Comment favoriser l'aménagement d'infrastructures naturelles résilientes pour la gestion des eaux pluviales

Jean-François Bissonnette
Département de géographie
Université Laval

Caroline Simard
Département des sciences naturelles
Université du Québec en Outaouais

UNIVERSITÉ LAVAL

UQO
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN OUTAOUAIS

1. INTRODUCTION

Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Les infrastructures naturelles (IN)

- « ensemble d'espaces verts et bleus interreliés permettant de préserver la valeur et les fonctions des écosystèmes qui fournissent des bénéfices aux sociétés humaines »

- Benedict et McMahon

Institut EDS
Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Les infrastructures naturelles

- Multiscalaire
- Multifonctionnelles
- Multi-objectifs
- Co-bénéfices

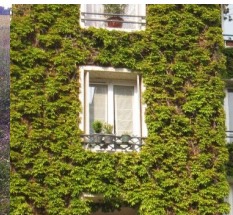
Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Une typologie des IN

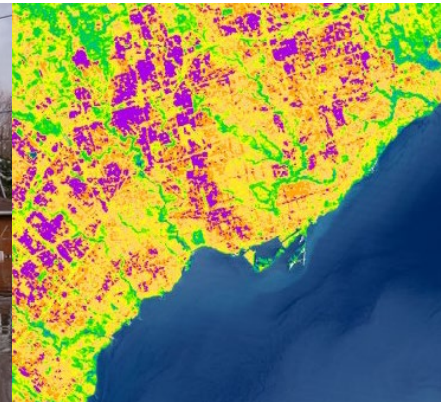
Canopée urbaine	Espaces publics végétalisés	Toits verts	Structures verticales vertes	Gestion de l'eau	Structure de transport
-Rues vertes -Arbres et arbustes de rue - Foresterie urbaine	-Ceintures vertes -Corridors verts -Couvert végétalisé -Espaces verts -Parcs urbains -Structures végétales urbaines	-Écotoits -Toits végétalisés -Toits pluviaux -Toits vivants -Jardins de toit	-Biomurs -Façades vertes -Murs verts -Murs vivants -Végétation verticale	**-Marais filtrants** **-Jardins pluviaux** **-Biorétention** **-Bassin d'eau de pluies** **-Milieux humides naturels** **-Cours d'eau**	-Chaussée perméable -Trottoirs perméables -Saillies de trottoirs végétalisés -Terre-plein central végétalisé

Simard, L'Écuyer-Sauvageau, Bissonnette et Dupras 2019



Avantages de IN

- Gestion des événements climatiques extrêmes
- Appréciation dans le temps (dans certaines conditions)
- Valorisation d’un ensemble de SE (bundle)



L’enjeu de la résilience

- Persistance « *bounce-back* »
  - Résilience construite par ingénierie en fonction d’un point de référence fixe
- Adaptation « *bounce-forward* »
  - Ajustement aux impacts réels et attendus, capacité de tirer avantage de certaines situations
- Transformation « *transform-forward* »
  - Transformation proactive, le système est constamment en train de se renouveler

Lenon et al. 2014; Holling 1973; Adger et al. 2011; Folke 2006

2. «Success stories» de villes qui ont dépassé le paradigme du «tout à l'égout» pour s'adapter aux CC

Institut EDS
Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Des exemples d’histoires à succès un peu partout…

Les villes-éponges

- En Chine, les processus de développement et d'urbanisation rapide ont accentué la problématique des inondations riveraines urbaines: 98% des villes subissent des inondations chaque année.
- La gestion des eaux de surface: un enjeu majeur de gestion de l'eau.
- 2015: Lancement de 30 villes-éponges (projets pilotes).

Séoul, Corée du Sud

Quartier Rummelsburg, Berlin

Pont de Jinhua, Chine

3. Applications au Canada et au Québec

Institut EDS
Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Principaux défis pour les villes au Québec

- Vieillissement des infrastructures
- Nouvelles exigences environnementales
- Développement du territoire
- Changements climatiques
- Gestion des risques opérationnels

CERS, 1992

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT

GESTION DES EAUX PLUVIALES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

PAR

Alain MAILHOT

Samuel BOLDUC

Guillaume TALBOT

Dikra KHEDHAOUIRIA

RAPPORT NO R-1418

VERSION FINALE

AOÛT 2014

Fondsvert Québec

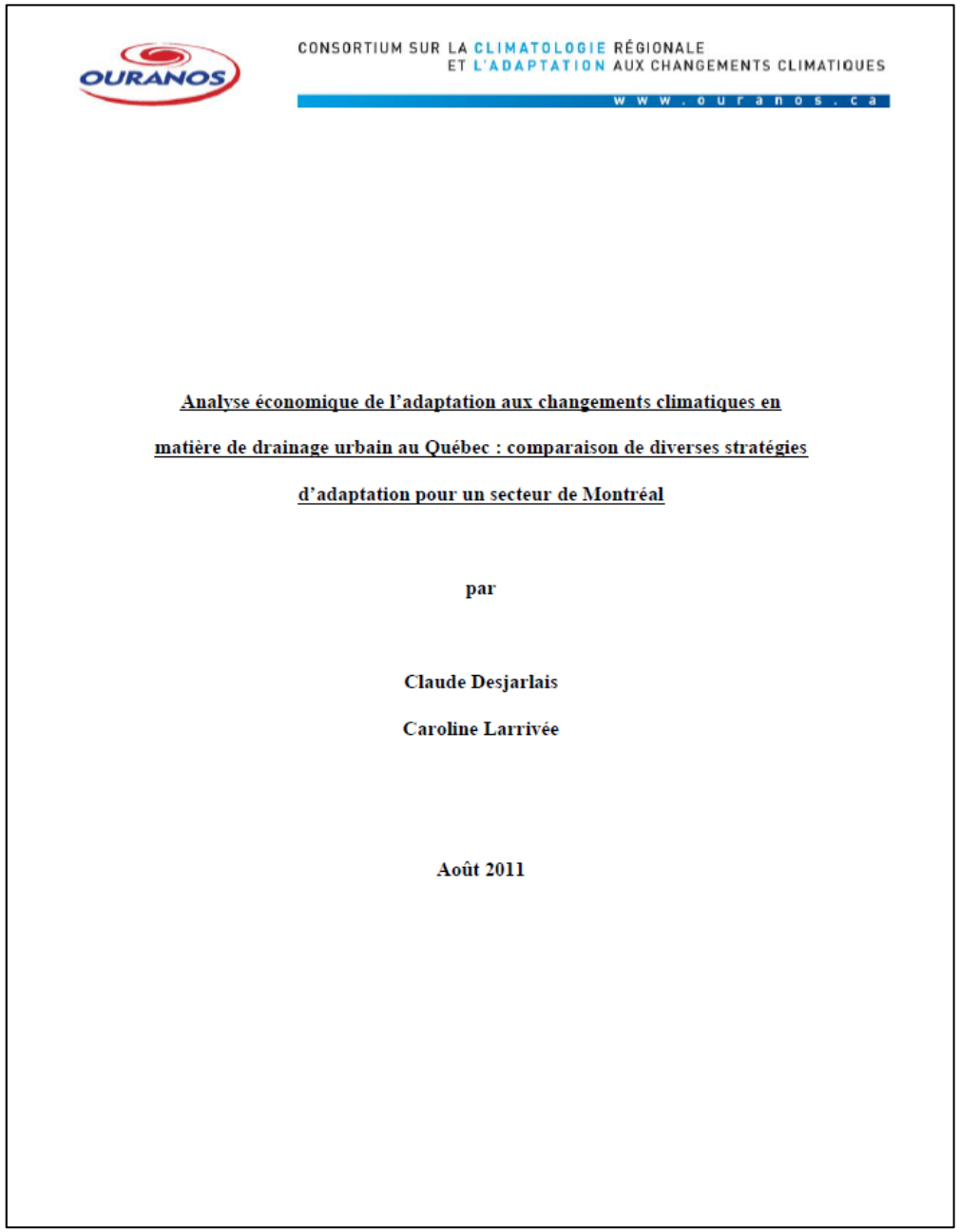
Ressources naturelles Canada Natural Resources Canada

Canada

Cas 1: Drainage urbain de Montréal

- Calcul des coûts de mesures de GDEP:
  - Coût de la réduction des surverses (volumes des déversements en milieu naturel, sans traitement)
  - Coût des dépassements de capacité du réseau (indice hydraulique)

* L'efficacité en termes d'infiltration n'a pas pu être mesurée, faute de données suffisantes.



