimant les coûts directs de l'antibiorésistance (coûts plus élevés des traitements<sup>19</sup>) dont les résultats convergent vers 3 milliards de dollars américains par an.

Comme le coût direct de l'antibiorésistance correspond à une perte d'efficacité des traitements antibiotiques, nous rapportons son coût au nombre de prescriptions d'antibiotiques aux États-Unis et nous extrapolons ce coût unitaire au Canada. En 2019, il y a eu 250 millions de prescriptions

<sup>18</sup>  $0.1 \times 0.3 \times 0.015 \times 431$  milliards de dollars (PIB 2019 en dollars enchaînés de 2012, converti en dollars 2021) ; Le bénéfice de réduire l'exposition des écosystèmes naturels (par opposition aux bénéfices sur la santé humaine) aux perturbateurs endocriniens est évalué dans la section suivante sur les micropolluants rejetés dans les eaux usées.

<sup>19</sup> Les coûts plus élevés de traitement découlent de l'inefficacité du traitement antibiotique initial et des complications qui peuvent en découler nécessitant des soins plus coûteux (Eliopoulos et coll., 2003).



d'antibiotiques aux États-Unis selon les données du CDC<sup>20</sup>, soit un surcoût de 12 \$ US/prescription (15,6 \$ CA/prescription avec un taux de change de 1,3).

En 2017 au Canada, 24 millions de prescriptions d'antibiotiques<sup>21</sup>. Au prorata de la population, il y aurait donc eu, en 2017, 5,5 millions de prescriptions au Québec.

Si nous faisons l'hypothèse que les traitements des eaux usées peuvent réduire de 80 % la contribution des eaux usées à l'antibiorésistance des agents pathogènes, alors le profit annuel estimé serait de l'ordre de 27 M\$.

#### **4.4 BÉNÉFICES RELIÉS À L'AMÉLIORATION DE LA SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES**

L'amélioration de la qualité des rejets d'eaux usées se traduira par une meilleure santé des écosystèmes récepteurs et une hausse de la valeur des biens et services environnementaux qui y sont associés. Une estimation basse de ces profits se situerait autour de 324 millions de dollars, au sein desquels nous pourrions distinguer ceux liés à la réduction de la pollution par les micropolluants.

##### **4.4.1 AMÉLIORATION DU TRAITEMENT DES EAUX USEES**

Dans le cas de l'agglomération de Montréal, comme l'a montré le grand déversement de 2015, les écosystèmes du Lac Saint-Pierre sont particulièrement exposés aux risques écologiques associés aux déversements d'eaux usées dans le milieu. Une certaine incertitude demeure toutefois quant à l'ampleur de ces risques en raison de connaissances encore insuffisantes à ce sujet (Marcogliese et coll., 2015). Cette question prendra encore plus d'importance dans le futur, en raison des changements climatiques qui pourraient se traduire par une baisse du niveau du lac (He et coll., 2016).

He et coll. (2016) ont estimé que les variations de la qualité des écosystèmes dues aux changements climatiques pourraient réduire la valeur des biens et services environnementaux du Lac Saint-Pierre. En utilisant la méthode du consentement à payer, ils ont estimé qu'un ménage québécois moyen serait prêt à payer 249 \$/an pour mettre en œuvre des solutions qui améliorent la qualité de l'eau pour atteindre une qualité moyenne. Cette estimation monterait à 498 \$/an pour une bonne qualité de l'eau dans le Lac Saint-Pierre. Notons ici que, dans un autre contexte québécois, L'Écuyer-Sauvageau et coll. (2019) ont obtenu un consentement à payer de 353 \$/ménage/an pour améliorer la qualité de l'eau.

Sur cette base, et en reprenant les valeurs de consentement à payer pour l'amélioration de la qualité de l'eau présentée ci-dessus (250 \$/ménage/an pour 3,7 millions de ménages), la valeur des profits résultant de l'amélioration de la qualité de l'eau, grâce à un meilleur traitement et une meilleure gestion des eaux usées par l'amélioration des infrastructures en eau, se situerait autour de 925 millions de dollars annuellement. De ce montant, il faut déduire les profits de la réduction de la charge en micropolluants évalués dans la section suivante.

Selon le MELCC<sup>22</sup>, les rejets d'eaux usées non traitées et les débordements d'égouts constituent la principale source de contamination des eaux à proximité des zones urbaines. Malheureusement, cette

---

<sup>20</sup> [www.cdc.gov/antibiotic-use/data/report-2019.html](http://www.cdc.gov/antibiotic-use/data/report-2019.html)

<sup>21</sup> [www.canada.ca/fr/sante-publique/organisation/publications/rapports-etat-sante-publique-canada-administrateur-chef-sante-publique/preserver-antibiotiques/utilisation-antibiotiques.html](http://www.canada.ca/fr/sante-publique/organisation/publications/rapports-etat-sante-publique-canada-administrateur-chef-sante-publique/preserver-antibiotiques/utilisation-antibiotiques.html)

<sup>22</sup> [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/recreative/causes.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/recreative/causes.htm)



contribution n'est pas quantifiée. Cependant, on pourrait de manière prudente considérer que les effluents de traitement des eaux usées et les effluents municipaux non traités contribuent à hauteur de 35 % à la dégradation de la qualité des eaux à l'échelle du Québec.

#### 4.4.2 REDUCTION DE LA CHARGE EN MICROPOLLUANTS DES EFFLUENTS DE STATION D'ASSAINISSEMENT

Les micropolluants, incluant les produits pharmaceutiques et de soin personnel (PPSP), sont reconnus comme une source de pollution qui affecte non seulement la santé humaine, mais aussi la santé des écosystèmes<sup>23</sup>. Le risque environnemental associé à la présence de micropolluants dans l'eau dépend des molécules actives et des écosystèmes récepteurs. Néanmoins, on peut faire le constat simple que le traitement tertiaire des eaux usées permet de réduire les rejets de ces micropolluants dans les écosystèmes récepteurs, et donc les risques écologiques associés. Comme les PPSP sont les micropolluants pour lesquels nous avons trouvé le plus d'évaluation financière de leurs impacts, nous nous sommes limités à évaluer les profits de leur réduction par l'amélioration du traitement des eaux.

Les PPSP les plus fréquemment présents dans les eaux usées au Québec sont l'ibuprofène, l'acétaminophène, le naproxène, le sulfaméthoxazole et l'acide salicylique. L'amélioration des procédés de traitement des eaux usées permettrait de réduire la concentration des PPSP dans les rejets des eaux usées au Québec. Ceci donnerait lieu à des profits de l'ordre de 200 millions de dollars annuellement. Cette estimation est basée sur la méthode des prix fictifs, appliqués à deux des plus importants micropolluants, soit l'acétaminophène et l'ibuprofène<sup>24</sup>. Ces profits correspondent à une réduction du risque environnemental pour les écosystèmes récepteurs. Ils ne tiennent pas compte des risques éventuels sur la santé humaine des PPSP, dont le plus connu est celui des perturbateurs endocriniens (voir section précédente).

#### 4.4.3 REDUCTION DE LA CHARGE EN MICROPLASTIQUE

À partir d'une étude publiée par le Gouvernement du Canada en 2020 et citant des données provenant d'une étude réalisée à Vancouver (Gies et coll., 2018), on peut estimer que la concentration en microplastiques des effluents de traitement des eaux usées du Québec serait de l'ordre de 0,5 particule/litres. En utilisant le volume d'eaux traitées au Québec en 2018 de 5,7 millions de m<sup>3</sup>/jour, on obtient un rejet annuel de l'ordre de 1000 milliards de particules de microplastiques.

L'évaluation économique des impacts de la pollution par les microplastiques est un champ de recherche émergent. Néanmoins, plusieurs études récentes proposent des estimations des profits associés à une réduction de la pollution par les microplastiques :

- Beaumont et coll. (2019) ont proposé une estimation à l'échelle globale du coût de la pollution par les plastiques des écosystèmes marins. À partir de données de 2011, le coût d'une tonne de plastique sur le plan de pertes de biens et services environnementaux serait de 3 300 \$ à 33 000 \$. Cette valeur n'inclut pas les éventuelles pertes économiques dues à la pollution.

<sup>23</sup> [www.inspq.qc.ca/bise/les-produits-pharmaceutiques-et-de-soins-personnels-dans-l-eau-potable](http://www.inspq.qc.ca/bise/les-produits-pharmaceutiques-et-de-soins-personnels-dans-l-eau-potable)

<sup>24</sup> Les détails sur les hypothèses retenues et la littérature pertinente sont présentés dans l'Annexe I.

- Lee (2015) a estimé que l'industrie britannique des mollusques et crustacés pourrait perdre annuellement 0,4 à 2,5 % de ces ventes en raison de la pollution aux microplastiques. Transposées au Québec, et selon les données du MAPAQ pour 2017<sup>25</sup>, les pertes potentielles pour les secteurs de la pêche et de l'aquaculture marine de mollusques et crustacés pourraient atteindre 200 000 \$ annuellement.
- Abate et coll. (2020) constate que le consentement à payer moyen pour une initiative visant à réduire les plastiques marins en Norvège est de 5 485 NOK (642 \$ US) par ménage et par an.
- King et coll. (2021) ont établi que le consentement à payer des ménages anglais, pour réduire la pollution par les microplastiques au niveau d'une station de traitement des eaux usées, était de 74 livres sterling par ménage par an. Cela représente environ 18 % de la facture moyenne d'eau des ménages anglais en 2020<sup>26</sup>.

À la lumière de ce qui précède, il est difficile de réaliser le transfert de profit vers le contexte québécois. Aussi, nous n'incluons pas la réduction de la charge en microplastiques dans notre évaluation des profits.

#### **4.5 BENEFICES RELIES A LA REDUCTION DES RISQUES D'INONDATIONS RELIES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Les divers scénarios de changements climatiques s'accordent sur un point : l'augmentation de la fréquence des épisodes de pluviométrie intense. Ces derniers peuvent générer des inondations urbaines en raison du débordement de la capacité du réseau de collecte des eaux pluviales, des infiltrations et influx dans le système de collecte des eaux usées.

