



OBSERVATOIRE  
DE LA GESTION INTÉGRÉE  
DE L'ESPACE PUBLIC URBAIN



# Impact de la densification sur les infrastructures en eau

## *Mandat de recherche de l'Observatoire*

Émilie Bilodeau, Doctorante,  
Laboratoire HC<sup>3</sup>, École de technologie supérieure

Encadrée par le professeur Jean-Luc Martel



ÉCOLE DE  
TECHNOLOGIE  
SUPÉRIEURE  
Université du Québec



## Partenaires du mandat de recherche de l'Observatoire

### 5 partenaires fondateurs de l'Observatoire



### 9 partenaires de l'Observatoire

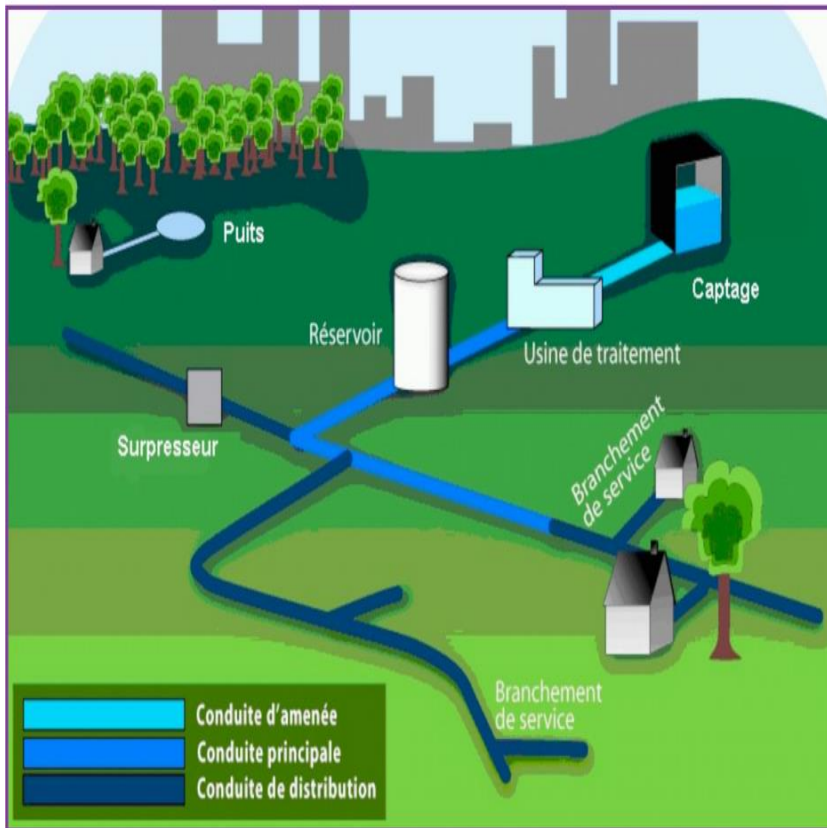


