

# Niveau de service et résilience pour les réseaux de drainage existants: de la théorie à l'application

L'avenir n'est plus  
ce qu'il était...



# PROLOGUE

## *Évolution de la jurisprudence et du contexte au Québec depuis la fin des années 1990*

Extrait du jugement Québec (Ville de) c. Équipements Emu ltée (événements de 2003, 2004 et 2005) - **Éléments pour définir un cas de force majeure**

En plus de l'**imprévisibilité** et l'**irrésistibilité**, on doit aussi démontrer l'**absence de faute** (selon ce qu'aurait fait une municipalité prudente et diligente placée dans les mêmes circonstances et à toutes les étapes pertinentes : conception du réseau, mise en place, extensions et entretien)

# PROLOGUE

## Concevoir les réseaux de drainage urbain en considérant la résilience



CSA W204:19  
Norme nationale du Canada



1

Conception résiliente aux inondations  
pour les nouvelles communautés  
résidentielles



CSA W210:21  
National Standard of Canada



2

Prioritization of flood risk in existing  
communities



CSA W211:21  
Norme nationale du Canada



3

Norme de gestion des systèmes d'eaux  
pluviales



Z800-18  
Norme nationale du Canada



4

Lignes directrices sur la protection des sous-sols contre les  
inondations et la réduction des risques

# PROLOGUE

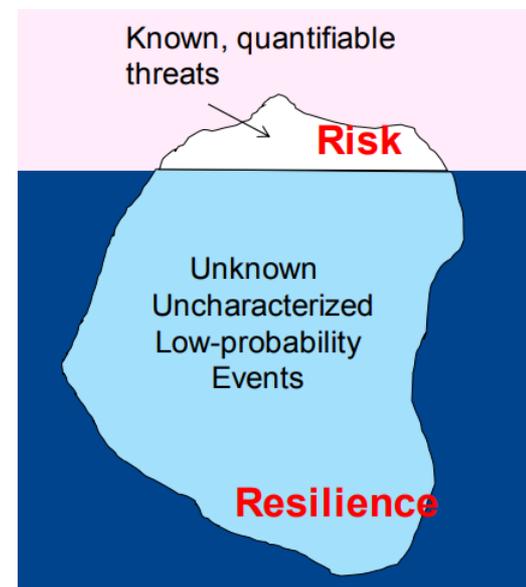
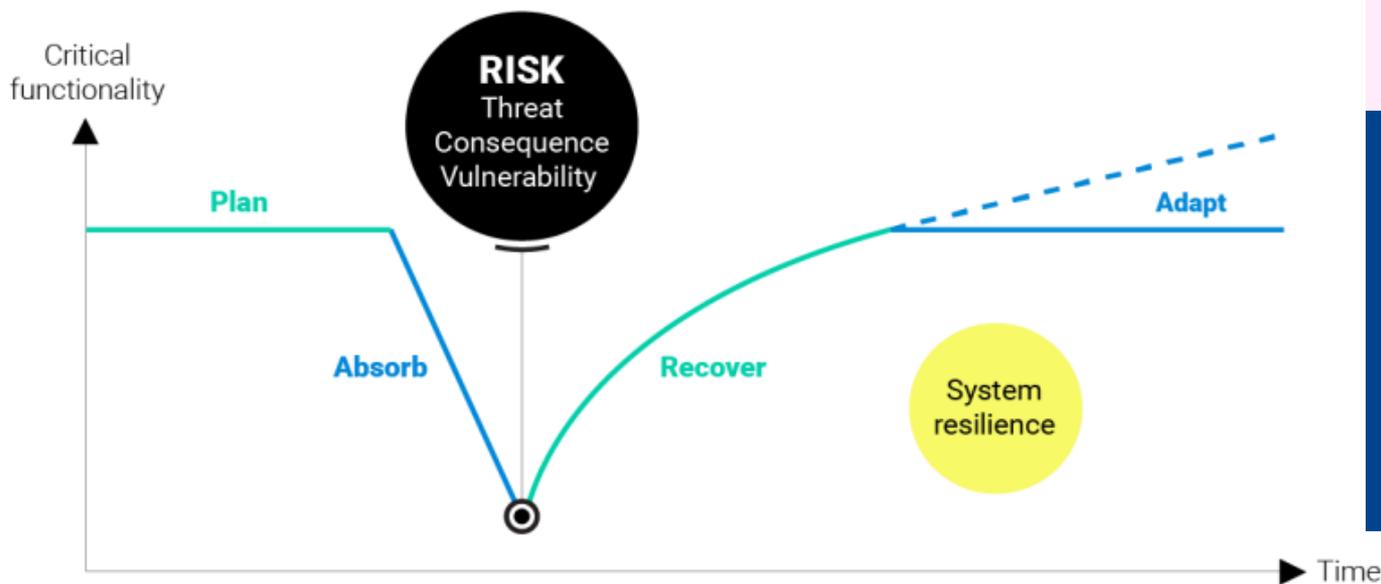
## Résilience

Concept de base pour la résilience (différent d'une analyse de risque)

September 2021



Climate-Resilient Infrastructure Officer Handbook



# PROLOGUE

Review

## Review of Urban Flood Resilience: Insights from Scientometric and Systematic Analysis

Meiyan Gao <sup>1,2</sup>, Zongmin Wang <sup>1,2</sup> and Haibo Yang

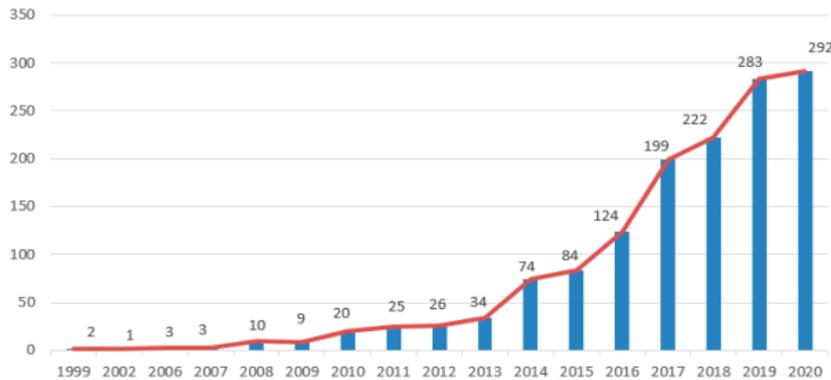
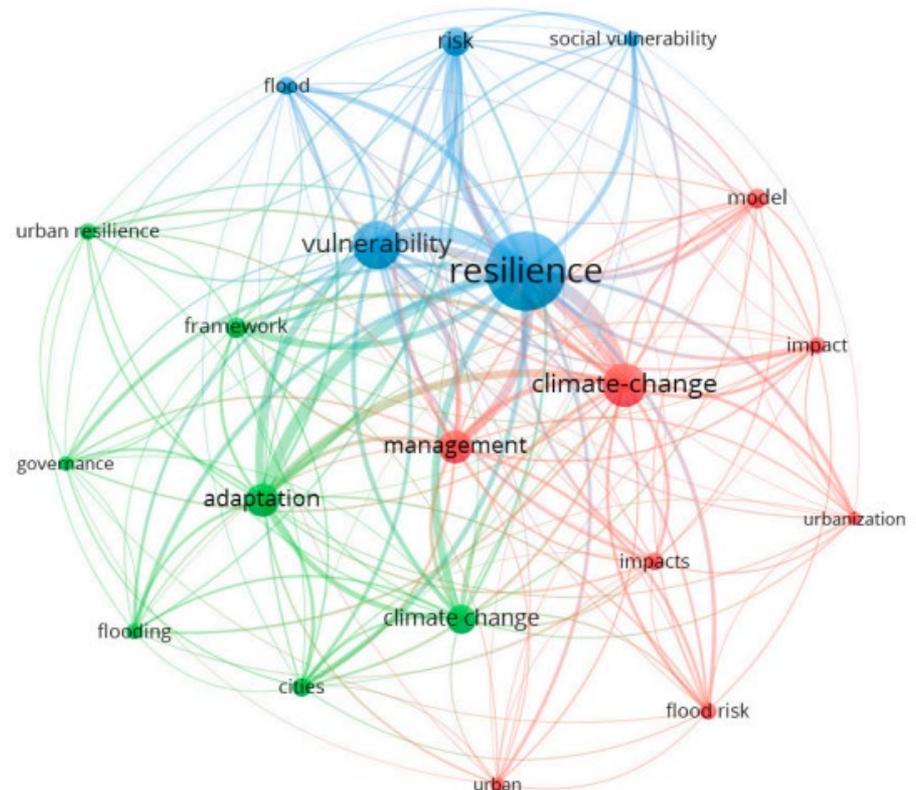


Figure 7. Increasing trend of literature about urban flood resilience.



Mots-clés

# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

Changements climatiques

Risques

Incertitudes

Vulnérabilité

Précaution

Résistance

Conception

Impacts économiques

Opération

Impacts sociaux

Adaptation

Gouvernance

Récupération

**Résilience**

Améliorer la résilience augmente les chances d'un développement durable dans un environnement changeant où le futur est imprévisible et la surprise est probable.

Folke et al., 2002



# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

- Besoin d'adopter une approche permettant de prendre en compte la complexité et les incertitudes



Une approche de conception des systèmes considérant **la résilience** utilise des stratégies proactives pour diminuer les risques et s'adapter aux changements

# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

Des événements majeurs dans différentes régions ont entraîné une remise en question

## Flexibility in Adaptation planning

Guidelines for when, where & how to embed and value flexibility for urban flood resilience

**Australie**

**Royaume-Uni**

**Flood Resilience Community Pathfinder Evaluation**

**Final Evaluation Report**

**October 2015**

 HM Government

**National Flood Resilience Review**



**Pays-Bas**



**Calgary - 2013**

**salle  nhc**

# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

## Revoir les façons de faire

### Vulnérabilité et résilience: de l'atténuation à l'adaptation

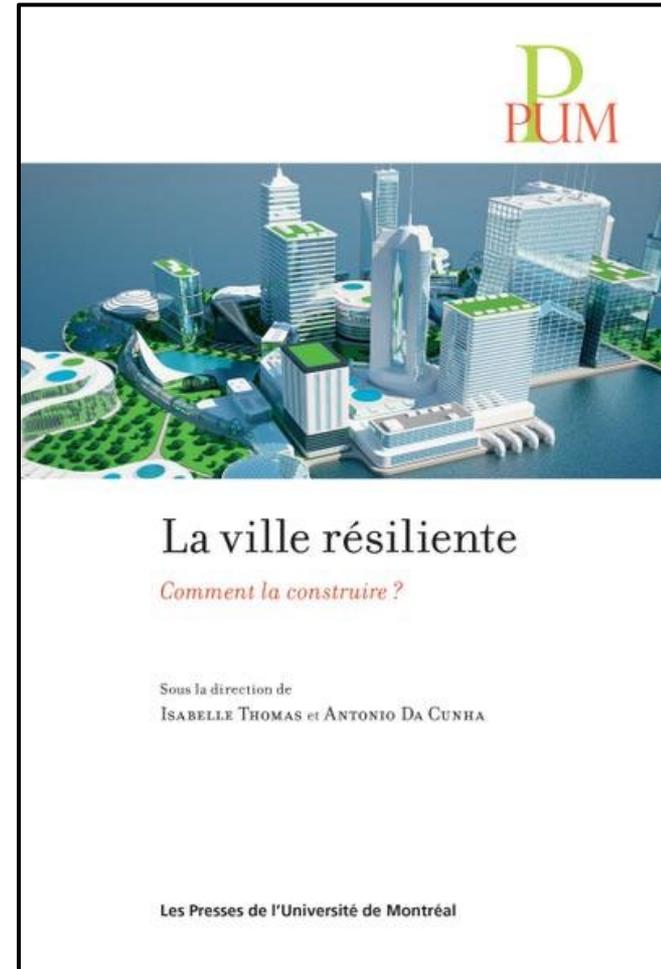
#### CHANGEMENT DE PARADIGME



Conception des systèmes en considérant le risque

Prise en compte de l'aménagement du territoire

Résilience comme la capacité interne dont est doté un système pour se maintenir dans un environnement turbulent et incertain



# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

**Des mesures traditionnelles de réduction du risque et de protection ne seront pas suffisantes**

- Changements climatiques
- Urbanisation historique mal contrôlée

**Une protection absolue n'est pas atteignable**



**Résilience** comme complément aux approches de gestion du risque

# POURQUOI PARLER DE RÉSILIENCE ?

**Quantifier** la résilience pour une prise de discussion éclairée

- **Concept aux contours mal définis**
- **Liée au niveau de service ou de performance attendue**
- **Quantification par des indicateurs mesurables est difficile**

## **Résilience**

- Pour qui ?
- De quoi à quel événement ?
- Pour quand ?
- Pour où ?
- Pourquoi ?

Meerow et Newell  
(2019)

# PRÉSENTATION

+

**DÉFINIR LA RÉSILIENCE**

+

**ÉVOLUTION  
DES CONCEPTS**

+

**NORMES CSA**

+

**RÉSEAUX EXISTANTS: ENJEUX  
SPÉCIFIQUES ET APPROCHES**

+

**MISE EN APPLICATION :  
«OPÉRATIONNALISER» LA  
RÉSILIENCE**



# DEFINIR LA RÉSILIENCE

- Terme qui peut être vague et trop général
- Souvent conceptuel et pas assez concret
- Plusieurs termes connexes et interdépendants



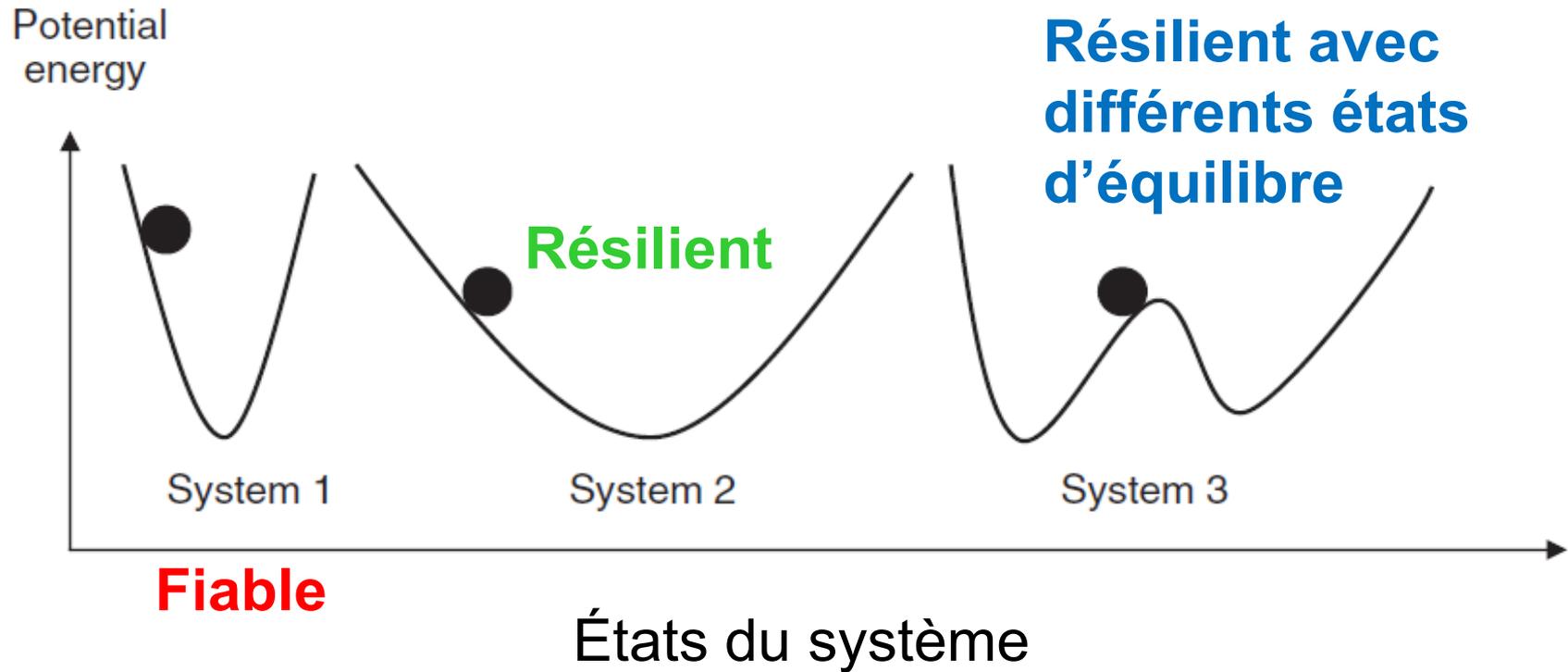
Fiabilité

Vulnérabilité

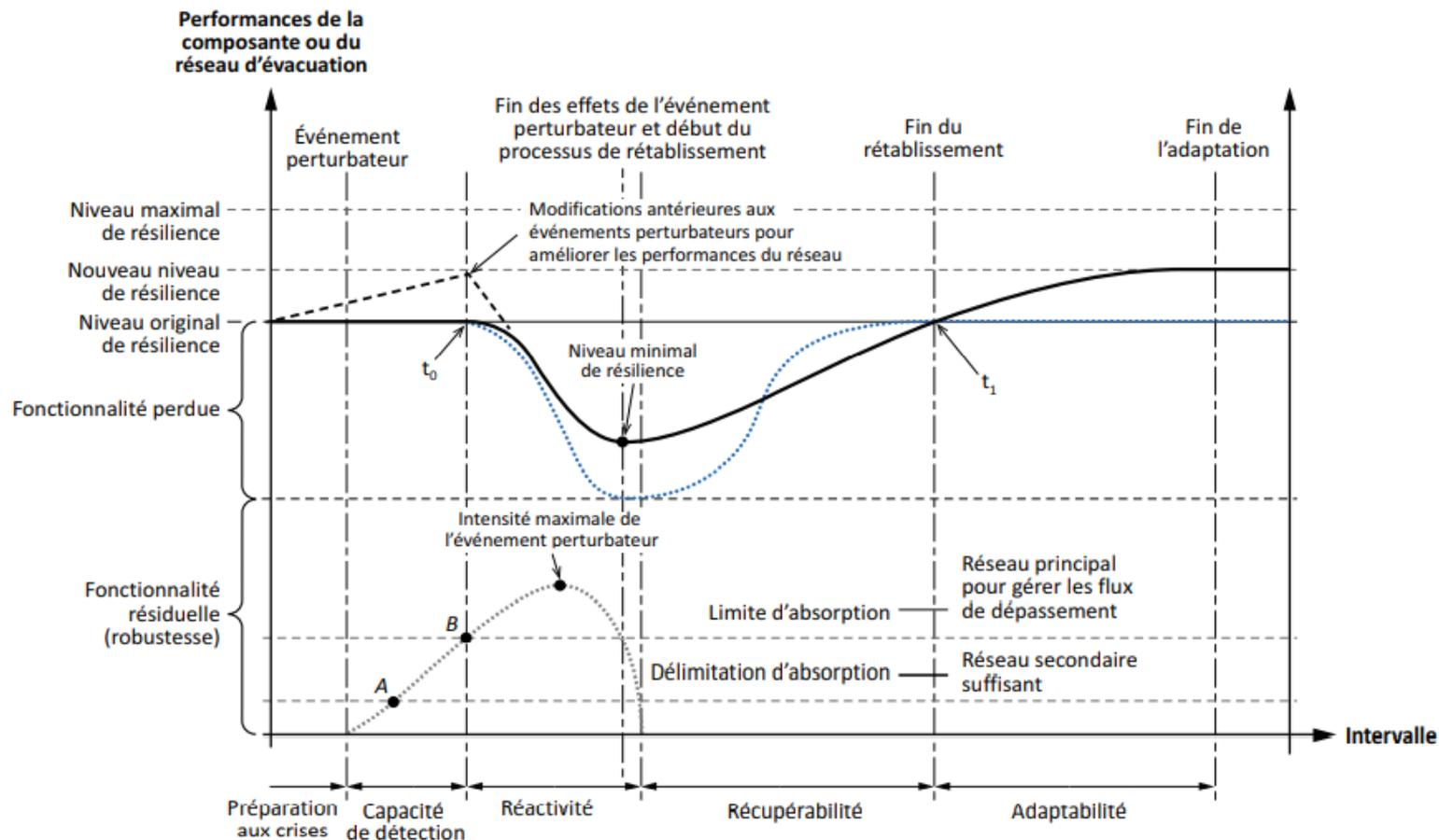
Risque

Exposition Aléa

# DEFINIR LA RÉSILIENCE



# DEFINIR LA RÉSILIENCE



## Légende :

- ..... Performances de la composante
- Performances avec résilience améliorée
- ..... Intensité de l'événement perturbateur

Norme CSA W210

# DEFINIR LA RÉSILIENCE

La **résilience** pour les inondations: capacité du système (naturel et infrastructures construites) à récupérer d'un événement extrême avec un minimum de dommages, de perturbations des fonctions et des impacts socio-économiques pendant et après l'événement extrême.

- 1. Résistance;**
- 2. Fiabilité;**
- 3. Redondance; et**
- 4. Réponse et récupération**

# DEFINIR LA RÉSILIENCE

<b>Résilience pour qui ?</b>	Qui détermine ce qui est désirable ? La résilience de qui est priorisée ? Qui est inclus (et exclus) ?
<b>Résilience de quoi à quoi ?</b>	Quelles perturbations ? Quels réseaux et secteurs ? Résilience générique ou spécifique ?
<b>Résilience pour quand ?</b>	Perturbations se produisant rapidement ou se développant lentement ? Résilience à court terme ou long terme ? Pour les générations actuelles ou futures ?
<b>Résilience pour où ?</b>	Limites spatiales du système ? Résilience priorisée pour certaines zones ? La résilience d'une zone affecte la résilience ailleurs ?
<b>Pourquoi la résilience ?</b>	Quel est le but recherché ? Quelles sont les motivations sous-jacentes ? Focus sur le processus ou sur les résultats ?

Meerow et Newell  
(2016)

# ÉVOLUTION DES CONCEPTS

## *Resilience and Stability of Ecological Systems* **Holling - 1973**

Mesure de la persistance des systèmes et de leur capacité à absorber les perturbations et de maintenir les mêmes relations entre les différentes entités du système.



# ÉVOLUTION DES CONCEPTS

## Fiabilité

### Avant 1980

Systemes conçus pour fonctionner sans insuffisance pour un événement de conception

Approche: Réseau de conduites pour recurrence 5 ans

## Risque

### 1980 à fin 1990

Systemes conçus en considérant les risques et les conséquences d'une insuffisance

Approche: Prise en compte de plusieurs événements et gestion des conséquences

## Résilience

### Début 2000

Systemes conçus en fonction des principes de résilience

Approche: Changements climatiques et incertitudes

**Risque** = (Probabilité d'un év. climatique) × (Probabilité de l'insuffisance pour un événement) × (Conséquence (f(Exposition, Vulnérabilité)) ou Coûts)

# ÉVOLUTION DES CONCEPTS

## Fiabilité («standards») vs risque

Approches fondées sur la fiabilité	Approches axées sur le risque
Sécurité jugée par la <b>conformité</b> aux normes et aux bonnes pratiques d'ingénierie	Sécurité jugée suffisante par la compréhension des directives sur le risque et le risque tolérable
Accent sur les événements de <b>charge nominale</b>	Prise en compte de tous les événements de charge et modes de défaillance significatifs
Les <b>ingénieurs</b> sont les décideurs de premier ordre en matière de sécurité au moyen d' <b>hypothèses prudentes</b> (charges et réponses).	Les ingénieurs fournissent aux décideurs les preuves impartiales de risque.
Conséquences d'une défaillance non prises en compte en détail	Conséquences d'une défaillance explicitement prises en compte
Atteindre la conformité, parfois en supposant qu'elle supprime <b>tous les risques</b>	Chercher à identifier, comprendre et gérer le risque résiduel
En général, <b>pas bien intégré à d'autres activités.</b>	Bien intégré aux autres processus de gestion.