Les coûts engendrés par ces inondations sont la destruction de propriétés dont une partie peut être assurée ou non. Pour la partie assurée, l'augmentation de la fréquence des événements se traduira par une hausse des primes d'assurances. En plus des coûts financiers directs, ces épisodes d'inondations ont des coûts indirects et non financiers qui sont maintenant largement reconnus.

Binns et Sandink (2021) souligne les risques accrus de dommages en raison de la tendance à aménager les sous-sols pour fin résidentielle, notamment dans les grandes villes afin d'accroître l'offre en logements locatifs abordables. Cette tendance expose particulièrement les populations plus vulnérables au risque d'inondation.

- Le montant des réclamations faites à la Ville de Montréal pour les inondations de 2005, dues à un refoulement d'égouts à la suite de pluies diluviennes, était de 21 millions de dollars (4845 logements endommagés, soit 4 350 \$/logement en moyenne)<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup> [www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pêche/md/Publications/Pages/Details-Publication.aspx?guid=%7b30d7cfa7-d53a-45af-81a6-cd7fe8232fce%7d](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pêche/md/Publications/Pages/Details-Publication.aspx?guid=%7b30d7cfa7-d53a-45af-81a6-cd7fe8232fce%7d)

<sup>26</sup> [www.water.org.uk/news-item/average-water-bills-set-to-fall-as-additional-support-for-customers-continues/](http://www.water.org.uk/news-item/average-water-bills-set-to-fall-as-additional-support-for-customers-continues/)

<sup>27</sup> [www.lapresse.ca/actualites/regional/montreal/200903/07/01-834161-les-pluies-diluvieuses-de-2005-ont-coute-12-million.php](http://www.lapresse.ca/actualites/regional/montreal/200903/07/01-834161-les-pluies-diluvieuses-de-2005-ont-coute-12-million.php)

- Entre 2011 et 2018, la Ville de Montréal a reçu près de 600 demandes pour des dommages causés par des refoulements ou des ruptures de conduites, pour un total de 34 millions<sup>28</sup>. Cela correspond à 57 000 \$/réclamation.
- Un sous-sol inondé coûte en moyenne 43 000 \$ à réparer, selon les derniers chiffres du Bureau d'assurance du Canada (BAC) pour 2018 (Evans et Feltmate, 2019).
- Au Canada, le coût moyen des demandes d'indemnité consécutives à des dégâts d'eau avait augmenté de 117 % entre 2002 et 2012, passant de 7 192 \$ à plus de 15 500 \$ (KPMG, 2014).
- Selon la BAC, en 2018, 636 millions de dollars ont été versés, au Québec, pour des réclamations résultant de dégâts d'eau. Or, 60 % des dommages par l'eau sont causés par des infrastructures municipales en mauvais état.

Si l'on considère que les pertes assurées représentent seulement 50 % des pertes totales<sup>29</sup>, les dommages associés aux infrastructures d'eau municipales en mauvais état seraient de 760 millions de dollars annuellement au Québec.

Dans le calcul des profits, nous déduirons ce dernier montant des 760 millions estimés pour l'ensemble des dommages liés aux infrastructures municipales en eau. Ceci permet d'éviter le double comptage des dommages déjà comptabilisés dans le coût des réparations de bris de canalisation.

Le 29 mai 2012, Montréal a connu un épisode de pluie diluvienne (précipitation sur 1 journée de l'ordre de 70 mm). Selon la courbe Intensité-Durée-Fréquence des précipitations pour la Ville de Montréal (Tableau 4.3), cela correspondait à un événement décennal. La Ville de Montréal a reçu 3765 réclamations pour cette seule journée, à la suite d'un refoulement ou d'une inondation<sup>30</sup>. Si nous appliquons le montant de 20 000 \$/réclamation, cela induirait un montant estimé à 75 millions de dollars de dommages.

**Tableau 4.3**  
**Pluviométrie maximale probable (mm) sur une journée selon la période de retour pour les 5 stations météorologiques couvrant la Ville de Montréal**

	PÉRIODE DE RETOUR					
	2 ANS	5 ANS	10 ANS	25 ANS	50 ANS	100 ANS
Selon la courbe IDF Environnement Canada	54	69	80	93	103	113
Corrigé pour l'impact des CCC	63	82	94	110	121	133

Correction pour l'impact des changements climatiques de 18 % proposé par Martel et coll. (2021)

Source : Environnement Canada ([https://climat.meteo.gc.ca/prods\\_servs/engineering\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/prods_servs/engineering_f.html))

<sup>28</sup> [www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201811/25/01-5205566-montreal-82-millions-en-reglements-a-lamiable-depuis-2011.php](http://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201811/25/01-5205566-montreal-82-millions-en-reglements-a-lamiable-depuis-2011.php)

<sup>29</sup> Dans le cas des inondations catastrophiques, le ratio serait de 25 % selon Ziolecki et coll. (2020).

<sup>30</sup> <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/580717/inondations-clapet-reclamations>

Si l'on considère l'impact des changements climatiques sur la courbe IDF, Martel et coll. (2021) propose un ajustement simple pour le Québec de 18 % du montant des précipitations pour chaque période de retour. Selon cet ajustement, un événement considéré décennal actuellement deviendrait deux fois plus fréquent avec une période de retour aux 5 ans. Ainsi, la non-adaptation du réseau de collecte des eaux pluviales à Montréal pourrait engendrer des coûts liés à l'accroissement des épisodes d'inondations urbaines causés par les pluies diluviennes. Ceux-ci seraient deux fois plus importants sur une période de 10 ans (150 millions au lieu de 75 millions).

De manière plus générale, les résultats de la modélisation de Cheng et coll. (2012) ont montré que, en moyenne sur les cinq scénarios MCG et dans toute la zone d'étude (Kitchener-Waterloo, London, Ottawa, et Toronto), le nombre total mensuel de demandes d'indemnisation pour dégâts des eaux liés aux précipitations et les pertes encourues pourraient augmenter d'environ 13 %, 20 % et 30 % pour les périodes 2016-2035, 2046-2065 et 2081-2100, respectivement. Ces chiffres sont à comparer à la moyenne saisonnière de  $12 \pm 1,7$  millier de demandes d'indemnisation et de  $88 \pm 21$  millions de dollars pour la période avril-septembre 1992-2002 dans quatre villes.

Si nous reprenons les résultats de Cheng et coll. (2012) et un montant de 760 millions de dommages, la non-adaptation des réseaux de collecte des eaux pluviales des municipalités québécoises aux changements climatiques pourrait causer une augmentation des dommages de :

- 100 millions par an d'ici 2035,
- 150 millions par an pour la période 2046-2065,
- 225 millions par an pour la période 2081-2100.

L'augmentation des sinistres dus à ces épisodes conduirait très probablement à une hausse marquée des primes d'assurance pour l'ensemble des assurés résidant au Québec. Cela viendrait accroître le coût de la non-adaptation des réseaux de collecte des eaux pluviales des municipalités québécoises aux changements climatiques.

Outre le risque accru d'inondations causées par le refoulement des égouts, l'influx/infiltration peut réduire la capacité des systèmes d'eaux usées à transporter et à traiter les eaux usées. Il peut aussi augmenter les coûts d'exploitation de l'infrastructure et du traitement des eaux usées, et entraîner des surcharges des systèmes d'eaux usées. Il peut en résulter des externalités environnementales négatives, notamment l'introduction de volumes substantiels de polluants microbiens, chimiques et sédimentaires dans les eaux de surface lors d'événements combinés ou de surcharges des systèmes d'eaux usées (Sandink, 2016).

#### **4.6 BÉNÉFICES LIÉS À LA RÉDUCTION DES RISQUES DE CATASTROPHES**

En l'absence de donnée précise sur les plans de contingence et sur l'évaluation des risques catastrophiques liés aux infrastructures en eau, nos estimations des profits n'incluent pas la réduction des risques catastrophiques. La seule exception concerne notre estimation d'un scénario de rupture de l'approvisionnement en eau potable.

## 5. SYNTHÈSE DES RESULTATS

### 5.1 CALCUL DU RETOUR SUR INVESTISSEMENT POUR LE SCÉNARIO RATTRAPAGE 10 ANS

Les paramètres utilisés pour le calcul des profits sont détaillés dans l'annexe II.

Le retour sur investissement a été calculé de la manière suivante :

$$\frac{VAN \text{ des bénéfices du scénario Rattrapage 10 ans par rapport au Status Quo}}{VAN (\text{Investissements du scénario Rattrapage 10 ans} - \text{Investissements du scénario Status Quo})}$$

La valeur actuelle nette (VAN) est calculée sur une période de 25 ans avec un taux d'actualisation de 1,7 %.

Les résultats obtenus montrent que le RSI est positif pour toutes les catégories d'infrastructures en eau (Tableau 5.1), avec un RSI global de 1,72.

On peut aussi constater que le RSI varie significativement d'une catégorie d'infrastructures à l'autre : 1,21 pour les infrastructures ponctuelles en eaux usées, 4,40 pour les infrastructures linéaires en eau potable.

**Tableau 5.1**  
Estimation du retour sur investissement (RSI) pour le scénario Rattrapage 10 ans d'investissement dans les infrastructures en eau au Québec à l'horizon 2045 (25 ans)

<i>millions \$ (2021)</i>	INVESTISSEMENTS NETS TOTAUX	BÉNÉFICES NETS TOTAUX	RSI
Linéaire Eau potable	3 428	15 069	4,40
Ponctuelles Eau potable	5 821	7 374	1,27
<b>Ensemble Eau potable</b>	<b>9 249</b>	<b>22 443</b>	<b>2,43</b>
Linéaire Eaux usées et pluviales	4 228	7 783	1,84
Ponctuelles Eaux usées et pluviales	13 627	16 485	1,21
<b>Ensemble Eaux usées</b>	<b>17 855</b>	<b>24 268</b>	<b>1,36</b>
<b>Ensemble</b>	<b>27 104</b>	<b>46 710</b>	<b>1,72</b>

Taux d'actualisation de 1,7 %

Source : Calculs du Groupe AGÉCO

## 5.2 ANALYSE DE SENSIBILITE

Les analyses de sensibilité porteront sur le taux d'actualisation et sur les paramètres qui nous ont permis d'estimer les profits associés à notre scénario d'investissement.

### 5.2.1 TAUX D'ACTUALISATION

Nous considérerons des taux d'actualisation de 1 %, 3 % et 4 %.

