

## Priorisation des interventions sur les infrastructures municipales en eau face à la densification urbaine et aux changements climatiques

### Prioritizing Adaptation Interventions on Municipal Water Infrastructure under Urban Densification and Climate Change

Émilie Bilodeau et Jean-Luc Martel

École de technologie supérieure (ÉTS)

[Emilie.Bilodeau.1@ens.etsmtl.ca](mailto:Emilie.Bilodeau.1@ens.etsmtl.ca)

[Jean-Luc.Martel@etsmtl.ca](mailto:Jean-Luc.Martel@etsmtl.ca)

#### RÉSUMÉ

La densification urbaine et les changements climatiques augmentent la pression sur les réseaux d'eau potable, d'eaux usées et pluviales, souvent déjà fragiles. Une revue technique et une enquête au Québec et à l'international ont permis d'en identifier les principaux enjeux pour orienter la démarche. Mené avec *l'Observatoire de la gestion intégrée de l'espace public urbain* du *Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines*, le projet vise à élaborer une méthode de priorisation des interventions sur les infrastructures en eau. La démarche considère les interdépendances entre réseaux et repose sur une analyse de risques cartographique intégrée dans un système d'information géographique utilisant des données publiques et municipales. Elle identifie les infrastructures vulnérables, évalue les risques et cible les actions prioritaires pour optimiser les investissements. Un guide opérationnel et deux études de cas québécoises soutiennent son application. L'objectif est de renforcer la résilience des réseaux d'eau dans les villes de petite et moyenne taille.

#### ABSTRACT

Urban densification and climate change increase pressure on drinking water, wastewater and stormwater systems, many of which are already fragile. A technical review and a survey conducted in Quebec and internationally helped identify the key issues guiding the approach. Carried out with the *Observatoire de la gestion intégrée de l'espace public urbain* of the *Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines*, the project aims to develop a method for prioritizing interventions on water infrastructure. The approach considers interdependencies between networks and relies on a risk analysis integrated into a geographic information system using public and municipal data. It identifies vulnerable assets, evaluates risks and targets priority actions to optimize investments. An operational guide and two Quebec case studies support its implementation. The objective is to strengthen the resilience of water systems in small and medium sized cities.

#### MOTS CLÉS

Analyse de risque, Cartographie, Changements climatiques, Densification urbaine, Infrastructures en eau

## 1 INTRODUCTION

La croissance démographique rapide au Canada, portée notamment par la migration internationale, augmente la demande en logements, en services municipaux et en infrastructures (Statistique Canada, 2024). Pour y répondre, les villes misent sur la densification urbaine, privilégiée pour limiter l'étalement urbain, protéger les milieux naturels et optimiser les réseaux existants (Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), 2022). Cette densification peut être douce ou intensive (Kaur, Hewage, & Sadiq, 2020). La figure 1 présente les principaux mécanismes de densification urbaine.

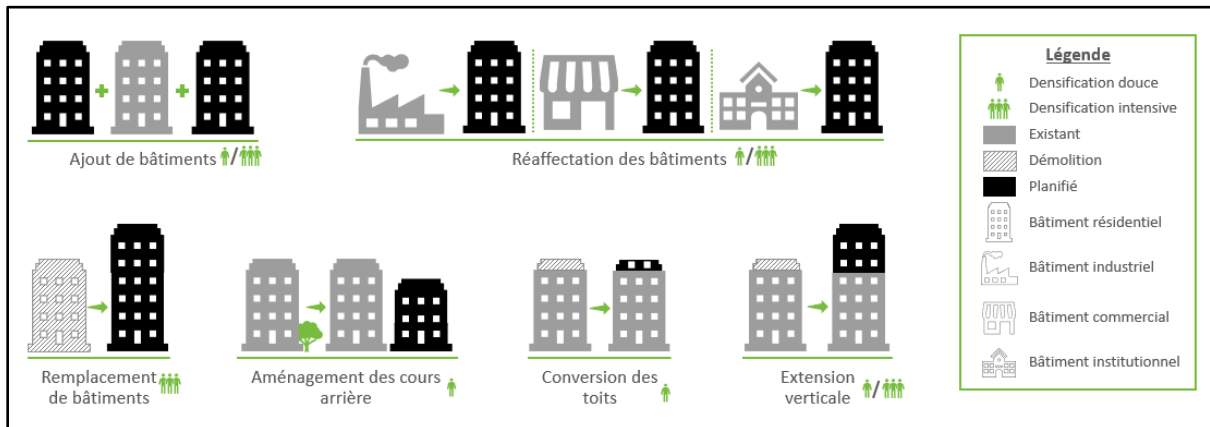


Figure 1. Mécanismes de densification urbaine

La densification génère plusieurs défis pour les infrastructures en eau : la hausse de la consommation d'eau potable, des rejets d'eaux usées et l'imperméabilisation plus importante augmentant le ruissellement pluvial. Ces pressions s'ajoutent à un parc d'infrastructures vieillissant, déjà sensible aux effets des changements climatiques, marqués par des pluies plus intenses et des sécheresses prolongées (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2023).