OURANOS

CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal

par

Claude Desjarlais

Caroline Larrivée

Août 2011

Tableau 3: Nombre d'unités, coût total et ratio coût-efficacité (période de retour 2 ans - changement climatique) pour la réduction des surverses

Mesures	*Nombre d'unités* (n)	*Coût total (actualisé)* ($)	*Ratio coût-efficacité* ($/m^3)
Gestion des apports			
Secteur résidentiel			
Barils	8 516	8 343 958	4 999
Jardin de pluie	1 136	31 651 658	18 962
Secteur ICI			
Réservoir	299	2 811 687	1 684
Toit vert	17 033	2 844 147	1 704
Bassin de bio-rétention	52	2 609 452	1 563
Ouvrage de rétention			
Bassin de surface	0,7	1 409 010	844
Bassin souterrain	0,3	5 567 900	3 336

Tableau 4 : Ampleur, coût total et ratio coût-efficacité (période de retour 2 ans - changement climatique)

Mesures	*Coût unitaire* ($/m³)	*Coût total (actualisé)* ($)	*Ratio coût-efficacité* ($/m³)
Bloc gestion des apports			
Réduction 10%	130	8 679 435	66 579
Réduction 15%	160	11 606 549	72 672
Ouvrage de rétention			
Bassin de surface	208	1 953 048	9 390
Bassin souterrain	208	6 681 480	32 124
Redimensionnement			
P1	117	11 519 639	98 339
P1 + P3	143	18 117 611	126 965
P1 + S10	156	16 056 265	103 242
P1 + P3 + S10	174	22 654 237	130 382

Mise à jour: Coûts des mesures d'adaptation aux inondations riveraines (fév 2022)

À VENIR

- Rapport technique sur le coûts des mesures d'adaptation (Ouranos)
  - Stabilisation de berges – enrochements avec végétalisation
  - Rétention de l'eau:
    - Toit vert
    - Baril de pluie
    - Jardin de pluie, biorétention
    - Bassin de rétention
  - Restauration de milieux humides
  - Modification structurelle du chenal:
    - Endiguement
    - Dragage
  - Immunisation
    - Digue amovible
    - Élévation du 1er plancher
  - Relocalisation
  - Changement de l'utilisation du sol:
    - Culture sur résidus
    - Zone de mobilité, bande riveraine surdimensionnée ou corridor écologique

IN vs IG: la mesure des bénéfices?

Eaux de ruissellement

Réduction des dommages dus aux inondations

Cas 2 - Chaudière
Coûts des inondations riveraines

- Bénéfices de la réduction des eaux de ruissellement => Coûts évités en dommages
- Deux études de cas:
  - Compton: pas représentatifs, agricole
  - Chaudière:
    - Coûts des inondations de 39,338M$ sur 50 ans, dont 60% pour les indemnités versées par le MSP.

Calcul du coût des inondations

- Cas Chaudière
- SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE:
- Dommages aux résidences par submersion
  - 972 résidences,
  - 2235 sinistrés potentiels,
  - Valeur des actifs à risque résidentiels de 115M$
  - Dommages évités 39.33M$ sur 50 ans => 1.83M$/an
- État de reference de l'environnement (annuellement):
  - Annuellement, c'est environ 2.58M kg d'azote, 0.36M kg de phosphore et 185.78k tonnes de sédiments qui sont drainés vers les cours d'eau du bassin versant de la rivière Chaudière. (InVEST)

Prise en compte des impacts environnementaux

- Bénéfices de la réduction du ruissellement des nutriments et des sédiments via Logiciel InVEST
  - Coûts de traitement évités pour les charges de nutriments et de sédiments

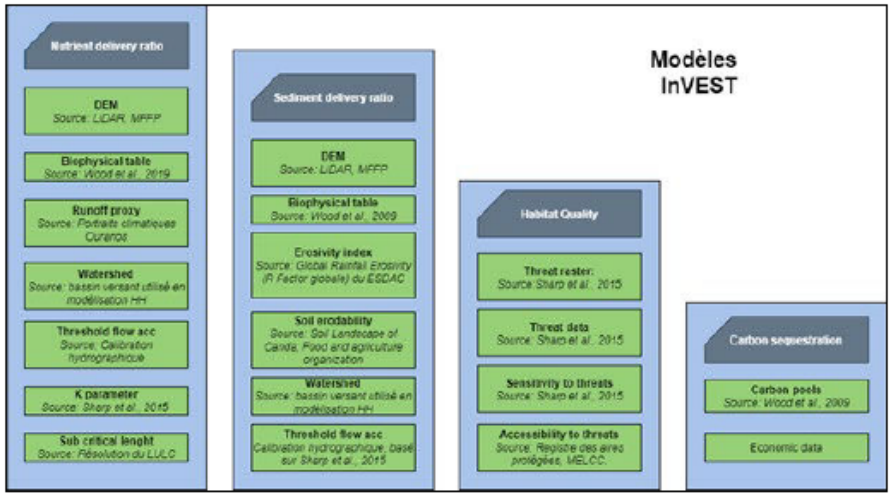
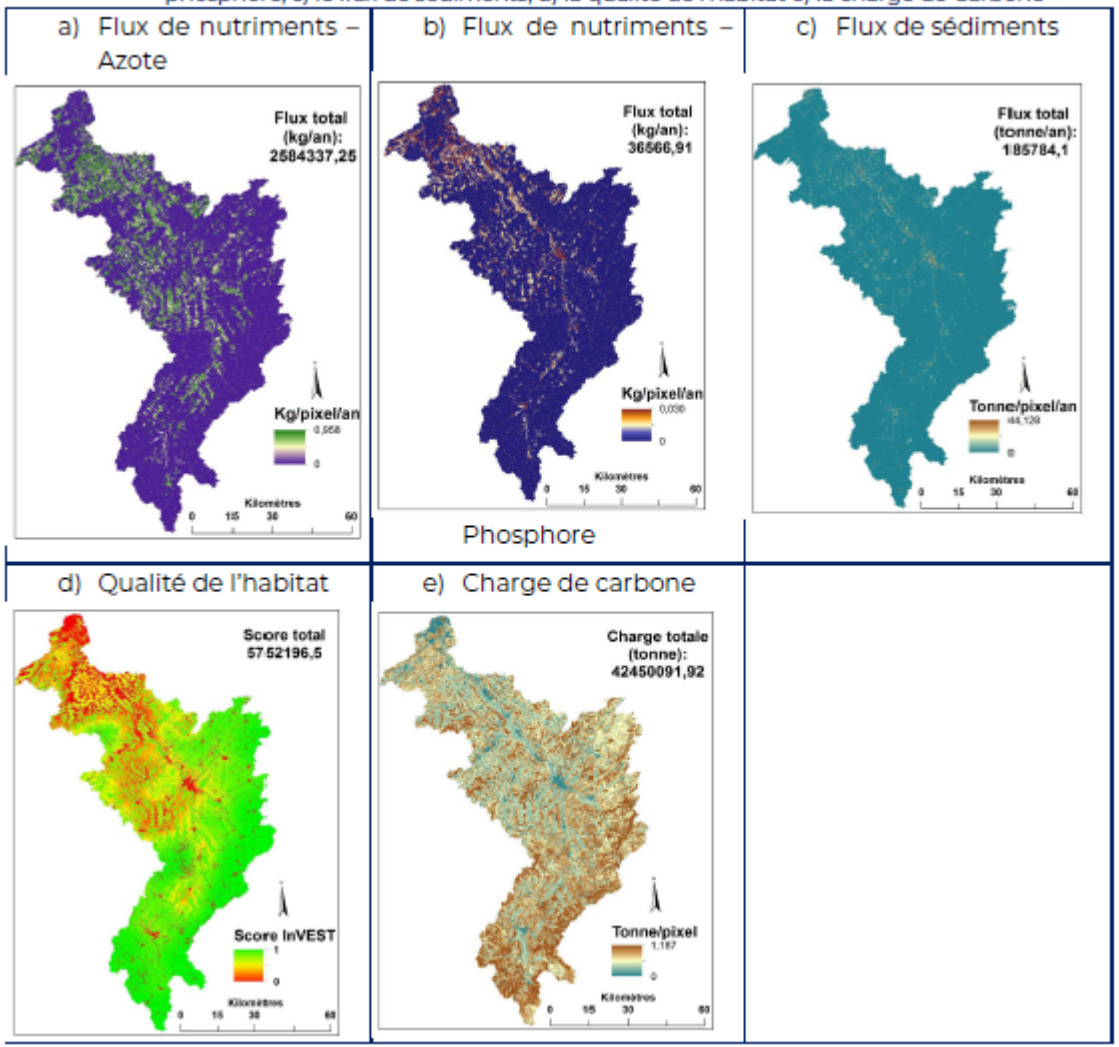