Le Tableau 5.2 montre que l'augmentation du taux d'actualisation réduit le RSI comme attendu. Cependant, il reste supérieur à 1 dans le cas du taux d'actualisation de 4 %, qui donne plus de poids à la période initiale (10 premières années) d'investissement intense et de profits partiels.

Tableau 5.2

Effet du taux d'actualisation sur l'estimation du retour sur investissement pour le scénario Rattrapage 10 ans

	TAUX D'ACTUALISATION			
	1,7 %	1 %	3 %	4 %
Linéaire Eau potable	4,40	5,08	3,47	2,95
Ponctuelles Eau potable	1,27	1,33	1,16	1,08
<b>Ensemble Eau potable</b>	<b>2,43</b>	<b>2,64</b>	<b>2,09</b>	<b>1,88</b>
Linéaire Eaux usées et pluviales	1,84	2,04	1,55	1,38
Ponctuelles Eaux usées et pluviales	1,21	1,27	1,10	1,03
<b>Ensemble Eaux usées</b>	<b>1,36</b>	<b>1,45</b>	<b>1,21</b>	<b>1,12</b>
<b>Ensemble</b>	<b>1,72</b>	<b>1,85</b>	<b>1,52</b>	<b>1,38</b>

Source : Calculs du Groupe AGÉCO

### 5.2.2 PARAMETRES D'EVALUATION DES BENEFICES ET DES PROFITS

L'analyse de la contribution des divers bénéfices et profits présentés dans le Tableau 4.1 (p.16) au résultat final permet d'identifier les éléments critiques les plus susceptibles d'affecter le RSI :

- Pour les infrastructures linéaires d'eau potable : réduction des taux de bris (68 % des bénéfices évalués pour cette catégorie),
- Pour les infrastructures linéaires d'eaux usées : réduction des dégâts d'eau (73 % des bénéfices évalués pour cette catégorie),
- Pour les infrastructures ponctuelles en eau potable : ruptures d'approvisionnement en eau (51 % des bénéfices évalués pour cette catégorie), et réduction des frais d'exploitation (45 %),
- Pour les infrastructures ponctuelles en eaux usées : réduction des risques santé humaine et santé des écosystèmes liés aux micropolluants (66 %).

Les paramètres critiques identifiés et retenus pour l'analyse de sensibilité sont présentés ci-dessous (Tableau 5.3).

**Tableau 5.3**  
**Paramètres critiques retenus pour l'analyse de sensibilité**

	PARAMÈTRES
Linéaire Eau potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taux de bris par cote CERIU d'état des infrastructures</li> </ul>
Ponctuelles Eau potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impact d'une rupture catastrophique de l'approvisionnement en eau potable</li> </ul>
Linéaire Eaux usées et pluviales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taux de réduction des dégâts d'eau permis par le rattrapage et l'amélioration</li> <li>▪ Montant de référence des dommages</li> </ul>
Ponctuelles Eaux usées et pluviales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Valeur attribuée à l'amélioration de la qualité de l'eau vis-à-vis des biens et services environnementaux et de la santé humaine</li> </ul>

### VARIATION DU TAUX DE BRIS PAR COTE CERIU D'ETAT DES INFRASTRUCTURES

L'analyse de sensibilité porte sur une diminution du taux de bris pour les infrastructures linéaires d'eau potable cotée D-E qui passe de 2 à 1,5 bris/km/an. Cette fourchette constituerait une valeur très conservatrice au regard des données disponibles (voir section 4.2.1).

Le RSI des infrastructures linéaires d'eau potable passerait alors de 4,40 à 3,61.

### VARIATION DE L'IMPACT D'UNE RUPTURE CATASTROPHIQUE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE

Notre évaluation de l'impact d'une rupture catastrophique de l'approvisionnement en eau potable est basée sur un scénario relativement spéculatif d'une rupture majeure touchant 1 275 000 habitants au Québec. Les coûts de ce scénario ont été évalués à 3,9 milliards de dollars.

L'analyse de sensibilité considère un impact plus conservateur de 2 milliards de dollars.

Le RSI des infrastructures ponctuelles d'eau potable passerait alors de 1,27 à 1,05.

### VARIATION DU MONTANT DES DOMMAGES DES DEGATS D'EAU CAUSES PAR LES INFRASTRUCTURES LINEAIRES D'EAUX USEES ET PLUVIALES

Selon nos estimations, la valeur annuelle des dégâts d'eau causés par les infrastructures linéaires d'eaux usées et pluviales est de 760 millions de dollars, basée sur les estimations des pertes assurées et non assurées.

L'analyse de sensibilité considère un montant plus conservateur de 532 millions de dollars correspondant à une diminution de 30 %.

À ce montant réduit, nous couplerons une diminution d'un tiers de l'impact des investissements de rattrapage, et d'amélioration sur la réduction de ces dégâts d'eau.

Le RSI des infrastructures linéaires d'eaux usées et pluviales passerait alors de 1,84 à 1,18.

## **VARIATION DE LA VALEUR ATTRIBUEE A L'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'EAU VIS-A-VIS DES BIENS ET SERVICES ENVIRONNEMENTAUX ET DE LA SANTE HUMAINE**

Les principaux bénéfices des investissements dans les infrastructures ponctuelles d'eaux usées et pluviales proviennent de l'amélioration de la qualité des eaux rejetées et de la réduction des risques pour la santé humaine et la santé des écosystèmes.

Les évaluations financières des profits reposent essentiellement sur le transfert des bénéfices évalués dans d'autres contextes. Nous les avons réalisés ici de manière très prudente, notamment en ce qui concerne l'impact des perturbateurs endocriniens sur la santé humaine.

L'analyse de sensibilité considère une réduction d'un tiers des paramètres utilisés pour l'évaluation de ces profits : valeur des biens et services environnementaux mis à risque par l'exposition aux micropolluants contenus dans les rejets d'eaux usées ; valeur financière des impacts sur la qualité de l'eau.

Le RSI des infrastructures ponctuelles d'eaux usées et pluviales passerait alors de 1,21 à 1,07.

## **BILAN DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE**

Les résultats de ces analyses de sensibilité (Tableau 5.4, page suivante) démontrent :

- La robustesse du RSI des infrastructures linéaires d'eau potable face à une diminution du taux de bris sur les canalisations cotées D-E,
- La relative robustesse du RSI des infrastructures linéaires d'eaux usées et pluviales face à une diminution du montant des dommages causés par les dégâts d'eau imputables aux infrastructures municipales,
- La sensibilité du RSI des infrastructures ponctuelles d'eau potable à la valeur des impacts d'une rupture catastrophique de l'approvisionnement en eau potable,
- La sensibilité du RSI des infrastructures ponctuelles d'eaux usées à l'évaluation des biens et des services environnementaux affectés par la dégradation de la qualité de l'eau.



**Tableau 5.4**  
**Récapitulatif des analyses de sensibilité du RSI par catégorie d'infrastructures en eau**

LINÉAIRE EAU POTABLE				
PARAMÈTRES	INITIALEMENT		TEST DE SENSIBILITÉ	
	VALEUR	RSI	VALEUR	RSI
▪ Taux de bris par cote CERIU d'état des infrastructures — Canalisation (bris/km)	2,0	4,40	1,5	3,61
▪ Taux de bris par cote CERIU d'état des infrastructures — Branchement (bris/km)	2,0		1,5	
PONCTUELLES EAU POTABLE				
PARAMÈTRES	INITIALEMENT		TEST DE SENSIBILITÉ	
	VALEUR	RSI	VALEUR	RSI
▪ Impact d'une rupture catastrophique de l'approvisionnement en eau potable (M\$)	3 948	1,27	2 000	1,05
LINÉAIRE EAUX USÉES ET PLUVIALES				
PARAMÈTRES	INITIALEMENT		TEST DE SENSIBILITÉ	
	VALEUR	RSI	VALEUR	RSI
▪ Taux de réduction des dégâts d'eau permis par le rattrapage	35 %	1,84	23 %	1,18
▪ Taux de réduction des dégâts d'eau permis par le l'amélioration (adaptation aux changements climatiques)	65 %		43 %	
▪ Montant de référence des dommages (M\$)	760		532	
PONCTUELLES EAUX USÉES ET PLUVIALES				
PARAMÈTRES	INITIALEMENT		TEST DE SENSIBILITÉ	
	VALEUR	RSI	VALEUR	RSI
▪ Valeur des biens et services environnementaux mis à risque par l'exposition aux micropolluants contenus dans les rejets d'eaux usées (M\$)	200	1,21	133	1,07
▪ Valeur financière des impacts sur la qualité de l'eau (\$/ménage)	250		167	

## 6. CONCLUSION

---

Des investissements massifs sont requis pour (1) combler le déficit d'investissement qui afflige les infrastructures en eau du Québec, et (2) les améliorer pour faire face aux défis futurs de l'adaptation aux changements climatiques et de la réduction des pollutions par les composés nocifs émergents. Dans le cadre de cette étude exploratoire, le montant actualisé de ces investissements sur 25 ans a été estimé à environ 49 milliards de dollars. Cela signifie des investissements additionnels de 27 milliards de dollars par rapport au statu quo (maintien pendant 25 ans du niveau actuel d'investissement, soit un investissement total de 22 milliards de dollars).

Nous avons pu identifier les nombreux bénéfices que généreraient ces investissements, que ce soit sous la forme de coûts évités ou sous forme de bénéfices directs. Néanmoins, le manque de données et l'incertitude entourant certains résultats de la recherche scientifique ne nous ont pas permis d'évaluer financièrement l'ensemble de ces bénéfices pour le Québec.

Quand une évaluation était possible, nous avons adopté une approche prudente en retenant les hypothèses conservatrices qui nous semblaient raisonnables. Cela nous a conduits à une estimation basse d'environ 47 milliards de dollars des profits générés par les 27 milliards d'investissements additionnels par rapport au statu quo. Sur cette base, nous proposons une estimation, qui nous semble conservatrice, de 1,72 pour le retour sur investissement des infrastructures en eau du Québec.

L'analyse de sensibilité démontre la robustesse de ce retour sur investissement pour les infrastructures linéaires d'eau potable et d'eaux usées et pluviales. Dans le cas des infrastructures ponctuelles, le retour sur investissement est plus à risque d'être proche de 1 lorsque les paramètres clés du modèle d'évaluation des profits varient.