### Travaux de recherche menés par

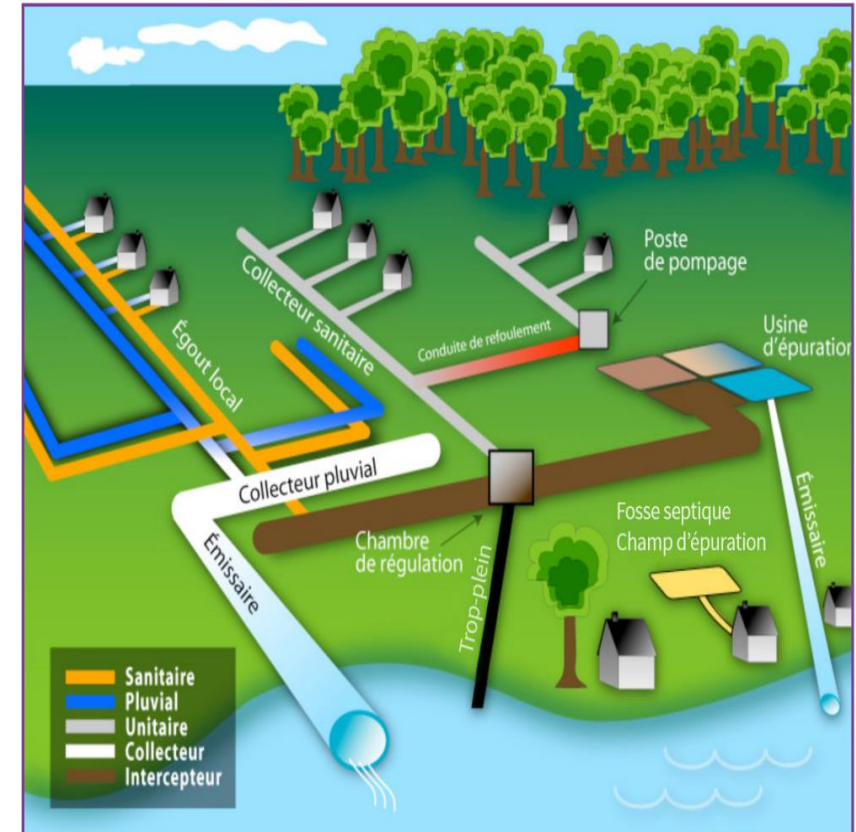


## Infrastructures urbaines en eau

### *Distribution de l'eau potable*

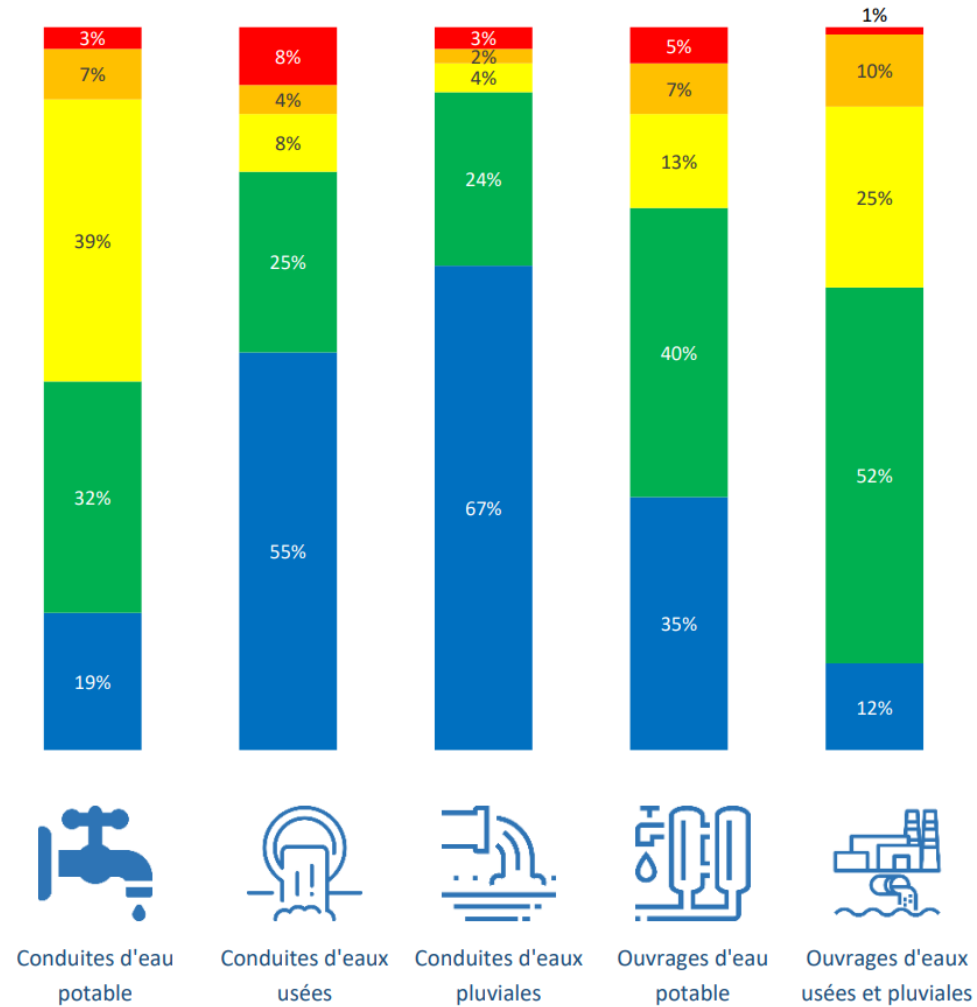


### *Collecte des eaux usées et pluviales*





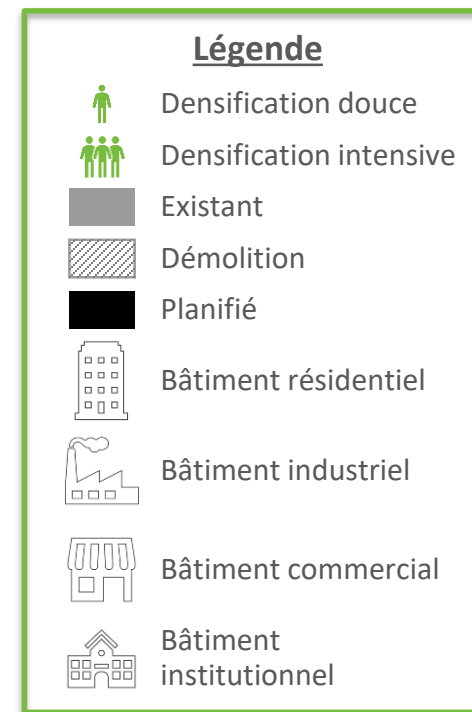
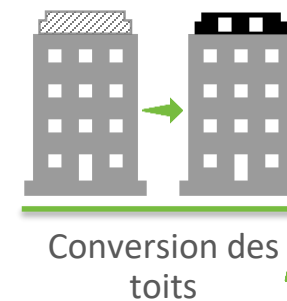
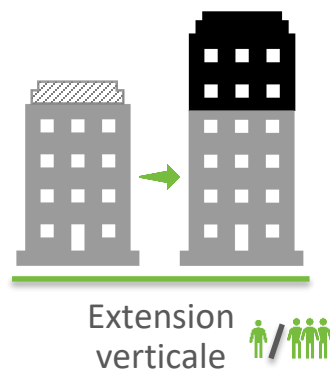
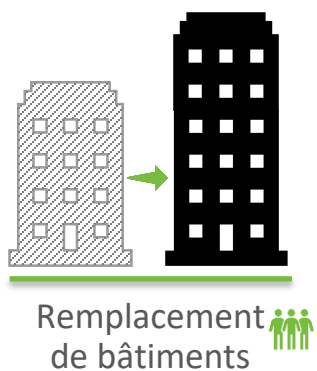
## État des actifs