Figure 21. Modèles InVEST utilisés pour établir l'état de référence de l'environnement, détaillés par leurs paramètres d'entrés et leur source de données

Tableau 7. Quantification de l'état de référence de l'environnement pour a) le flux d'azote, b) le flux de phosphore, c) le flux de sédiments, d) la qualité de l'habitat e) la charge de Carbone



Cas Chaudière: Bénéfices du scénario avec IN

- Présentation du scénario IN:

• Corridor d'inondabilité	45.0 km2	24.73M$
• Bandes riveraines boisées	63.0 km2	92.30M$
• Verdissement de 1028 lots	8.24 km2	9.55M$
	COÛTS TOTAUX:	176.15M$

- Combiné au retrait de nombreux actifs à risque dans le corridor inondable, le scénario IN permet d'éviter 71% des dommages du scénario de référence, liés à la submersion de la rivière Chaudière.
- Bénéfices environnementaux (sur 50 ans):
  - Qualité de l'eau: 66.06M$ ou 3.08M$/an
  - Séquestration du carbone: 0.77M$ ou 35884$/an

IN vs IG: la mesure des bénéfices?

Exemple des toits verts

Plusieurs études démontrent les bénéfices…

Bénéfices des IN en GDEP

- Bénéfices difficiles à quantifier, MAIS
- Reconnaissance de leur existence:
  - La FEMA a abaissé son le seuil des rentabilité des mesures (ratio avantage-coût), de 1 à 0.75 pour refléter l'accrédition des co-bénéfices des IN de la GDEP.

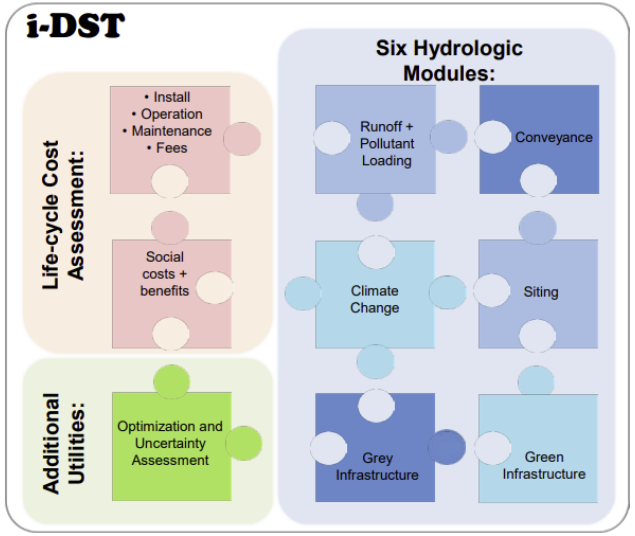
Mesures des bénéfices économiques

- Types d'analyses économiques:
- ACA: Analyse coûts-avantages
  - Comparer l'ensemble des coûts (financiers, sociaux et environnementaux) des différentes mesures envisagées avec les bénéfices que l'on espère en tirer et de déterminer si l'action est rentable pour la municipalité et ses citoyens.
  - Analogue à l'ACV
- AMC: Analyse multi-critères:
  - Comparer les avantages marchands et non marchands des différentes solutions et de les cumuler en fonction d'une pondération préétablie. Elle permet en outre de contourner la difficulté de déterminer la valeur monétaire de certains des avantages.
- ACE: Analyse coût-efficacité:
  - Établi le coût unitaire des mesures et permet ainsi de comparer chacune des solutions l'une par rapport à l'autre et de déterminer la moins coûteuse, en intégrant à la fois les coûts fixes et variables et en tenant compte du moment où ces dépenses devront être effectuées.

Outils de mesures

i-DST: Decision Support Tool for Stormwater Infrastructure

- EPA RFP: "**National Priorities: Life Cycle Costs of Water Infrastructure Alternatives**"
- Response: Develop an integrated, scalable, decision support tool (**i-DST**) for grey, green, and hybrid infrastructure PLANNING
- Components:
  - life-cycle cost assessment (LCCA) with traditional costs/benefits AND co-benefits of ecosystems
  - Hydrologic modules
  - Siting utility
  - Optimization
  - Uncertainty assessment



COLORADO SCHOOL OF MINES EARTH • ENERGY • ENVIRONMENT

The Nature Conservancy

Berkeley UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Table 1 Tools for Green Infrastructure modeling

Modeling tools	References and case studies	Supported GI practices	Comments
1. Environmental Protection Agency (EPA) Green Long-Term Control-EZ Template	(Schmitt et al. 2010)	Green roofs, vegetated swales, bioretention basins, permeable pavements, rain barrels	• Planning tool for combined sewer overflow control • Can be used in small communities
2. Water Environmental Research foundation (WERF) BMP SELECT Model	(Reynolds et al. 2012)	Extended detention, bioretention, wetlands, swales, permeable pavements	• Examines the effectiveness of alternative scenarios for controlling stormwater pollution • Water quality parameters that can be simulated are total suspended solids, total nitrogen, total phosphorus, and total zinc
3. Virginia Runoff Reduction Method (VRRM)	(Bork and Franklin 2010)	Green roofs, downspout disconnection, permeable pavements, grass channels, dry swales, bioretention, infiltration, extended detention ponds, wet swales, constructed wetlands, wet ponds	• Incorporates built-in incentives for environmental site design, such as forest preservation and the reduction of soil disturbance and impervious surfaces
4. WERF BMP and LID whole life cycle cost modeling Tools	(Reynolds et al. 2012)	Green roof, planters, permeable pavements, rain gardens, retention ponds, swales, cistern, bioretention, extended detention basins	• Planning level cost estimation for GI practices • Different spreadsheet tools are designed for different practices
5. Centre for Neighborhood Technology (CNT) Green Values National Stormwater Management Calculator	(Jaffe 2011; Guo and Correa 2013)	Green roofs, planter boxes, rain gardens, cisterns, native vegetation, vegetation filter strips, amended soils, swales, trees, permeable pavements	• Allows the user to select a runoff reduction goal and select the combination of GI practices that provides the optimum runoff reduction in a cost-effective way
6. CNT Green Values Stormwater Management Calculator	(Kennedy et al. 2008; Wise et al. 2010; Jaffe et al. 2010)	Roof drains, rain gardens, permeable pavements, trees, porous pavements, drainage swales	• Tool which helps to get an approximation of financial and hydrologic conditions for a user-defined site
7. Chicago Department of Environment Stormwater Ordinance Compliance Calculator	(Emanuel and Powers 2014)	Green roofs, planter boxes, rain gardens, native vegetation, vegetated filter strips, swales, trees	• Used to evaluate the opportunities of GI with regard to the guidelines of Chicago's stormwater management ordinance
8. EPA Stormwater Management Model (SWMM)	(Huber 1995; Tsihrintzis and Hamid 1998; Huber 2001; Khader and Montalto 2008; Rossman 2010)	Bioretention, infiltration trenches, porous pavement, rain barrels, vegetative swales, green roofs, street planters, amended soils	• Planning, analysis, and design related to stormwater runoff, combined sewer overflows, and drainage systems • Complex model with variety of features • One of the most popular software among catchment modelers
9. Delaware Urban Runoff Management Model (DURMM)	(Lucas 2004, 2005)	Filter strips, bioretention swales, bioretention, infiltration swales	• Spreadsheet tool to assist GI design
10. Stormwater Investment Strategy Evaluator (StormWISE) Model	(McGarity 2006, 2010, 2011)	riparian buffers, filter strips, wetland/rain garden, bioretention/infiltration pits, rain barrel/cisterns, land restoration by impervious surface removal, permeable pavements, green roofs	• Studies on GI projects based on pollutant load reduction and cost benefits

Table 1 (continued)