Dans le cas des infrastructures ponctuelles d'eau potable, le coût d'une rupture catastrophique de l'approvisionnement en eau potable est un paramètre critique. Son évaluation plus précise requiert une meilleure connaissance du risque et des conséquences éventuelles d'un tel événement.

Pour ce qui est des infrastructures ponctuelles d'eaux usées et pluviales, les paramètres critiques sont les suivants : la valeur des biens et services environnementaux liés à la qualité des eaux rejetées ; les coûts sur la santé humaine des composés nocifs contenus dans les eaux usées. Des recherches complémentaires seraient nécessaires afin d'en préciser la valeur dans le contexte québécois.

Finalement, outre les bénéfices identifiés, et quantifiés dans la présente étude, l'élimination du déficit de maintien d'actifs et, par suite, une gestion proactive des infrastructures permet d'accéder à une meilleure équité intergénérationnelle. En effet, une meilleure gestion des infrastructures garantit qu'un service de qualité continuera à être fourni. D'autre part, un entretien régulier conduit naturellement à une répartition plus équitable des coûts dans le temps. Bien que non chiffré, ce bénéfice pour la société est bien réel.

## ANNEXE I

---

### A.1 CALCUL DES BÉNÉFICES ASSOCIÉS À L'AMÉLIORATION DE LA SANTÉ HUMAINE

#### A.1.1 RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DE L'EAU PAR DES AGENTS PATHOGÈNES

##### ESTIMATION DU NOMBRE DE CAS DE MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE LIES AUX SYSTEMES D'EAU POTABLE MUNICIPAUX

Selon Renwick et coll. (2019), entre 1995 et 2014 le CDC a attribué 43 éclosions de maladies transmises par l'eau à des défaillances du système de distribution d'eau potable aux États-Unis, pour 4 800 cas rapportés de maladies. Cela représente 4 % des éclosions de maladies transmises par l'eau sur la même période (7 % des cas rapportés).

Selon Murphy et coll. (2016), 334 966 cas de maladies gastro-intestinales par an sont associés à la consommation d'eau du robinet provenant de systèmes municipaux desservant plus de 1 000 personnes au Canada (1 175 cas/100 000 habitants). Cela représente 1,6 % des cas totaux comptabilisés au Canada.

Si l'on appliquait ce ratio de 1 175 cas/100 000 habitants au Québec, on obtiendrait 99 875 cas annuellement. Or, les données de l'INSPQ pour la période 2005-2016 (Dubé et coll., 2018) font état de 1,2 éclosion par an en moyenne liée aux réseaux municipaux d'eau potable (environ 8 cas en moyenne par an).

Notons que l'INSPQ ne recense que des cas rapportés à travers le réseau de surveillance. Or, le nombre de cas réels est nettement plus important que le nombre de cas rapporté. Ainsi selon MacDougall et coll. (2008), au Canada, il y aurait environ 300 cas pour 1 cas rapporté. Des études américaines placent la sous-estimation des cas entre 30 à 25 cas par cas rapporté (DeFlorio-Barker et coll., 2018).

La fourchette d'estimation du nombre de cas est grande : de 240 cas (données de l'INSPQ ajustées d'un multiplicateur de 30) à près de 100 000 cas, en passant par 2 400 cas (données de l'INSPQ ajustées d'un multiplicateur de 300). À la lumière de ce qui précède, nous retiendrons une valeur indicative de 2 400 à 5 000 cas annuellement pour Québec.

Greco et coll. (2020) ont estimé, pour l'Ontario, que les taux attribuables annuels moyens pour les maladies d'origine hydrique étaient (pour 100 000 habitants) : 69 visites aux services d'urgence, 12 hospitalisations et 0,52 décès. Cela souligne le niveau d'incertitude avec des estimations correspondantes du 5e au 95e percentile (pour 100 000 habitants) de 13-158 visites de services d'urgence, 5-22 hospitalisations et 0,29-0,83 décès. En appliquant les mêmes ratios au Québec, on obtiendrait 42 décès annuellement dus aux maladies d'origine hydrique dont 0,68 (1,6 %) serait dû aux infrastructures en eau potable.

Les changements climatiques devraient entraîner une hausse des cas de maladies d'origine hydrique. Selon Chhetri et coll. (2019), le nombre supplémentaire estimé de cas rapportés dus aux changements climatiques à Vancouver augmenterait de 16 % d'ici 2080 par rapport à la période de référence s'arrêtant en 2002.

## ESTIMATION DU COUT DES CAS DE MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE

D'après Majowicz et coll. (2006), le coût moyen estimé par cas de gastro-entérite au Canada aurait été de 1089 \$ en 2006. Bartsch et coll. (2020) ont établi un coût moyen par cas de gastro-entérite de 457 \$ US en 2020. La différence d'ordre de grandeur pourrait traduire l'évolution sur 15 ans du type de soins et des coûts unitaires de ces soins.

Collier et coll. (2021) ont estimé des coûts directs liés aux maladies transmises par l'eau à 3,3 milliards de dollars, regroupant l'ensemble des sources de contamination (eau potable, eau de baignade, eau de l'environnement). Avec 7,15 millions de cas, le coût moyen par cas serait ainsi de l'ordre de 466 \$ US (2014).

Nous retiendrons un coût de 450 \$/cas de maladies transmises par l'eau. Sur cette base, et en faisant l'hypothèse que l'amélioration de l'état des infrastructures d'eau réduirait de moitié le nombre de cas, le profit serait de 540 000 \$ à 1 125 000 \$ annuellement.

En ce qui concerne les décès évitables, on peut attribuer un coût acceptable pour éviter un futur décès statistique de 11 millions de dollars en 2019. En ce sens, Porter et Scawthorn (2020) proposent 10,5 millions de dollars, tandis que Livernois (2002) proposait 8 millions de dollars (11,4 millions en dollars en 2019, pour son évaluation du coût de la tragédie de Walkerton). Si nous évitions 0,68 décès par an, cela ferait un profit annuel supplémentaire de 7,5 millions de dollars.

### A.1.2 REDUCTION DES DEVERSEMENTS D'EAUX USEES ET DES CONTAMINATIONS ASSOCIEES

Les divers scénarios de changements climatiques s'accordent sur un point : l'augmentation de la fréquence des épisodes de pluviométrie intense pouvant générer des débordements de la capacité du réseau de collecte des eaux pluviales et usées. Dans les zones urbaines denses, ces débordements peuvent être à l'origine de contaminations des eaux de surfaces, pouvant ainsi affecter les activités ainsi que les prises d'eau potable se situant en aval des lieux de rejets.

Olds et coll. (2018) rappellent que les maladies gastro-intestinales augmentent dans la communauté après les pluies. Leurs travaux ont démontré qu'aux États-Unis, la contamination par les eaux usées, qui véhiculent de nombreux pathogènes gastro-intestinaux, est répandue dans les cours d'eau en zones urbaines à la suite de précipitations. Cette contamination est 10 fois plus élevée à la suite des débordements d'égouts combinés.

Les résultats obtenus par Thomas et coll. (2006) suggèrent que les températures plus élevées et les précipitations extrêmes sont des facteurs qui contribuent aux épidémies de maladies hydriques au Canada.

À partir de données québécoises, Jalliffier-Verne et coll. (2017) ont montré que, dans le cadre de scénarios de maintien du statu quo limitant l'augmentation de la fréquence des rejets dus aux débordements de systèmes d'égouts combinés, les concentrations moyennes d'*E. coli* dans les prises d'eau potable en aval devraient augmenter jusqu'à 87 % selon le scénario climatique futur. Comme déjà mentionné, cela pourrait entraîner des modifications des exigences en matière de traitement de l'eau potable dans le cas des scénarios climatiques les plus défavorables.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Madoux-Humery (2015) à Montréal. Selon elle, environ 80 % des événements de pointe de concentration en *E. coli* au niveau des prises d'eau potable étaient reliés à des débordements d'égouts unitaires (DEU). Ces derniers étaient causés par des précipitations de plus de 10 mm ou par la fonte des neiges. Cette même étude mentionne que « *le suivi par temps de pluie a montré que les concentrations en E. coli pendant ou après les DEU augmentent significativement (1) aux prises d'eau potable, suggérant que le suivi spécifique des DEU doit être effectué afin de permettre la détection de concentrations de pointe en E. coli ; (2) à proximité des rives, ce qui confirme l'emplacement des conduites de débordement près des berges et (3) au centre de la rivière, ce qui démontre les effets cumulatifs des DEU le long de la rivière* ».

Il ressort de ce qui précède que les déversements d'eaux usées dus à des débordements d'égouts présentent un risque élevé de contamination par des agents pathogènes des milieux récepteurs. Dans le cas des eaux utilisées à des fins récréatives, cela se traduit par un risque de maladies d'origine hydriques pouvant conduire à la restriction des activités nautiques et de baignade.

Selon le MELCC (2013), « *en amont de la région de Montréal, la qualité bactériologique de l'eau est bonne, mais en aval de celle-ci, elle se détériore de façon marquée. Les responsables de cette contamination bactériologique sont les stations d'épuration de Montréal, de Longueuil et de Repentigny. Ces stations déversent dans le fleuve de grandes quantités d'effluents qui ne sont pas désinfectés. À cela s'ajoute l'impact non négligeable des débordements des réseaux d'égout. La mauvaise qualité de l'eau évacuée par la région de Montréal tend à s'estomper dans le lac Saint-Pierre, mais est perceptible jusqu'à Bécancour. La fréquence annuelle de dépassement des critères de qualité pour les activités nautiques a été de 18 %, ce qui signifie que le critère établi pour proscrire les activités nautiques a été atteint pendant environ 66 jours. Cette proportion augmente pour la fréquence de dépassement des critères pour la baignade, qui a varié entre 37 % et 55 % au cours de la période 2000-2008* ».

Selon Cyr et coll. (2015), un déversement d'égout majeur non planifié au niveau de la Ville de Montréal en été pourrait se traduire par la fermeture temporaire des activités nautiques sur 30 km en aval. Nous n'avons pas pu chiffrer les pertes économiques qui en découleraient.