### Montrent des signes de détérioration

- Risque très élevé de défaillance
- Risque élevé de défaillance
- Risque modéré de défaillance
- Risque faible de défaillance
- Risque très faible de défaillance

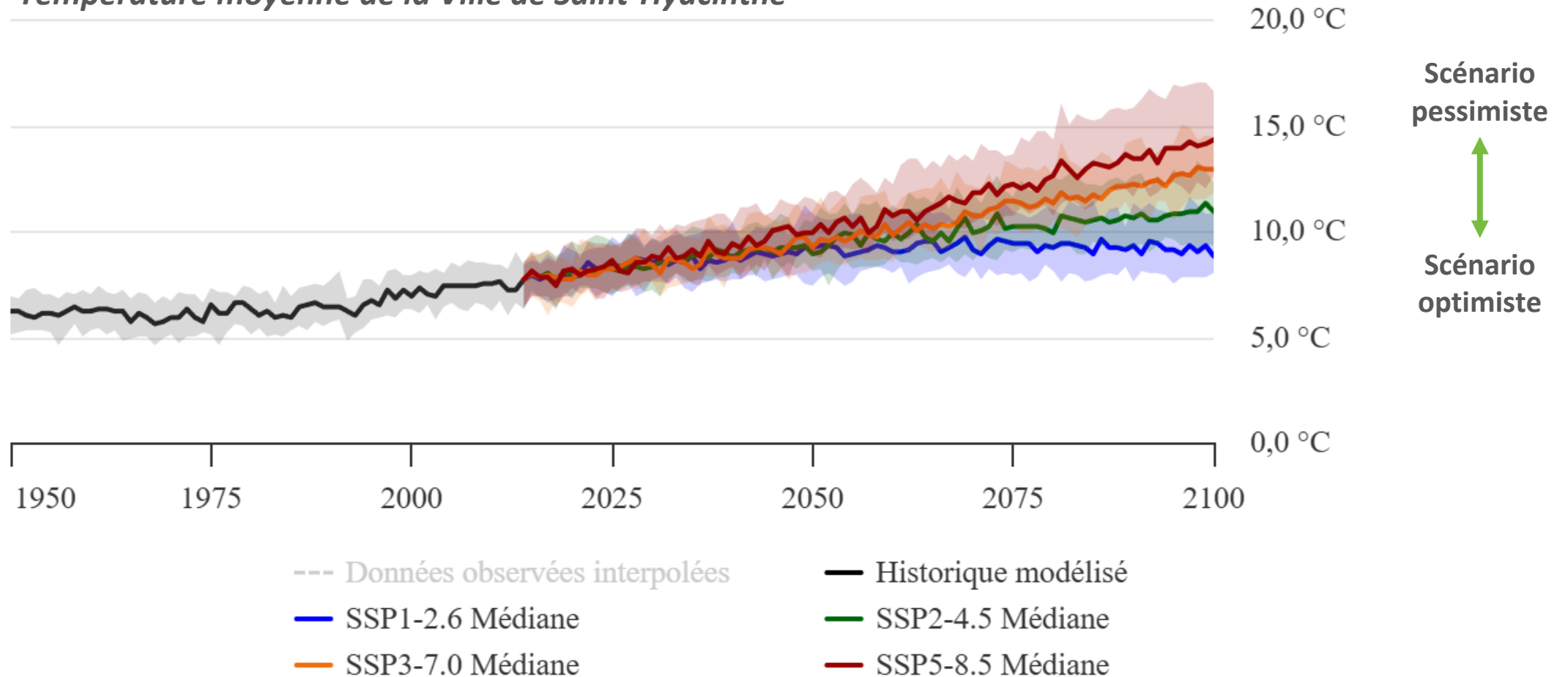
## Densification urbaine





## Changements climatiques

*Température moyenne de la Ville de Saint-Hyacinthe*





## Objectif du mandat

*Développer une méthode pour prioriser les interventions d'adaptation des infrastructures en eau face à la densification urbaine et aux changements climatiques.*