Modeling tools	References and case studies	Supported GI practices	Comments
11. Program for predicting polluting particle passage through pits, puddles, and ponds (P8 Urban Catchment Model)	(Elliott and Trowsdale 2007; Obeid 2005)	Detention tanks, ponds, wetlands, infiltration trenches, swales, buffer strips	• Model the generation and transportation of pollutants through urban runoff and the effectiveness of GI for improving the water quality
12. Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)	(Tang et al. 2005; Bhaduri 1998; Bhaduri et al. 2001; Engel et al. 2003)	Bioretention/rain gardens, grass swale, open wooded space, permeable pavement, rain barrel/cisterns, green roof.	• Consists of calculations for stormwater runoff and pollutant loading
13. GI Valuation Tool Kit	(GiVAN 2010)	Green cover	• Evaluate the dollar value of environmental and social benefit of GI
14. EPA System for Urban Stormwater Treatment Analysis and Integration (SUSTAIN)	(Lai et al. 2006, 2007, 2009, 2010; Shoemaker et al. 2013)	Bioretention, cisterns, constructed wetlands, dry ponds, grassed swales, green roofs, infiltration basins, infiltration trenches, permeable pavements, rain barrels, sand filters (surface and nonsurface),vegetated filter strips, wet ponds	• Implementation planning for flow and pollution control • Selects the most cost-effective solution in stormwater quality and quantity management
15. RECARGA	(Dietz 2007; Atchison et al. 2006)	Bioretention, rain garden, infiltration	• Performance evaluation of bioretention rain garden and infiltration practices
16. Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization (MUSIC)	(Wong et al. 2002, 2006; Deletic and Fletcher 2004; Dotto et al. 2011)	Bioretention systems, infiltration systems, media filtration systems, gross pollutant traps, buffer strips, vegetated swales, ponds, sedimentation basins, rainwater tanks, wetlands, detention basins.	• Assists in decision making of GI selection for stormwater management in urban development
17. Low-Impact Development Rapid Assessment (LIDRA)	(Montalto et al. 2007; Behr and Montalto 2008; Yu et al. 2010)	Green cover	• Evaluates the effectiveness of green space in reducing stormwater runoff
18. WinSLAMM (Source Loading and Management Model for Windows)	(Pitt and Voorhees 2002)	Infiltration/biofiltration basins, street cleaning, wet detention ponds, grass swales, filter strips, permeable pavement	• Evaluates how effective the GI practices in reducing runoff and pollutant loadings • The cost effectiveness of practices and their sizing requirements can also be modeled
19. Street Tree Resource i-Tree i- Tree Streets /Analysis Tool for Urban Forest Managers (STRATUM)	(McPherson et al. 2005; Soares et al. 2011)	Street trees	• Assessment of the street trees in terms of current benefits, costs, and management needs
20. i-Tree Hydro	(Kimbauer et al. 2013)	Trees, green cover	• Simulate the effect of trees and green cover on water quality

Table 2 Reviewed modeling tools

Modeling tools	Owner	Availability	Intended uses in GI modeling	Reference
1. RECARGA	University of Wisconsin-Madison, water resources group	Freely available to download http://dnr.wi.gov/topic/stormwater/standards/recarga.html	To design and understand performances of bioretention, infiltration basins, and rain gardens	(Atchison and Severson 2004)
2. Program for Predicting Polluting Particle Passage through Pits, Puddles, and Ponds (P8 Urban Catchment Model)	William W. Walker, Jr., Ph.D., Environmental Engineer, Massachusetts	Freely available to download http://www.wwwalker.net/p8/	To predict the generation and transportation of pollutants in urban runoff and design GI to achieve total suspended solids reduction	(Walker 1990)
3. EPA Stormwater Management Model (SWMM)	United States Environmental Protection Agency	Freely available to download http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/	To plan, design, and analyze the performances of different GI in runoff quality improvement and quantity reduction	(Huber et al. 1988; Rossman 2010)
4. Water Environment Research Foundation (WERF) BMP and LID whole life cycle cost modeling tools	Water Environment Research Foundation, Alexandria	Freely available to download http://www.werf.org/i/a/Ka/Search/ResearchProfile.aspx?ReportId=SW2R08	To evaluate whole life cycle cost for GI practices	(Water Environment Research Foundation 2009)
5. The Green Infrastructure Valuation Toolkit	Natural Economy North West UK	Freely available to download http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/html/index.php?page=projects&GreenInfrastructureValuationToolkit=true	To evaluate the environmental and economic benefit of GI in monetary terms	(Natural Economy Northwest 2010)
6. Centre for Neighborhood Technology (CNT) Green Values National Stormwater Management Calculator	Center For Neighborhood Technology, Chicago	Free online assessment tool http://greenvalues.cnt.org/national/calculator.php	To compare GI cost, performance, and benefits	(Center for Neighborhood Technology 2009)
7. EPA System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration Model (SUSTAIN)	United States Environmental Protection Agency	Freely available to download http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/sustain/	To develop implementation plans for flow and pollution control and evaluate cost effectiveness of GI	(Lai et al. 2007)
8. Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization (MUSIC)	eWater, Australia	Proprietary software http://www.ewater.com.au/products/ewater-toolkit/urban-tools/music/	To evaluate GI practices in order to achieve stormwater quantity reduction, quality improvement, and cost effectiveness	(Wong et al. 2002)
9. Low-Impact Development Rapid Assessment (LIDRA)	eDesign Dynamics, New York	Open Source Web-Based tool http://www.lidratool.org/database/database.aspx	To study runoff cost reductions with GI	(Yu et al. 2010)
10. Source Loading and Management Model for Windows (WinSLAMM)	PV and Associates, USA	Proprietary software http://winslamm.com/winslamm_updates.html	To study the quality of urban runoff and the role of GI in runoff quality improvement	(Pitt and Voorhees 2004)

Quelle expérience avez-vous de ces logiciels?

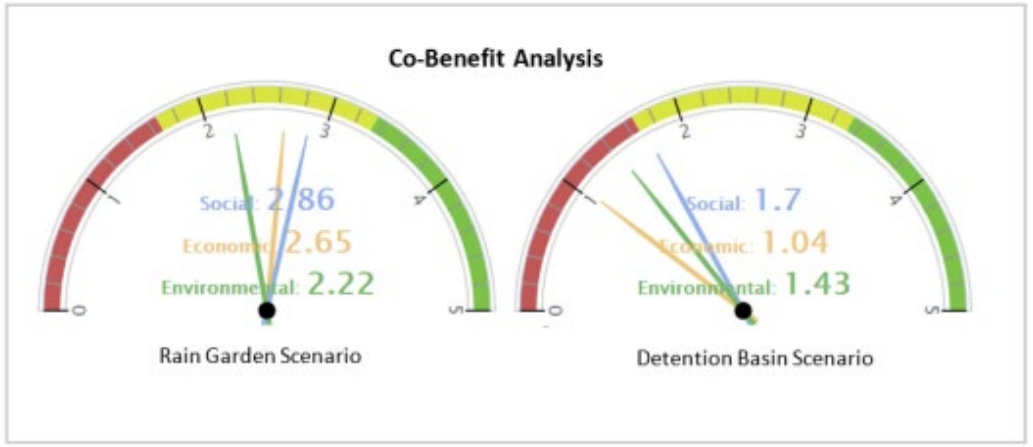
Cas 2 – Les jardins de pluie de Carmel (IN)