DeFlorio-Barker et coll. (2018) ont estimé qu'aux États-Unis le coût annuel des maladies transmises par l'eau, lors d'activités nautiques récréatives dans des eaux de surface, se situait entre 2,2 et 3,7 milliards de dollars pour environ 4 milliards d'événements d'activités nautiques récréatives par an (11 événements par habitant en moyenne). Cette prédiction causerait 90 millions de cas de maladies transmises par l'eau (soit 20 cas pour 1000 événements). Le coût moyen par cas serait ainsi de l'ordre de 30 \$ US (2007).

Pour la région de Montréal, selon les données de la Communauté métropolitaine de Montréal (2019), il y aurait eu, en 2016, un minimum de 800 000 événements de baignades dans les plages surveillées sur son territoire. Dans le même temps, nous avons estimé, à partir des données d'une étude sur les activités de plein air au Québec (Chaire de tourisme Transat ESG UQAM, 2017), un minimum annuel de 250 000 événements d'activités nautiques non motorisées (voile, kayak, canot, planche à pagaie) dans la région de Montréal.

Si nous reprenons le taux d'incidence des maladies transmises par l'eau lors de ces activités de 2 % proposé par DeFlorio-Barker et coll. (2018), il y aurait donc 21 000 cas annuellement dans la région de Montréal. Si nous faisons l'hypothèse que les contaminations par les débordements d'eaux usées ou les rejets non traités contribuent à 60 %<sup>31</sup> des cas, les bénéfices de réduire les débordements de 80 % sont ceux correspondant au coût de 10 000 cas de maladies transmises par l'eau. Si l'on reprend le coût par cas correspondant aux contaminations durant l'usage d'eaux récréatives (30 \$ US/cas, soit environ 40 \$ selon le taux de change actuel, DeFlorio-Barker et coll., 2018), on obtient des profits annuels pour la région de Montréal de 400 000 \$. Si le coût est plutôt 450 \$/cas (Bartsch et coll., 2020 ; Collier et coll., 2021), alors le profit serait de 4,5 millions de dollars annuellement.

## A.2 CALCUL DES BÉNÉFICES ASSOCIÉS À L'AMÉLIORATION DES ÉCOSYSTÈMES

### RÉDUCTION DE LA CHARGE EN MICROPOLLUANTS DES EFFLUENTS DE STATION D'ASSAINISSEMENT

Les micropolluants, incluant les produits pharmaceutiques et de soin personnel (PPSP), sont reconnus comme une source de pollution qui affecte la santé des écosystèmes, mais aussi la santé humaine<sup>32</sup>.

Le risque environnemental associé à la présence de micropolluants dans l'eau dépend des molécules actives et des écosystèmes récepteurs. Néanmoins, on peut faire le constat simple que le traitement tertiaire des eaux usées permet de réduire les rejets de ces micropolluants dans les écosystèmes récepteurs, et donc les risques écologiques associés.

Bellver-Domingo et coll. (2017) ont réalisé une revue de littérature pour évaluer le risque toxicologique de la présence de certains micropolluants dans les eaux. Ils ont établi que les concentrations d'acétaminophène et d'ibuprofène retrouvées dans les effluents de stations de traitements des eaux usées présentaient souvent un risque toxicologique. Cette revue de littérature était associée à une évaluation, par la méthode des prix fictifs (*shadow price*), du bénéfice environnemental généré par la réduction de la concentration en micropolluants des effluents de traitement selon l'écosystème récepteur. De la même manière, Molinos-Senante et coll. (2013) ont établi des prix fictifs pour d'autres molécules actives qui se retrouvent dans les effluents du traitement des eaux usées, selon la sensibilité du milieu récepteur.

---

<sup>31</sup> Rappel : selon le MELCC, les rejets urbains constituent les principales sources de contaminations dans les zones urbaines et péri-urbaines.

<sup>32</sup> [www.inspq.qc.ca/bise/les-produits-pharmaceutiques-et-de-soins-personnels-dans-l-eau-potable](http://www.inspq.qc.ca/bise/les-produits-pharmaceutiques-et-de-soins-personnels-dans-l-eau-potable)

**Tableau 6.1**  
**Estimation du prix fictif de divers PPSP**

	PRIX FICTIF — BÉNÉFICE PAR UNITÉ DE RÉDUCTION DU REJET DANS L'ENVIRONNEMENT	
	€/mg	\$/mg
Acétaminophène*	99,7	139,6
Ibuprofène*	8,5	11,9
Naproxène*	2,6	3,6
Carbamazepine*	0,5	0,7
Triméthoprim*	0,3	0,4
Diclofenac**	0,04	0,06
Ethinylestradiol**	0,07	0,1
Sulfaméthoxazole**	0,03	0,04
Galaxolide**	0,01	0,01
Tonalide**	0,01	0,01

Taux de change €/ \$ CA de 1,4.

Source : \* Bellver-Domingo et coll. (2017) : les valeurs présentées sont pour une rivière comme milieu récepteur

\*\* Molinos-Senante et coll. (2013) : les valeurs présentées sont pour un milieu récepteur non sensible

Pour évaluer le bénéfice généré par la réduction des rejets de micropolluants, il faut connaître la concentration initiale en micropolluants des rejets et le volume annuel de rejets.

En 2018, le volume d'eaux traitées au Québec était de 5,7 millions de m<sup>3</sup>/jour<sup>33</sup>.

Malheureusement, le suivi en continu de la concentration en micropolluants dans les effluents de stations de traitement n'est pas fait. Aussi, nous devons nous appuyer sur des études de cas pour évaluer une fourchette de concentration en PPSP.

La revue de plusieurs études montre que les concentrations de PPSP dans les effluents sont très variables dans le temps, géographiquement et selon les technologies de traitement actuellement utilisées.

Les PPSP les plus fréquemment présents dans les eaux usées au Québec sont l'ibuprofène, l'acétaminophène, le naproxène, le sulfaméthoxazole et l'acide salicylique (Robert et coll., 2011).

## IBUPROFENE

Zojaji et coll. (2019) ont mesuré la concentration en ibuprofène et en son métabolite<sup>34</sup> des eaux rejetées par une station de traitement dans le Saint-Laurent. Ils ont mesuré une charge minimale de 143,2 mg/jour/1000 habitants (maximum = 369 mg/jour/1000 habitants) pour l'ibuprofène et son métabolite.

<sup>33</sup> [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/bilan-performance-omaeu-2018.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/bilan-performance-omaeu-2018.pdf)

<sup>34</sup> Le métabolite de l'ibuprofène présente aussi des risques pour l'environnement : Ding et coll. (2017).

Si l'on considère seulement l'ibuprofène (4 à 6 mg/j/1000 habitants) pour pouvoir utiliser le *shadow price* mentionné précédemment, un traitement tertiaire pourrait réduire cette charge de 80 %. Au final, ce serait une réduction de 3,2 mg/jour/1000 habitants, pour une estimation conservatrice.

Si l'on considère la population correspondante du grand Montréal (4 millions d'habitants), cela ferait une réduction des rejets de 4,6 E<sup>6</sup> mg d'ibuprofène. En appliquant le prix fictif de 11,9 \$/mg établi par Bellver-Domingo et coll. (2017) pour l'ibuprofène rejeté en rivière, on obtient un profit de 55,5 millions de dollars annuellement.

En extrapolant à l'ensemble des grandes zones urbaines du Québec (Grand Montréal et Communauté métropolitaine de Québec, soit 4,8 millions d'habitants) en faisant l'hypothèse que la concentration observée pour le Grand Montréal est similaire à celle de l'ensemble du Québec, on obtient un profit annuel d'environ 67 millions de dollars.

## ACETAMINOPHENE

Madoux-Humery (2015) a effectué des mesures de la concentration en acétaminophène des déversements d'égout à Montréal. La teneur moyenne mesurée pour l'acétaminophène était de 7 µg/l.

Ghoshdastidar et coll. (2015) ont mesuré la concentration de divers PPSP dans les effluents de traitement en Nouvelle-Écosse. Pour l'acétaminophène, les concentrations se situaient entre 2,8 et 28,9 µg/l quand il était détecté (28,9 µg/l correspond à la région métropolitaine d'Halifax).

Cooper (2016) propose une revue des concentrations d'acétaminophène dans les échantillons d'eau non traitée en Ontario (1 µg/m<sup>3</sup>), et dans les échantillons d'effluents de stations de traitement aux États-Unis (79 µg/m<sup>3</sup>).

Avec la mesure la plus conservatrice (1 µg/m<sup>3</sup>) appliquée aux deux communautés métropolitaines de Montréal et Québec, on obtient un rejet annuel de 1 175 000 mg d'acétaminophène pour le Québec (volumes d'eaux usées au prorata de la population). Avec une réduction de 80 % permise par un traitement supplémentaire et un prix fictif de 139,6 \$/mg de réduction, on obtient un profit annuel de plus de 131 millions de dollars annuellement.

## ENSEMBLE DES PPSP

Deux autres études, portant sur l'évaluation des bénéfices de réduire les micropolluants grâce au traitement des eaux usées, ont été réalisées en utilisant la méthode du consentement à payer. Il y a d'une part une étude en Suisse (Logar et coll., 2014), et d'autre part une étude réalisée en France (Rambonilaza et coll., 2017). Les propositions testées dans ces études portaient sur la réduction du risque environnemental grâce au traitement des eaux, sur la portée géographique des traitements, et sur la vitesse de mise en œuvre des solutions technologiques.

Dans le cas suisse, le consentement à payer des ménages serait de 137 \$/ménage/an pour réduire à un niveau faible les risques environnementaux posés par les PPSP. Dans l'étude française, ce consentement à payer est de l'ordre de 15 % de la facture d'eau pour réduire le risque associé à



l'ensemble des PPSP, soit 104 \$/ménage/an (en 2018, la facture d'eau annuelle moyenne d'un ménage français était de 497 €<sup>35</sup>, soit 696 \$/an).

On comptait au Québec environ 3,7 millions de ménages (taille moyenne des ménages = 2,3 personnes, Suisse et France = 2,2) en 2019. En se restreignant aux communautés métropolitaines de Montréal et Québec, on obtient 2,2 millions de ménages.