Identifier les impacts et les mesures d'adaptation



Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique



Valider la méthode par des études de cas municipales

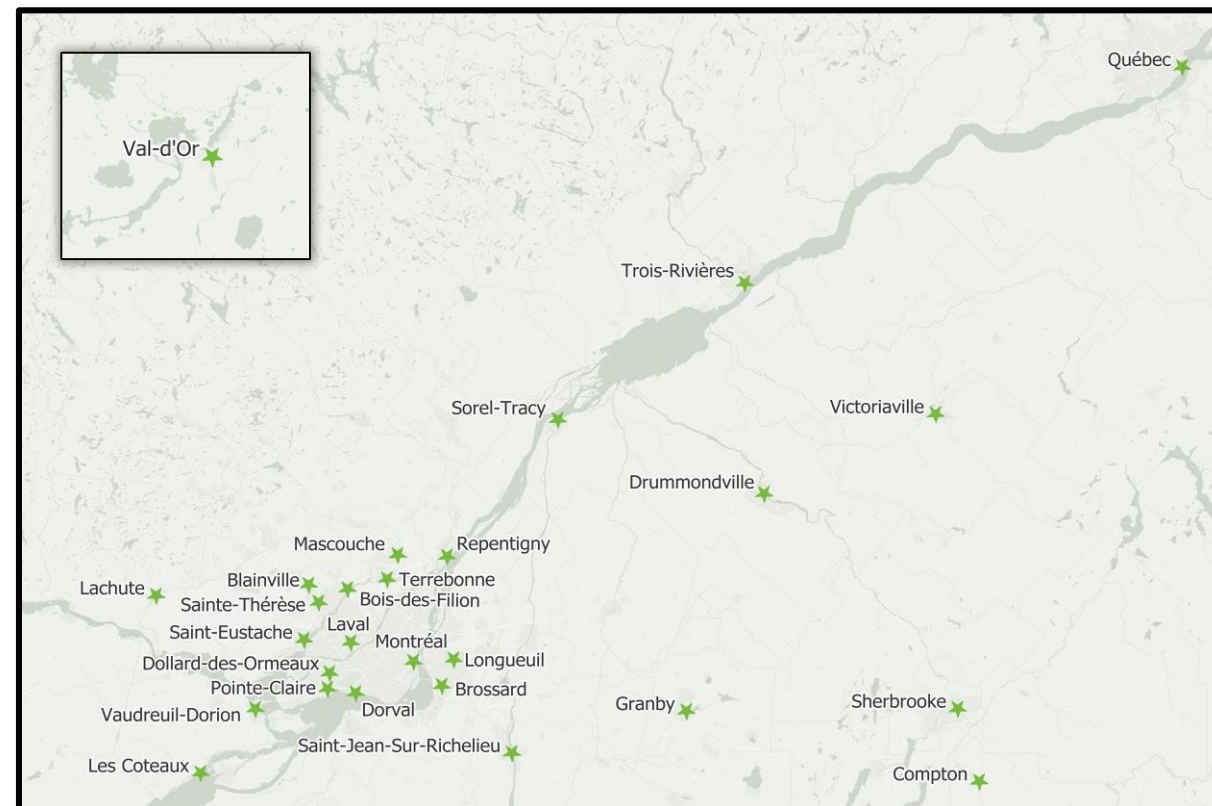




## Étape 1 : Identifier les impacts et les mesures d'adaptation

### Méthodologie

- 💧 Revue de la littérature (285 documents)
  - 💧 *Littérature scientifique (≈80%)*
  - 💧 *Littérature grise (≈20%)*
- 💧 Enquête auprès des municipalités
  - 💧 *Questionnaires (53 répondants)*
  - 💧 *Entrevues (25 participants de 18 villes)*





## Étape 1 : Identifier les impacts et les mesures d'adaptation

### *Résultats : Impacts de la densification*

#### Distribution de l'eau potable

- 💧 **Consommation en hausse** liée à l'augmentation de la population.
- 💧 **Empreinte et stress hydrique** créant des risques de pénurie et une dépendance accrue aux sources locales.
- 💧 **Accessibilité et équité limitées** par des tensions entre usagers et des inégalités d'accès lors de périodes critiques.
- 💧 **Santé et sécurité menacées** par la contamination de l'eau et les défaillances des infrastructures.
- 💧 **Pressions financières** importantes pour la modernisation et l'entretien des infrastructures.

#### Collecte des eaux usées et pluviales

- 💧 **Production en hausse** liée à l'augmentation de la population et au ruissellement pluvial causé par l'imperméabilisation des sols.
- 💧 **Saturation et usure accélérée** résultant de l'augmentation des volumes et des débits.
- 💧 **Qualité de l'eau dégradée** par le rejet d'eaux contaminées dans les milieux naturels.
- 💧 **Impacts physiques sur le territoire** tels que l'érosion ou la transformation des écosystèmes récepteurs.
- 💧 **Inondations et refoulements** plus fréquents lors d'épisodes pluvieux intenses.