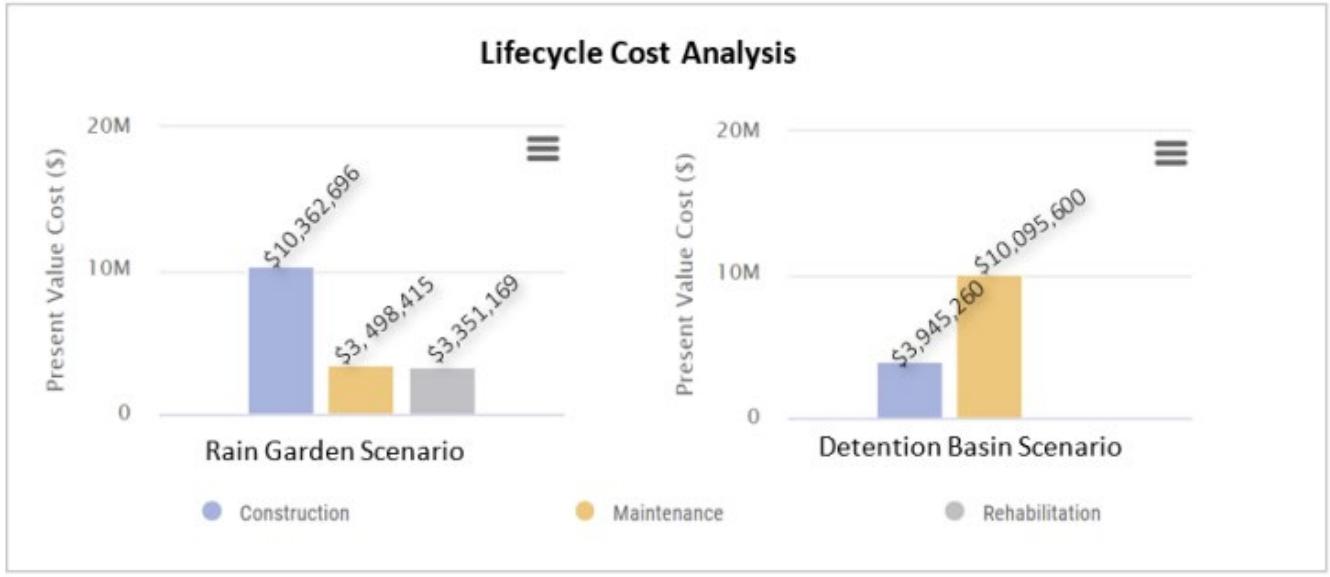
Carmel
Indiana

CLASIC Case Studies showcase the variety of ways that the online tool can assist communities with stormwater project planning and decision-making.

CASE STUDY HIGHLIGHTS

- Subunits (block, block group or tract) allow users to select different technology scenarios for each subunit.
- Co-benefits can be selected and ranked to target results to community goals and objectives.
- Performance and cost targets can be set. Output results will indicate when scenarios do not meet targets.





Tools

- EPA: https://clasic.erams.com/docs/?token=21kSzrXDLF

CLASIC will enable users to

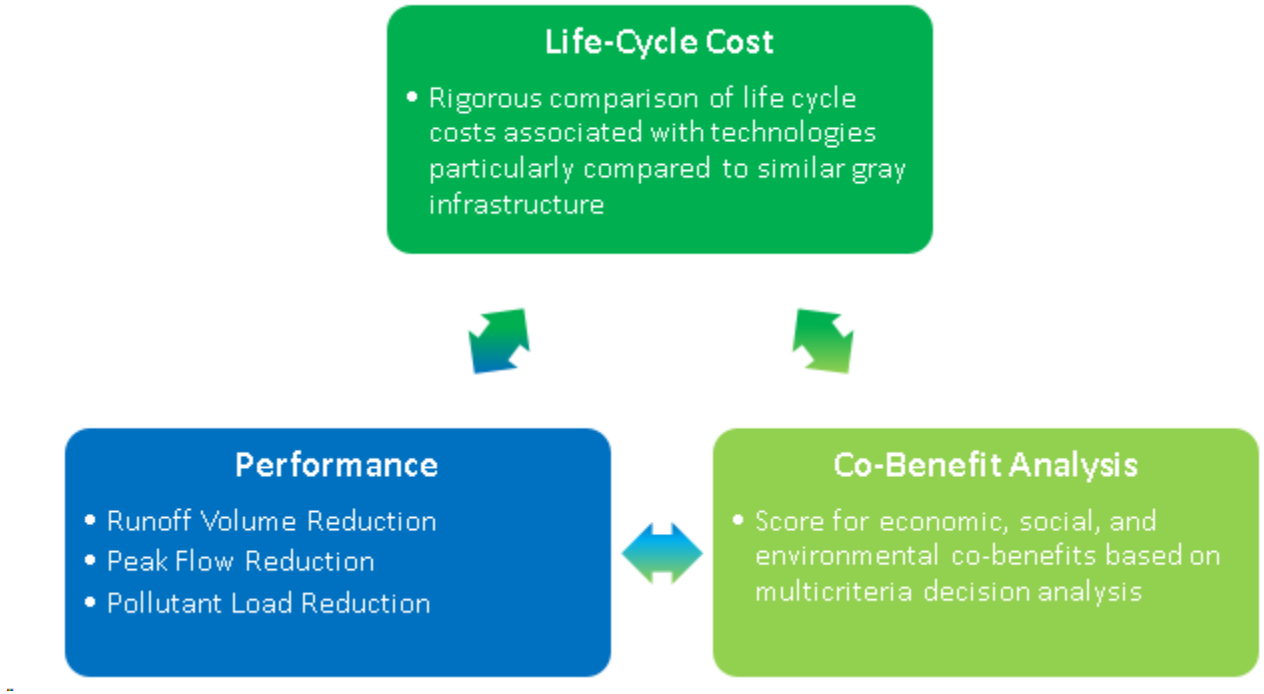
- Assess scenarios of stormwater infrastructure via functional unit analysis for robust decision making based on preferences to evaluate:
  - Regulatory compliance
  - Runoff volume reduction
  - Water quality
  - Social and environmental benefits
  - Lifecycle cost
- Couple financial decision with holistic consideration of benefits (primary and secondary)
- Conduct analysis from neighborhood to watershed scale

Analyses not included in CLASIC

- Site specific design of stormwater infrastructure
- Comparison of spatial distribution of infrastructure within sub-unit or subcatchment
- Algorithms for optimization of design

Tool: CLASIC (EPA)

- Outputs:



CLASIC

Co-Benefit Indicators

A few co-benefits are preselected; however, each co-benefit can be selected or unselected, and given a low, medium or high level of importance. In this case study, along with the preselected co-benefits, combined sewer treatment was selected, and the importance of property value and public awareness of stormwater and water systems were increased in importance to medium and high, respectively.

Co-Benefit Indicators: Each indicator can be selected, un-selected and ranked (low, medium or high importance) depending on the goals and values in your community.

Economic Indicators

- Property Values
- Costs from Illness
- Avoided Cost from Combined Sewer Treatment
- Potential Impacts from Nuisance Floods
- Building Energy Efficiency
- Avoided Water Treatment
- Employment Opportunity

Social Indicators

- Health Impacts from Air Quality
- Mental Health
- Thermal Comfort
- Increased Supply from Harvested Stormwater
- Public Awareness of Stormwater and Water Systems
- Potential Avoided Social Strain Associated with Nuisance Flooding

Environmental Indicators

- Ecosystem Services
- Groundwater Flow Increase
- Carbon Sequestration

3. Favoriser un changement de culture

Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société
Université Laval
COLLOQUE ANNUEL

Défis pour favoriser l'acceptation de la gestion de l'eau de surface

- Défis techniques et physiques
  - Lacunes dans la standardisation et le soutien technique pour chaque région.
  - Peu de données sur la performance des aménagements (données hydrologiques, de sols, de climat pour l'évaluation de la faisabilité).
  - Absence de terrains disponibles pour l'aménagement de bassins et de milieux humides dans certains secteurs ou impopularité.
  - Rareté et coût élevé de la main-d'œuvre spécialisée (architectes, ingénieurs hydrauliques, hydrogéologues, architectes paysagés, aménagistes, etc.).

Li et al. 2019; Nguyen et al. 2019

Défis pour favoriser l'acceptation de la gestion de l'eau de surface

- Défis financiers
  - Nécessite d'investissements importants; données sur le coûts d'entretien et d'opération sont limitées.
  - Valeurs foncières élevées.
  - Les collectivités (arrondissements, municipalités, etc.) peuvent ne pas souhaiter investir leurs ressources dans le projet.
- Défis légaux et règlementaires
  - Absence d'intégration entre les politiques relatives à la gestion du foncier et de l'eau.
  - Responsabilités fragmentées entre différentes entités de gouvernance.
  - Cibles ambitieuses peu appuyées par des données.

Li et al. 2019; Nguyen et al. 2019

Défis pour favoriser l'acceptation de la gestion de l'eau de surface

- Manque de connaissance au sein du public sur l'importance de la gestion des eaux de pluie.
- Mesures de communication des autorités inefficaces.
- Résistance au changement, faible participation citoyenne, faible appui des autorités gouvernementales.

Li et al. 2019; Nguyen et al. 2019

Favoriser un changement de culture au sein des municipalités

- Alors que la gestion « traditionnelle » des eaux pluviales se préoccupe surtout de la quantité d'eau de ruissellement à évacuer de la ville, la gestion durable des eaux de pluie s'attarde également à la qualité des eaux de ruissellement, à l'érosion des milieux récepteurs et à la régénération des nappes d'eau souterraine.
- Traditionnellement, l'eau de surface dans les villes était vu comme quelque chose qui fait perdre de la valeur, qui fait pourrir les biens, qui nuit à la mobilité, etc.