En utilisant la référence suisse, on obtiendrait des profits liés à la réduction du niveau de risque lié au PPSP dans les effluents de traitement des CM de Montréal et Québec de l'ordre de 300 millions de dollars annuellement. Avec la référence française, l'estimation serait de 229 millions de dollars.

Notons ici une limite à l'utilisation des références suisses et françaises. Le consentement à payer a été évalué auprès de ménages qui paient une facture pour leur consommation d'eau et qui ont ainsi possiblement une plus grande sensibilité à la qualité du service rendu. Leur consentement à payer pourrait ainsi être plus important qu'au Québec<sup>36</sup>.

En sommant les profits obtenus pour l'acétaminophène et l'ibuprofène avec la méthode des prix fictifs, on obtient un profit cumulé de 198 millions de dollars annuellement pour ces deux PPSP. Considérant le nombre total de PPSP détectés dans les effluents au Québec et leur prix fictif très inférieur à ceux de l'acétaminophène et de l'ibuprofène, on peut considérer qu'un profit de 200 millions de dollars annuellement pour les CM de Montréal et Québec serait une estimation raisonnable et prudente.

Ces bénéfices correspondent à une réduction du risque environnemental pour les écosystèmes récepteurs. Ils ne tiennent pas compte des risques éventuels sur la santé humaine des PPSP, dont le plus connu est celui des perturbateurs endocriniens (voir la section précédente).

### A.3 AUTRES BÉNÉFICES

#### IMPACT DE LA DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU SUR LA VALEUR DE L'IMMOBILIER RÉSIDENTIEL

De nombreuses études ont montré l'impact de la qualité de l'eau sur la valeur de l'immobilier résidentiel situé en bordure des points d'eau ou à proximité, essentiellement à travers l'application de la méthode des prix hédonistes. Guignet et coll. (2019) ont réalisé une méta-analyse de ces études qui établissent l'impact de la qualité de l'eau sur le prix de l'immobilier résidentiel. Néanmoins, les auteurs soulignent que l'application de modèles de transfert de bénéfice reste hasardeuse pour extrapoler les résultats obtenus dans un contexte à un autre contexte. Aussi, nous ne tenterons pas de quantifier l'impact des déversements d'eaux usées sur la valeur de l'immobilier résidentiel au Québec.

<sup>35</sup> [www.oieau.fr/node/13131](http://www.oieau.fr/node/13131)

<sup>36</sup> Johnston et Thomassin (2010) ont montré les limites du transfert direct des valeurs obtenues par la méthode du consentement à payer pour l'amélioration de la qualité de l'eau entre les États-Unis et le Canada.

Néanmoins, et à titre d'illustration, cette méta-analyse se base sur des études réalisées aux États-Unis (Guignet et coll., 2019). Elle donne une idée de l'ordre de grandeur de l'impact de la variation des paramètres de qualité de l'eau sur la valeur des propriétés en bordure d'eau :

- Une hausse de 50 % de la concentration en chlorophylle aboutirait à une baisse de 1 %,
- Une amélioration de 10 % de la clarté de l'eau entraînerait une hausse de 1 %,
- Une hausse de la concentration d'*E. coli* de 10 % conduirait en moyenne à une baisse de 1 %,
- Une baisse de la concentration en phosphore de 10 % conduirait en moyenne à une baisse de 1 %.

Calderón-Arrieta et coll. (2019) ont utilisé la méthode des prix hédonistes pour estimer l'impact de la qualité de l'eau sur la valeur de propriétés résidentielles situées en bord de lac en Ontario. Selon eux, une amélioration de la clarté de l'eau de 26 % d'amélioration se solderait par une prime de 8 % sur la valeur des propriétés. Une réduction de la concentration en phosphore correspondant à un écart-type de la moyenne conduirait à une prime de 30 % de la valeur des propriétés.

Considérant l'ampleur de l'impact sur la qualité de l'eau des déversements répétés d'eaux usées, il est probable que nous pourrions mettre en évidence un effet négatif de ces déversements sur l'immobilier résidentiel en bordure d'eau dans les zones touchées par ces déversements.

À titre d'illustration, et à partir d'un examen de Google Maps, il y a environ 300 propriétés en bordure de l'eau à Repentigny sur 14 km de rives. À partir d'un examen de divers sites immobiliers, nous estimons de manière conservatrice la valeur moyenne de ces 300 propriétés à 450 000 \$/propriété. Faisons l'hypothèse qu'une amélioration de la qualité de l'eau grâce à une réduction des déversements d'eaux usées en amont se traduise par une hausse de 1 % de la valeur de ces propriétés. Le profit serait alors, pour ces 300 propriétés, de l'ordre de 1,35 million de dollars.

## ANNEXE II

### PARAMETRES DU MODELE DE CALCUL DES PROFITS

Réduction du taux de bris									
Coût direct (réparations) - aqueduc	14,000	\$/bris							
Externalités - aqueduc	5,000	\$/bris							
Coût direct (réparations) - égouts	12,000	\$/bris							
Externalités - égouts	4,400	\$/bris							
Coût direct (réparations) - entrée de service eau potable	11,000	\$/bris							
Coût direct (réparations) - entrée de service eaux usées	10,000	\$/bris							
Linéaires Eaux potable	40,932	km							
Linéaires Eaux usées	33,272	km							
Linéaires Eaux pluviales	17,859	km							
Taux de bris canalisation Cote A-B-C	0.10	bris/km/an							
Taux de bris canalisation Cote D-E	2.00	bris/km/an							
Taux de bris branchement Cote A-B-C	0.10	bris/km/an							
Taux de bris branchement Cote D-E	2.00	bris/km/an							
Réduction des bris par les chambres de régulation de pression	45%								
% réseau couvert par les chambres de régulation de pression	20%								
Augmentation annuelle des frais d'exploitation due au déficit d'investissement (scen de base), en termes réels	3.00%								
Réduction moyenne des frais d'exploitation des usines d'eau potable/eaux usées	20%								
Charges avant amortissement Approvisionnement et production d'eau potable	200	\$/ML/an	eau distribuée						
Charges avant amortissement Traitement eaux usées	100	\$/ML/an	eau traitée						
Volume d'eau traitée	2,080,500	ML/an							
Réduction des fuites d'eau potable									
Niveau de pertes réelles	6	IFI actuel	4	niveau objectif 10 ans pour l'IFI					
Niveau de pertes inévitables	50,188.252	ML/an	3.70%	volume distribué					
Volume d'eau distribuée (l/pers/j)	536	en 2019	458	objectif 2025					
Valeur de l'eau potable	0.16	\$/m3	basé sur les coûts d'exploitation						
	3	\$/m3	MAMH						
Population Québec	8,500,000	habitants							
Réduction pollution par les micropolluants									
Réduction de l'exposition des êtres humains aux perturbateurs endocriniens (PE) par l'eau									
Valeur des impacts des PE sur la santé humaine	1.50%	PIB/an	PIB	430.78	milliards dollars*				
Exposition aux PE par l'eau	15%				Correction inflation (2012/2021)			1.19	
Réduction de l'exposition permise par les investissements additionnels	50%				* (moyenne 5 ans PIB en \$ constants 2012 corrigé de l'inflation pour une valeur en \$ 2021)				
Réduction de l'exposition des écosystèmes récepteurs aux micropolluants contenus dans les rejets d'eaux usées									
Valeur des biens et services environnementaux mis à risque par l'exposition aux micropolluants contenus dans les rejets d'eaux usées	200	millions de dollars / an							
Réduction de l'exposition permise par les investissements additionnels	80%								
Réduction de la contribution des eaux usées à l'antibio-résistance	\$27.00	millions/an							

Réduction des déversements d'eaux usées non traitée (résilience CC)									
Valeur économique des impacts sur la qualité de l'eau	250	\$/ménage/an							
Réduction du risque par les investissements résilience CC des stations de traitement par rapport au scénario de référence	35%								
Nombre de ménages au Québec	3,700,000								
Réduction cas de maladies d'origine hydrique									
Nombre de cas de maladies hydriques dues au systèmes municipaux d'eau potable	5000	cas / an							
Nombre de décès dus aux maladies hydriques liées au systèmes municipaux d'eau potable	0.68	décès / an							
Coût des cas de maladies d'origine hydrique	450	\$/cas							
Valeur d'un décès statistique évité	11	millions de dollars / décès évité							
Augmentation des cas dus aux CC	8%	en 2045	augmentation linéaire						
Réduction du nombre de cas et de décès grâce au rattrapage	50%								
Réduction des cas dus aux CC grâce à l'amélioration	90%								
Réduction du risque approvisionnement en eau									
<b>Déficit d'investissement</b>									
Probabilité d'une interruption majeure d'approvisionnement en eau causée par un défaut lié au déficit d'investissement	2.5	fois en 25 ans							
Durée de l'interruption de l'approvisionnement en eau	5	jours							
Consommation d'eau devant être remplacée par eau en bouteille	10	l/hab/jour							
Coût total de l'eau embouteillée (incluant coût environnemental)	0.62	\$/l							
Réduction risque grâce aux investissements de rattrapage	100%								
<b>Changement climatique</b>									
Nombre moyen de jour avec interruption de l'approvisionnement en eau	1	jour/an							
Consommation d'eau devant être remplacée par eau en bouteille	10	l/hab/jour							
Coût total de l'eau embouteillée (incluant coût environnemental)	0.62	\$/l							
Réduction risque grâce aux investissements d'amélioration	85%								
Coût du scénario Catastrophe	\$3,948.00	millions de dollars							
Réduction des dommages liés aux inondations urbaines									
Dommages causés par les inondations urbaines (débordements d'égouts unitaires, refoulement d'égouts)	760	millions \$ par an							
Hausse des dommages liée aux CC									
d'ici 2035	100	millions \$ par an							
d'ici 2045	125	millions \$ par an							
Réduction des dommages par les investissements de rattrapage	35%								
Réduction du risque CC par les investissements d'amélioration	65%								
Coût des dommages occasionnés par des bris	3500	\$/bris							
Pourcentage des bris occasionnant un dégât d'eau	20%								

