



**CHAIRE DE RECHERCHE
DU CANADA EN PROTECTION
DES SOURCES D'EAU POTABLE**

**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**



Adaptations aux changements climatiques des infrastructures municipales



Sarah Dorner, Ph.D.



Collaborateurs

- **Michèle Prévost, Benoit Barbeau (Polytechnique Montréal)**
- **Alain Mailhot, Samuel Bolduc (INRS-ETE)**
- **Robert Leconte (Sherbrooke)**
- **Sébastien Sauvé (Université de Montréal)**
- **Laurène Autixier, Isabelle Jalliffier-Verne, Anne-Sophie Madoux-Humery (Polytechnique Montréal)**
- **Martine Galarneau (ville de Laval)**
- **Pierre Servais (Université libre de Bruxelles)**



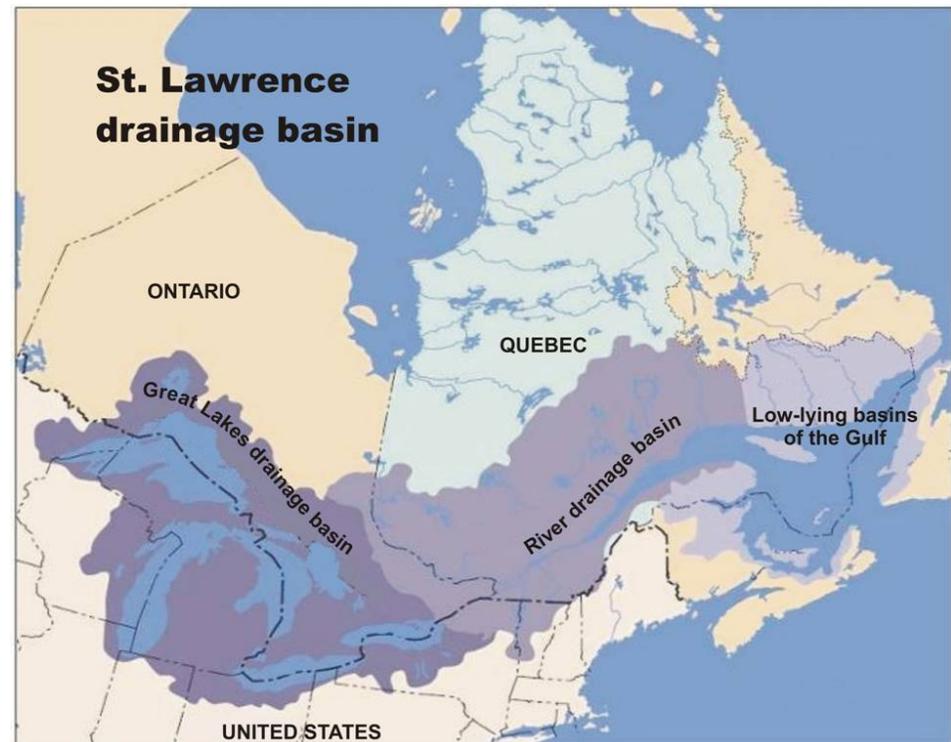
Plan de la présentation

- Mise en contexte
 - ◆ Introduction
 - ◆ Questions de recherche
- Campagne d'échantillonnage
- Modélisation et calibration
 - ◆ Débits (rivière et débordements)
 - ◆ Qualité (MES et *E. coli*)
- Adaptation aux changements climatiques
 - ◆ Modélisation de pratiques de gestion optimales
- Conclusions et perspectives



Impacts des changements climatiques sur la qualité microbiologique de l'eau

- Peu d'études quantitatives
- Une source d'approvisionnement en eau potable d'un des plus grands bassins en Amérique du Nord (> 1 million km², population > 40 millions)