Favoriser un changement de culture au sein des municipalités

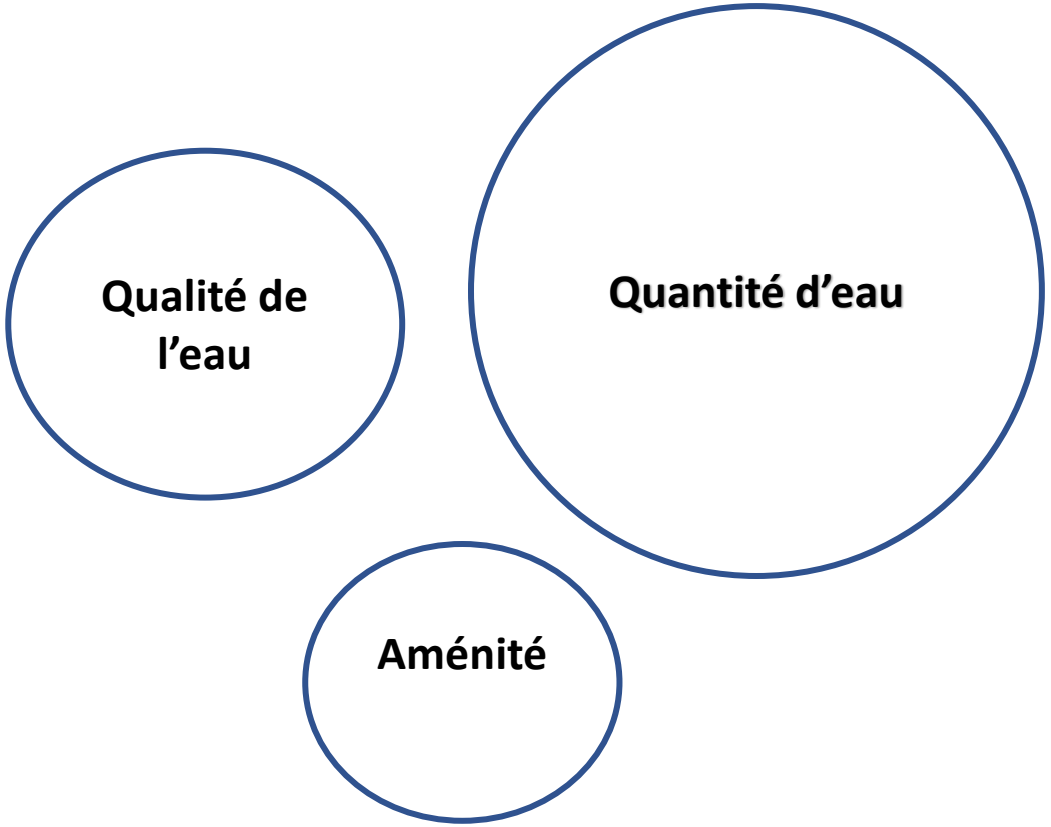
- Viser un changement de culture au sein des acteurs municipaux
  - Gérer l'eau en surface autant que possible et renoncer à faire disparaître l'eau rapidement par des systèmes d'égouts.
  - Renoncer à la volonté d'assurer un contrôle serré de la gestion de l'écoulement de l'eau, mais assurer la résilience de l'ensemble du système.
  - Passer d'une approche où l'eau de pluie est perçue comme un risque à une approche où l'eau de pluie devient une ressource.

Favoriser un changement de culture au sein des municipalités

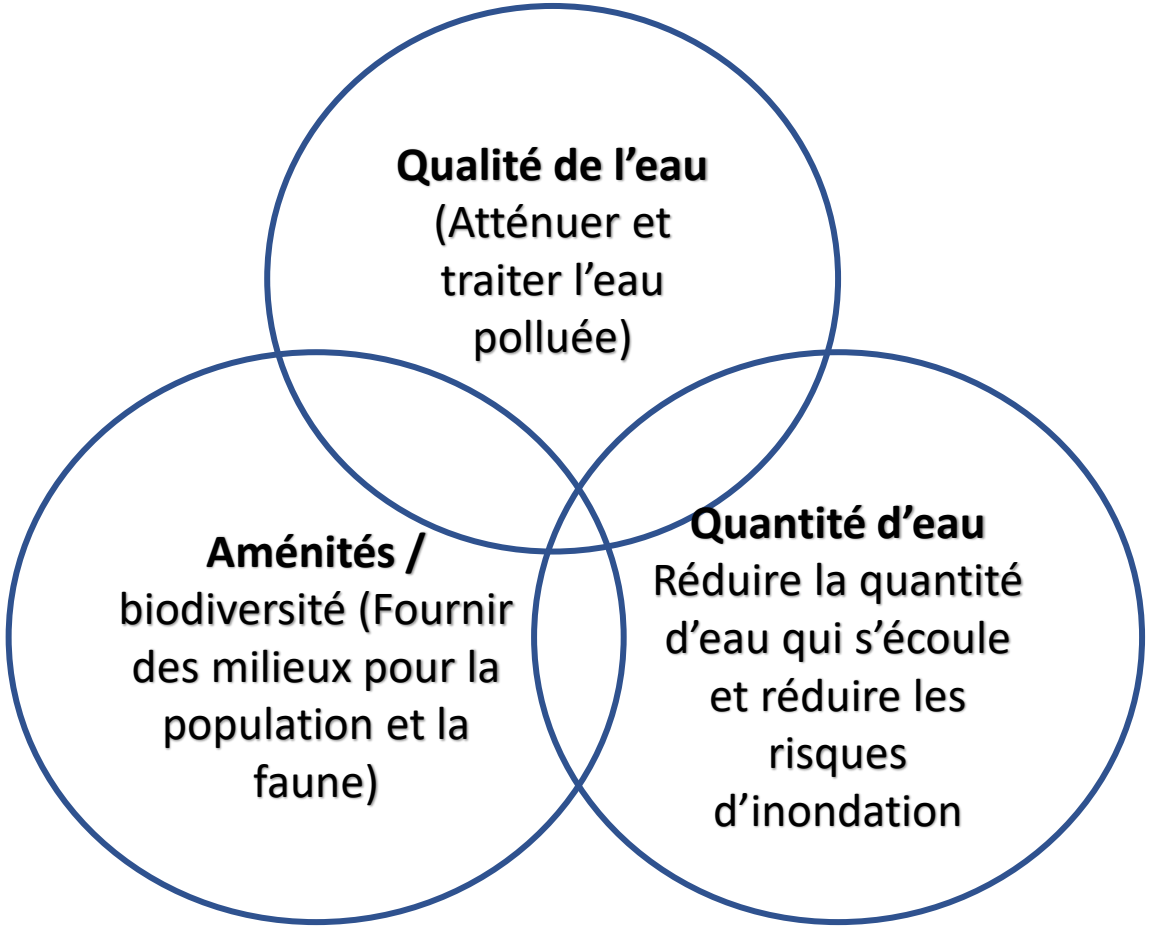
- Changement dans les formes de collaboration, le partage du savoir.
  - Les ingénieurs et hydrologues sont appelés à travailler en étroite collaboration avec les architectes du paysages et aménagistes.
  - Les municipalités sont appelées à jouer de nouveaux rôles, à assumer de nouvelles responsabilités relatives à l'écoulement de l'eau.

- Considérer les réalités de la gestion des eaux de surface
  - Pollution liée à la circulation automobile et notamment aux déjections d'oiseaux
  - L'eau de pluie qui ruisselle en surface peut-elle être acheminée vers des lacs ou réservoirs, ou est-ce que cela pose des enjeux de santé ou de qualité environnementale ?

Système conventionnel



Système durable



Nguyen 2019

Les principes à intégrer dans l'aménagement urbain

Augmenter l'infiltration des eaux de ruissellement à proximité des sites où elles sont produites ;

Préserver la qualité de l'eau des milieux récepteurs (rivières, ruisseaux, lacs) en favorisant la filtration naturelle des eaux de ruissellement et en réduisant les effets de l'érosion des berges ;

Rationaliser les investissements en infrastructures par une allocation des ressources qui valorise la multifonctionnalité des espaces.