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Abate, T. G., Börger, T., Aanesen, M., Falk-Andersson, J., Wyles, K. J. et Beaumont, N. (2020). *Valuation of marine plastic pollution in the European Arctic: Applying an integrated choice and latent variable model to contingent valuation*. Ecological Economics, 169, 106, 521.
- Attina, T. M., Hauser, R., Sathyanarayana, S., Hunt, P. A., Bourguignon, J. P., Myers, J. P., ... et Trasande, L. (2016). *Exposure to endocrine-disrupting chemicals in the USA: a population-based disease burden and cost analysis*. The lancet Diabetes & endocrinology, 4(12), 996-1003.
- BAC-FCM (2020). *Investir dans l'avenir du Canada : Le coût de l'adaptation aux changements climatiques à l'échelle locale*. Rapport final, Bureau de l'Assurance du Canada — Fédération Canadienne des Municipalités. <http://assets.ibc.ca/Documents/Disaster/The-Cost-of-Climate-Adaptation-Report-FR.pdf>
- Bartsch, S. M., O'Shea, K. J. et Lee, B. Y. (2020). *The clinical and economic burden of norovirus gastroenteritis in the United States*. The Journal of infectious diseases, 222(11), 1910–1919.
- Bauer, Michael D. et Glenn D. Rudebusch (2021). *The Rising Cost of Climate Change: Evidence from the Bond Market*. Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper 2020-25. <https://doi.org/10.24148/wp2020-25>
- Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M., ... et Wyles, K. J. (2019). *Global ecological, social and economic impacts of marine plastic*. Marine pollution bulletin, 142, 189–195.
- Bellver-Domingo, A., Fuentes, R. et Hernández-Sancho, F. (2017). *Shadow prices of emerging pollutants in wastewater treatment plants: Quantification of environmental externalities*. Journal of environmental management, 203, 439–447.
- Binns, A. D. et Sandink, D. (2021). *Reducing urban flood risk through building-and lot-scale flood mitigation approaches: challenges and opportunities*. Frontiers in Water, 3, 86.
- Bolduc S., Larrivée C., Logé H. et Mailhot A. (2011). *Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : Analyse économique et synthèse de l'étude*. INRS-ETE — Ouranos — Ville de Montréal, consulté sur [www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/observatoire\\_municipal/rapports/analyse\\_drainage\\_urbain.pdf](http://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/observatoire_municipal/rapports/analyse_drainage_urbain.pdf)
- Calderón-Arrieta, D., Caudill, S. B. et Mixon, F. G. (2019). *Valuing recreational water clarity and quality: evidence from hedonic pricing models of lakeshore properties*. Applied Economics Letters, 26(3), 237–244.
- CERIU (2010). *Guide d'évaluation des coûts socio-économiques des travaux de renouvellement des conduites d'eau potable et d'égout*. <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/guide-evaluation-couts-socio-economiques-travaux-renouvellement-conduites-eau-potable>
- CERIU (2014). *Guide d'élaboration d'un plan d'intervention pour le renouvellement des conduites d'eau potable, d'égouts et des chaussées*. <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/guide-elaboration-plan-intervention-renouvellement-conduites-eau-potable-egouts>
- CERIU (2021). *Rapport annuel 2020 du Portrait des infrastructures en eau des municipalités du Québec (PIEMQ)*. <https://ceriu.qc.ca/system/files/2021-03/Rapport-2020-Portrait-des-infrastructures-en-eau-des-municipalites-du-Quebec.pdf>
- Chaire de tourisme Transat ESG UQAM (2017). *Étude des clientèles, des lieux de pratique et des retombées économiques et sociales des activités physiques de plein air*. [https://chairedetourisme.uqam.ca/upload/files/Etude\\_Plein\\_air\\_rapport\\_final.pdf](https://chairedetourisme.uqam.ca/upload/files/Etude_Plein_air_rapport_final.pdf)
- Cheng, C. S., Li, Q., Li, G. et Auld, H. (2012). *Climate change and heavy rainfall-related water damage insurance claims and losses in Ontario, Canada*. Journal of Water Resource and Protection, 4(2), 49–62.
- Chhetri, Bimal K. et coll. (2019). *Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada*. Environmental Health 18.1:1–9.
- Collier, S. A., Deng, L., Adam, E. A., Benedict, K. M., Beshearse, E. M., Blackstock, A. J., ... et Beach, M. J. (2021). *Estimate of burden and direct healthcare cost of infectious waterborne disease in the United States*. Emerging infectious diseases, 27(1), 140.

- Communauté métropolitaine de Montréal (2019). *Plan Archipel — Document complémentaire*. [https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Plan\\_Archipel\\_Document\\_complementaire\\_corrige.pdf](https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Plan_Archipel_Document_complementaire_corrige.pdf)
- Cooper, E. H. (2016). *Human pharmaceuticals in Ontario's environment: a review of management opportunities*. [https://digital.library.ryerson.ca/islandora/object/RULA%3A4897/datastream/OBJ/download/Human\\_pharmaceuticals\\_in\\_Ontario\\_s\\_environment\\_\\_a\\_review\\_of\\_management\\_opportunities.pdf](https://digital.library.ryerson.ca/islandora/object/RULA%3A4897/datastream/OBJ/download/Human_pharmaceuticals_in_Ontario_s_environment__a_review_of_management_opportunities.pdf)
- Cyr, D., Hausler, R. et Yargeau, V. (2015). *Rapport d'examen par des experts indépendants des renseignements techniques et scientifiques concernant le déversement d'effluent d'eaux usées non traitées dans le fleuve Saint-Laurent prévu par la Ville de Montréal*. Environnement Canada.
- Da Silva L, Pineault K. et Rondeau-Genesse G. (2020). *Vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable du territoire de la CMQ face aux changements*. Rapport de recherche, OURANOS pour la Communauté métropolitaine de Québec.
- DeFlorio-Barker, S., Wing, C., Jones, R. M. et Dorevitch, S. (2018). *Estimate of incidence and cost of recreational waterborne illness on United States surface waters*. Environmental Health, 17(1), 1–10.
- Desjarlais, C. et Larrivée, C. (2011). *Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal*. Ouranos. [www.ouranos.ca/media/publication/227\\_fimr\\_ace\\_ouranos\\_aout2011.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/227_fimr_ace_ouranos_aout2011.pdf) (Page consultée le 3 octobre 2014).
- Ding, T., Yang, M., Zhang, J., Yang, B., Lin, K., Li, J. et Gan, J. (2017). *Toxicity, degradation and metabolic fate of ibuprofen on freshwater diatom Navicula sp.* Journal of hazardous materials, 330, 127–134.
- Drupp, et coll. (2018). *Discounting disentangled*. American Economic Journal: Economic Policy 10, no. 4:109-34.
- Dubé, M., Lebel, G. et Huppé, V. (2018). *Bilan des éclosions de maladies d'origine hydrique au Québec de 2015 à 2016*. INSPQ. [www.inspq.qc.ca/bise/bilan-des-eclosions-de-maladies-d-origine-hydrique-au-quebec-de-2015-2016](http://www.inspq.qc.ca/bise/bilan-des-eclosions-de-maladies-d-origine-hydrique-au-quebec-de-2015-2016)
- Eliopoulos, G. M., Cosgrove, S. E. et Carmeli, Y. (2003). *The impact of antimicrobial resistance on health and economic outcomes*. Clinical infectious diseases, 36(11), 1433–1437.
- Evans, C., Feltmate B. (2019). *Water on the Rise: Protecting Canadian Homes from the Growing Threat of Flooding*. Intact Centre on Climate Adaptation, University of Waterloo.
- Folkman, S. (2018). *Water main break rates in the USA and Canada: A comprehensive study*. [https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1173&context=mae\\_facpub](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1173&context=mae_facpub)
- Ghoshdastidar, A. J., Fox, S. et Tong, A. Z. (2015). *The presence of the top prescribed pharmaceuticals in treated sewage effluents and receiving waters in Southwest Nova Scotia, Canada*. Environmental Science and Pollution Research, 22(1), 689–700.
- Gies, E. A., LeNoble, J. L., Noël, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E. R. et Ross, P. S. (2018). *Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada*. Marine pollution bulletin, 133, 553–561.
- Gouvernement du Canada (2020). *Ébauche d'évaluation scientifique de la pollution plastique*. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-evaluation-scientifique-pollution-plastique.html#toc8](http://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-evaluation-scientifique-pollution-plastique.html#toc8)
- Greco, S. L., Drudge, C., Fernandes, R., Kim, J. et Copes, R. (2020). *Estimates of healthcare utilisation and deaths from waterborne pathogen exposure in Ontario, Canada*. Epidemiology & Infection, 148.
- Guignet, D., Heberling, M. T., Papenfus, M., Griot, O. et Holland, B. (2019). *Property values and water quality: A nationwide meta-analysis and the implications for benefit transfer*. NCEE Working Paper. [www.epa.gov/environmental-economics/property-values-and-water-quality-nationwide-meta-analysis-and-implications](http://www.epa.gov/environmental-economics/property-values-and-water-quality-nationwide-meta-analysis-and-implications)
- He, J., Poder, T., Dupras, J. et Enomana, H. J. (2016). *La valeur économique de la pêche blanche et des services écosystémiques au lac Saint-Pierre : analyse coûts-avantages des stratégies d'adaptation aux changements climatiques*. 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 : Université du Québec à Montréal. 162 p.