Source: Environment Canada



Rejets d'eaux usées



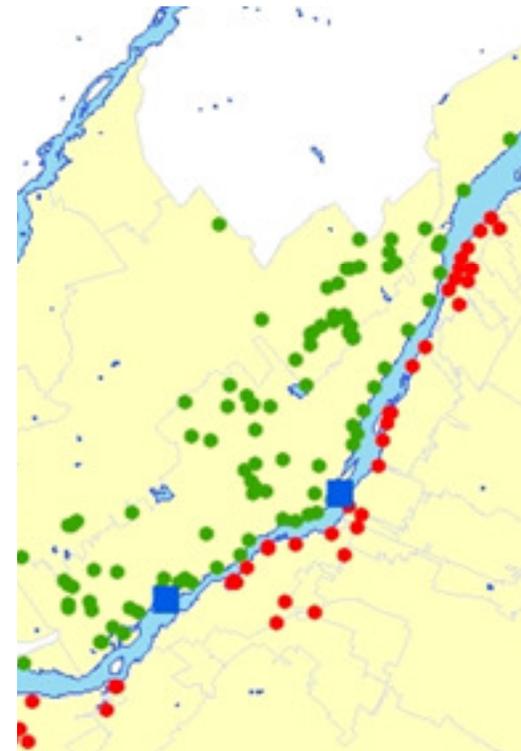
http://www.mwra.state.ma.us/03sewer/html/sew_cso.htm

- Source de contamination microbologique des prises d'eau potable
- En milieu urbain : principalement effluents de stations d'épuration, raccordements inversés et débordements d'égouts sanitaires et/ou unitaires
- **Épisodes de contamination fécale** : augmentation du risque d'épidémie d'origine hydrique



Exemple d'une rivière urbaine

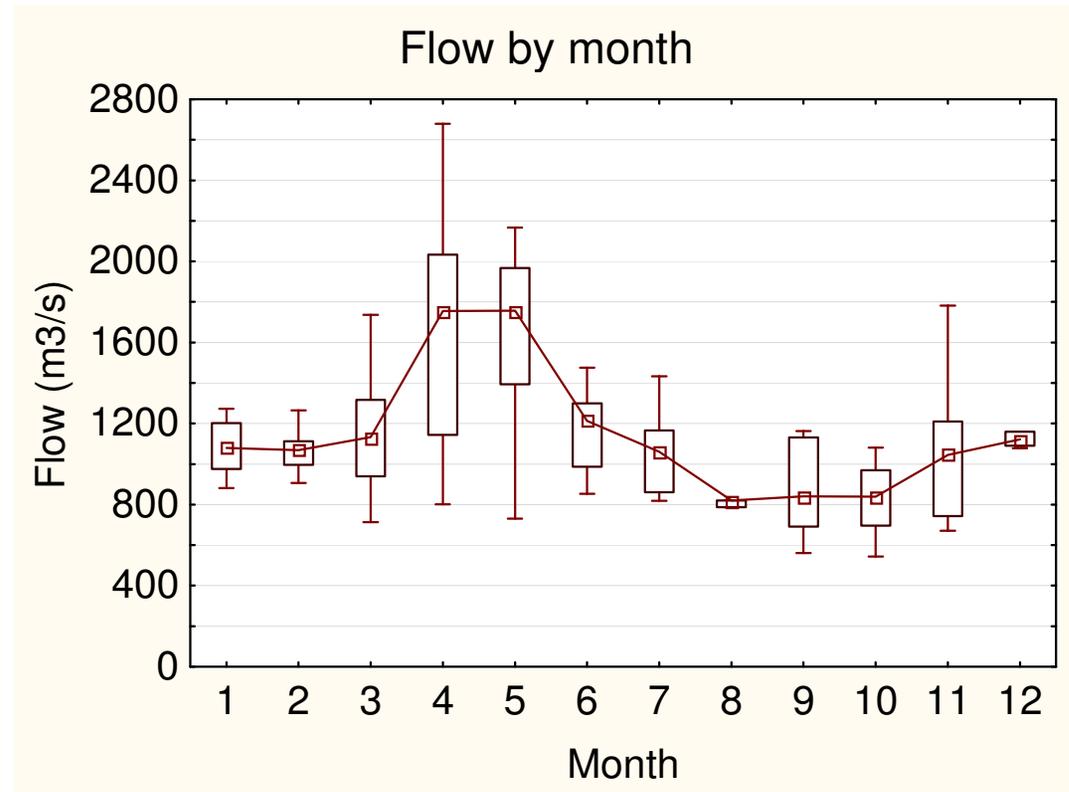
- **Rivière**
 - ♦ Distance : ~ 40 km
 - ♦ Débit moyen : 1000 m³/s (380-3600 m³/s)
- **3 prises d'eau potable**
- **Pas d'émissaire d'usines d'épuration des eaux usées**
- **Réseau d'égouts**
 - ♦ ~ 90 structures de débordements en amont des prises d'eau (pas tous actifs)