Favoriser un changement de culture au sein des municipalités

- Reconceptualiser l'eau de surface, l'eau de pluie comme une ressource à utiliser et mettre en valeur.
  - La gestion de l'eau de pluie en surface devient alors une ressource pour le verdissement urbain.
  - Une ressource pour améliorer l'esthétisme de la ville, attirer les touristes, favoriser les activités de pêche récréative.
  - Création de nouveaux réseaux professionnels et discussion entre les corps de métiers sur les paramètres les plus importants à considérer, (p. ex. l'intégration de la biodiversité, les activités récréatives, etc.)

Favoriser un changement de culture au sein des particuliers

- Des politiques qui intègrent les coûts de l'apprentissage est une avenue beaucoup plus efficace pour la gestion intégrée de l'eau.
  - Le bon usage des techniques et technologies de gestion de l'eau n'est pas acquise par l'ensemble des citoyens
- Favoriser une implication maximale des citoyens
  - Si la collecte de l'eau de pluie est considérée uniquement comme une technologie de substitution dans un système conventionnel de gestion souterraine des eaux de pluie , la possibilité de modifier les comportements est amoindrie.

Gabe et al. 2012

P

Favoriser un changement de culture au sein des particuliers

- Le défi de l'adoption à grande échelle des techniques et technologie de gestion des eaux de pluie:
  - Les administrations municipales font la promotion de la collecte ou de la gestion de l'eau de pluie à l'échelle des propriétés privées
  - En général les coûts et les efforts d'entretien sont sous-estimés par les ménages.
- Des perceptions constituent toujours un frein à l'utilisation de l'eau de pluie pour des usages requérant une eau non-potable
  - Surmonter les conceptions que l'eau de pluie est sale et qu'elle est impropre à certains usages.
  - Composer avec la relative complexité de ces techniques et le temps d'entretien demandé

Gabe et al. 2012

L’utilisation d’un réservoir d’eau de pluie

Coûts liés à un réservoir d’eau de pluie	Bénéfices liés à n réservoir d’eau de pluie
Coût financier net	Bénéfice financier net
Utilisation inefficace de l’espace (coût d’opportunité)	Contrôle et liberté d’usage
Coûts en temps	Avantage intergénérationnel
Consommation d’énergie (pompage)	Amélioration des valeurs environnementales
Changement de comportements	Assurance contre manque d’eau
Qualité de l’eau	Qualité de l’eau
Processus d’apprentissage	Processus d’apprentissage

Gabe et al. 2012

Selon vous, où en sommes-nous dans ce changement de culture ?

4. Enjeux de gouvernance

Les outils disponibles au Québec

- Les municipalités disposent de nombreux outils de planification
  - Le Règlement de zonage : Coefficient d'occupation du sol selon les secteurs d'un bassin versant; Espaces libres entre les constructions; Obligations de végétalisation.
  - Le Règlement de lotissement : Largeur des rues; Superficie des lots de sorte que le ruissellement des eaux de pluie soit pris en compte.
  - Le Règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale : Prévoir des critères relatifs à l'écoulement des eaux et à la protection des caractéristiques naturelles du site et de la végétation.

Les outils disponibles au Québec

- Les règlements issus de pouvoirs attribués par la Loi sur les compétences municipales accorde des pouvoirs généraux dans le domaine de l'environnement
  - Plus précisément en matière d'alimentation en eau, égout et assainissement des eaux (LCM, art. 4, 21 à 28). Sur la base de ces pouvoirs, une municipalité a une grande latitude pour définir des mécanismes de gestion des eaux de ruissellement.
  - Elle peut, par exemple, interdire le rejet des eaux de gouttières dans son réseau d'égout pluvial ou limiter le débit maximal des eaux de ruissellement rejetées.

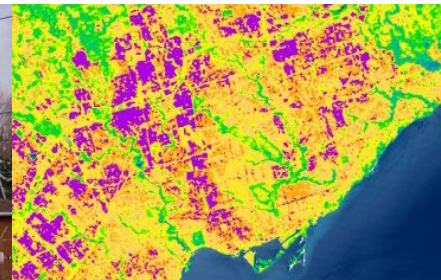
Les outils disponibles au Québec

- Le règlement sur les plans d'aménagement d'ensemble (PAE)
  - « Une municipalité peut adopter un règlement sur les PAE s'appliquant à des zones précises et pour lesquelles elle définit des objectifs et des critères encadrant la nature et les caractéristiques souhaitées pour leur développement. »
  - « Elle donne ainsi une orientation au développement du territoire et établit un cadre pour négocier avec les promoteurs la forme urbaine et la préservation de l'environnement souhaitées. »
  - « Certaines municipalités peuvent exiger un « plan de ruissellement » dans leur PAE. Ces plans de ruissellement devraient situer le projet à l'étude dans le contexte du bassin versant afin de cerner adéquatement ses impacts sur le territoire. »

Boucher (2010) MAMROT, p. 53

Questions de gouvernance

- Initiatives descendantes vs. initiatives ascendantes
- Approches réglementaires vs. approches volontaires
  - Dans quelle mesure peut-on imposer des sanctions ?
- Instruments marchands vs. programmes étatiques
  - Mesures hybrides, mécanismes marchands, règlementaires
- Diffusion de l'information vs. participation
  - Favoriser les changements de comportement, suivis



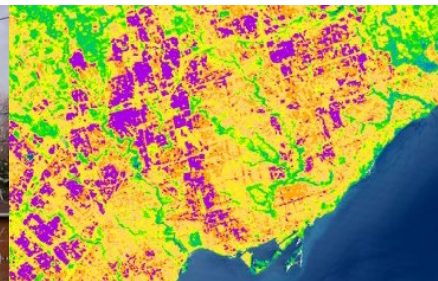
Aménager le territoire pour assurer une gestion durable des eaux de pluie

APPROCHE	Objectif	Mode d'action	Outils	Acteurs principaux
Descendante (top-down) ***Droit dur***	Règlementations, contraintes légales ou règlementaires, commandement et contrôle	Imposition d'un cadre règlementaire contraignant , punitions, pénalités, moyens coercitifs	Lois, règlements, cadre règlementaire, amandes, surveillance, objectifs stables	État, institutions étatiques, acteurs supranationaux (ex. ONU), institutions nationales
Ascendante (bottom-up) ***Droit souple***	Favoriser et encourager, mobiliser les acteurs volontairement, changement de comportements, légitimité citoyenne	Mesures incitatives, développement d'objectifs, cibles, mobilisation sociale, changement de valeurs	Objectifs évolutifs, cibles, campagnes de sensibilisation, processus, réseautage, alliances stratégiques	Société civile, entreprises, particuliers, citoyens, groupes de pression, ONG, agences de certification.

Quand la gestion des eaux de pluie est une question de politiques publiques

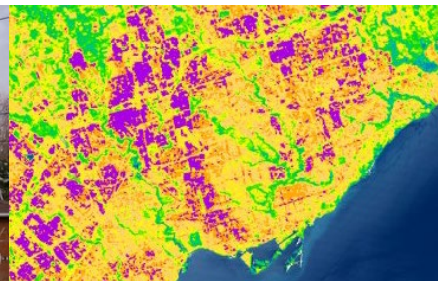
- Qui devrait être responsable pour la construction, l'opération et l'entretien des structures de gestion des eaux de pluie ?
- Quels mécanismes légaux ou règlementaires pourraient clarifier le rôle et les responsabilités des particuliers et des divers paliers de gouvernance ?
- Comment les coûts doivent-ils être répartis entre le secteur public et le secteur privé ?