- Henstra, D. et Thistlethwaite, J. (2017). *Climate change, floods, and municipal risk sharing in Canada*. Institute on Municipal Finance and Governance.
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Heniche, M., Madoux-Humery, A. S., Autixier, L., ... et Dorner, S. (2017). *Modelling the impacts of global change on concentrations of Escherichia coli in an urban river*. *Advances in water resources*, 108, 450–460.
- Janicki, R., Kate Thomas, M., Pintar, K., Fleury, M. et Nesbitt, A. (2018). *Drinking and recreational water exposures among Canadians: Foodbook Study 2014–2015*. *Journal of water and health*, 16(2), 197–211.
- Jit, M., Ng, D. H. L., Luangasanatip, N., Sandmann, F., Atkins, K. E., Robotham, J. V. et Pouwels, K. B. (2020). *Quantifying the economic cost of antibiotic resistance and the impact of related interventions: rapid methodological review, conceptual framework and recommendations for future studies*. *BMC medicine*, 18(1), 1–14.
- John Livernois (2002). *Value-of-Life Estimates in an Economic Cost Assessment*. Disponible sur [www.archives.gov.on.ca/en/e\\_records/walkerton/part2info/commissiuepapers/index-name.html](http://www.archives.gov.on.ca/en/e_records/walkerton/part2info/commissiuepapers/index-name.html)
- Johnston, Robert J. et Thomassin, Paul 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*, Northeastern Agricultural and Resource Economics Association, vol. 39(1), pages 1–18, February.
- Kate M. Thomas, Dominique F. Charron, David Waltner-Toews, Corinne Schuster, Abdel R. Maarouf et John D. Holt (2006) *A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975–2001*. *International Journal of Environmental Health Research*, 16:3, 167–180, DOI: 10.1080/09603120600641326.
- King, P., Hunt, A., Georgiou, S., Rainsford, C. et Dean, R. (2021). *Economic valuation of benefits from the proposed REACH restriction of intentionally added microplastics*. Working Paper, University of Bath.
- Koch, B. J., Hungate, B. A. et Price, L. B. (2017). *Food-animal production and the spread of antibiotic resistance: the role of ecology*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(6), 309–318.
- Kovacs, P. et Sandink, D. (2013). *Best practices for reducing the risk of future damage to homes from riverine and urban flooding*. Institute for Catastrophic Loss Reduction, Toronto.
- KPMG (2014). *Le risque de dommages causés par l'eau et la tarification de l'assurance des biens au Canada*. Document de recherche, Institut Canadien des Actuaire. [www.cia-ica.ca/docs/default-source/2014/214020f.pdf](http://www.cia-ica.ca/docs/default-source/2014/214020f.pdf)
- Larrivée, C., N. Sinclair-Désagagné, L. Da Silva, J. P. Revéret, C. Desjarlais (2015). *Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois*. Rapport d'étude, Ouranos, 58 pages.
- Lécuyer et Fils Ltée (2019). *Liste des prix des tuyaux de béton 2019*. [www.lecuyerbeton.com/site/lecuyerbeton.com/upload/files/LECUYER%20Liste%20de%20prix%20tuyaux\\_2019.pdf](http://www.lecuyerbeton.com/site/lecuyerbeton.com/upload/files/LECUYER%20Liste%20de%20prix%20tuyaux_2019.pdf)
- L'Écuyer-Sauvageau, C., Kermagoret, C., Dupras, J., He, J., Leroux, J., Schinck, M. P. et Poder, T. G. (2019). *Understanding the preferences of water users in a context of cyanobacterial blooms in Quebec*. *Journal of environmental management*, 248, 109,271.
- Lee, J (2015). *Economic valuation of marine litter and microplastic pollution in the marine environment: An initial assessment of the case of the United Kingdom*. Discuss. Pap (2015): 1–16. Centre for Financial & Management Studies, University of London.
- Logar, I., Brouwer, R., Maurer, M. et Ort, C. (2014). *Cost-benefit analysis of the Swiss national policy on reducing micropollutants in treated wastewater*. *Environmental science & technology*, 48(21), 12500–12508.
- MacDougall, L., et coll. (2008). *Under-reporting of infectious gastrointestinal illness in British Columbia, Canada: who is counted in provincial communicable disease statistics?* *Epidemiology & Infection* 136.2:248–256.
- Madoux-Humery, A. S. (2015). *Caractérisation des débordements d'égouts unitaires et évaluation de leurs impacts sur la qualité de l'eau au niveau des prises d'eau potable*. Dissertation doctorale, École Polytechnique de Montréal.
- Mailhot A (2021). *Atelier de formation sur la gestion durable des eaux pluviales*. Réseau Environnement, [https://reseau-environnement.com/wp-content/uploads/2021/06/PPT\\_Alain\\_Mailhot.pdf](https://reseau-environnement.com/wp-content/uploads/2021/06/PPT_Alain_Mailhot.pdf)
- Mailhot, A., Bolduc, S., Talbot, G. et Khedhaouiria, D. (2014). *Gestion des eaux pluviales et changements climatiques : Version finale*. Ouranos.



- Majowicz, S. E., et coll. (2006). *Burden and cost of gastroenteritis in a Canadian community*. Journal of food protection 69.3:651–659.
- MAMH (2015). *Rapport sur le coût et les sources de revenu des services d'eau*. [www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands\\_dossiers/strategie\\_eau/rapport\\_cout\\_et%20\\_sources\\_revenus\\_services\\_eau.pdf](http://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands_dossiers/strategie_eau/rapport_cout_et%20_sources_revenus_services_eau.pdf)
- Marcogliese, D. J., Blaise, C., Cyr, D., de Lafontaine, Y., Fournier, M., Gagné, F. et Hudon, C. (2015). *Effects of a major municipal effluent on the St. Lawrence River: A case study*. Ambio, 44(4), 257-274.
- Martel, J. L., Brissette, F. P., Lucas-Picher, P., Troin, M. et Arsenault, R. (2021). *Climate Change and Rainfall Intensity—Duration—Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation*. Journal of Hydrologic Engineering, 26(10), 03121001.
- MDDEP (2013). *Étude d'impact économique portant sur le règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*. [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/etude-econo20131126.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/etude-econo20131126.pdf)
- Molinos-Senante, M., Reif, R., Garrido-Baserba, M., Hernández-Sancho, F., Omil, F., Poch, M. et Sala-Garrido, R. (2013). *Economic valuation of environmental benefits of removing pharmaceutical and personal care products from WWTP effluents by ozonation*. Science of the Total Environment, 461, 409–415.
- Montmarquette, C. et Iain, S. (2007). *Taux d'actualisation pour l'évaluation des investissements publics au Québec*. CIRANO. <https://cirano.qc.ca/files/publications/2007RP-02.pdf>
- Mouchikhine, V. (2013). *Estimation des coûts indirects des bris d'infrastructures souterraines au Québec à travers 3 études de cas*. Doctoral dissertation, École Polytechnique de Montréal.
- Murphy, H. M., et coll. (2016). *Estimating the number of cases of acute gastrointestinal illness (AGI) associated with Canadian municipal drinking water systems*. Epidemiology & Infection 144.7:1371–1385.
- Naylor, N. R., Atun, R., Zhu, N., Kulasabanathan, K., Silva, S., Chatterjee, A.,... et Robotham, J. V. (2018). *Estimating the burden of antimicrobial resistance: a systematic literature review*. Antimicrobial Resistance & Infection Control, 7(1), 1–17.
- Olds, H. T., Corsi, S. R., Dila, D. K., Halmo, K. M., Bootsma, M. J. et McLellan, S. L. (2018). *High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators*. PLoS medicine, 15(7), e1002614.
- Pärnänen, K. M., Narciso-da-Rocha, C., Kneis, D., Berendonk, T. U., Cacace, D., Do, T. T.,... et Manaia, C. M. (2019). *Antibiotic resistance in European wastewater treatment plants mirrors the pattern of clinical antibiotic resistance prevalence*. Science advances, 5(3), eaau9124.
- Paulshus, E., Kühn, I., Möllby, R., Colque, P., O'Sullivan, K., Midtvedt, T., ... et Sørum, H. (2019). *Diversity and antibiotic resistance among Escherichia coli populations in hospital and community wastewater compared to wastewater at the receiving urban treatment plant*. Water research, 161, 232–241.
- Pina, B., Bayona, J. M., Christou, A., Fatta-Kassinos, D., Guillon, E., Lambropoulou, D.,... et Sayen, S. (2020). *On the contribution of reclaimed wastewater irrigation to the potential exposure of humans to antibiotics, antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes—NEREUS COST Action ES1403 position paper*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(1), 102,131.
- Porter, K. et Scawthorn, C. (2020). *Estimating the benefits of Climate Resilient Buildings and Core Public*.
- Rambonilaza, T., Pham, T. et Dachary-Bernard, J. (2019). *Household willingness to pay for micropollutant removal in domestic wastewater: A choice experiment study*. Revue économique, 70(5), 695-715.
- Renwick, D. V., Heinrich, A., Weisman, R., Arvanaghi, H. et Rotert, K. (2019). *Potential public health impacts of deteriorating distribution system infrastructure*. Journal-American Water Works Association, 111 (2), 42.
- Robert, C., Bolduc, A. et DeBlois, C. (2011). *Résultats du Suivi des Produits Pharmaceutiques et de Soins Personnels ainsi que des Hormones dans des Eaux Usées, de l'Eau de Surface et de l'Eau Potable au Québec*. Bibliothèque et Archives nationales du Québec.



- Sandink, D. *Urban flooding and ground-related homes in Canada: an overview*. Journal of Flood Risk Management 9.3 (2016): 208–223.
- Scawthorn, C. (2019). *Incendies après séisme dans la région de Montréal*. Préparé pour l'Institut de Prévention des Sinistres Catastrophiques.
- Stern, N. et Stern, N.H. (2007). *The Economics of Climate Change: the Stern Review*. Cambridge University Press. [https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-treasury.gov.uk/stern\\_review\\_report.htm](https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm)
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W.,... et Ghali, W. A. (2017). *Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis*. The Lancet Planetary Health, 1(8), e316-e327.
- Villanueva, C. M., Garfí, M., Milà, C., Olmos, S., Ferrer, I. et Tonne, C. (2021). *Health and environmental impacts of drinking water choices in Barcelona, Spain: A modelling study*. Science of The Total Environment, 795, 148,884.
- Ziolecki, A., Thistlethwaite, J., Henstra, D., Scott, D. (2020). *Canadian Voices on Flood Risk 2020: Findings from a national survey about how we should manage an increasingly costly and common peril*. Waterloo, Ontario: Partners for Action, University of Waterloo. [https://uwaterloo.ca/partners-for-action/sites/ca.partners-for-action/files/uploads/files/finalreport\\_nationalsurvey\\_sept20.pdf](https://uwaterloo.ca/partners-for-action/sites/ca.partners-for-action/files/uploads/files/finalreport_nationalsurvey_sept20.pdf)
- Zojaji, P., Alhachami, H., Kariminezhad, E., Jauffur, S., Bakhshi, Z., Vaudreuil, M. A.,... et Elektorowicz, M. (2019). *Occurrence of ibuprofen and 2-hydroxy ibuprofen in Saint Lawrence river*. In Proceedings, Annual conference-Canadian society for civil engineering.