## Étape 1 : Identifier les impacts et les mesures d'adaptation

### *Résultats : Mesures d'adaptation*

#### Mesures réglementaires et de planification

**Outils légaux et stratégiques** qui intègrent la gestion de l'eau dans l'aménagement du territoire et la gouvernance municipale.

(Les plans de gestion intégrée, la planification fondée sur les modèles climatiques, la réglementation et les programmes de préservation des infrastructures naturelles.)

#### Mesures comportementales et citoyennes

**Actions visant à modifier les pratiques et à mobiliser la population**

(L'éducation et la sensibilisation à la consommation responsable, la participation citoyenne aux démarches d'adaptation, la tarification incitative et les programmes de soutien financier.)

#### Mesures structurelles

**Aménagements physiques** qui renforcent la capacité et la résilience des infrastructures.

(Leur réfection, les développements à faible impact, la gestion des ressources hydriques, le dessalement et l'utilisation de technologies de gestion intelligentes.)





## Étape 1 : Identifier les impacts et les mesures d'adaptation

### Résultats : Freins et leviers à l'adaptation

**Gouvernance, coordination et leadership** : services en silos, manque de communication, absence de vision intégrée.

➔ Comités transversaux, équipes de coordination, distinction opération/planification.

**Ressources humaines et organisationnelles** : manque de personnel, surcharge, perte d'expertise.

➔ Embauche, guides techniques, étudiants, partenariats universitaires.

**Financement et priorisation** : budgets rigides, financement limité, reconstruction à l'identique, décalage entre besoins et revenus.

➔ Coûts de cycle de vie, autofinancement, tarification volumétrique, taxes dédiées, subventions ciblées.

**Entretien des infrastructures** : inventaires absents, entretien préventif insuffisant, perte de mémoire organisationnelle.

➔ Maintenance préventive, fonds dédiés, intégration dès la conception, formation continue.

**Acceptabilité sociale et communication** : résistance citoyenne, perception négative des coûts.

➔ Communication proactive, sensibilisation, implication citoyenne, valorisation des co-bénéfices.

**Planification de l'espace urbain** : pression sur l'espace, conflits d'usage, faible intégration des enjeux hydriques.

➔ Vision forte, planification progressive, solutions multifonctionnelles, consultation citoyenne.

**Adaptation des habitations existantes** : encadrement normatif insuffisant, initiatives ponctuelles.




➔ Diagnostics, incitatifs financiers, fiches pratiques, intégration réglementaire.









## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

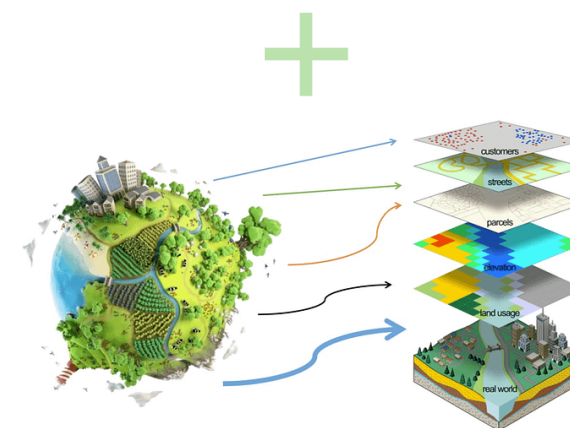
### Méthodologie

- 
 Appréciation des risques
  -  *Identification, analyse et évaluation des risques*
  -  *Hiérarchisation des risques*

Matrice de risques

	5	5	10	15	20	25
5	5	10	15	20	25	
4	4	8	12	16	20	
3	3	6	9	12	15	
2	2	4	6	8	10	
1	1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5	
	Vraisemblance					

- 
 Cartographie des zones vulnérables
  -  *SIG Multicouches*
  -  *Données publiques*
  -  *Données municipales*





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

$$\text{Risque} = \text{Exposition} \times \text{Vraisemblance} \times \text{Conséquences}$$

#### ⚠ Exposition

*Quelle est la probabilité que la composante soit exposée à l'aléa ?*

#### ⚠ Vraisemblance

*Si l'aléa atteint la composante, quelle est la probabilité d'un effet négatif ?*

#### ⚠ Conséquence

*Quel serait le niveau de conséquence si cet aléa se produisait ?*

Échelle de risques

Extrême	17	25
Majeur	10	16
Modéré	5	9
Mineur	3	4
Négligeable	1	2
	Min	Max





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### *Méthodologie : Appréciation des risques*