Marshal 2020



Quand la gestion des eaux de pluie est une question de politiques publiques

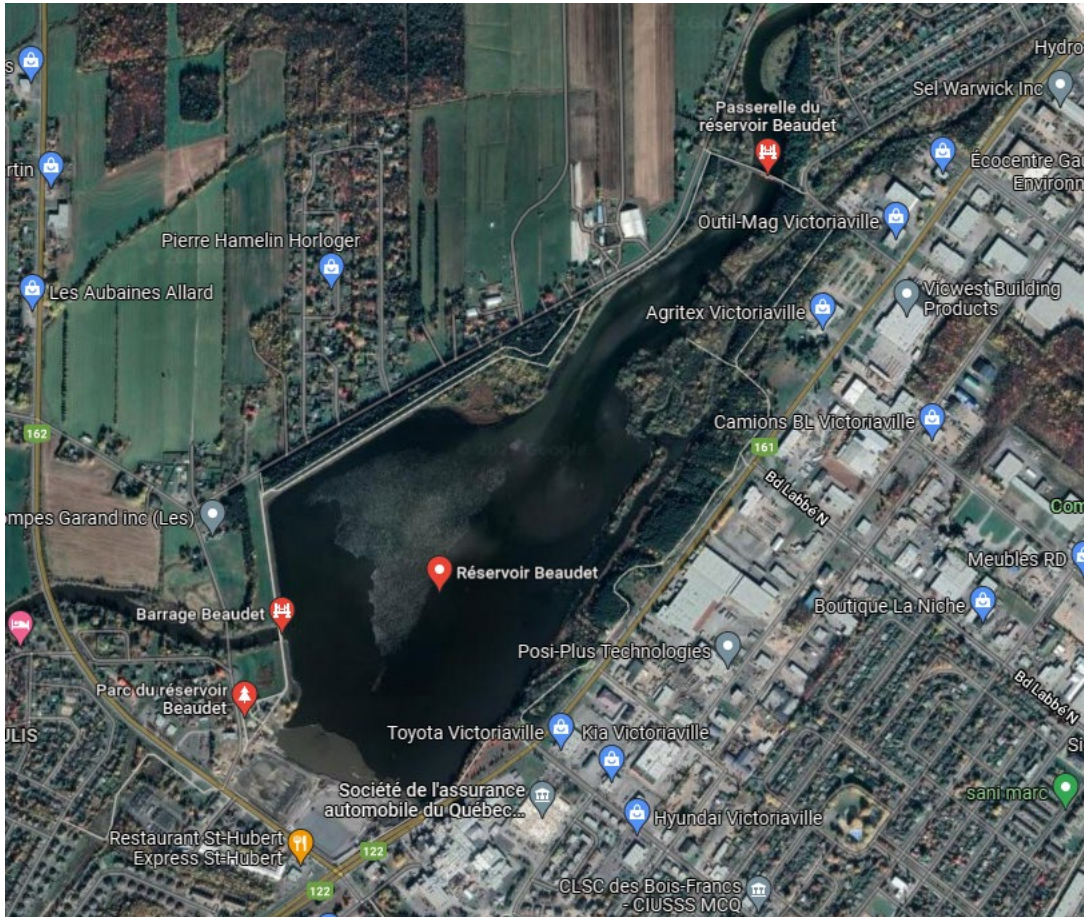
- Comment assurer des IN socialement équitables et écologiquement performantes ?
  - Assurer de maintenir ou d'améliorer l'accès aux milieux naturels
  - Assurer une bonne qualité de vie un écoulement des eaux de pluie
  - Aucun groupe ne devrait subir des impacts disproportionnés
- Mécanismes de gouvernance participative
  - Intégrer les savoirs expérientiels locaux, l'apprentissage
  - Assurer une meilleure répartition des coûts et des bénéfices



En guise de conclusion :
La question de la trajectoire sociotechnique et des arbitrages

Pourquoi les infrastructures grises l'emportent souvent

- Le réservoir Beaudet à Victoriaville
  - Construction du barrage en 1976 pour réguler l'accès à l'eau potable
  - Plan d'eau grandement apprécié par la population
  - En 2020, 45% du volume du réservoir est rempli de sédiments
  - Accumulation de 16 000m³ / an
  - Problème d'eutrophisation, urgence d'agir
  - Aménagement d'une réserve d'eau brute

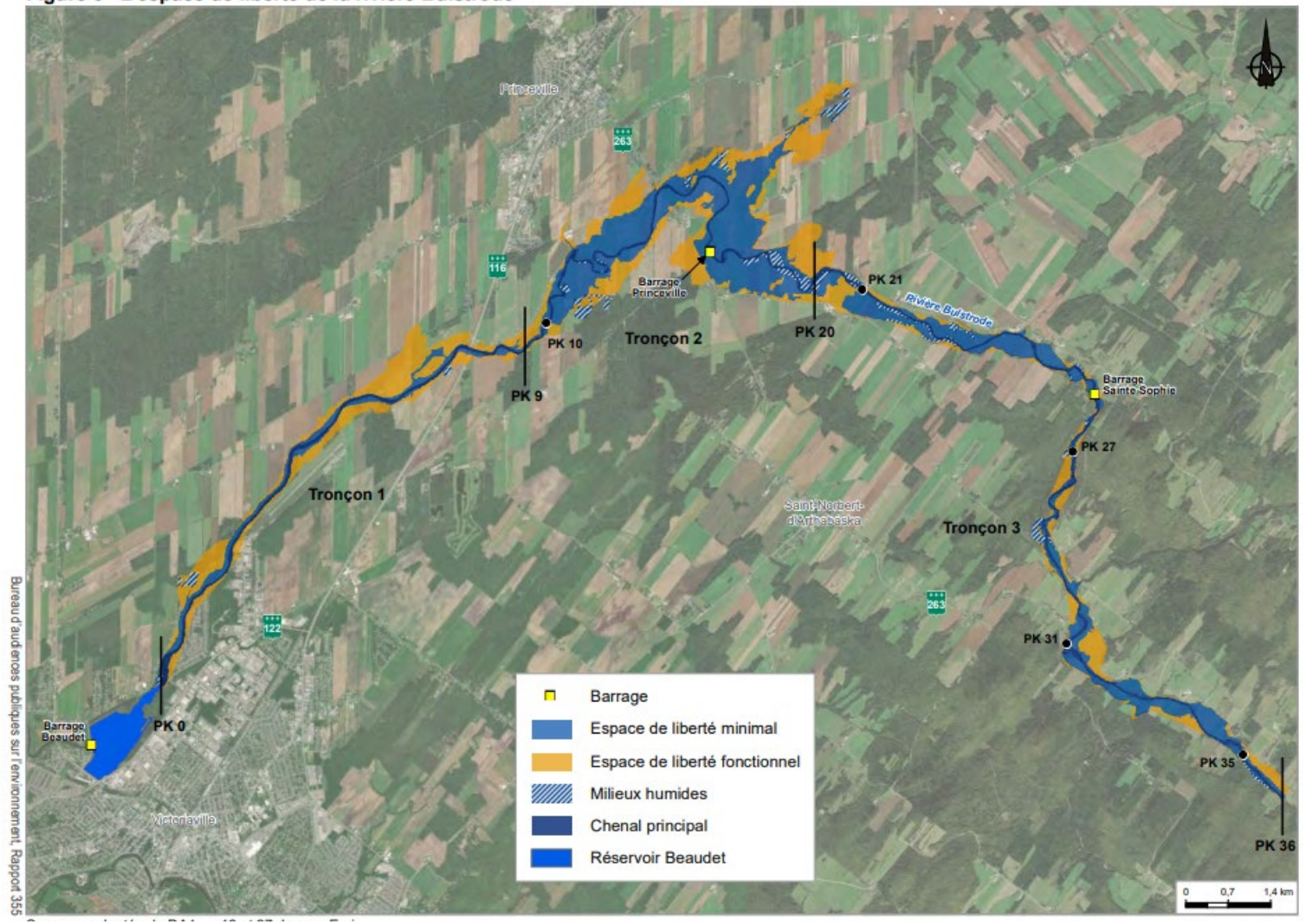


Pourquoi les infrastructures grises l'emportent souvent

- Le réservoir Beaudet à Victoriaville
  - Malgré les contrindications du BAPE, la Ville décide de draguer
  - 11 semaines de dragage par année, 35 000m³ de sédiments
  - Construction d'une usine de déshydratation des sédiments
  - Transport des sédiments déshydratés dans un site appropriés

Assurer une bonne gestion du bassin versant en amont du réservoir Beaudet

Figure 6 L'espace de liberté de la rivière Bulstrode



Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Rapport 355

Conclusion : quoi retenir

- Vivre avec les décisions du passé, faire face aux besoins immédiats, mais innover dans la planification, dans la mobilisation, la collaboration à différentes échelles territoriales.
- Il existe énormément de connaissances, de guides, d'outils règlementaires à la disposition des municipalités.
- Beaucoup d'actions sont posées par de nombreuses municipalités, mais les suivis, bilans sur les coûts et les bénéfices demeurent peu nombreux.
- Il demeure important d'assurer une planification intégrée de la gestion des eaux de pluie avec toutes les données importantes.

Conclusion : quoi retenir

- Pour comparer adéquatement les IN en GDEP, il faut quantifier les bénéfices qui leur sont propres.
- Des outils existent. Freins à leur adoption?
- Besoin de quantifier exhaustivement en sol québécois.

MERCI !

UTTONS CONTRE
ES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES
GREENPEACE
équiterre
Association
des assureurs
du Québec
CÔTÉ
18-11-11