La performance des réseaux d'eau potable, d'assainissement et de drainage varie selon leur âge, leur conception et les capacités municipales à les adapter (Bureau de normalisation du Québec (BNQ), 2024a, 2024b). Les villes doivent donc pouvoir anticiper les pressions à venir, comprendre leurs vulnérabilités et planifier leurs investissements de manière cohérente.

Réalisé en collaboration avec l'Observatoire de la gestion intégrée de l'espace public urbain du Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), ce projet vise à soutenir les municipalités québécoises dans la planification de leurs interventions sur les infrastructures en eau en contexte de densification et de changements climatiques. Il se décline en trois phases :

1. documenter les impacts de la densification et les mesures d'adaptation existantes à partir d'une revue de littérature et d'une enquête auprès des municipalités;
2. développer un outil d'analyse de risques cartographique pour évaluer l'exposition, la vulnérabilité et les conséquences selon différents scénarios de densification et d'horizons climatiques;
3. appliquer la méthode dans deux études de cas pour en valider l'opérationnalité.

L'objectif final est de fournir aux municipalités un portrait global des impacts possibles, un ensemble structuré de mesures d'adaptation et une démarche reproductible pour prioriser les interventions et optimiser leurs décisions d'investissement.

## 2 REVUE DES IMPACTS ET DES MESURES D'ADAPTATION

La première phase documente les effets de la densification urbaine sur les infrastructures d'eau en contexte de changements climatiques et recense les mesures d'adaptation disponibles. Une revue de 285 documents scientifiques et professionnels a été menée au Québec, au Canada et à l'international.

Pour compléter cette analyse, un questionnaire diffusé auprès de municipalités a obtenu 53 réponses et 25

entrevues ont été réalisées dans 18 villes québécoises auprès de professionnels du génie, de l’urbanisme, des travaux publics, de l’environnement et du milieu politique.

Les résultats montrent que la densification urbaine entraîne :

- **Pour la distribution de l’eau potable** : une hausse de la consommation, une pression accrue sur les sources d’approvisionnement, des tensions d’accessibilité lors des périodes critiques, et une vulnérabilité plus grande aux risques de contamination et de défaillance, avec en parallèle des défis financiers importants pour la modernisation des réseaux et des stations de production.
- **Pour la collecte des eaux usées et pluviales** : une augmentation des volumes à gérer, une usure accélérée des infrastructures, une dégradation possible de la qualité des rejets, et une intensification des risques d’érosion, d’inondation et de refoulement lors des pluies intenses, notamment dans les secteurs déjà sensibles.

Les mesures d’adaptation recensées se répartissent en trois grandes catégories :

- **les mesures réglementaires et de planification**, intégrant les enjeux hydriques dans l’aménagement du territoire;
- **les mesures structurelles**, incluant la réfection ciblée, les développements à faible impact, les infrastructures vertes et bleues, la gestion des ressources hydriques et les technologies intelligentes;
- **les mesures comportementales et citoyennes**, axées sur la sensibilisation, la modification des pratiques et les mécanismes incitatifs.

Les principaux freins à l’adaptation relevés lors de l’étude sont le fonctionnement en silos, les limites budgétaires, la rareté de personnel, l’entretien insuffisant et l’acceptabilité sociale. Les leviers incluent notamment la création de comités transversaux, l’usage de guides techniques, la formation, la tarification incitative, la maintenance préventive et la consultation citoyenne.

### 3 OUTIL D’ANALYSE DE RISQUES CARTOGRAPHIQUE

La deuxième phase consiste à développer un outil d’analyse de risques cartographique pour soutenir la décision municipale. L’outil permet d’appliquer la gestion du risque aux infrastructures d’eau en contexte de densification et de changements climatiques.

L’appréciation des risques repose sur trois éléments : exposition, vulnérabilité et conséquences. Ces éléments sont analysés pour chaque partie des réseaux municipaux selon cinq aléas :

- **densification** : augmentation de la consommation d’eau potable, de la production d’eaux usées et du ruissellement pluvial;
- **changements climatiques** : intensité de pluie future et la sécheresse.

Chaque aléa est évalué pour trois horizons temporels (actuel, moyen terme 2041-2070, long terme 2071-2100) et deux scénarios (modéré : densification douce et SSP2-4.5 ; élevé : densification intensive + SSP3-7.0).