Sayles et al., 2012

# ÉVOLUTION DES CONCEPTS

## Formulations de la fiabilité

<b>Formulation</b>	<b>Évaluation de l'état de défaillance/non-défaillance</b>	<b>Description</b>
R1	Composante du système spécifiée	Fiabilité de la composante du système spécifiée
R2	Toutes les composantes du système	Fiabilité du système
R3	Impacts spécifiés	Fiabilité du niveau spécifié de prestation de service
R4	Tous les impacts	Fiabilité du niveau de prestation du service

Sweetapple et al. 2018

# NORMES CSA



**CSA W204:19**  
Norme nationale du Canada



**Conception résiliente aux inondations  
pour les nouvelles communautés  
résidentielles**



**CSA W210:21**  
National Standard of Canada



**Prioritization of flood risk in existing  
communities**

# NORMES CSA

## PORTÉE DES NORMES

- Conception pour la résilience face à des événements extrêmes et incertitudes opérationnelles;
- Conception des réseaux de drainage (mineur et majeur)
- Conception des réseaux d'égout sanitaire;
- Conception des stations de pompage d'eaux usées; et
- Considérations pour la préservation des actifs naturels et des mesures à faible impact

## TYPES D'ALÉAS

- Inondation par cours d'eau;
- Inondation par la surface;
- Refoulement d'égout pluvial ou sanitaire;
- Disfonctionnement du système de drainage (i.e. blocage des entrées ou des ouvrages, glace, sédiment, etc.); et
- Infiltration des eaux souterraines

# NORMES CSA

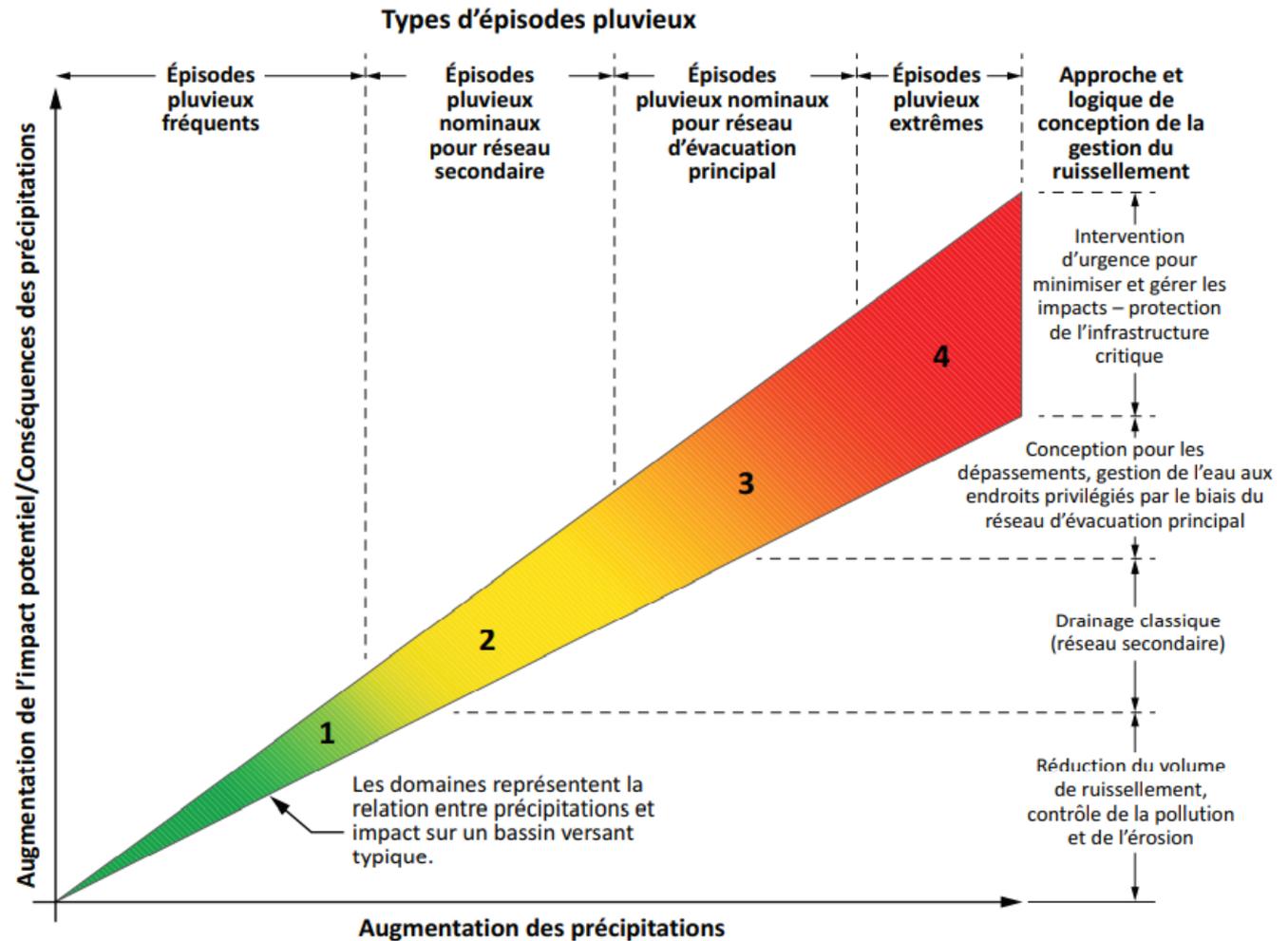
## PRINCIPAUX POINTS DE DISCUSSION

- **Portée**
- **Définitions – Résilience et approches**
- **Prise en compte des changements climatiques et définition des événements extrêmes**
- **Exigences spécifiques pour maximiser la résilience**
- **Recommandations pour infrastructures critiques**



# NORMES CSA - PLUIES

## Prise en compte d'événements extrêmes



# Norme W210 – Réseaux existants

## DOCUMENT DE BASE

Comité pancanadien – Groupe Intact



Version anglaise en décembre 2021



**CSA W210:21**  
National Standard of Canada



**Prioritization of flood risk in existing communities**

Version française en janvier 2022

### SURMONTER LA TEMPÊTE :

ÉLABORER UNE NORME CANADIENNE POUR  
RENDRE LES ZONES RÉSIDENNELLES EXISTANTES  
RÉSILIENTES FACE AUX INONDATIONS

NATALIA MOUDRAK ET BLAIR FELTMATE  
CENTRE INTACT D'ADAPTATION AU CLIMAT  
JANVIER 2019

# Norme W210 – Réseaux existants

## Portée

Category	In scope	Out of scope
Geography	Canadian communities located below the 60 <sup>th</sup> parallel north (i.e., southern communities)	Communities north of the 60 <sup>th</sup> parallel, including permafrost communities
Flood hazards	Riverine (fluvial) Overland (pluvial) Storm and sanitary sewer back-up Infiltration (seepage) High lake levels	Tidal/coastal Storm surge, and sea level rise Unique flood hazards (e.g., dam failures, tsunami, etc.) Ice jams
Development type	Urban and suburban residential developments Mixed-use development/neighbourhoods (e.g., residential and commercial/employment and institutional)	Stand-alone non-residential developments (e.g., solely industrial, commercial and institutional land, agricultural land, and major transportation routes)

**Note:** *In the absence of coastal-specific guidance, the prioritization framework described in this Standard might also be applied to efforts to identify and prioritize areas where flood mitigation action might be needed in communities impacted by coastal processes.*

# Norme W210 – Réseaux existants

## *Approche générale*

Établissement d'un cadre pour identifier et caractériser les risques d'inondation

*4 Flood mechanisms and related challenges*

*5 Flood risk prioritization framework*

*6 Identifying hazards and impact categories*

*7 Flood risk scoring*

**Annex A** (informative) Flood hazard and vulnerability matrix

**Annex C** (informative) Expected annual impacts

**Objectif de base:** standardiser la compréhension des risques d'inondation dans des secteurs existants pour pouvoir se comparer et prioriser des secteurs.

Approche divisée en **3 niveaux:** de base, intermédiaire et avancé

**Annex B** (informative) Best practices for community-based flood resiliency in existing residential communities

# Norme W210 – Réseaux existants

## *Types d'inondation*

1. Inondation **riveraine** (aussi appelée inondation fluviale)
2. Inondation **de surface** (aussi appelée inondation pluviale)
3. **Refoulement** d'égout pluvial ou sanitaire\*
4. **Défaillance** des systèmes de drainage des fondations\*

*\* Référence à une autre norme publiée en 2018*

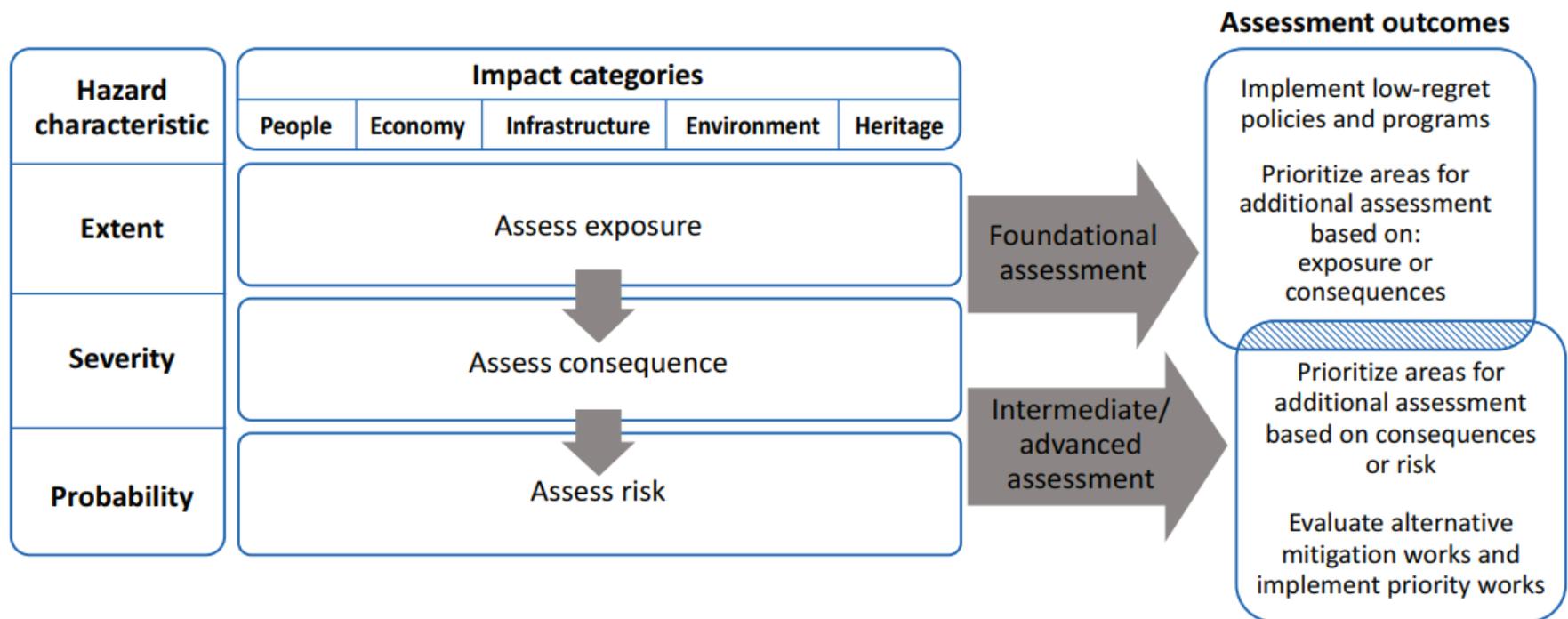
Lignes directrices sur la protection des sous-sols contre les inondations et la réduction des risques

**(CSA-Z800-F18)**

# Norme W210 – Réseaux existants

## Cadre général (Section 5)

**Figure 1**  
**Risk assessment flow chart**  
(See Clause [5.2.](#))

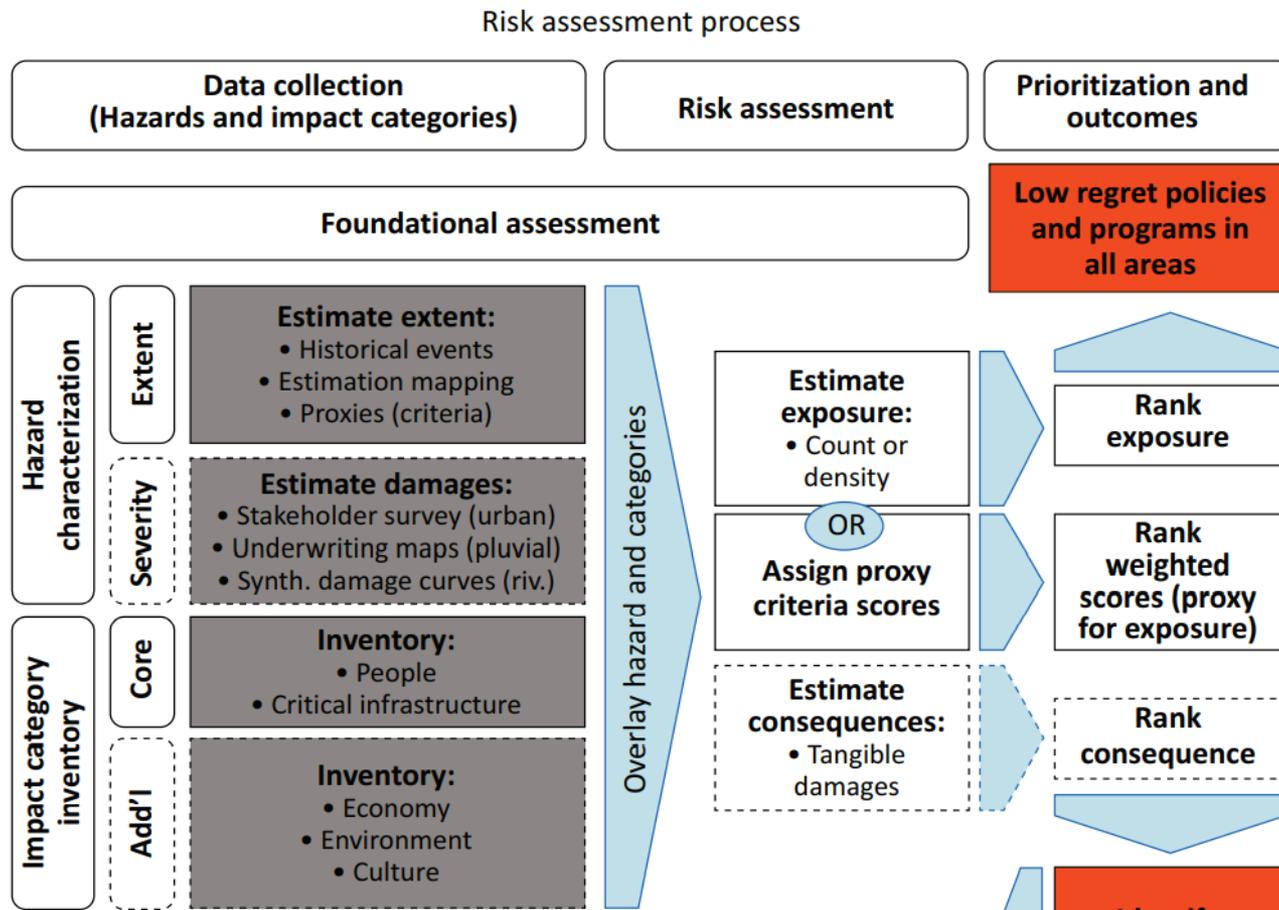


# Norme W210 – Réseaux existants

## Évaluation – Niveau de base

**Petite municipalité:**  
Problématique d'inondation de faible ampleur ou inexistante

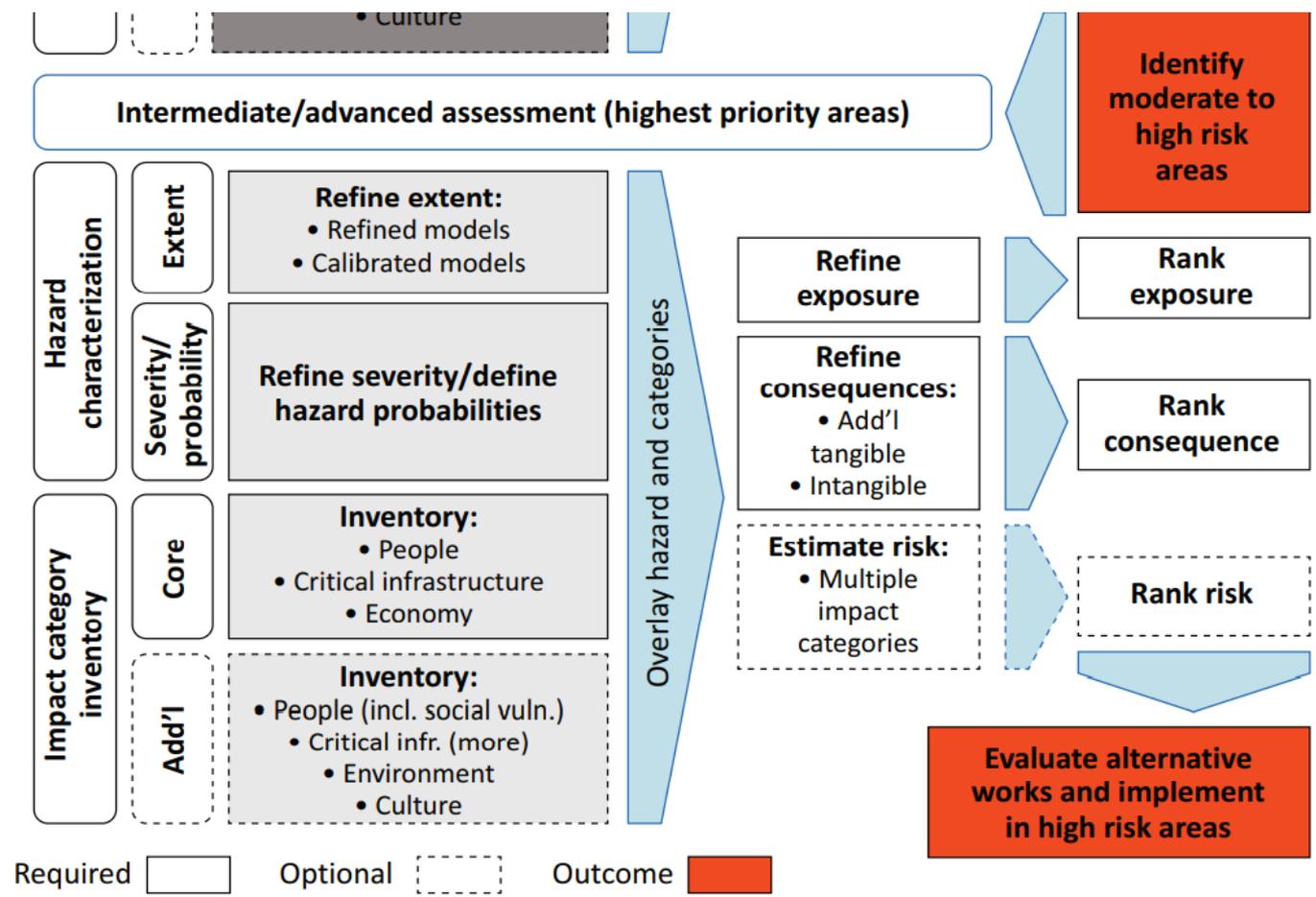
**Figure 2**  
**Risk assessment procedures and analysis levels flow chart**  
(See Clauses [5.4.2](#) and [6.1.](#))



Required  Optional  Outcome

# Norme W210 – Réseaux existants

## Évaluation – Niveau intermédiaire et avancé



# Norme W210 – Réseaux existants

## Identification des aléas et des impacts (Section 6)

### LISTE DE BASE

**Table 1**  
**Core hazards list**  
(See Clauses [6.1](#), [7.2.1](#), [7.3](#), and [7.4.1](#).)

<b>Determination of water level hazard</b>	<b>Levels at which hazard applies (according to Annex <a href="#">A</a>)</b>
<b>Description</b>	
History of wet-weather flooding (based on reported flood issues — all types of flooding and flooding mechanisms to be included, e.g., rain, snowmelt, rain-on-snow, ice jams, inflow & infiltration, failed infrastructure)	All levels
Riverine water levels established by hydrologic analysis and hydraulic modelling	Intermediate-advanced
Sanitary system water levels established by hydrologic and hydraulic modelling	Intermediate-advanced
Storm system water levels established by hydrologic and hydraulic modelling	Intermediate-advanced
Floodplain mapping — Riverine	All levels

# Norme W210 – Réseaux existants

## Identification des aléas et des impacts (Section 6)

### LISTE SECONDAIRE

**Table 2**  
**Proxy risk factors list**  
(See Clauses [5.4.2](#), [6.1](#), and [7.2.1](#).)

	<b>Levels at which risk factor applies (according to Annex A)</b>
Basements	Foundational only
Design standards — Riverine	Foundational only
Design standards — Sanitary	Foundational only
Design standards — Weeping tiles	Foundational only
Design standards — Backwater protection — Sanitary	Foundational only
Design standards — Backwater protection — Storm	Foundational only
Design standards — Downspouts/roof leaders	Foundational only
Capacity of sanitary system	Foundational or intermediate only
Capacity of storm system	Foundational or intermediate only
Capacity of riverine system (non-tidal)	Foundational or intermediate only

*(Continued)*

# Norme W210 – Réseaux existants

## *Procédure d'évaluation des risques d'inondation (Section 7)*

### **8 étapes**

- 1) Sélectionner les zones pour évaluation;
- 2) Sélectionner les aléas;
- 3) Déterminer l'ampleur et la sévérité de chaque aléa pour différentes périodes de retour;
- 4) Sélectionner des catégories d'impact;
- 5) Évaluer la vulnérabilité, les conséquences et les risques;
- 6) Ordonner les zones pour priorisation basée sur la vulnérabilité, les conséquences et les risques;
- 7) Créer une cartographie;
- 8) Prioriser et établir les étapes suivantes
  - i) Au niveau de base:
    - 1) Mettre en place des politiques et programmes sans regret, et
    - 2) Prioriser les zones pour une évaluation plus poussée et
  - ii) au niveau intermédiaire et avancé :
    - 1) Définir et évaluer des travaux d'intervention (avec coûts-bénéfices) et
    - 2) Réaliser les travaux par ordre de priorité.