Scénario/ Horizon		Aléas et indicateurs				
		Augmentation de la production d'eau potable	Augmentation de la production d'eaux usées	Augmentation du ruissellement pluvial	Intensité de pluie future	Sécheresse
		Capacité de distribution	Capacité de collecte	Pourcentage de surfaces imperméables	Variation de l'intensité de pluie future en fonction de la température moyenne - Annuel	Variation de l'indice normalisé d'évapotranspiration des précipitations - 3 mois
Passé récent (1991-2020)		Modérée (40% - 60%)	Modérée (40% - 60%)	Faible (20% - 40%)	-	-
Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	Modérée (40% - 60%)	Modérée (40% - 60%)	Moyen (40% - 55%)	16%	-282%
	Long terme (2071-2100)	Élevée (60% - 80%)	Élevée (60% - 80%)	Fort (55% - 70%)	24%	-223%
Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	Modérée (40% - 60%)	Modérée (40% - 60%)	Moyen (40% - 55%)	18%	-464%
	Long terme (2071-2100)	Critique (80% - 100%)	Critique (80% - 100%)	Très fort (> 70%)	35%	-887%

Exemple fictif





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes			Scénario/ Horizon	Analyse de risques																		Indice de risque global		
				Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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
Distribution de l'eau potable																								
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12	11	
		Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	1	3	1	4	2	8	0.25	3	2	6	5	
		Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3					10	
		Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10	8	
		Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10	10	
		(2041-2100) faible	0.5	3	3	9	0.5	2	3	12		3			0.5	3	3	9	1	3	2	10	10	
		(2041-2100) forte	0.5	3	3	9				0.5	3	1	3		3	1	3	0.5	3	2	6	5		

Exposition

Quelle est la probabilité que la composante soit exposée à l'aléa ?

#### ⚠ Exposition

Quelle est la probabilité que la composante soit exposée à l'aléa ?

#### ⚠ Vraisemblance

Si l'aléa atteint la composante, quelle est la probabilité d'un effet négatif ?

#### ⚠ Conséquence

Quel serait le niveau de conséquence si cet aléa se produisait ?






## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes			Scénario/ Horizon	Analyse de risques																				Indice de risque global	
				Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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		
Distribution de l'eau potable																									
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12			11
		Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	3	3	1	4	2	8	0.25	3	2	6			5
		Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3							10
		Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10			8
		Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10			10
		Long terme (2071-2100)	0.12	5	1	6	0.32	2	3	12		3			0.32	3	3	9	1	5	2	10			10

 Exposition

Quelle est la probabilité que la composante soit exposée à l'aléa ?



#### Exposition

Quelle est la probabilité que la composante soit exposée à l'aléa ?

0

0.25

0.5

0.75

1

**Nulle** : Aucune exposition  
attendue sur l'horizon considéré.

**Faible** : Exposition rare et  
marginale.

**Modérée** : Exposition  
intermittente et partielle.

**Élevée** : Exposition fréquente et  
étendue.

**Très élevée** : Exposition quasi  
systématique ou continue.





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes			Scénario/ Horizon	Analyse de risques																		Indice de risque global		
				Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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
Distribution de l'eau potable																								
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12	11	
		Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	3	3	0.25	4	2	8	0.25	3	2	6	5
			Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3					10
		Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10	8
			Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10	10
				(2041-2100) tout futur	0.5	3	1	1	0.5	2	3	12		3			0.5	3	3	1	1	3	2	10

⚠

Vraisemblance

Si l'aléa atteint la composante, quelle est la probabilité d'un effet négatif ?

1

2

3

4

5

**Très improbable** : Dans des circonstances exceptionnelles.

**Improbable** : Pourrait se produire parfois.

**Probable** : Se produira parfois.

**Très probable** : Dans la majorité des cas.

**Presque certain** : Attendu dans la majorité des cas.






## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes			Scénario/ Horizon	Analyse de risques																		Indice de risque global		
				Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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
Distribution de l'eau potable																								
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12	11	
		Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	1	3	4	2	8	0.25	3	2	6	5	
			Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3				10	
		Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10	8
			Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10	10
		Passé récent (1991-2020)	0.32	5	4	6	0.32	2	3	4		3		0.32	3	3	9	1	5	2	10	10		

 **Conséquence**

Quel serait le niveau de conséquence si cet aléa se produisait ?



**Conséquence**

Quel serait le niveau de conséquence si cet aléa se produisait ?

1

2

3

4

5

**Très faible** : Très peu d'impacts sur la fonctionnalité.

**Faible** : Peu d'impacts sur la fonctionnalité.

**Moyen** : Impacts modérés sur la fonctionnalité.

**Élevée** : Impacts élevés sur la fonctionnalité.

**Très élevée** : Impacts sévères sur la fonctionnalité.





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes			Scénario / Horizon	Analyse de risques																		Indice de risque global		
				Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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
Distribution de l'eau potable																								
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12	11	
		Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	3	8		4	2		0.25	3	2	6	5
			Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3					10
		Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10	8
			Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10	10
				Scénario Extrême (2041-2100)	0.12	5	4	8	0.12	2	3	42		3			0.12	3	3	9	4	5	2	40
		Scénario Extrême (2041-2100) de pluie	0.12	3	5					0.12	3	4	5	4	3	4	15	0.12	3	5	10			

$$\text{Risque} = \text{Vraisemblance} \times \text{Conséquences}$$

■ Risque négligeable
 ■ Risque mineur
 ■ Risque modéré
 ■ Risque majeur
 ■ Risque extrême





## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### Méthodologie : Appréciation des risques

Composantes		Scénario / Horizon	Analyse de risques																		Indice de risque global			
			Augmentation de la production d'eau potable				Augmentation de la production d'eaux usées				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	
Distribution de l'eau potable																								
101	Sources d'eau	Passé récent (1991-2020)					1	2	5	10	1	4	3	12	0.75	5	2	10	1	3	4	12	11	
		Scénario Modéré	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6	0.75	1	2	2	0.5	3	3	3	4	2	8	0.25	3	2	6	5	
		Long terme (2071-2100)	0.5	3	3	9	1	4	4	16					0.75	3	1	3					10	
		Scénario Élevé	Moyen terme (2041-2070)	0.25	3	2	6					0.75	2	1	2	1	3	4	12	0.5	5	2	10	8
		Long terme (2071-2100)	0.75	2	4	8	0.25	5	3	15		3			0.25	3	3	9	1	2	5	10	10	
		Scénario Extrême	Moyen terme (2041-2070)	0.12	5	4	1	0.12	2	3	12		3			0.12	3	3	1	4	5	2	10	10
		Long terme (2071-2100)	0.12	3	5					0.12	2	1	1	1	3	4	5	0.12	3	5		0		

$$\text{Indice de risque global} = \sum \text{Exposition}_i \times \text{Risque}_i$$

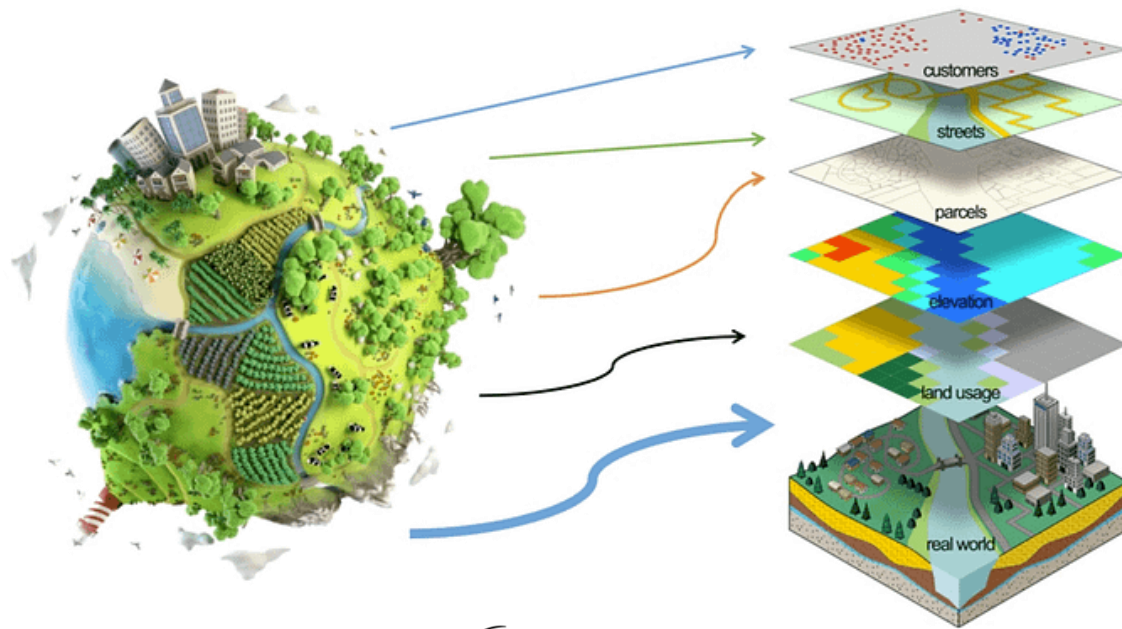
■ Risque négligeable
 ■ Risque mineur
 ■ Risque modéré
 ■ Risque majeur
 ■ Risque extrême