Les valeurs d’exposition, de vulnérabilité et de conséquences sont combinées pour produire un niveau de risque par aléa, puis un indice global par composante de réseau. Toutes ces informations viennent compléter le tableau d’analyse de risque, comme montré dans l’exemple de la Figure 2.

Composantes		Scénarios / Horizons		Analyse de risques (R = V · C)																Indice de risque global				
				Augmentation de la production				Augmentation de la production				Augmentation du ruissellement pluvial				Intensité de pluie future					Sécheresse			
				E	V	C	R	E	V	C	R	E	V	C	R	E	V	C	R		E	V	C	R
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)								0.25	1	2	2	0.25	3	2	6	0.25	3	3	9	6		
		Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.25	3	2	6	0.25	2	2	4	0.5	3	2	6	0.5	3	3	9	7
			Long terme (2071-2100)	0.5	4	3	12	0.5	4	3	12	0.5	2	3	6	0.75	4	3	12	0.5	4	4	16	12
		Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	0.5	3	3	9	0.5	3	2	6	0.25	2	2	4	0.5	3	3	9	0.75	3	3	9	8
			Long terme (2071-2100)	0.75	5	4	20	0.75	5	3	15	0.5	2	3	6	1	4	4	16	1	4	5	20	16

Figure 2. Exemple fictif de l’analyse de risque d’une composante du système de distribution de l’eau potable.

L'ensemble du processus s'appuie sur un système d'information géographique (SIG), permettant d'intégrer les données publiques et municipales et de représenter spatialement les niveaux de risque. La cartographie peut être utilisée lors de la partie d'appréciation des risques ainsi que pour représenter les risques spatialement comme dans l'exemple fictif illustré à la Figure 3.



Figure 3. Exemple fictif de l'intégration d'outils cartographiques dans une démarche d'analyse de risques. À gauche, les données cartographiques sont utilisées pour l'appréciation des risques et, à droite, pour représenter les risques spatialement.

L'outil est accompagné d'un guide opérationnel destiné aux municipalités, décrivant les données à utiliser, les étapes de mise en œuvre et la manière d'interpréter les résultats.

#### 4 APPLICATION À DEUX ÉTUDES DE CAS

L'outil a été appliqué dans deux municipalités québécoises afin de tester la méthode dans des contextes réels.

Dans la première municipalité, l'analyse a porté sur un secteur particulier où un projet de densification était envisagé. L'objectif était de déterminer la capacité des infrastructures existantes à absorber l'augmentation de population et d'identifier les interventions nécessaires pour permettre le projet.

Dans la seconde municipalité, l'outil a été appliqué à l'échelle du territoire entier à partir des projections d'urbanisation à moyen et long terme. L'analyse a permis d'intégrer les scénarios futurs de développement dans la planification municipale et d'identifier les secteurs susceptibles de poser des problèmes selon les scénarios climatiques et de densification.

Dans les deux cas, des comités multidisciplinaires composés de professionnels du génie, de l'urbanisme, des travaux publics et d'autres services municipaux ont accompagné la démarche, assurant une interprétation cohérente des données et une application adaptée au contexte local.

#### 5 CONCLUSION

Ce projet propose une démarche intégrée pour soutenir la planification et la priorisation des interventions sur les infrastructures d'eau en contexte de densification et de changements climatiques. En combinant une revue exhaustive des connaissances et un outil de gestion du risque appuyé sur un SIG, la méthode offre un cadre structuré et reproductible pour évaluer les pressions actuelles et futures.

Les études de cas démontrent que l'approche est applicable à des contextes variés et qu'elle renforce la collaboration entre services municipaux. L'outil constitue ainsi un support concret pour guider les décisions d'investissement et améliorer la résilience des réseaux d'eau.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Bureau de normalisation du Québec (BNQ). (2024a). BNQ 3660-001/2024 : Manuel de conception des réseaux municipaux de distribution d'eau potable. Québec (Québec)
- Bureau de normalisation du Québec (BNQ). (2024b). BNQ 3660-004/2025 : Manuel de conception des réseaux d'égout municipaux. Québec (Québec)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2023). *Climate Change 2023 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland : IPCC.
- Kaur, M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2020). Investigating the impacts of urban densification on buried water infrastructure through DPSIR framework. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120897>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH). (2022). *Mieux habiter et bâtir notre territoire : Politique nationale de l'architecture et de l'aménagement du territoire - Vision stratégique*. Québec (Québec)
- Statistique Canada. (2024). Estimation de la population du Canada : forte croissance démographique en 2023. *Le Quotidien*, (11-001-X), 4.