# Norme W210 – Réseaux existants

## *Procédure d'évaluation des risques d'inondation (Section 7)*

Exemple d'échelle pour pondération

**Table 3**  
**Example qualitative gradation scale**  
(See Clause [7.1.3.](#))

<b>Qualitative score</b>	<b>Numerical score</b>
Very poor	1
Poor	2
Fair	3
Good	4
Very good	5
Excellent	6

# Norme W210 – Réseaux existants

## Procédure d'évaluation des risques d'inondation (Section 7)

Exemple de résultats pour évaluation de base

**Figure 3**  
**Foundational scoring example**  
(See Clause [7.2.2](#))

Example exposure scoring (foundational)		Exposure			
#	Impact category	Level	Numerical score	Weight	Wt-scor
1	People	L	1.00	40.0%	0.40
2	Infrastructure	L	1.00	30.0%	0.30
3	Economy	M	3.00	10.0%	0.30
4	Environment	L	1.00	10.0%	0.10
5	Culture	H	5.00	10.0%	0.50
<b>Total weighted exposure score:</b>					<b>1.60</b>

**Note:** The impact categories highlighted in orange indicate the suggested categories to evaluate at each scoring level.



# Norme W210 – Réseaux existants

## *Procédure d'évaluation des risques d'inondation (Section 7)*

Exemple de résultats pour évaluation **avancée**

**Figure 5**  
**Advanced scoring example**  
(See Clause [7.4.1.](#))

Example consequence scoring (Advanced)		Exposure	Conse- quence		
#	Impact category	Numerical Score	Numerical Score	Weight	Wt-Scor
1	People	0.15	8.88	30.0%	0.40
2	Infrastructure	1.38	7.83	20.0%	2.16
3	Economy	6.12	4.12	30.0%	7.56
4	Environment	5.15	4.33	15.0%	3.34
5	Culture	5.44	2.71	5.0%	0.74
<b>Total weighted exposure score:</b>					<b>14.20</b>

# Norme W210 – Réseaux existants

## *Annexe B (informative)*

Best practices for community-based flood resiliency in existing residential communities

B.1 Flood risk reduction guidance

B.2 Operations and maintenance programs

B.2.1 Riverine flooding

B.2.2 Overland flooding

B.2.3 Storm and sanitary sewer back-up

B.3 Public education and information

B.4 Physical interventions to reduce flood risk



# Norme W210 – Réseaux existants

## *Annexe B (informative)*

Exemple de tableau pour interventions

### **B.4.3 Overland flooding**

<b>Examples of physical interventions</b>	<b>Capital cost</b>	<b>Ease of implementation</b>
Upgrade overland system capacity and operation (e.g., as part of road retrofits and reconstruction, improve channeling of overland flows away from buildings, introduce additional overland outlets, re-grade roadways, retrofit inlet grates to increase capture or prevent blockages).	Medium	Complex
Introduce off-line and on-line storage facilities (e.g., dry ponds in parks, sports fields and public plazas, underground storage tanks).	High	Complex
Capture overland flows in an underground storm sewer system and discharge or surcharge back to the surface downstream of an overland flow constrained area	Medium to high	Complex
Protect properties located in low-lying areas to meet the desired level of service (e.g., through construction of floodwalls, berms,	Medium to high	Complex

# Norme W210 – Réseaux existants

## Annexe C (informative)

### C.1 Expected annual damage equation

$$EAD = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{i+1})(D_i + D_{i+1})$$

où  $D_i$  est le coût total des dommages qui se produisent pour un événement d probabilité  $P_i$  et  $n$  pour toutes les différentes périodes de retour

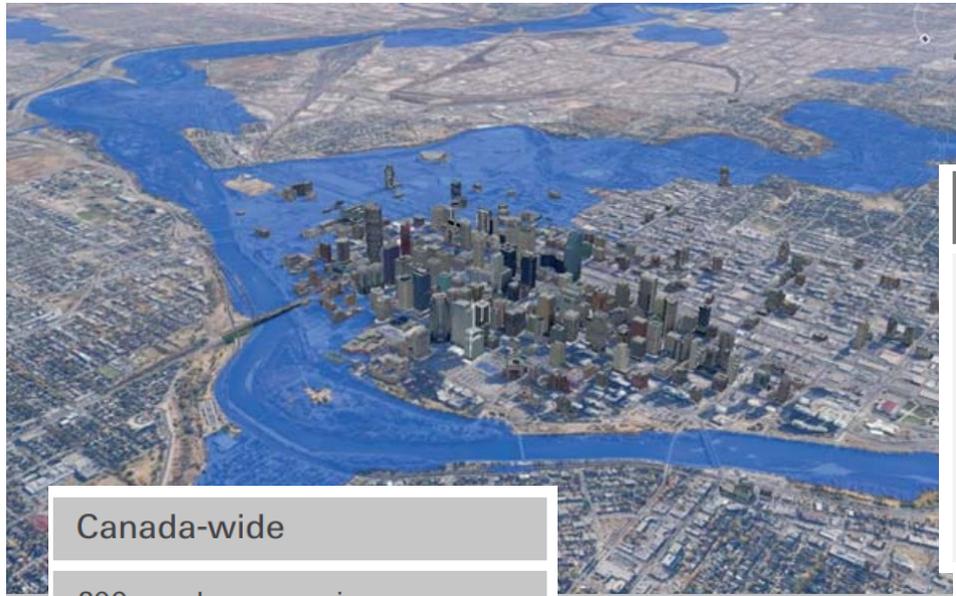
Table C.2

Total expected annual damages (EAD) for Willowgrove for a 0.90 non-exceedance probability within the model results

Return period (years)	Probability of exceedance	Rainfall intensity (mm/day)	Cost of damage (millions)	$P_i - P_{i+1}$	$\frac{D_i + D_{i+1}}{2}$	Expected annual damages EAD (millions)
1	1	—	\$0.0000	0.500	\$0.0000	\$0.000
2	0.5	36.2	\$0.0000	0.300	\$0.0000	\$0.000
5	0.2	52.6	\$0.0000	0.100	\$0.0000	\$0.000
10	0.1	68.4	\$0.0000	0.060	\$0.0431	\$0.003
25	0.04	93.2	\$0.0862	0.020	\$0.3405	\$0.007
50	0.02	114.6	\$0.5948	0.010	\$1.1979	\$0.012
100	0.01	140.8	\$1.8009	0.010	\$1.8009	\$0.018
10000	0.0001	140.8	\$1.8009	—	—	—
<b>TOTAL EAD</b>						<b>\$0.039</b>

Note: Damages are in millions of dollars.

# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES



## Canada-wide

### 200-year loss scenario

Given the importance of snowmelt in the major rivers of Western Canada, a likely 200-year loss scenario would feature extensive flooding covering multiple western provinces. The majority of river flood events in Western Canada occur during the spring and early summer months, as rainfall combines with snowmelt to create large flows. An analysis of the Canadian Disaster Database shows a clear spike in flooding events during the early spring and summer months.

Economic loss

13.8

Insured loss

5.7

Economic annual expected loss

1.2

Insured

0.5

## Ontario

5

The largest flood loss potential is in Southern Ontario, including the Greater Toronto Area. The high population density and the potential for heavy precipitation can create potentially devastating losses, as occurred in 1954 and 2013.

### 200-year loss scenario

A more severe version of the 1954 Hurricane Hazel event occurs, where heavy precipitation falls on already saturated soils. The flood loss would result from widespread heavy precipitation, creating pluvial flooding in the Greater Toronto Area as well as flooding in the Humber, Etobicoke and Credit rivers. As witnessed in 2013, urban drainage systems would be unable to accommodate the heavy precipitation.

Economic loss

6.4

Insured loss

2.5

Swiss Re

## The road to flood resilience in Canada

## Quebec

6

Similar to Ontario, the large flood loss potential in Quebec is due to heavy precipitation in medium-sized catchment areas, especially when combined with snowmelt. Examples include the 1996 Saguenay flood, the 1997 Montreal flood, and the 1972 Richelieu River flood. Given the cold winters and the tendency for rivers to freeze, there is also potential for significant flooding due to ice dams.

### 200-year loss scenario

A 200-year loss could look like a more severe Saguenay flood of 1996. Quebec rivers are heavily controlled with an extensive network of dams which, if not properly maintained, can aggravate losses. The 200-year loss in Quebec would likely result from long duration, extensive rainfall leading to river floods overtopping and breaching protection measures.

Economic loss

4.2

Insured loss

1.8

# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES

## Adapting to Rising Flood Risk

### An Analysis of Insurance Solutions for Canada

A Report by Canada's Task Force on Flood Insurance and Relocation

August 2022

Canada

1. Le risque total d'inondation au Canada est estimé à 2,9 milliards par année.
2. La vaste majorité du risqué est concentré dans un petit nombre de résidences plus à risque. 89,3 % est concentré dans le 10 % des résidences les plus à risque.



# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES

Réclamations de \$850 millions dans la région de **Toronto** en **2013**. Plus de 4,700 refoulements de sous-sols

Figure 1: July 8, 2013 Storm Event - Distribution of Rainfall Density

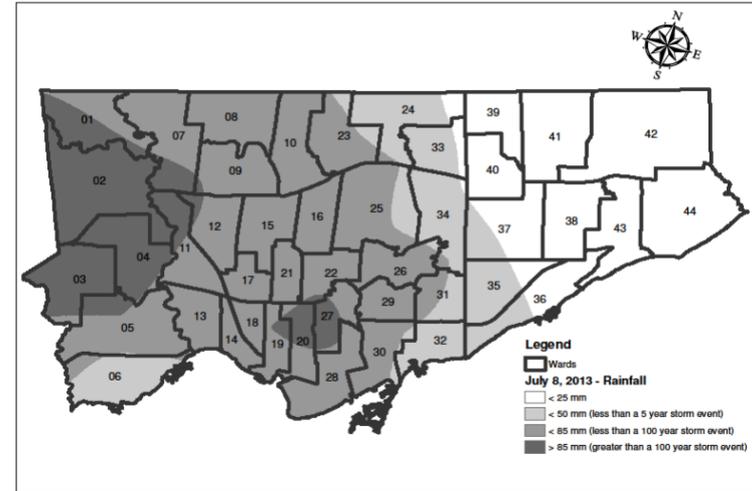


Table 1: City of Toronto Preliminary Storm Related Costs

City Storm Related Costs	Operating (\$)			Capital (\$)	Total (\$)
	Estimated Expenditure	Estimated Revenue Losses Incurred	Total Estimated Operating Impact	Total Estimated Capital Impact	Total Estimated Operating plus Capital
Toronto Water	1,698,474		1,698,474	6,743,100	8,441,574
Parks, Forestry and Recreation	2,062,500	205,000	2,267,500	10,105,000	12,372,500
Other City Divisions	3,054,128		3,054,127	3,993,970	7,048,097
Anticipated Insurance Recovery **					(4,900,000)
<b>SUB-TOTAL CITY DIVISIONS</b>	<b>6,815,102</b>	<b>205,000</b>	<b>7,020,101</b>	<b>20,842,070</b>	<b>22,962,171</b>
Agencies and Corporations	2,172,229	920,157	3,092,386	3,392,613	6,484,999
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>8,987,331</b>	<b>1,125,157</b>	<b>10,112,487</b>	<b>24,234,683</b>	<b>29,447,170</b>
Toronto and Region Conservation Authority (TRCA)	3,600		3,600	31,308,600	31,312,200
<b>TOTAL</b>	<b>8,990,930</b>	<b>1,125,157</b>	<b>10,116,087</b>	<b>55,543,283</b>	<b>60,759,370</b>

\*\* Anticipated Insurance Recovery represents cost recovery for City divisions only. Details on insurance recoveries for Agencies, Corporations and TRCA are not known at this time.

# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES

## Différents objectifs

- Niveau de service des réseaux en place (mise à niveau uniforme ?; en fonction du niveau de risque ?; en fonction des infrastructures critiques ?)
- Critères d'évaluation pour réseau **mineur** (conduites) – Refoulement
- Critères d'évaluation pour réseau **majeur** – Inondation de surface
- Contrôle des surverses (qualité des rejets)

# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES

## Quel est le niveau de service visé ?

- Réseaux projetés vs existants (développement vs re-développement)
- Analyser globalement les systèmes (majeur/mineur; amont/aval; à la source/global)
- Privé vs public
- Infrastructures critiques (catégories)
- Résultats à court terme ou à plus long terme
- Ampleur des secteurs affectés

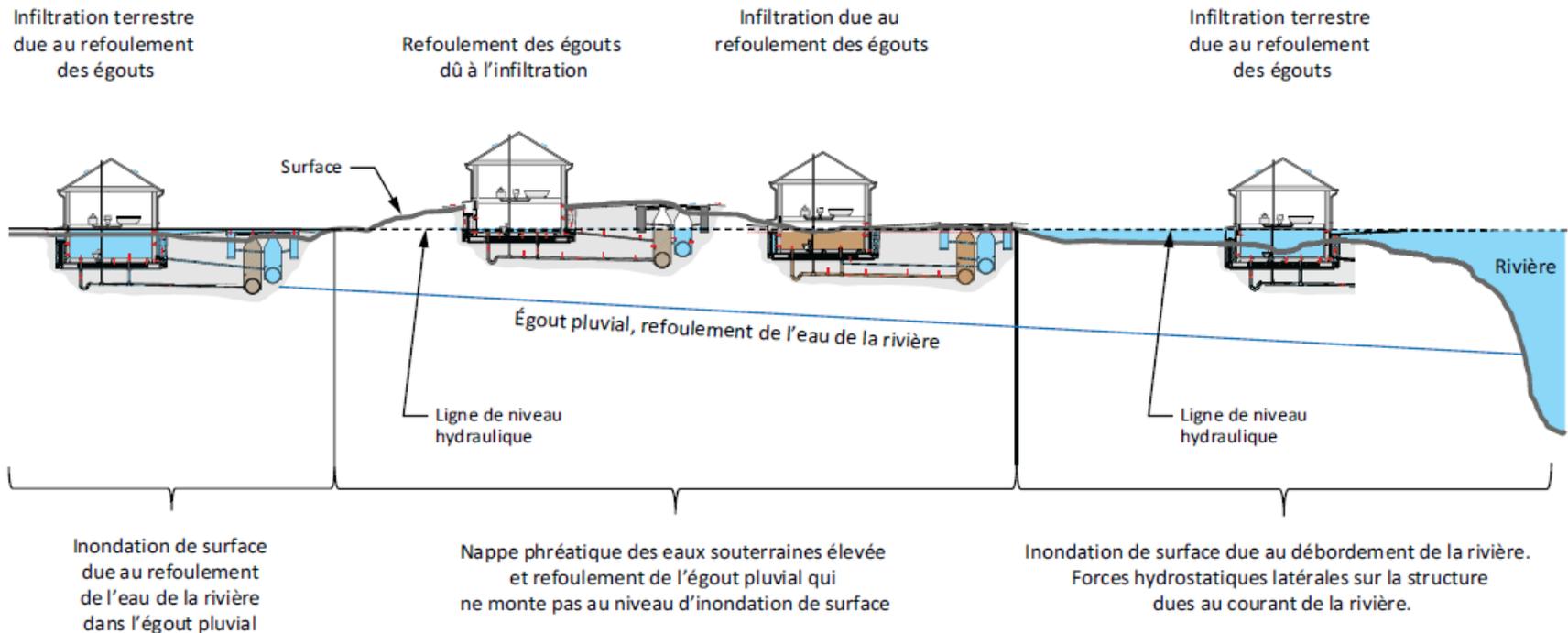


# RÉSEAUX EXISTANTS – ENJEUX SPÉCIFIQUES

## Importance de bien comprendre le fonctionnement des réseaux et les causes des inondations

Figure 5

La relation entre un débordement de rivière et les causes d'inondation discutées dans ces lignes directrices  
(Voir l'article 4.5.)



# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## Infrastructures critiques

Tableau B.3

Classification des installations et niveaux d'élévation des inondations nominales privilégiés pour les nouvelles installations détenues ou financées par le ministère de l'Infrastructure de l'Alberta (2017)

(Voir l'annexe [B.5.](#))

Diminution des conséquences en supposant un avertissement adéquat	Installations à vie	Classe	Importance d'éviter des dommages importants lors d'une inondation	Niveau d'inondation nominal	Exemples d'installations	Commentaires
		1	Critique – capacité à conserver pour éviter la perte de vies humaines.	1 fois tous les 1 000 ans	Bâtiments législatifs Centres de communication	Y compris les centres informatiques
		2	Critique – capacité à secourir, soigner les blessés et prévenir des dangers secondaires.	1 fois tous les 1 000 ans	Hôpitaux et établissements médicaux Établissements de soins prolongés	Y compris les installations auxiliaires telles que centrales électriques, installations de service et de maintenance
		3	Critique – liaisons urbaines importantes pour le maintien de l'ordre et du bien-être publics.	1 fois tous les 500 ans	Palais de justice Bâtiments provinciaux	Servent de centres gouvernementaux de communication en cas d'urgence
		4	Critique – logement permanent d'une population importante.	1 fois tous les 500 ans	Écoles Établissements d'enseignement post-secondaire Résidences pour personnes âgées Immeubles de grande hauteur Établissements correctionnels Centres d'aide à la réadaptation	Les écoles et les établissements d'enseignement post-secondaire peuvent être tenus de servir de centres de secours d'urgence.
		5	Critique – retour ordonné au bien-être social et économique à long terme.	1 fois tous les 500 ans	Aéroports	Critique – accès au ravitaillement et au soutien.

# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## *Sources – Pathways – Receptors (SPR)*

### Source

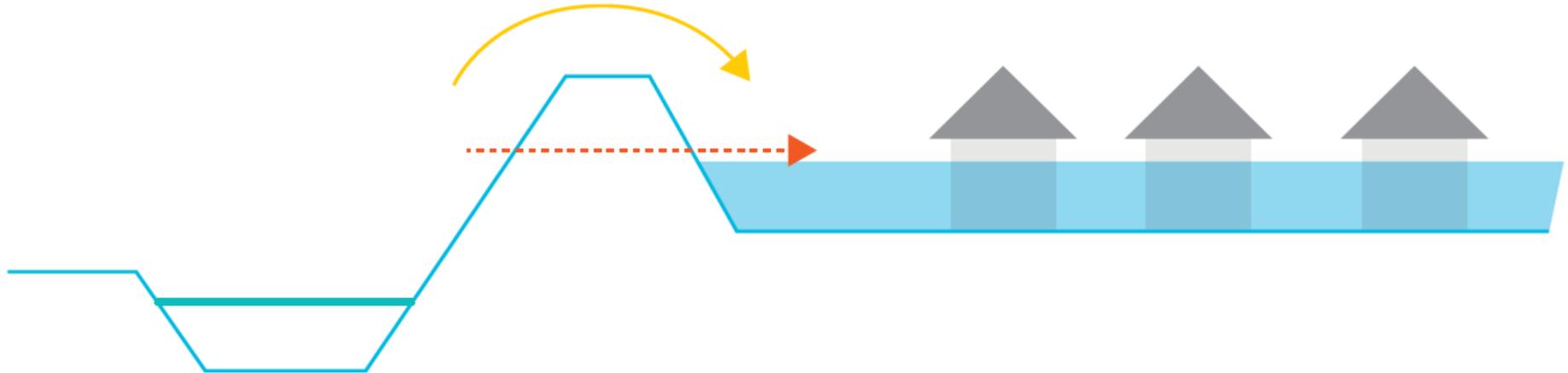
(e.g. Extreme river level or marine storm)

### Pathway

(e.g. beach, defence and floodplain)

### Receptor

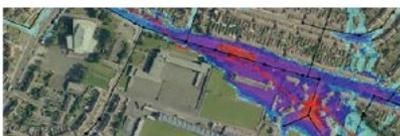
(e.g. people, property and other features in the floodplain)



Source: adapted from Sayers et al., 2002.