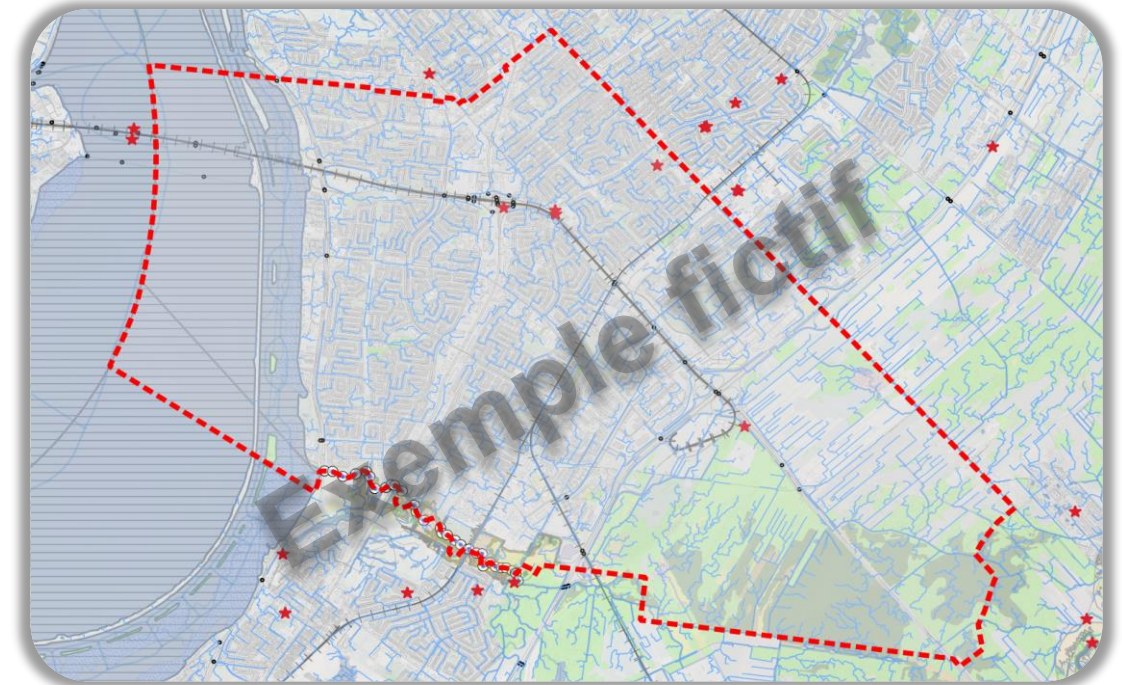


## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### *Méthodologie : Cartographie des zones vulnérables*



### Pour l'appréciation des risques



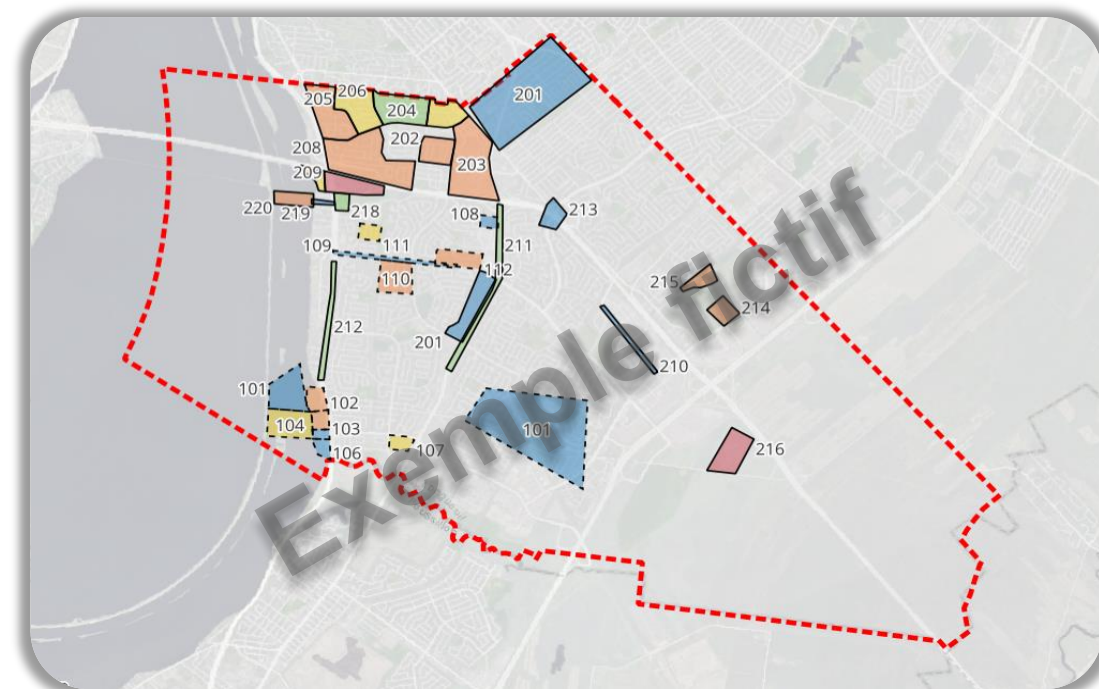


## Étape 2 : Élaborer un outil d'analyse de risques cartographique

### *Méthodologie : Cartographie des zones vulnérables*

#### Pour la cartographie des risques

- Priorisation des zones à risques
  - Selon chaque aléa ou globalement
  - Selon les différents scénarios étudiés
  - Selon les horizons temporels retenus
- Étape suivante : mesure d'adaptation





## Étape 3 : Valider la méthode par des études de cas municipales

### Méthodologie

- Sélection de deux municipalités
- Application de la méthodologie
  - À l'échelle de la ville
  - À l'échelle du projet
- Validation et ajustements





# Période de questions

*Découvrez les rapports de  
recherche de ce mandat*

## Partenaires fondateurs de l'Observatoire



## Partenaires de l'Observatoire