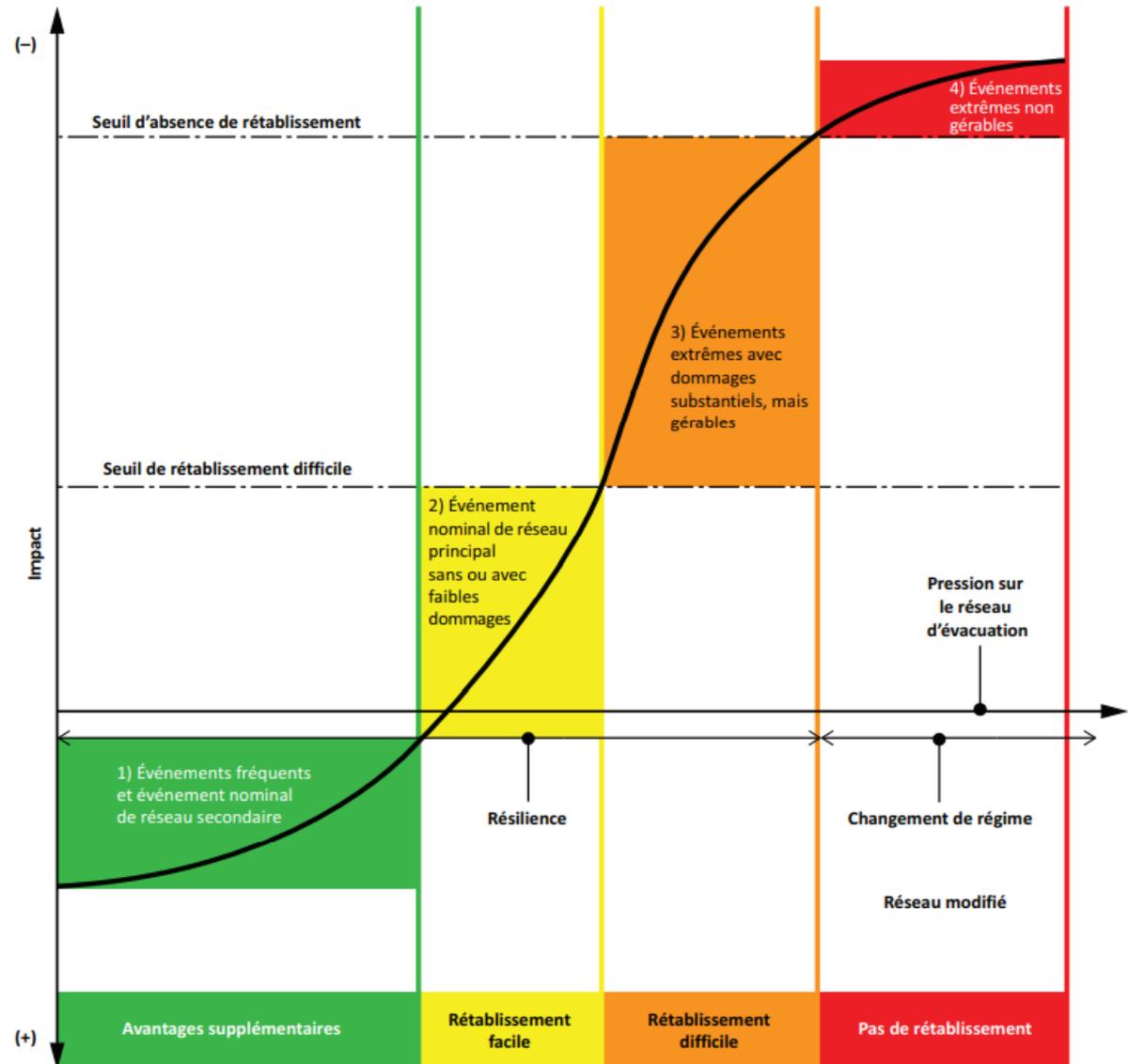
# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## 4 Domaines (4RAP)

Hazard	Retain		
	Relieve		
Exposure	Resist		
	Retreat		
Vulnerability	Accommodate		
	Prepare		

# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## 4 Domaines (4RAP)



adapté de Gersonius et al., 2016, tel que modifié par Fratini et al., 2012

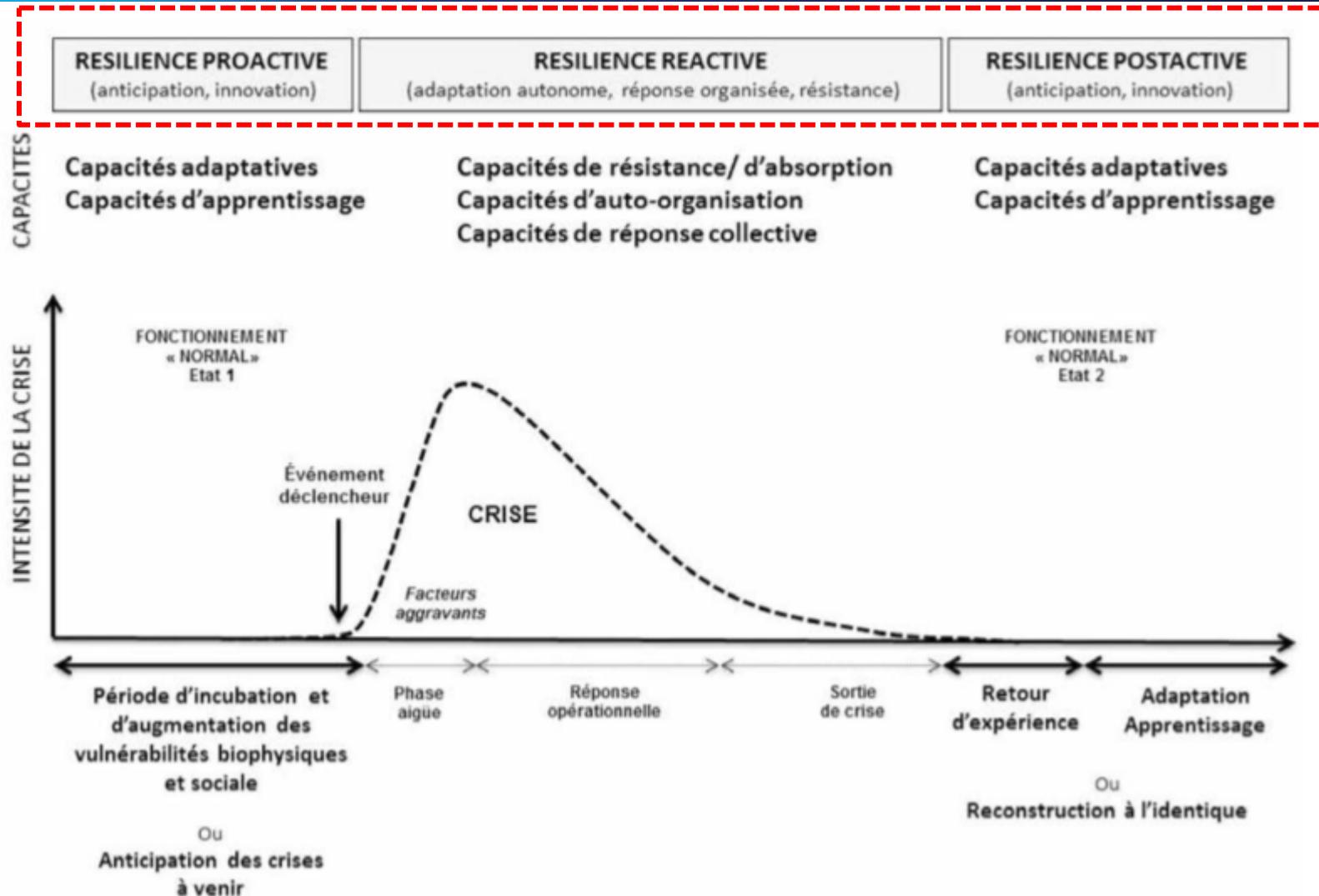
# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## ***APPROCHE DES QUATRE R (Tierney and Bruneau, 2007)***

- **Robustesse** (capacité de soutenir un choc);
- **Redondance** (diversité fonctionnelle);
- **Ressources disponibles** (capacité de mobiliser des ressources lorsqu'exposé à une menace) et
- **Rapidité** (capacité de contenir les pertes et redevenir fonctionnel dans une durée acceptable)



# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION



# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

**Commentaires et analyses pour augmenter la résilience, en insistant sur des approches non considérées historiquement**



POLICY AND PRACTICE REVIEWS  
published: 12 July 2021  
doi: 10.3389/frwa.2021.671059



## **Toward More Resilient Urban Stormwater Management Systems—Bridging the Gap From Theory to Implementation**

*Bert van Duin<sup>1,2\*</sup>, David Z. Zhu<sup>1</sup>, Wenming Zhang<sup>1</sup>, Robert J. Muir<sup>3</sup>, Chris Johnston<sup>4</sup>, Craig Kipkie<sup>5</sup> and Gilles Rivard<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada, <sup>2</sup> Water Resources, City of Calgary, Calgary, AB, Canada, <sup>3</sup> Dillon Consulting Limited, Toronto, ON, Canada, <sup>4</sup> Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Burnaby, BC, Canada, <sup>5</sup> Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Calgary, AB, Canada, <sup>6</sup> Lasalle | NHC, Laval, QC, Canada



# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## Trois composantes pour créer un système résilient:

1. Parcours continu pour le ruissellement
2. Dégagement adéquat (revanche) par rapport aux élévations des entrées de bâtiments
3. Dégagement horizontal suffisant



### Toward More Resilient Urban Stormwater Management Systems – Bridging the Gap From Theory to Implementation

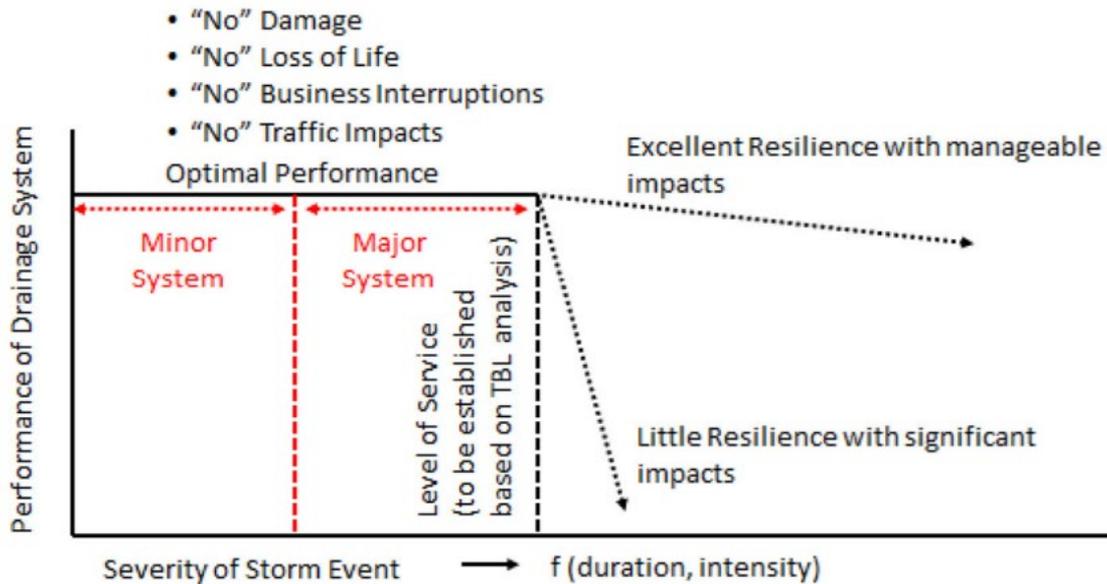
Bert van Duin<sup>1,2\*</sup>, David Z. Zhu<sup>1</sup>, Wenming Zhang<sup>1</sup>, Robert J. Muir<sup>3</sup>, Chris Johnston<sup>4</sup>, Craig Kipkie<sup>5</sup> and Gilles Rivard<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada, <sup>2</sup>Water Resources, City of Calgary, Calgary, AB, Canada, <sup>3</sup>Dillon Consulting Limited, Toronto, ON, Canada, <sup>4</sup>Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Burnaby, BC, Canada, <sup>5</sup>Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Calgary, AB, Canada, <sup>6</sup>Lasalle | NHC, Laval, QC, Canada

Supplementary Table S1 Considerations when establishing freeboard elevations

Factor	Consideration
Risk acceptance	Usually ignored
Precipitation uncertainty	Usually ignored
Calculation uncertainty	Purportedly included
Construction uncertainty – overland drainage system	Purportedly included
Construction uncertainty – building openings	Purportedly included
Climate uncertainty	Historically ignored
Community density uncertainty	Historically ignored
Operational uncertainty	Usually ignored

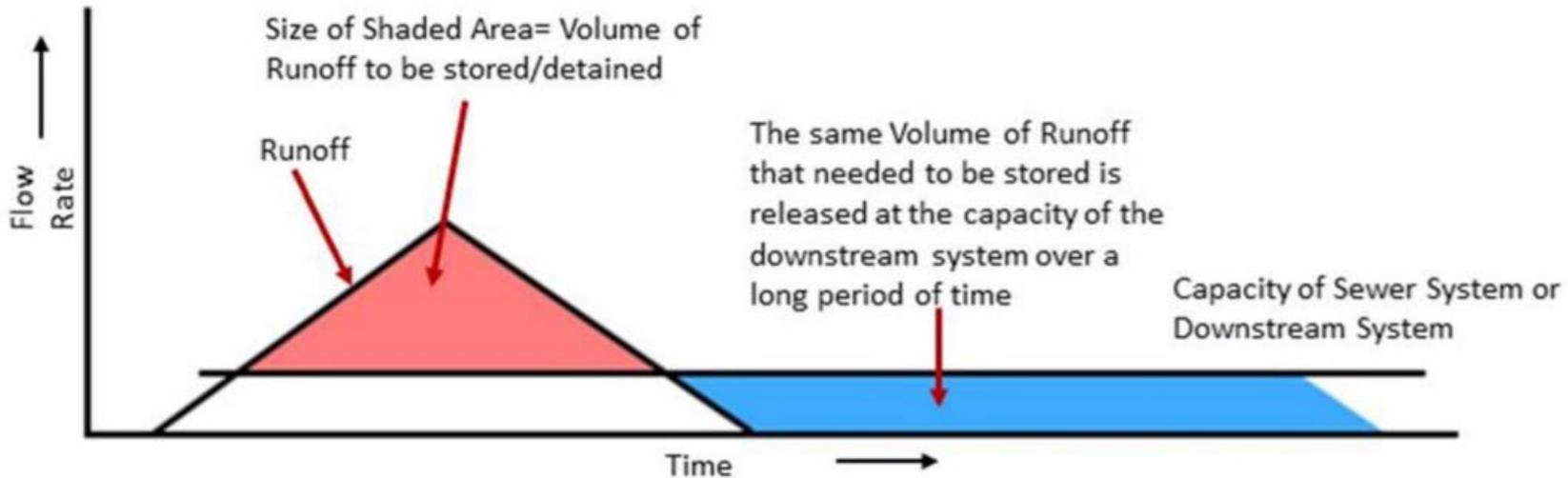
# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION



## Toward More Resilient Urban Stormwater Management Systems—Bridging the Gap From Theory to Implementation

Bert van Duin<sup>1,2\*</sup>, David Z. Zhu<sup>1</sup>, Wenming Zhang<sup>1</sup>, Robert J. Muir<sup>3</sup>, Chris Johnston<sup>4</sup>, Craig Kipkie<sup>5</sup> and Gilles Rivard<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada, <sup>2</sup>Water Resources, City of Calgary, Calgary, AB, Canada, <sup>3</sup>Dillon Consulting Limited, Toronto, ON, Canada, <sup>4</sup>Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Burnaby, BC, Canada, <sup>5</sup>Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Calgary, AB, Canada, <sup>6</sup>Lasalle | WRC, Laval, QC, Canada



# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## Infrastructures critiques pour réduire la vulnérabilité et augmenter la résilience

**Digues  
ouvrages de  
protection**



Risque **résiduel** (sous-dimensionnement, entretien déficient, bris)

**Réseaux de  
drainage**

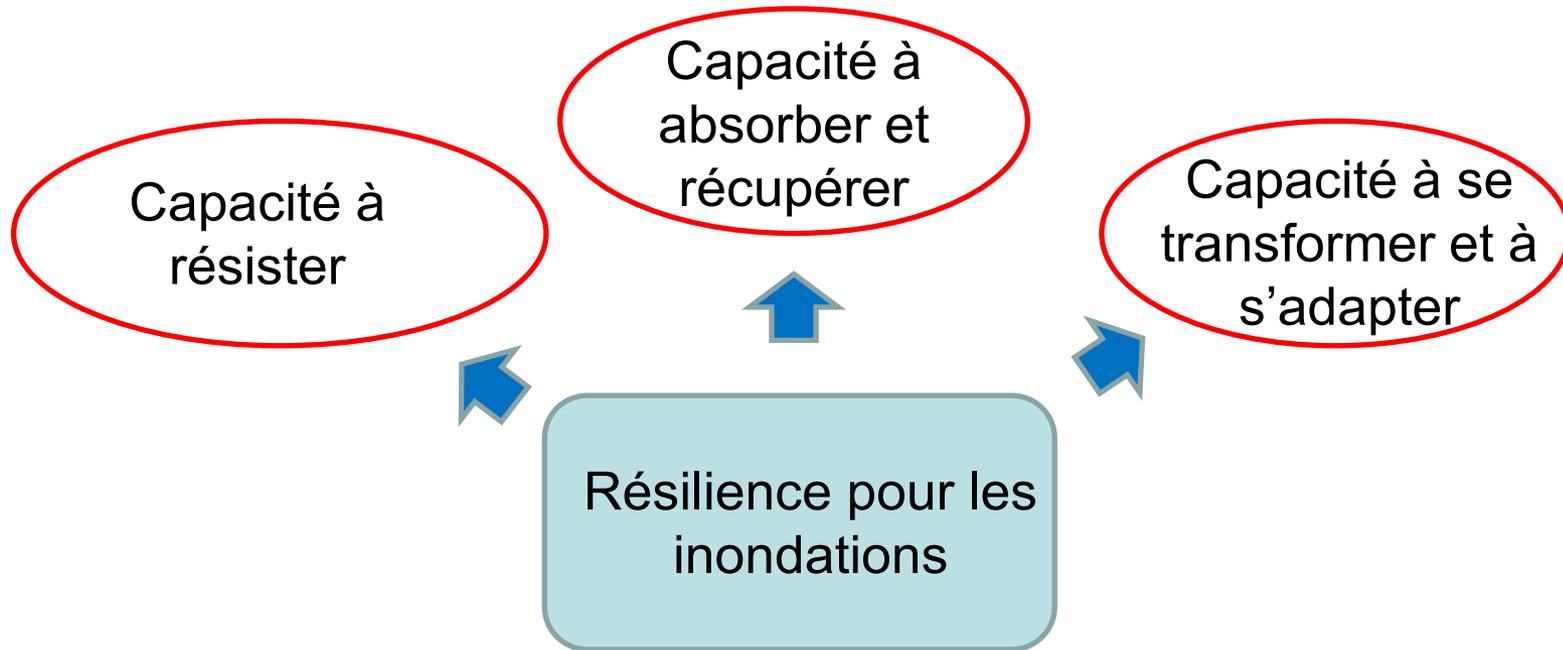


- Notion d'infrastructure critique
- Notion d'interdépendance des réseaux (implique de changer d'échelle)



**Résilience des  
réseaux: facteur  
important pour la  
résilience des villes**

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE



## Deux approches

- Indicateurs avec analyse multicritères
- Indicateurs basés sur la performance

Cea et Costabile, 2022

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## **Bénéfices liés à une quantification de la résilience des systèmes existants**

- Connaissance et comparaison sous différentes conditions environnementales, organisationnelles, sociales et économiques
- Identification et priorisation des zones vulnérables nécessitant des stratégies pour améliorer la résilience
- Améliorer la transparence pour la planification des interventions

## **Quantification difficile**

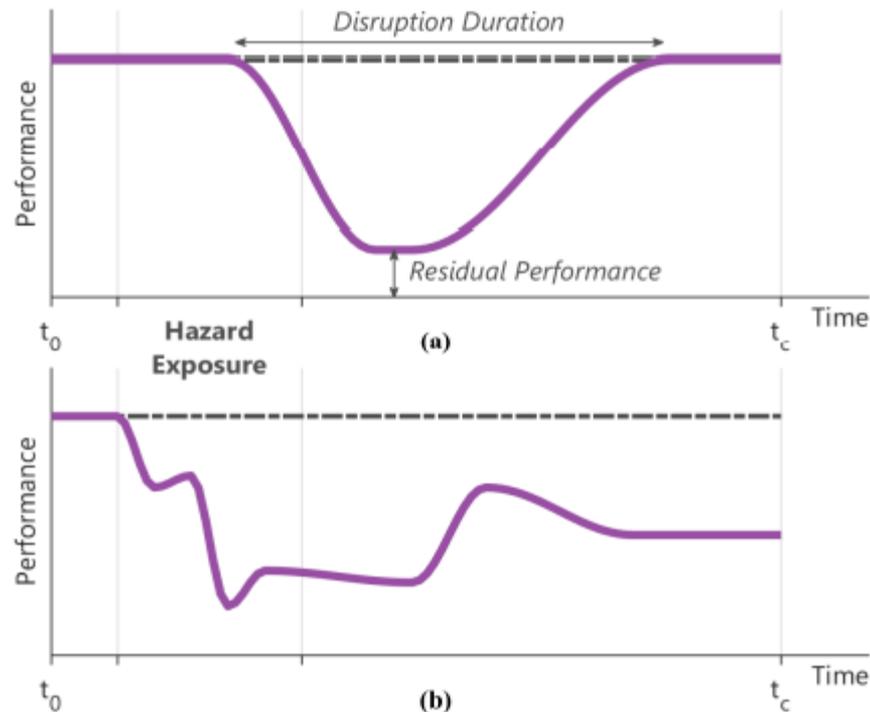
- Approches déficientes ou incohérentes pour définir la résilience
- Pas adaptables à différents types de réseaux (aqueduc, égouts, autres)
- Dépendant des hypothèses pour évaluation des paramètres
- Efforts importants de calculs ou d'analyses pour des systèmes complexes
- Information insuffisante pour une prise de décision éclairée

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## Infrastructure Resilience Curves: Performance Measures and Summary Metrics

Craig Poulin <sup>a</sup>, Michael Kane <sup>\*\*</sup>

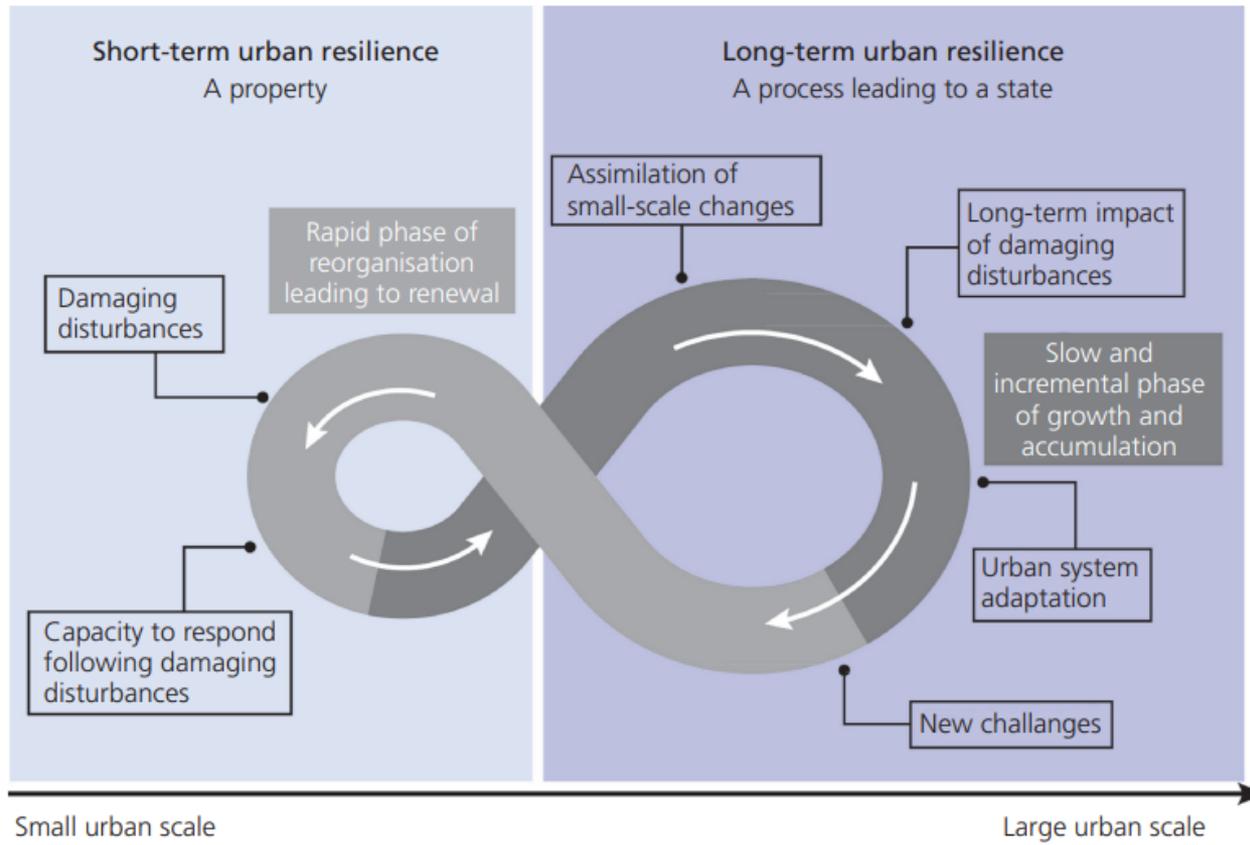
<sup>a</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University, Boston, MA 02115, United States



**Fig. 1.** Two resilience curves: (a) typical representation with two potential summary metrics, (b) a curve exemplifying non-idealized system behavior

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

**Making urban flood resilience more operational: current practice**  
Balsells, Barroca, Becue and Serre



**Figure 2.** The Gunderson and Holling (2002) panarchy idea adapted to the urban resilience to floods

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

**Making urban flood resilience more operational: current practice**  
Balsells, Barroca, Becue and Serre

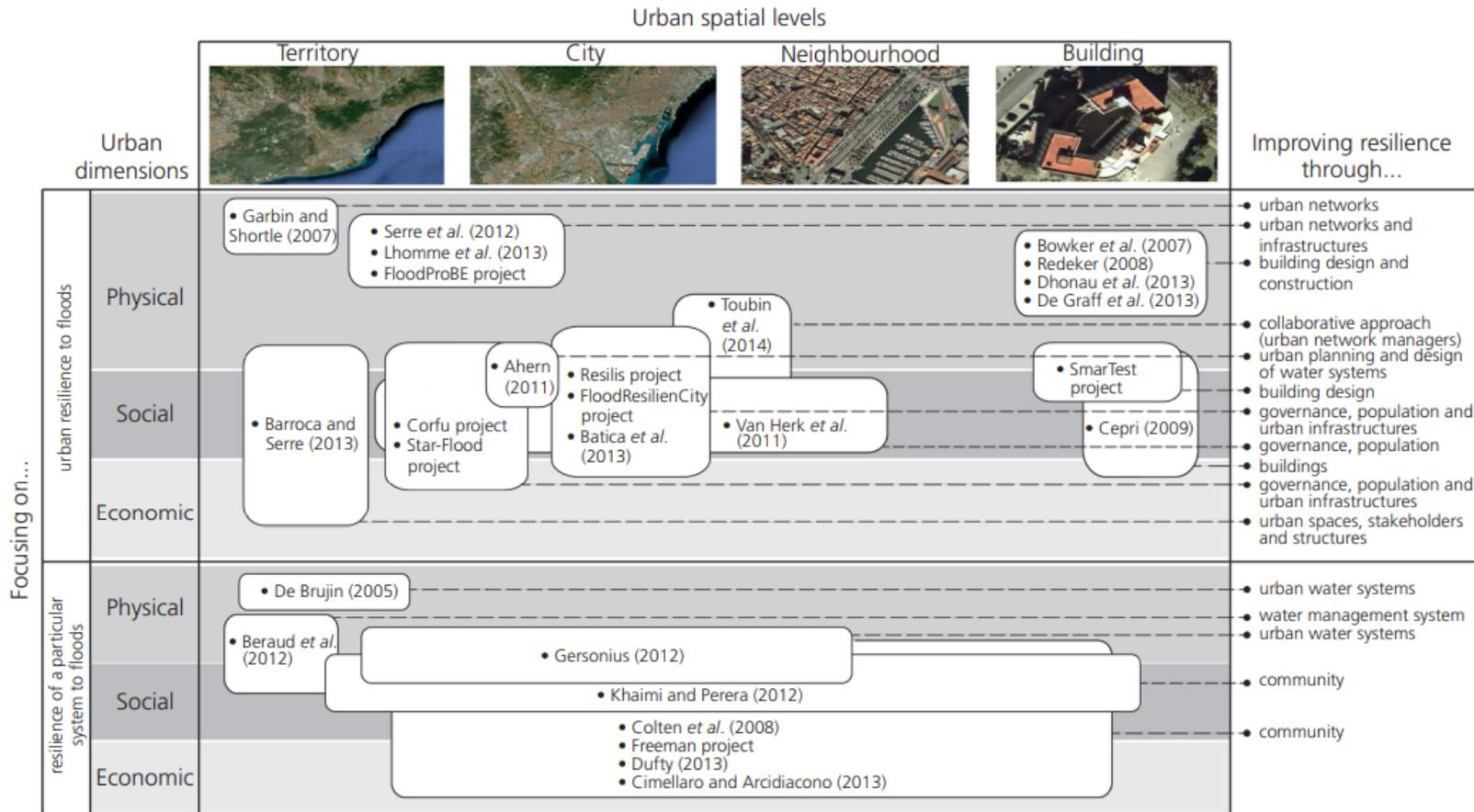


Figure 3. Synthesis of the literature reviewed on the operationalisation of the urban resilience to floods

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## Cadre d'analyse

### Reliable, resilient and sustainable water management: the Safe & SuRe approach

David Butler<sup>1</sup>, Sarah Ward<sup>1</sup>, Chris Sweetapple<sup>1</sup>, Maryam Astaraie-Imani<sup>2</sup>, Kegong Diao<sup>1</sup>, Raziye Farmani<sup>1</sup> & Guangtao Fu<sup>1</sup>

## Quatre types d'interventions face à une menace

Mitigation, adaptation, faire face (*coping*), et apprendre

### Mitigation

Action pour réduire la menace

### Adaptation

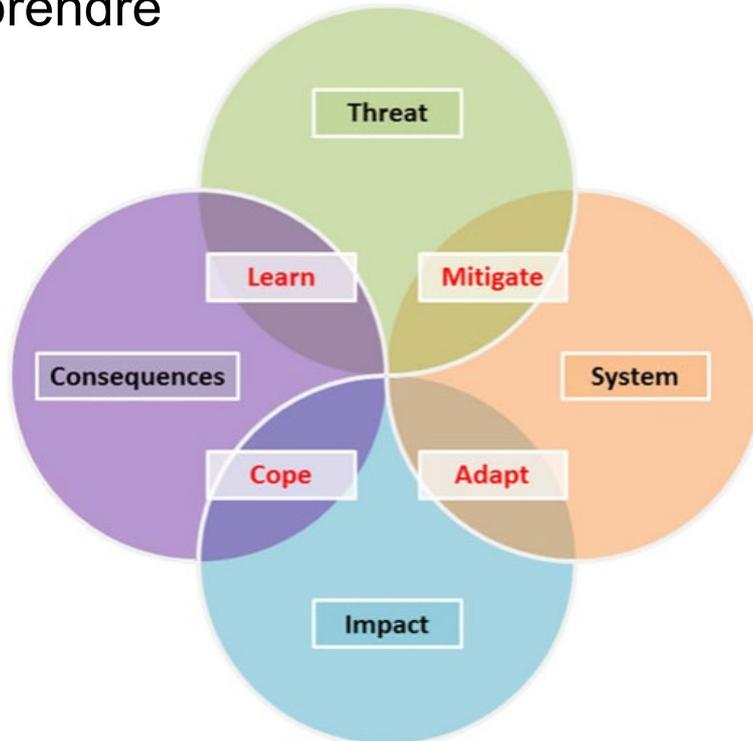
Action pour modifier des propriétés du système pour augmenter sa capacité à maintenir les niveaux de service sous différentes conditions

### Faire face (*coping*)

Préparation ou action pour réduire les effets d'un impact sur un élément

### Apprendre

Transfert des expériences et des nouvelles connaissances en pratique



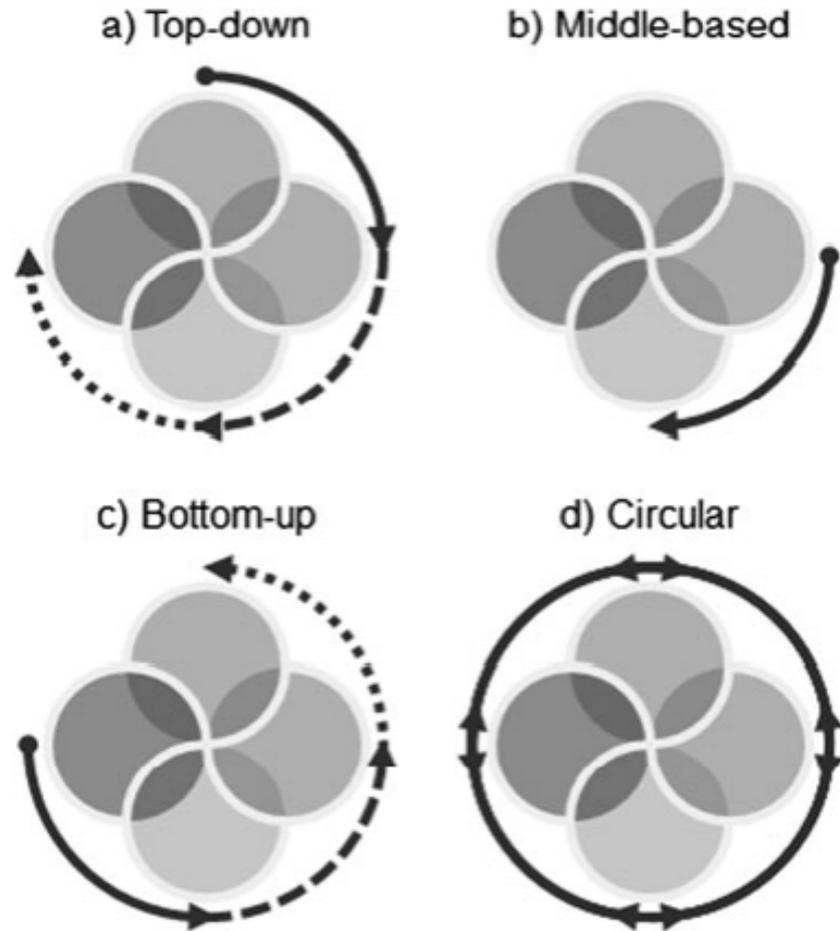
# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## Cadre d'analyse

### Reliable, resilient and sustainable water management: the Safe & SuRe approach

David Butler<sup>1</sup>, Sarah Ward<sup>1</sup>, Chris Sweetapple<sup>1</sup>, Maryam Astaraie-Imani<sup>2</sup>, Kegong Diao<sup>1</sup>, Raziye Farmani<sup>1</sup> & Guangtao Fu<sup>1</sup>

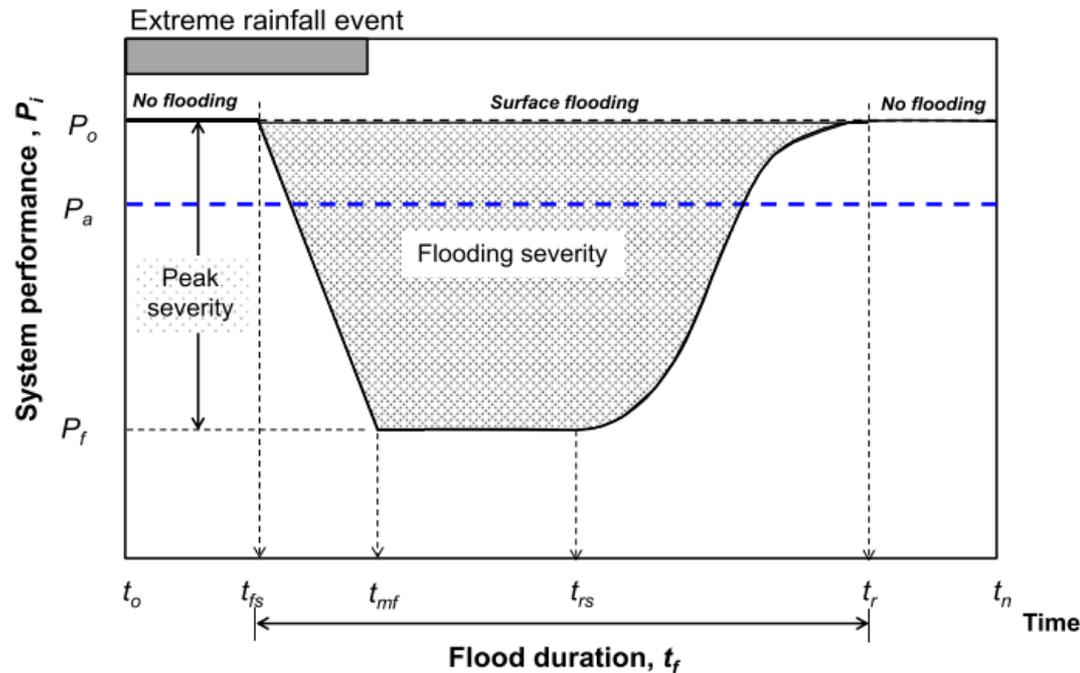
Différentes directions pour  
l'application des interventions  
face à une menace



# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems

Seith N. Mugume\*, Diego E. Gomez, Guangtao Fu, Raziye Farmani, David Butler



$$Sev_i = \frac{V_{TF}}{V_{TI}} \times \frac{t_r - t_{fs}}{t_n - t_0} = \frac{V_{TF}}{V_{TI}} \times \frac{t_f}{t_n}$$

$$Res_o = 1 - Sev_i = 1 - \frac{V_{TF}}{V_{TI}} \times \frac{t_f}{t_n}$$

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## Cadre d'analyse

### Flood resilience in Water Sensitive Cities

Guidance for enhancing flood resilience in the context of an Australian water sensitive city

Berry Gersonius, Richard Ashley, Carlos Salinas-Rodríguez, Jeroen Rijke, Mohanasundar Radhakrishnan and Chris Zevenbergen

### Retreat | Adapt | Defend

Future cities would incorporate into its urban planning and design of appropriate land uses in accordance to the three-tiered approach of **retreat, adapt and defend** against future flood vulnerability.

#### Fluvial Flooding

##### **Retreat**

- Making room for the river – creating regional ecological landscapes

##### **Adapt**

- New built form
- Build social resilience through community awareness and preparedness
- Flood forecasting & warning

##### **Defend**

- Flood infrastructure – levees, dams, pumps etc

#### Pluvial Flooding

##### **Retreat**

- Remediation of urban waterways – recreating blue corridors/multi-functional waterway corridors

##### **Adapt**

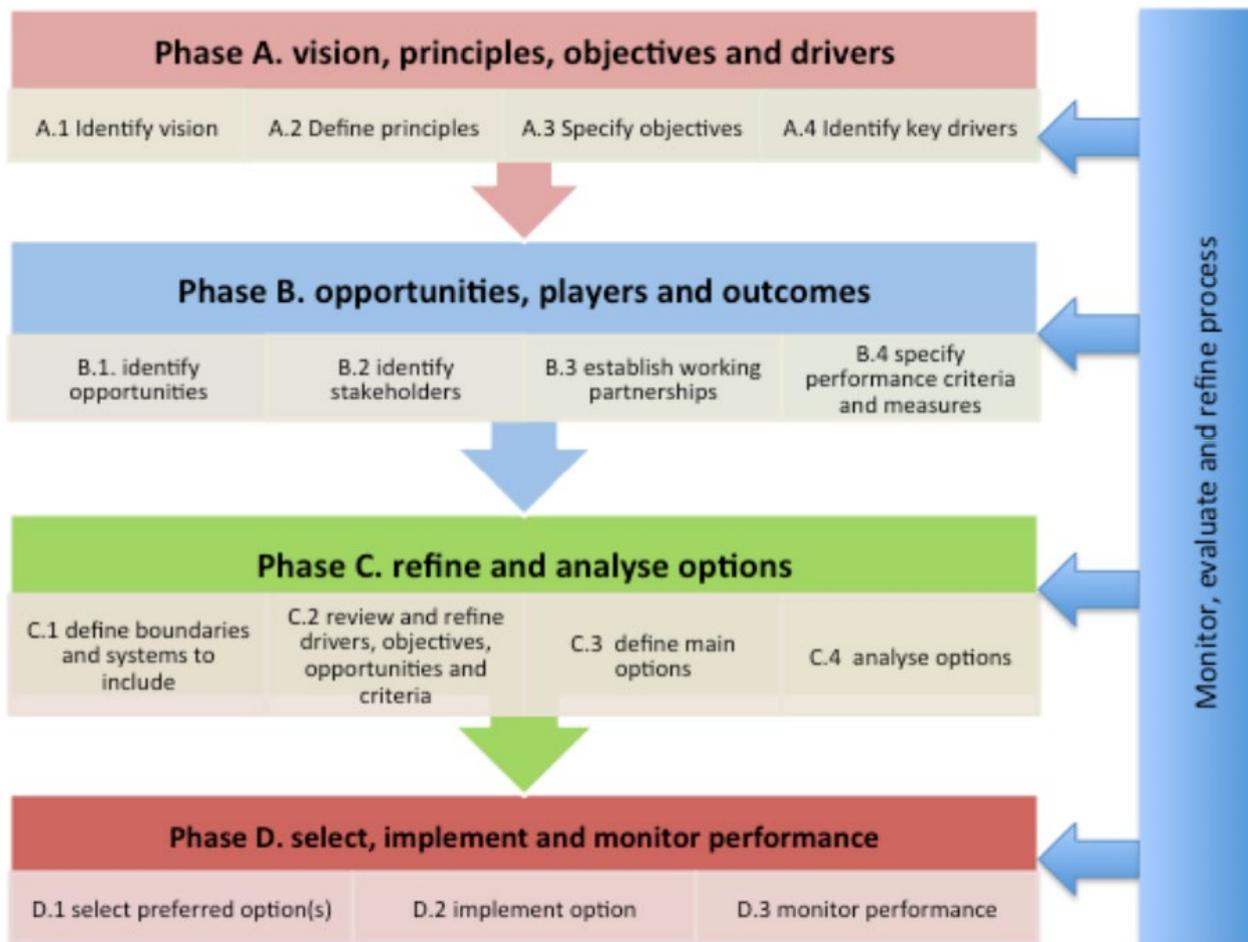
- Creating green corridors
- Source control – green buildings, smart infrastructure
- Build social resilience through community awareness and preparedness
- Linking flood resilience to urban liveability

##### **Defend**

- Flood mitigation structures & pumps

# QUANTIFIER LA RÉSILIENCE

## Cadre d'analyse



### Flood resilience in Water Sensitive Cities

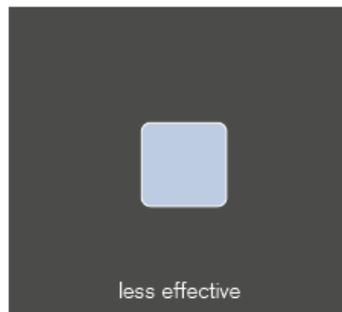
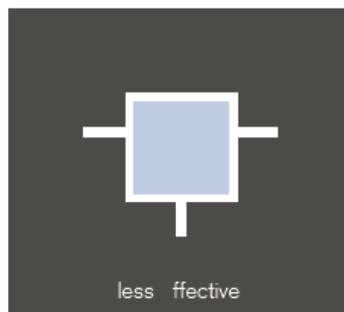
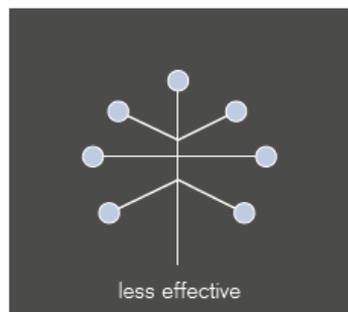
Guidance for enhancing flood resilience in the context of an Australian water sensitive city

Berry Gersonius, Richard Ashley, Carlos Salinas-Rodríguez, Jeroen Rijke, Mohanasundar Radhakrishnan and Chris Zevenbergen

Tableau 6 du guide australien fournit une description détaillée de chaque étape

# APPROCHES ET MISE EN APPLICATION

## GESTION DES EAUX PLUVIALES

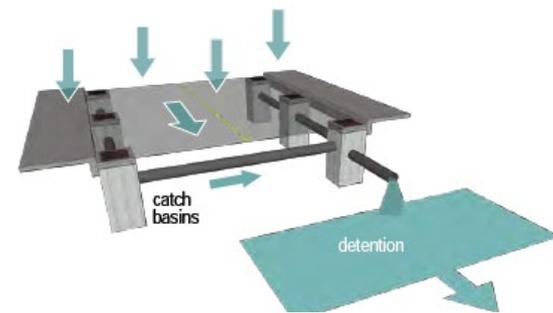


**REDONDANCE**

**RÉSILIENCE**

**RÉPARTITION**

Adapté de Eastern Washington, 2013



**Infrastructures  
«grises»**



**Infrastructures  
«vertes»**

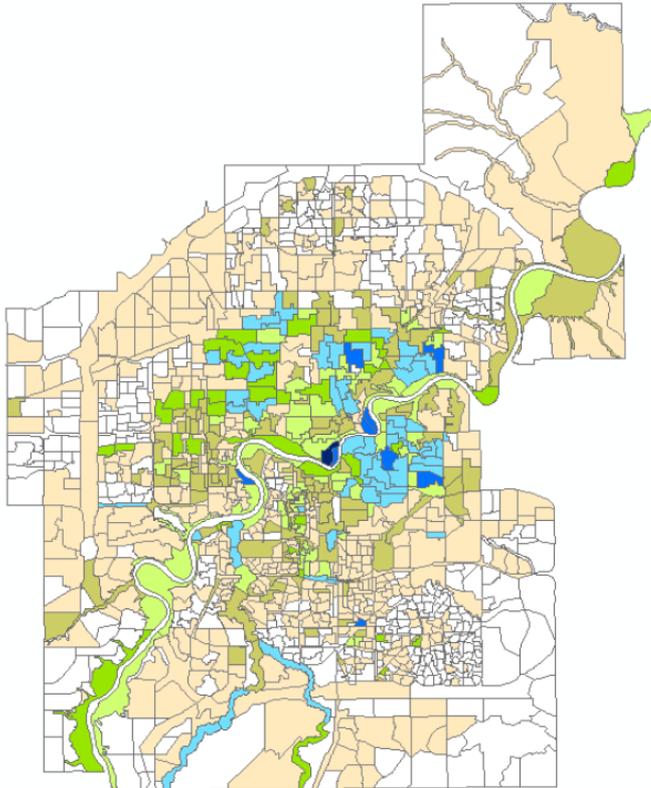
# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

### Stormwater Integrated Resource Plan (SIRP) – Capital and Operational Plan Alternatives 2019

#### Scenario 2 – Public Opinion Survey Preference

Health and Safety – 30% / Environment – 15% / Social – 30% / Financial 25%



Groups A-C include High Risk Basins  
Groups D-F include Medium High Risk Basins  
Group G is Medium Risk Basins  
Group H is Medium Low and Low Risk Basins

Group A – 1  
Group B – 9  
Group C – 51  
Group D – 39  
Group E – 66  
Group F – 139  
Group G – 543  
Group H – 462



Prise en compte  
du **risque** pour  
définir le plan  
optimal  
d'interventions

Pondération mettant de  
l'emphase sur les risques  
associés à la **santé-sécurité**  
et aux impacts **sociaux**

# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

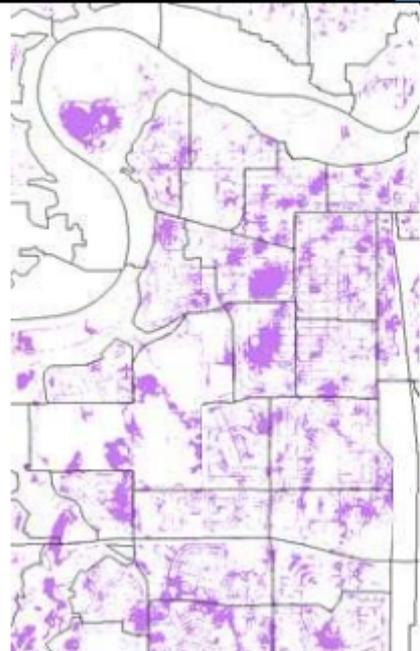
### Processus de développement du plan

- Revue de chaque bassin desservi via un atelier
- Développement avec un mix d'infrastructures vertes et grises (le plan précédent de 2017 ne comprenait que des infras grises (bassins))
- Deux éléments ont guidé le mix de solutions:
  - L'impact de l'eau en surface après un événement;
  - Les patrons et types de précipitation observés.



# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

Comparison of Insurance Maps to Engineering Analysis – 1:100 Year storm		
Insurance Flood Maps River and Urban Flooding	City Wide Flood Mitigation	
		<p>Insurance Maps and Engineering analysis both identify same locations of highest risk of surface flooding.</p> <p>Insurance maps indicate higher risk in locations where existing dry ponds have been installed</p> <p>Engineering maps show more detail of roadway flooding due to higher resolution topography</p>

# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

Bassins (470 M\$) et LID (470 M\$)

**1,6 milliards sur 20 ans**  
Mix d'infrastructures grises et vertes



Tunnels et séparation de réseaux (300 M\$)

Suivi (70 M\$)

Urgences (45 M\$)

I/C (100 M\$); inondation et contrôle (90 M\$)

# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

## Revue des infrastructures vertes

### 12 LID Types Assessed in City of Edmonton LID Location Study 2017

1. Bioretention Basins	5. Permeable Pavement	9. Rain Gardens
2. Bioswales\ Vegetated Swales	6. Naturalized Drainage Ways	10. Tree Trenches
3. Box Planters	7. Rainwater Harvesting for Reuse	11. Conversion of Turf Grass to Native Prairie Grass
4. Green Roofs	8. Rain Barrels	12. Conversion of Pavement to Native Prairie Grass

### Critères retenus (sondage)

- Social (30%)
- Santé et sécurité (30%)
- Financier (25%)
- Environnement (15%).

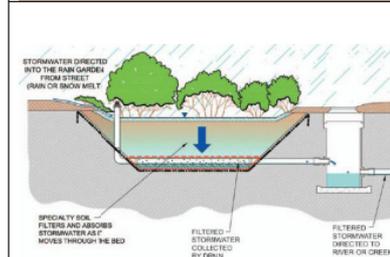
### 4 LID Types selected for Stormwater Mitigation of Large Storm events



#### Rain Garden

Rain water collects in the depressed area and evaporates or is absorbed into the soil

Requires minimum distance from building foundations



#### Bioretention Basin

Similar to Rain Garden with the addition of an underdrain system connected to the piped stormwater network to transport excess flows

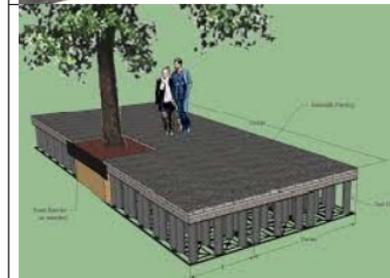
Additional underground storage can be installed to increase stormwater retention capacity.



#### Box Planter

Similar to Bioretention basin but contained within a concrete structure.

Ideal for parking lots and where there is tight space between road and building structure.



#### Tree Soil Cell

Structured components installed around trees and under adjacent sidewalks and parking areas.

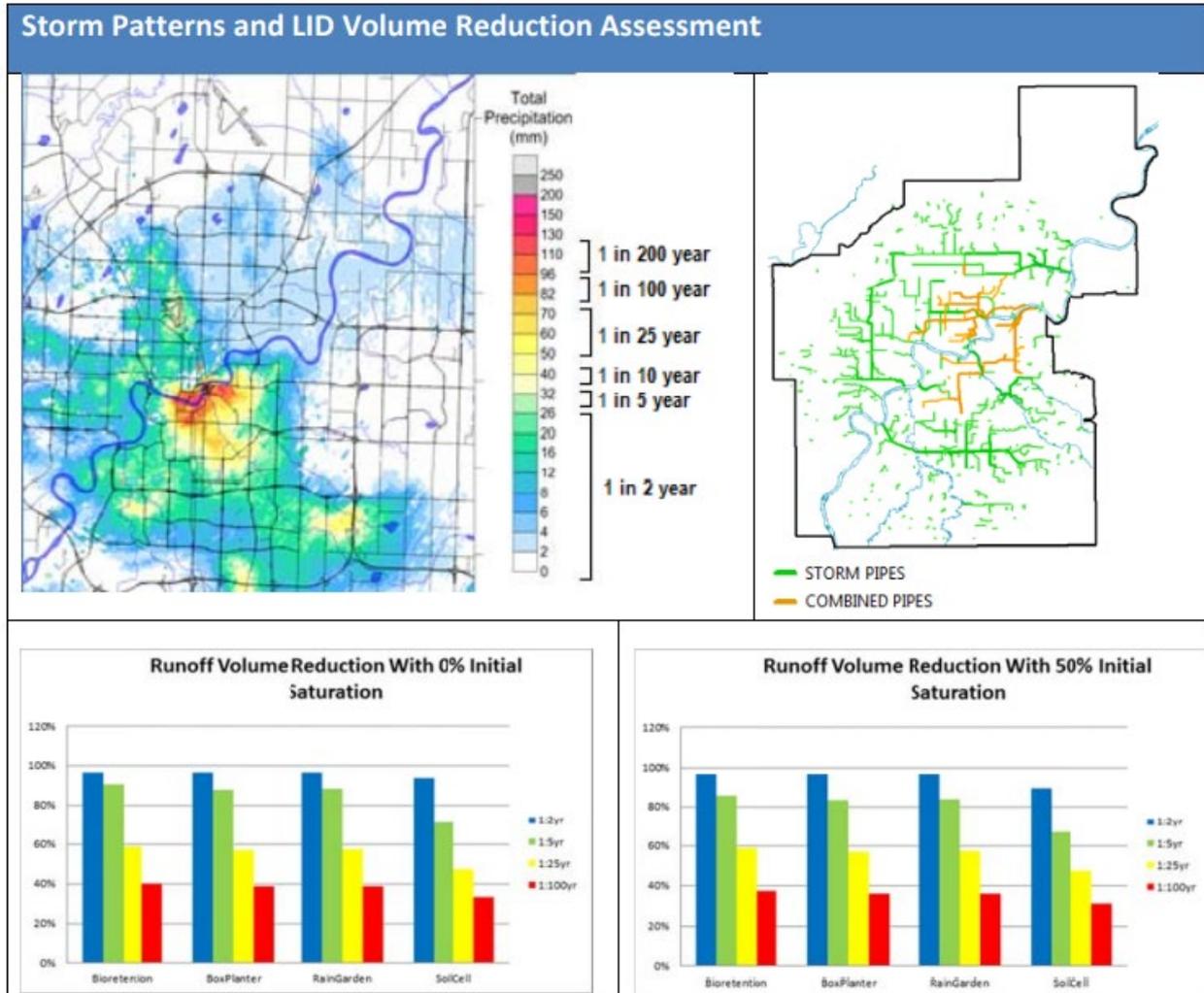
Provides looser soil to capture higher volumes of water and promotes greater tree health due to larger growth area for roots.

# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

### Revue des infrastructures vertes

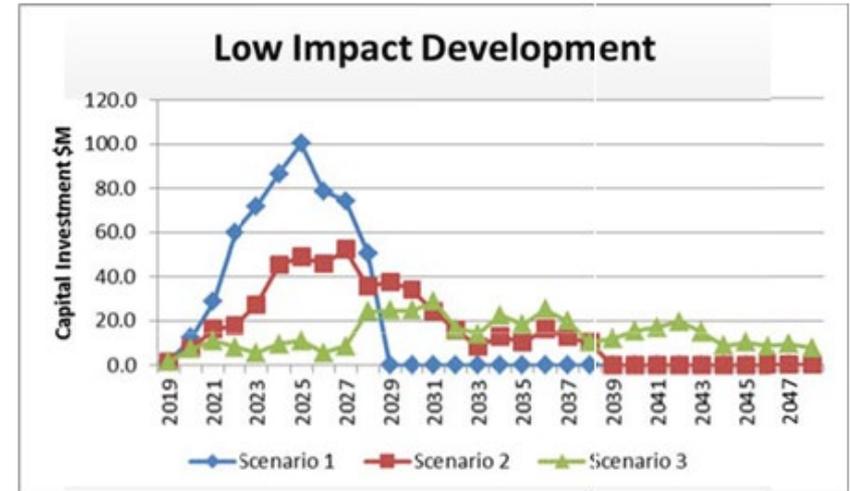
- Évaluation du potentiel sur la réduction des volumes avec événement réel
- Partout où le stockage en rue est local



# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

**Infrastructures vertes planifiées sur 30 ans**  
**Coordination avec programme de réhabilitation**



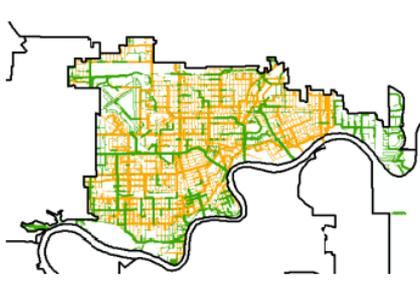
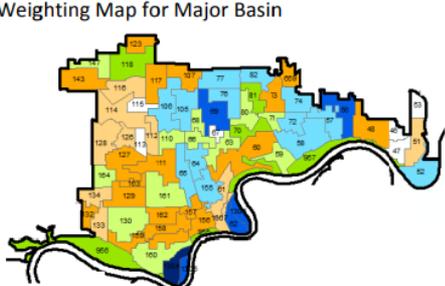
Capital Investment Scenarios – Low Impact Development \$M										
Estimated Total Investment \$420M to \$560M										
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Scenario 1	1.8	12.3	28.7	60.1	72.0	86.7	100.3	87.7	74.2	50.5
Scenario 2	1.8	7.7	16.3	17.8	27.4	45.4	49.1	46.0	52.4	35.7
Scenario 3	1.8	7.5	11.0	8.2	5.8	9.8	11.2	5.8	8.6	24.2
	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Scenario 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenario 2	37.7	34.0	24.1	15.9	8.6	13.0	10.4	16.2	12.8	10.5
Scenario 3	24.7	24.7	28.8	16.7	14.1	22.4	18.2	25.2	19.8	10.4
	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Scenario 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenario 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenario 3	12.1	15.4	17.0	19.4	15.0	8.9	10.4	8.7	9.4	7.6

# Analyses – Secteurs existants

## EDMONTON

### Exemple pour Centre-Ville

- Mix d'interventions selon le risque et les catégories

Downtown Stormwater Basin – SIRP Proposed Flood Mitigation Estimated total Capital Cost -\$ 326M		
Major Basin Group Number of Sub-basins - 71		Downtown
		 <p>Weighting Map for Major Basin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ A</li> <li>■ B</li> <li>■ C</li> <li>■ D</li> <li>■ E</li> <li>■ F</li> <li>■ G</li> <li>□ H</li> </ul>
Risk Rank	Sub-Basin Number(s)	Proposed Improvements
A/B	1304/1305	Outfall Gates Building Flood Proofing Rossdale Dry Pond Emergency Management Plan
B	62, 1306	Outfall Gates Emergency Management Plan
B/C	55,56, 57, 58, 69, 72, 74, 75,76, 77,82, 105, 106	Sewer Separation Dry Ponds (Bellevue, Newton, Alberta Avenue, Eastwood, Parkdale) LID, Small Storage Ponds, I & I Reduction, Building Flood Proofing
D	955, 956, 957, 118	Sewer Separation Lauderdale Dry Pond Emergency Management Plan
E	130, 160, 161, 164	LID, Small Storage Ponds, I & I Reduction, Building Flood Proofing
F	Remaining Basins 22.5% of Area	LID in conjunction with BGN Home Flood Proofing
G	Remaining Basins 16.9% of Area	LID in conjunction with BGN Home Flood Proofing
H	Remaining Basins 8.5% of Area	Maintenance programs review Home Flood proofing

Capital Investment Type	Estimated SIRP Capital Cost
SLOW - Dry Ponds	\$ 24,580,000
SLOW - Low Impact Development	\$ 79,580,000
MOVE - Tunnels, Trunks, Sewer Separation	\$ 131,322,000
SECURE - Outfalls and Control Gates	\$ 34,480,000
SECURE - Maintenance Rehabilitation I\I Reduction	\$ 22,500,000
SECURE - Enhanced Building Flood Proofing	\$ 7,930,000
PRFDICT - Monitoring and Controls	\$ 16,104,000
RESPOND - Emergency Response Stations	\$ 9,060,000
<b>Total</b>	<b>\$ 325,556,000</b>

# Analyses – Secteurs existants

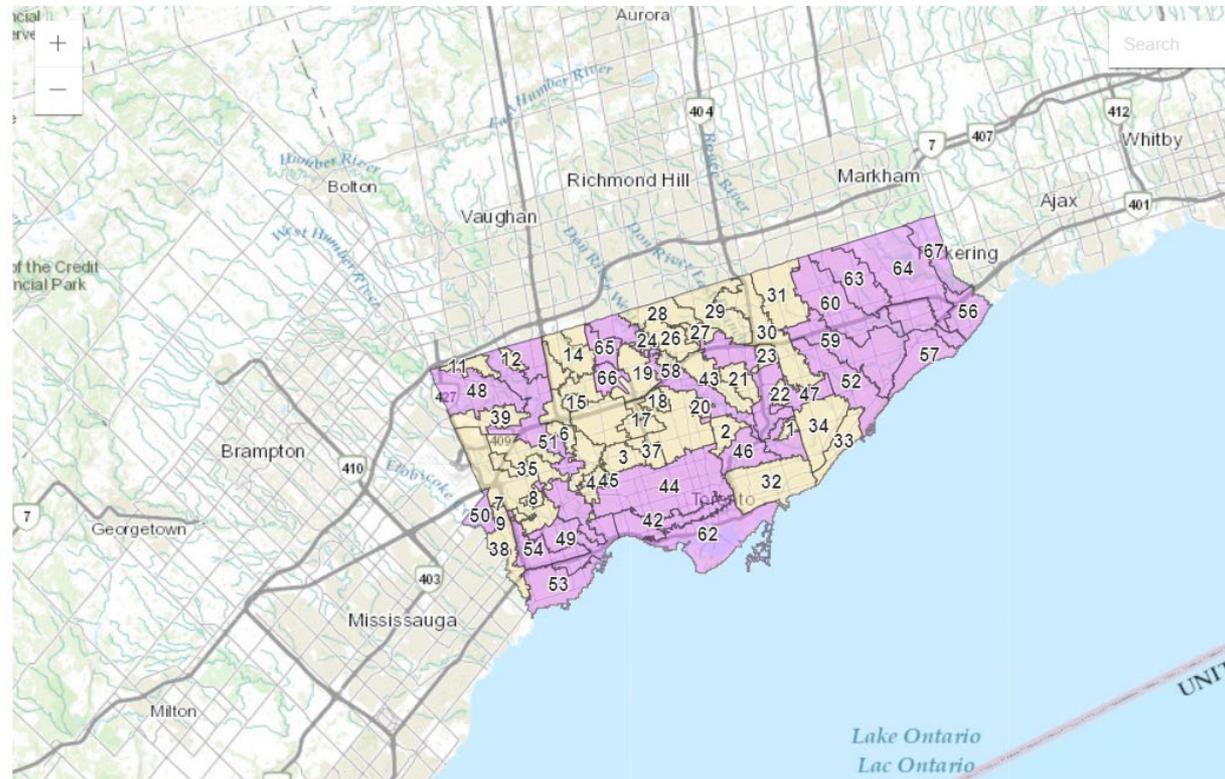
## TORONTO

### Basement Flooding Protection Program

67 zones étudiées en détails pour déterminer la cause des inondations et le développement de plans d'améliorations

Études **Environmental Assessment (EA)** – environ 18 mois par bassin

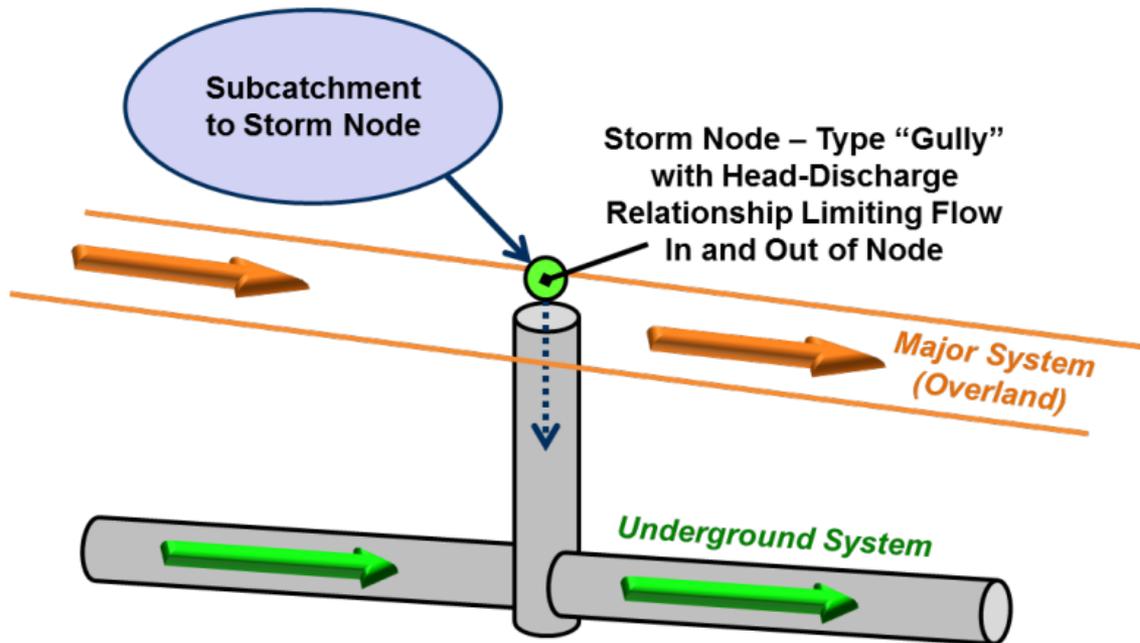
- Basement Flooding Study Completed
- Basement Flooding Study in Progress



# Analyses – Secteurs existants

TORONTO

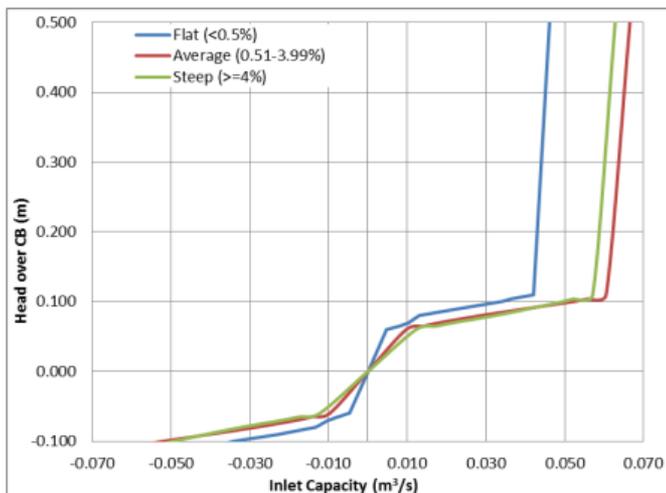
## City of Toronto InfoWorks CS Basement Flooding Model Studies Guideline 2014



# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO

Single Catchbasin -Horizontal Bars/Fishbone



Head (m)	Discharge (m³/s) per Longitudinal Road Profile Slope		
	<=0.5%	0.5-3.99%	>=4%
-0.500	-0.500	-0.500	-0.500
-0.110	-0.042	-0.061	-0.057
-0.104	-0.036	-0.056	-0.052
-0.100	-0.034	-0.052	-0.049
-0.090	-0.023	-0.040	-0.041
-0.080	-0.013	-0.029	-0.032
-0.070	-0.010	-0.018	-0.022
-0.065	-0.008	-0.014	-0.017
-0.060	-0.005	-0.010	-0.012
0.000	0	0	0
0.060	0.005	0.010	0.012
0.065	0.008	0.014	0.017
0.070	0.010	0.018	0.022
0.080	0.013	0.029	0.032
0.090	0.023	0.040	0.041
0.100	0.034	0.052	0.049
0.104	0.036	0.056	0.052
0.110	0.042	0.061	0.057
0.500	0.046	0.067	0.063



# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO



# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO Basement Flooding Protection Program

### Étapes des études

1. Collecte des données
2. Identification des problèmes et opportunités
3. Évaluation des solutions alternatives
4. Consultation publique
5. Design conceptuel pour la solution préférée
6. Rapport et revue publique de 30 jours

Les projets sont ensuite priorisés pour la réalisation en tenant compte d'un seuil de **\$32,000 par propriété** dont le risque d'inondation est abaissé.

Les projets n'atteignant pas ce seuil sont inclus sur une liste de projet sur 5 ans pour un design préliminaire. Ils sont ensuite planifiés dans le plan de rehabilitation à long terme pour la réalisation.

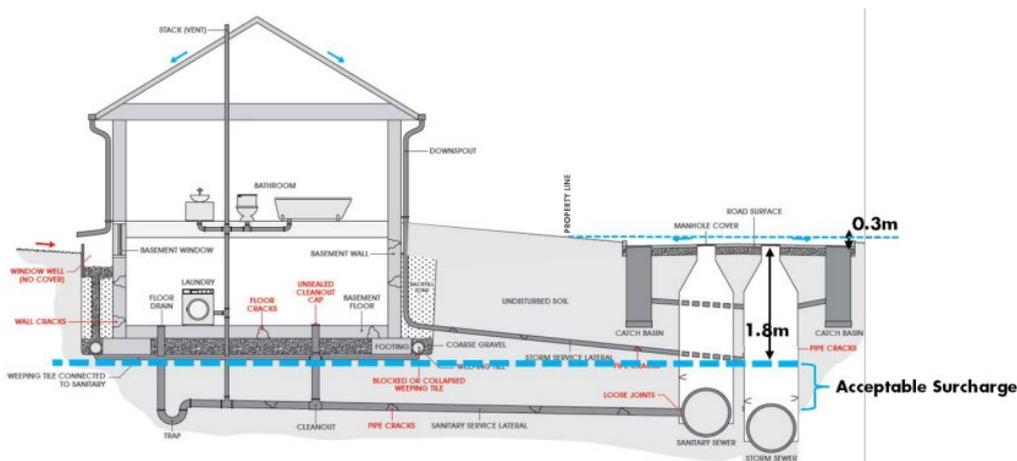
# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO

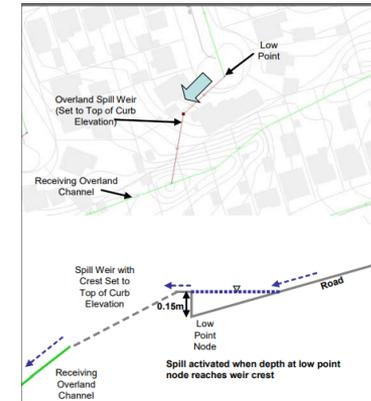
## Exemple – Bassin 45

### Niveau de service visé

- **Sanitaire:** niveau de gradient sous les sous-sols pour événement du 12 mai 2000 (25 à 50 ans)
- **Pluvial et combiné:** gradient sous le sous-sol pour récurrence 100 ans. Pour les réseaux peu profonds ( $< 1,8$  m), pas de surcharge permise. Pour réseau majeur: écoulement et accumulation en surface selon le type de rue



Typically, risk of basement flooding is considered if:



**CIWEM** Chartered Institution of  
Water and Environmental  
Management  
Urban Drainage Group

Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Urban Drainage  
Systems 2017.

# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO

## Exemple – Bassin 45

### Alternatives examinées:

- Installation of high capacity inlets and/or more catchbasins at locations to reduce surface ponding;
- strategic Installation on inlet control devices (ICDs) to limit the rate of flow entering the storm pipe system;
- Increase in storm sewer pipe sizes;
- Installation of new storm sewers to improve overall system capacity; et,
- Installation of stormwater storage pipes at strategic locations to control the rate of flow discharged to the system downstream and to Black Creek and the Humber River.

# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO

## Exemple – Bassin 45

### Critères pour comparaison

To structure the comparison, a simple scoring system was used to give a comparative score for each alternative under each criterion, and to then compute a total score for each alternative.

TABLE ES-1-1 SUMMARY OF ALTERNATIVE COMPARISON CRITERIA

CATEGORY	Criteria
Natural Environment	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impacts on Terrestrial System</li><li>• Impacts on Aquatic System</li><li>• Impacts on Soil and geology</li></ul>
Social Environment	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impacts on Urban Greenspaces</li><li>• Community Impacts During Construction</li><li>• Post-Construction Community Impacts</li></ul>
Technical Considerations	<ul style="list-style-type: none"><li>• Design Concerns</li><li>• Constructability Concerns</li><li>• Impacts on Downstream Infrastructure</li><li>• Operation and Maintenance Requirements</li></ul>
Cost Considerations	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capital Cost</li><li>• Operation &amp; Maintenance Costs</li></ul>

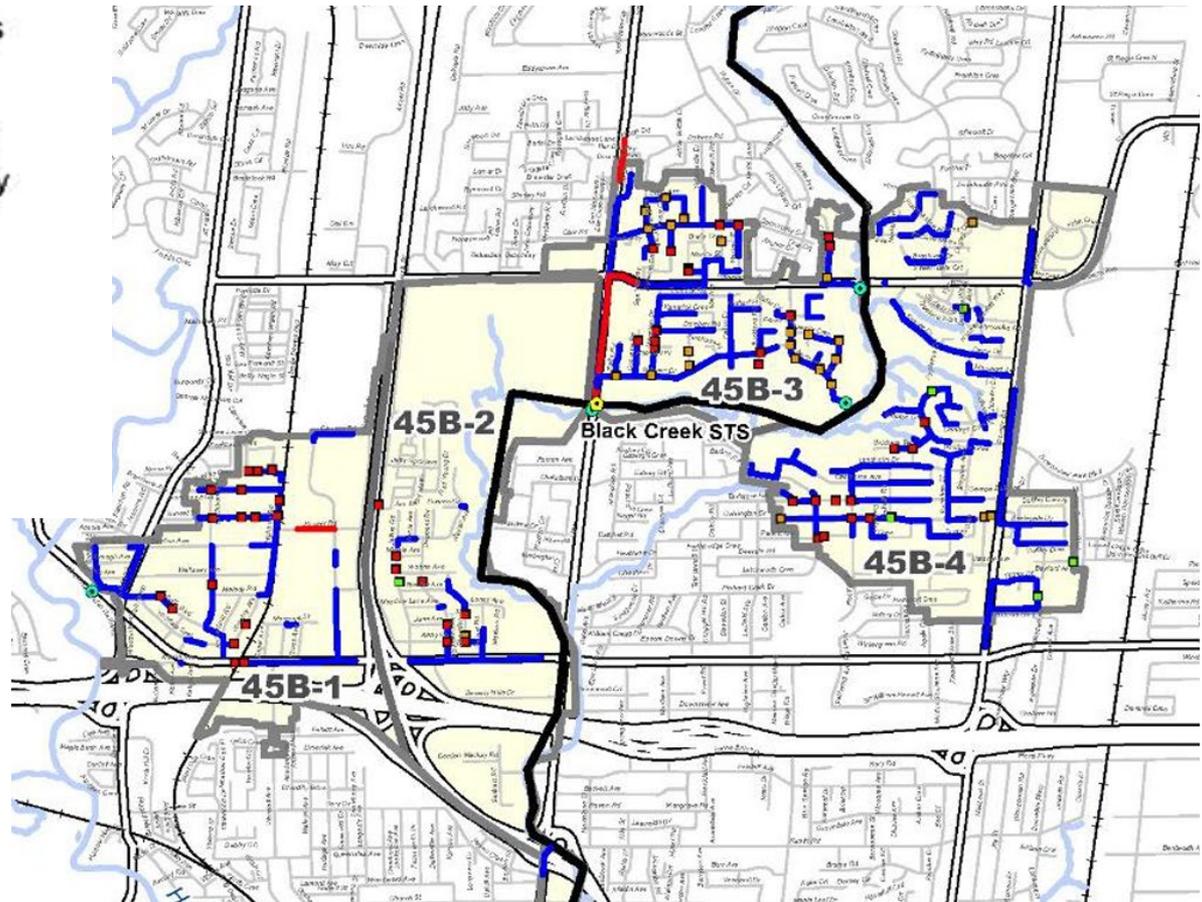
# Analyses – Secteurs existants

## TORONTO

## Exemple – Bassin 45

### Storm and Sanitary System Solutions

-  Additional Catchbasins
-  Increase Inlet (Catchbasin) Capacity
-  Decrease Inlet (Catchbasin) Capacity
-  Storage Tank
-  Outfall Improvement
-  Sanitary Sewer Improvement
-  Storm Sewer Improvement
-  Flooding Cluster Group



# Analyses – Secteurs existants

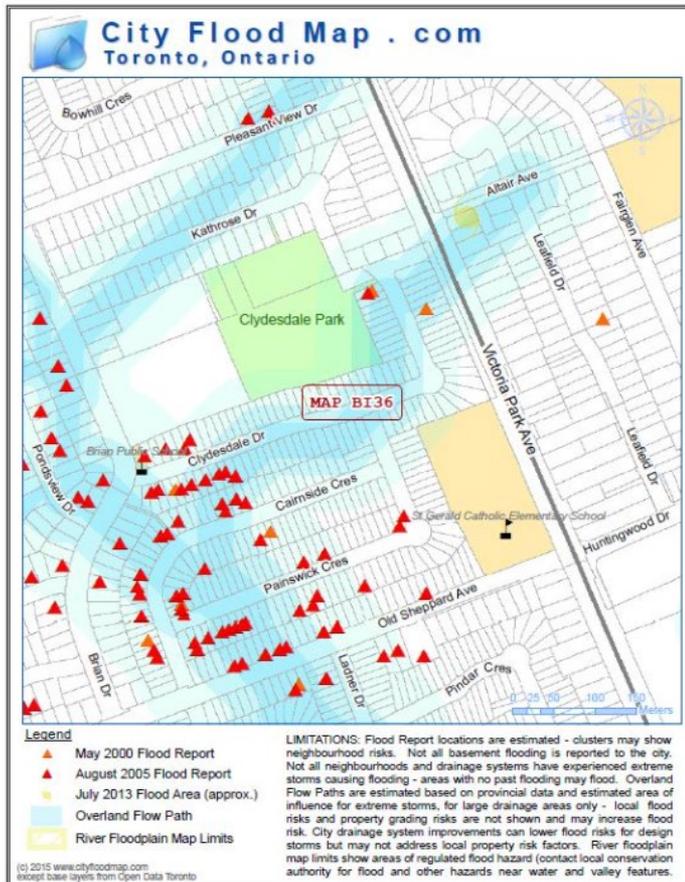
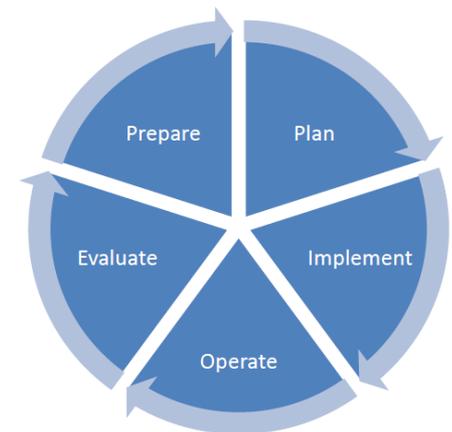
## Toronto

### Programme de protection contre les refoulements et les inondations en milieu urbain

#### City's Strategy to Reduce Urban Flood Risks

##### Multi-pronged approach:

- As quickly as possible, reduce existing risks for as many residents as possible.
- Minimize the creation of new risks as the City grows and builds.
- Be prepared to respond during extreme events



# Analyses – Secteurs existants

## Rapport - Conseil national de recherches du Canada (2022)



National Research Council of Canada

Guidelines on Undertaking a Comprehensive Analysis of Benefits, Costs and Uncertainties of Storm Drainage Infrastructure in a Changing Climate

GUIDELINES DOCUMENT

NRC Contracts 920060 & 957795

01 March 2021 (DRAFT)

### Guideline Format



#### Guideline Content:

- \* Introduction & Scope
- \* Key Definitions
- \* Summary of Foundational Research
- \* General Approach
- \* Time Value of Money
- \* Estimating Benefits
- \* Estimating Costs
- \* Analysis

#### \* Appendices

- \* App. A – Bibliography (300 references !)
- \* App. B – Industry Scan
- \* App. D – Direct & Indirect Flood Damages
- \* App. E – Climate Change Flood Damage Consideration
- \* App. F – Life Cycle Costs of Infrastructure
- \* App. G – Economic, Legal, Social and Indirect Costs
- \* App. H – Post Flood Event Environmental Impacts
- \* App. I – Case Studies

Data, Examples, Deep Dive into References (650+ pages)

Roadmap (42 pages)

# Analyses – Secteurs existants

**CNRC**

Réfléchir à différentes échelles et en fonction des types d'infrastructures à protéger

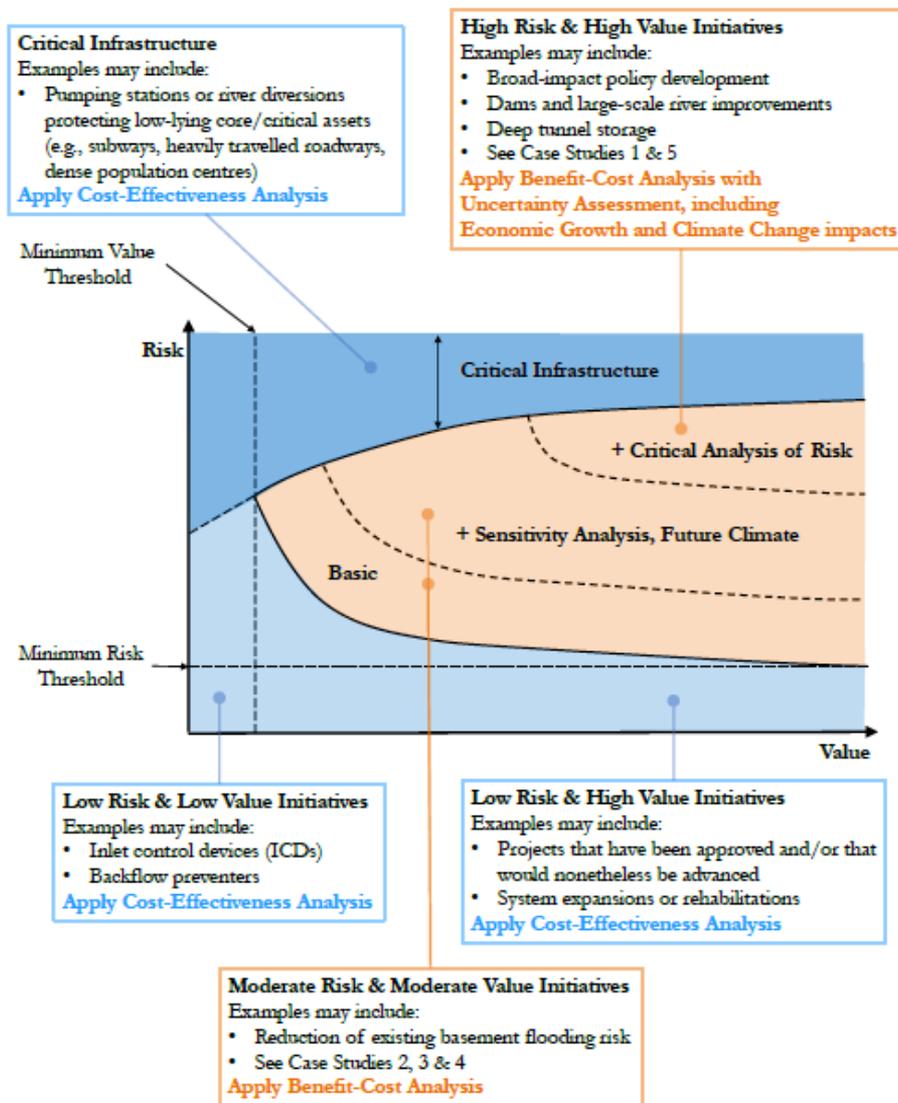


Figure 2: Examples of Application of Conceptual Model for Application of Analysis Methods

# Analyses – Secteurs existants

## CNRC

### Différents niveaux d'analyse

- **Analyse Coûts-bénéfices**
- **Analyse Coûts-rendement (*cost-effectiveness*)**

Calcul des coûts relativement à la performance obtenue (par exemple, ratio des coûts par rapport à la réduction des débits de pointe ou le ratio des coûts par rapport au nombre de bâtiments protégés). Utile pour comparer des alternatives afin d'identifier les alternatives avec les coûts les plus bas lorsque les bénéfices ne sont pas quantifiables en \$ ou avec un indicateur pré-établi.
- **Analyse multicritère**

Calcul des coûts relativement à une gamme de bénéfices, dont certains intangibles, avec une pondération établie par les différentes parties prenantes (aspects sociaux, économiques et environnementaux).

# Analyses – Secteurs existants

## CNRC

- **Potentiel de risque**
- **Échelle (Coûts)**
- **Niveau de «criticalité» de l'infrastructure.** How important/valuable are the assets being protected by the candidate undertaking? The higher the asset criticality, the lower the acceptable benefit-cost ratio becomes. In some cases, it may be appropriate to assess options on the basis of cost-effectiveness to achieve a certain critical performance (benefit) level.
- **Disponibilité des données et de l'information**

# Analyses – Secteurs existants

**CNRC**

- Appendix A – Bibliography
- Appendix B – Glossary & Acronyms
- **Appendix C – Benefit-Cost Analysis Industry Scan**
- Appendix D – Direct & Indirect Long Time Horizon Flood Damages
- Appendix E – Climate Change & Flood Damage Considerations
- Appendix F – Life Cycle Costs of Storm Drainage Infrastructure
- Appendix G – Post-Flood Event Economic, Legal, Social and Indirect Costs
- Appendix H – Post-Flood Event Environmental Impacts
- Appendix I – Case Studies

**Toronto**

- i) The City should take the lead and set an example on their own properties;
- ii) Implement high priority projects first; these are the most cost-effective projects (“biggest bang for the buck”) as well as those that are important for their own reasons even if they are not the most cost-effective;
- iii) Target a specific neighbourhood to use as a pilot project for full implementation of the preferred Strategy; and
- iv) Select initial projects based on degree of local support, probability of success, opportunity to minimize costs and potential to address knowledge gaps and demonstrate new concepts.”

# Analyses – Secteurs existants

**CNRC**

#114571 REPORT

Toronto Flood Risk Ranking

Exhibit 4.9: Risk Ranking Matrix

Category Weight	Total Points	Category	Weight of Variable	Variable
50%	50	Tangible Building-Associated	15	Direct non-residential damages
			15	Direct residential damages
			10	Business interruption
			10	Residential displacement
10%	10	Community Impacts	2	Emergency services
			2	Recreation facilities
			2	Cultural
			2	Schools
			2	Community associations
20%	20	Social Vulnerability	5	Income
			5	Family type
			5	Age
			2	Hospitals
			3	Tenure
20%	20	Infrastructure	8	Roads
			5	Public transit
			7	Utilities risk
15%	15	Preparedness and Resiliency	5	Active mitigation
			5	Growth potential
			5	Warning system penetration

(2019)

\*Total is 100 for the four risk categories; Preparedness and Resiliency can reduce score by up to 15

# Analyses – Secteurs existants

## MONTREAL

### Données disponibles

#### Variables d'exposition à l'aléa

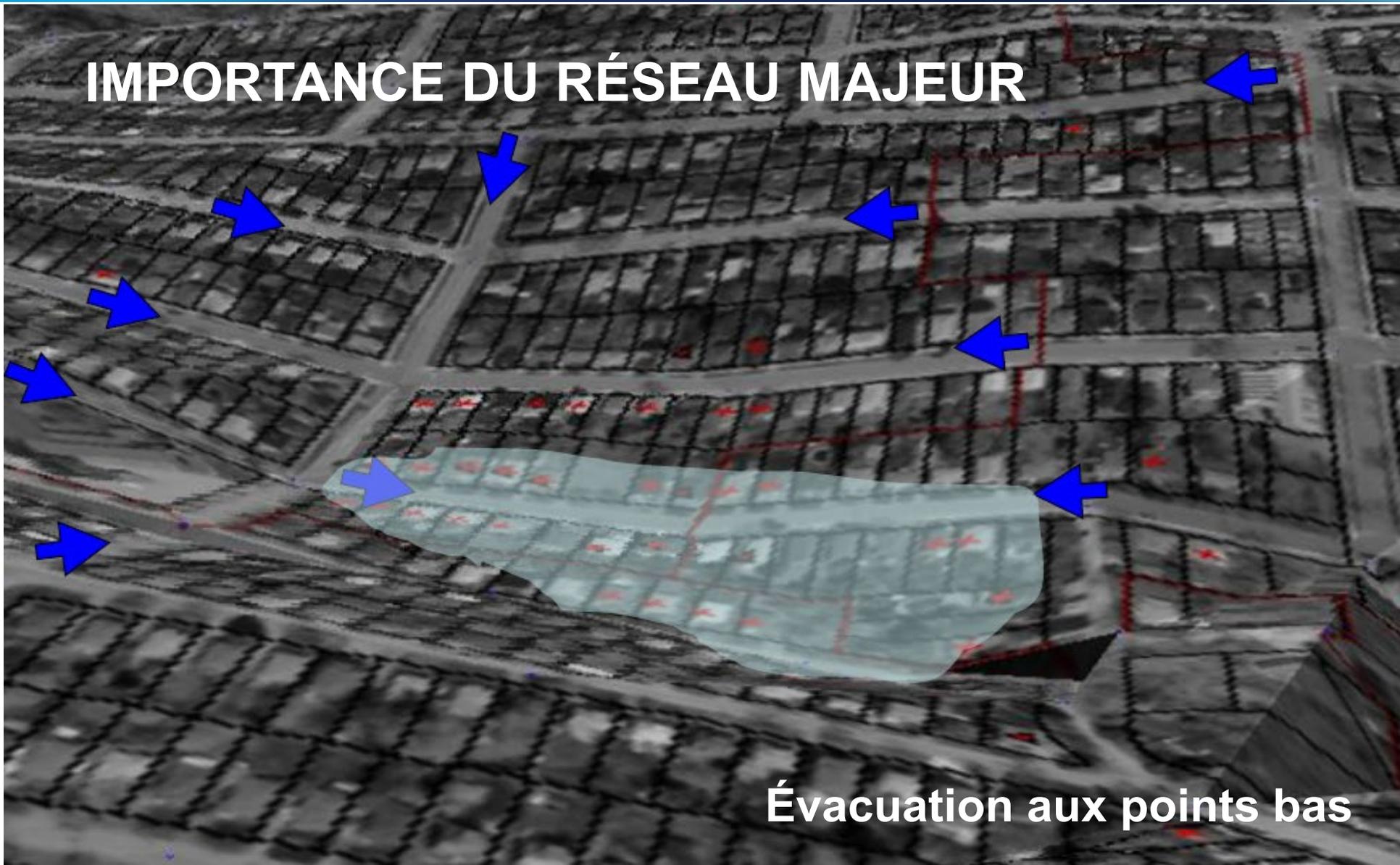
- Délimitation des sous-bassins de drainage
- Type de réseau (pluvial, unitaire)
- Densité des réclamations
- Niveau de service (statist. pluies extrêmes)
- Capacité unitaire des conduites (L/s/ha)
- Topographie (cunettes, pentes longues)
- Présence de fondation
- Présence d'anciens ruisseaux
- Occupation du sol
- Limites d'arrondissements et villes liées
- Âge des conduites

#### Variable de catégories d'impact

- Densité de la population
- Sensibilité sociale (plan climat 2015-2020)
- Vulnérabilité des milieux naturels (plan climat 2015-2020)
- Localisation des infrastructures critiques
- Immeubles d'intérêt patrimonial
- Cartographie des valeurs immobilières

# Intégration et cadre d'analyse

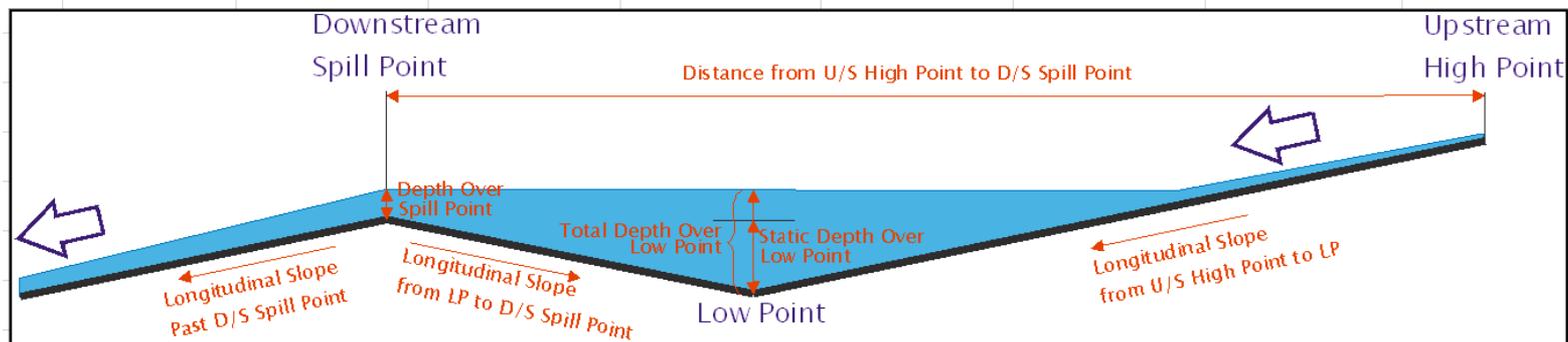
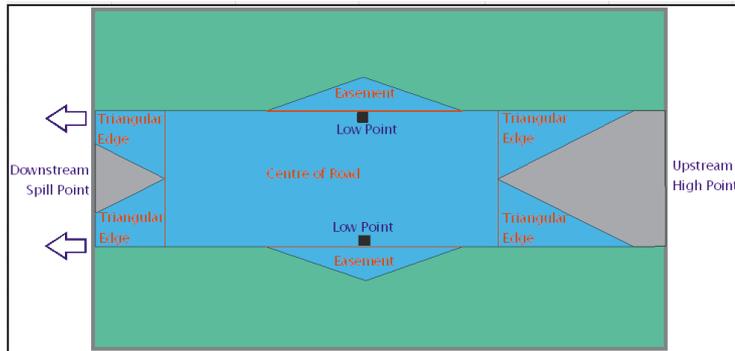
**IMPORTANCE DU RÉSEAU MAJEUR**



**Évacuation aux points bas**

# Intégration et cadre d'analyse

## IMPORTANTANCE DU RÉSEAU MAJEUR



# Intégration et cadre d'analyse

## Gestion des points bas (sortie et évacuation adéquate)



THE CITY OF  
**CALGARY**  
WATER RESOURCES

STORMWATER MANAGEMENT  
& DESIGN MANUAL

2011

Figure 3-24: Trap Low Definition.

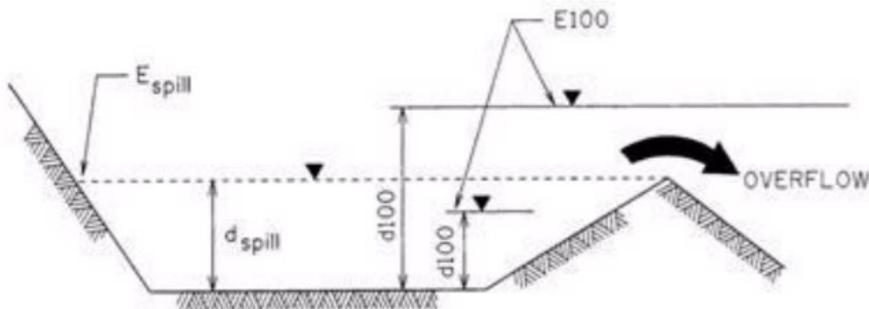
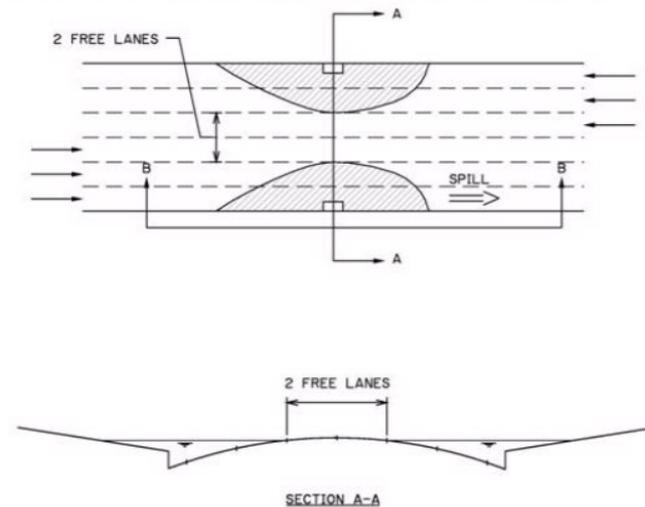


Figure 3-22: Inundation Requirements for Trap Lows along Arterial and Major Roads



# Intégration et cadre d'analyse

## Étude de cas

- **PCSWMM** : détermination des bassins versants et des liens hydrauliques de surface;
- **HEC-RAS** : ruissellement de surface et accumulation d'eau;
- **ArcMap** : manipulations des données GIS

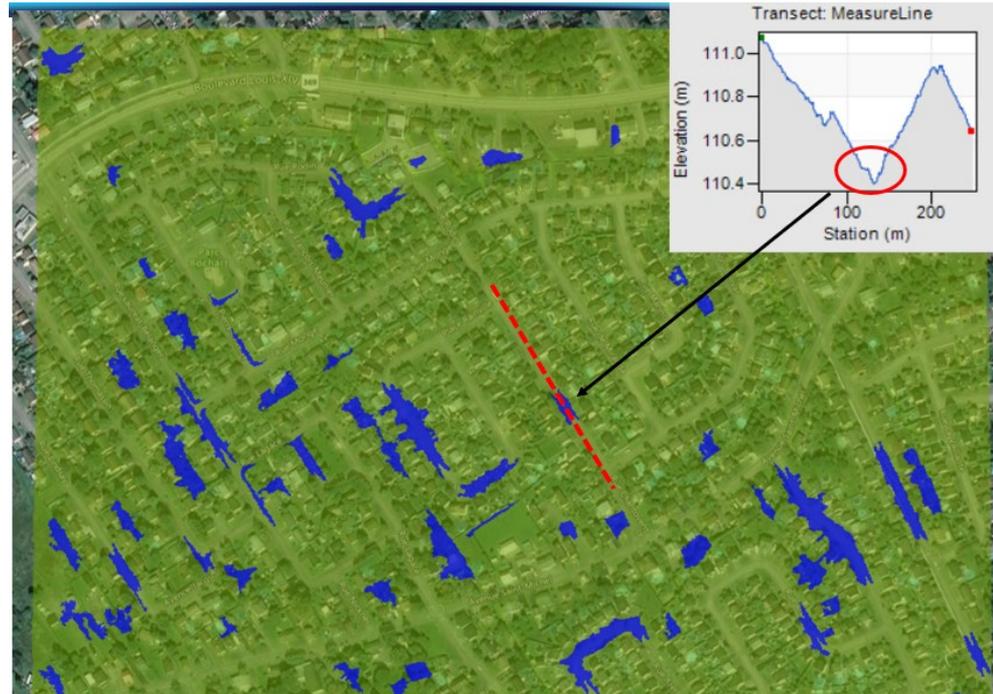
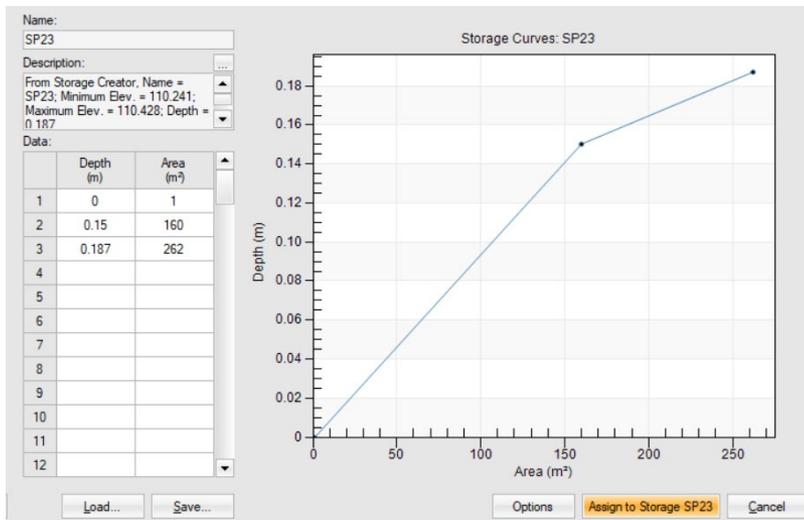
**Connaissance  
du réseau  
majeur**



# Intégration et cadre d'analyse

## Étude de cas

### Caractéristiques des points bas



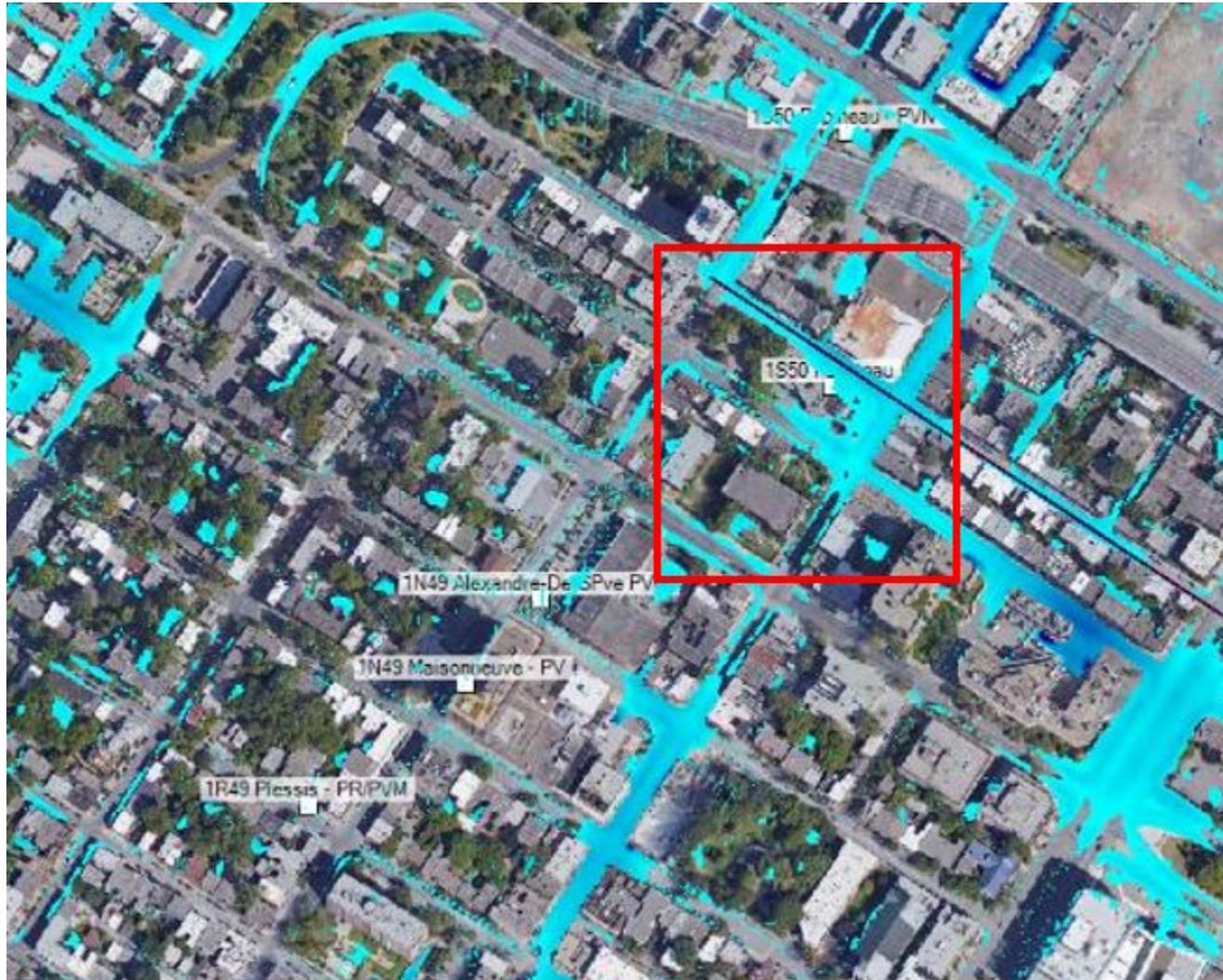
# Intégration et cadre d'analyse

## Étude de cas

**Surface  
tributaire des  
points bas**

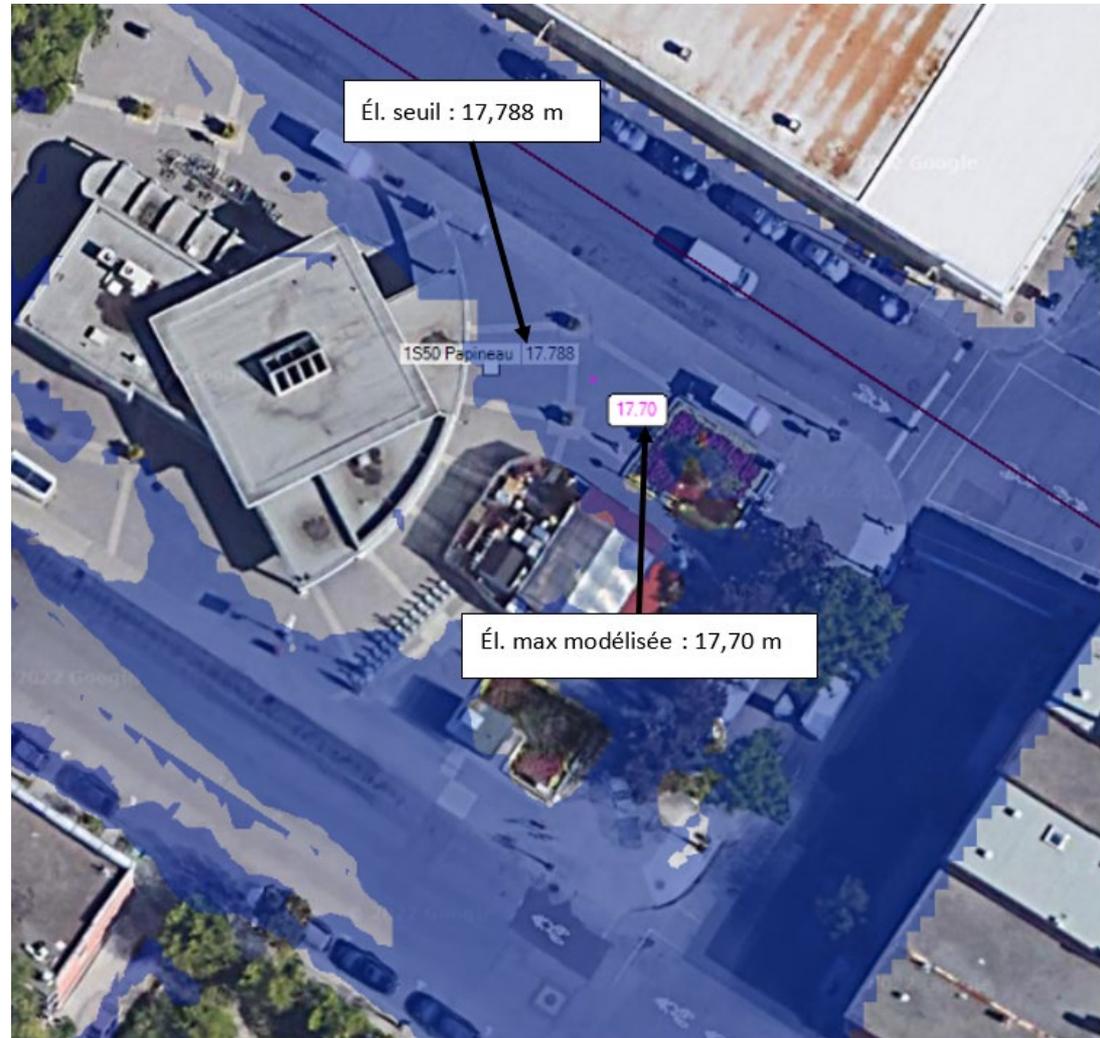


# Intégration et cadre d'analyse



# Intégration et cadre d'analyse

**Niveaux d'eau simulés comparés à différentes élévations critiques (entrée en dépression; seuils pour les bâtiments)**



# Intégration et cadre d'analyse

Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding

Drainage superficiel et analyse de chemins préférentiels pour le modelage d'inondations d'origine pluviale en milieu urbain

ČEDO MAKSIMOVIĆ, IAHR Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, London, SW7 2AZ, UK. E-mail: c.maksimovic@imperial.ac.uk

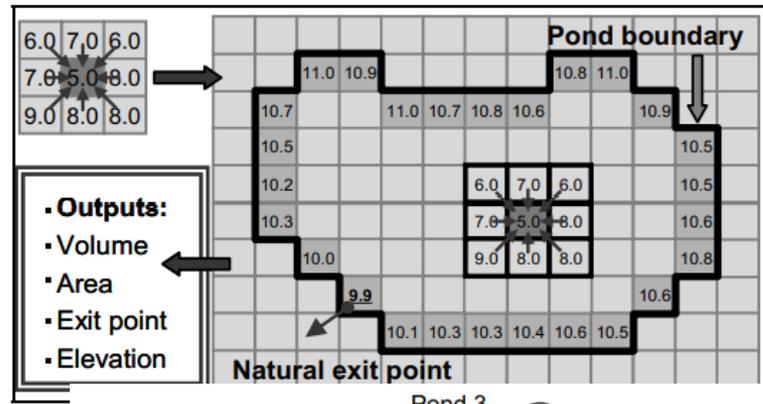


Figure 4 Types of surface pathways calculated from DEM

2009

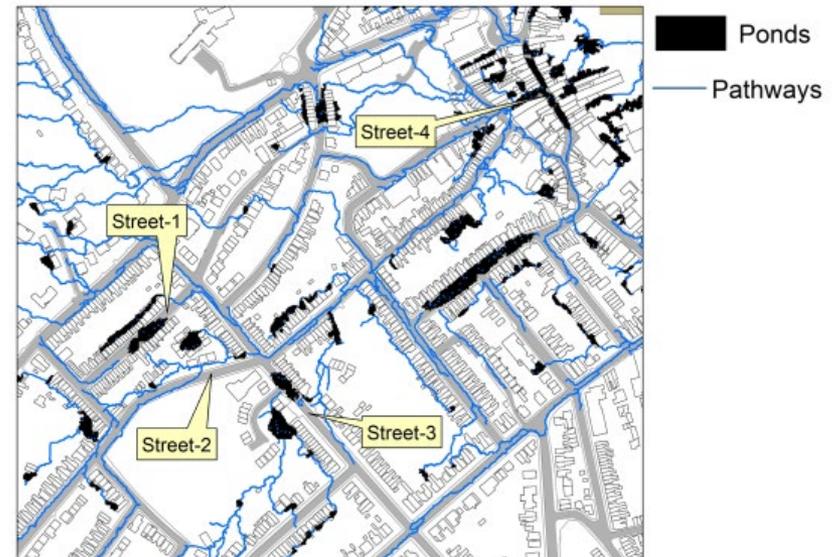
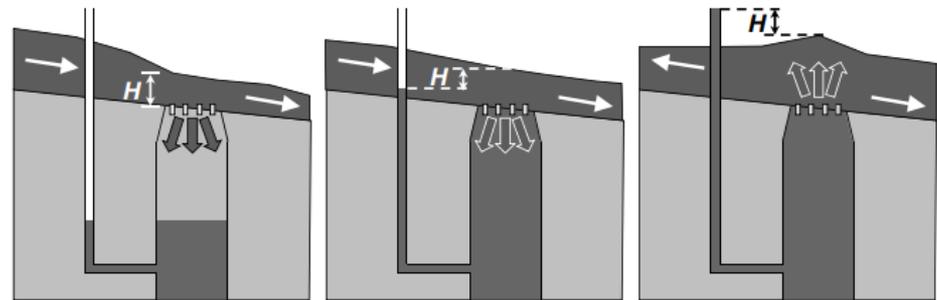


Figure 11 Surface flow network produced, an example of 'Town A' in the south UK

# Intégration et cadre d'analyse



## Urban Flood Resilience in Ontario: Theory of Change



# Intégration et cadre d'analyse

## Gestion des points bas

Intérêt stratégique des parcs  
(secteur bâti ou projeté)



## Resilient Parks, Resilient City

The role of green infrastructure and parks in creating  
more climate-adaptive cities



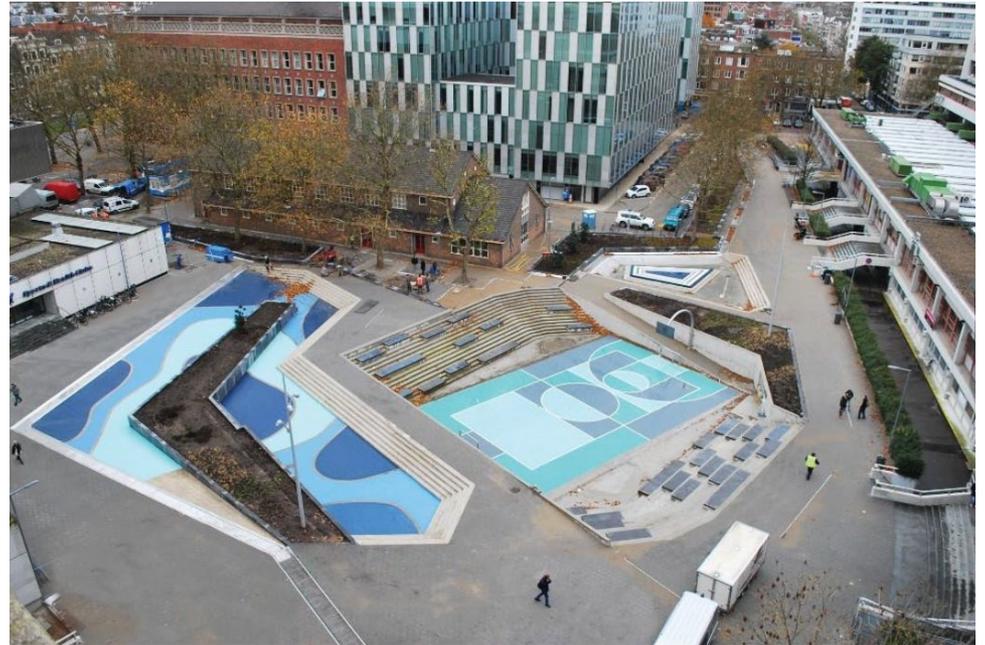
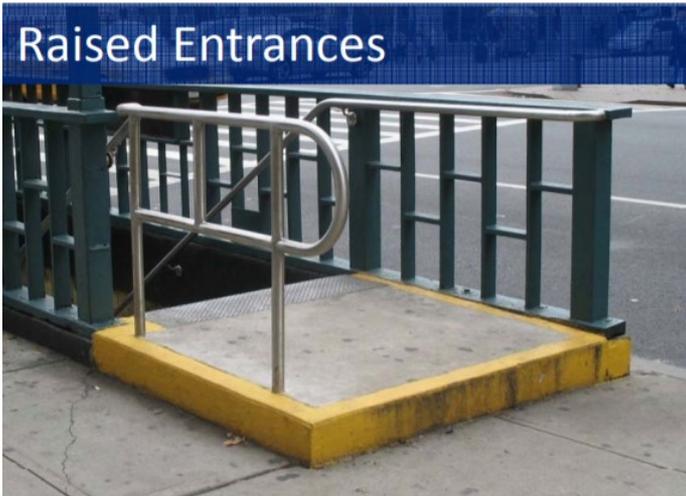
# EXEMPLES SIMPLES

## NEW-YORK

Raised Ventilation Grates



Raised Entrances



Water Square  
(Rotterdam)



# Intégration et cadre d'analyse

## Étapes pour analyses et priorisation

1. Découpage des sous-bassins et collecte des données
2. Identification des problèmes et opportunités
3. Évaluation des solutions alternatives
  - a) Établissement des critères et objectifs visés
  - b) Types de solutions applicables
4. Cadre d'analyse pour priorisation
  - a) Définition et critères pour pondération
  - b) Atelier et consultation avec parties prenantes
  - c) Établissement du cadre général (principes et méthodes)
5. Analyses spécifiques pour choix des meilleures alternatives



# PENSER LA RÉSILIENCE

Si vous vous  
retrouvez dans  
un trou, la  
première chose à  
faire est d'arrêter  
de creuser  
Will Rogers

Si vous ne savez  
pas où vous  
voulez aller, vous  
allez arriver  
ailleurs  
Yogi Berra