Variations hydrologiques

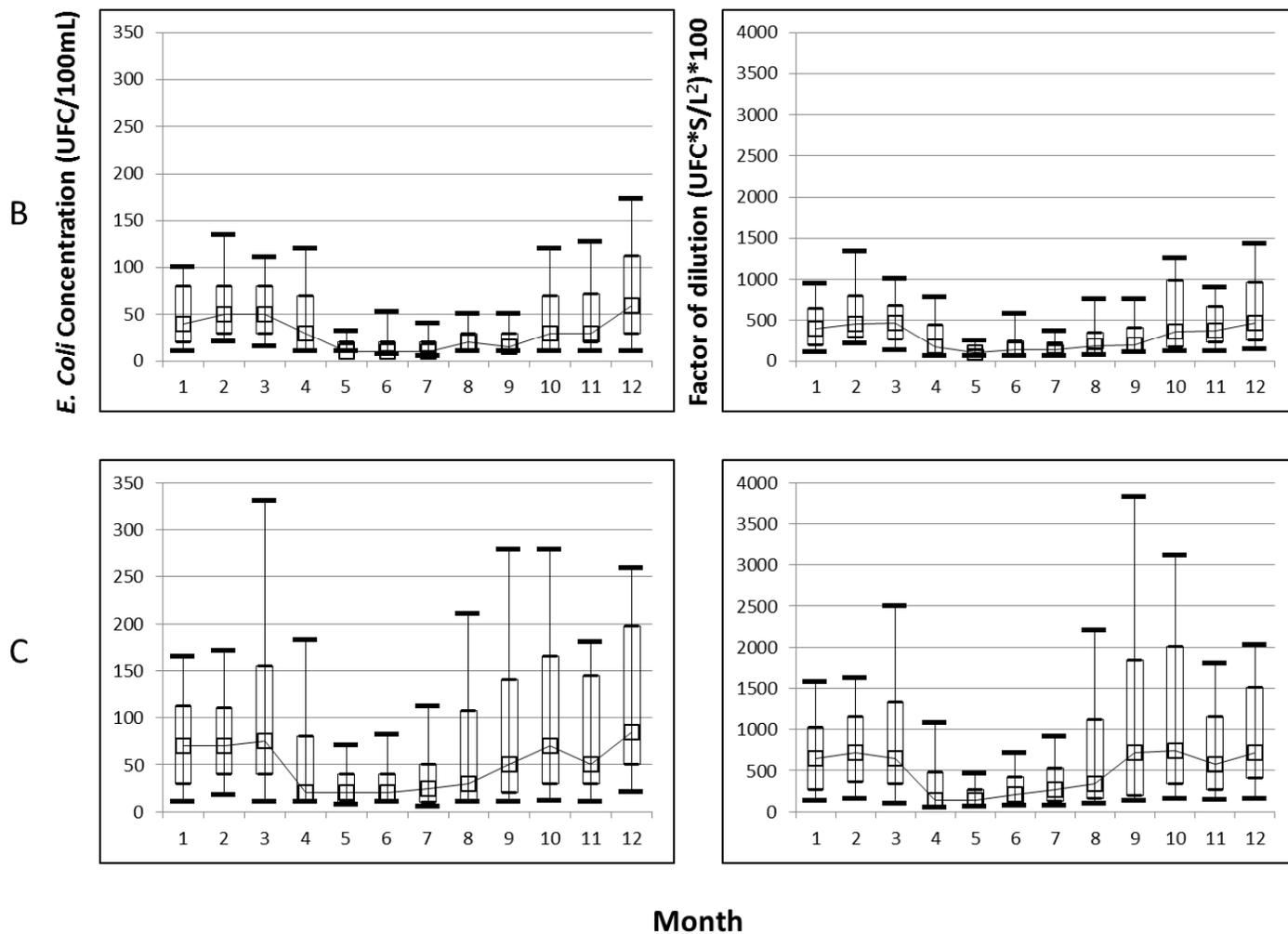
- **Mélange complexe**
- **Période de crue typiquement en avril**
- **Période d'étiage en fin d'été, début d'automne**



Jalliffier-Verne et al. 2014. *Science of the Total Environment*

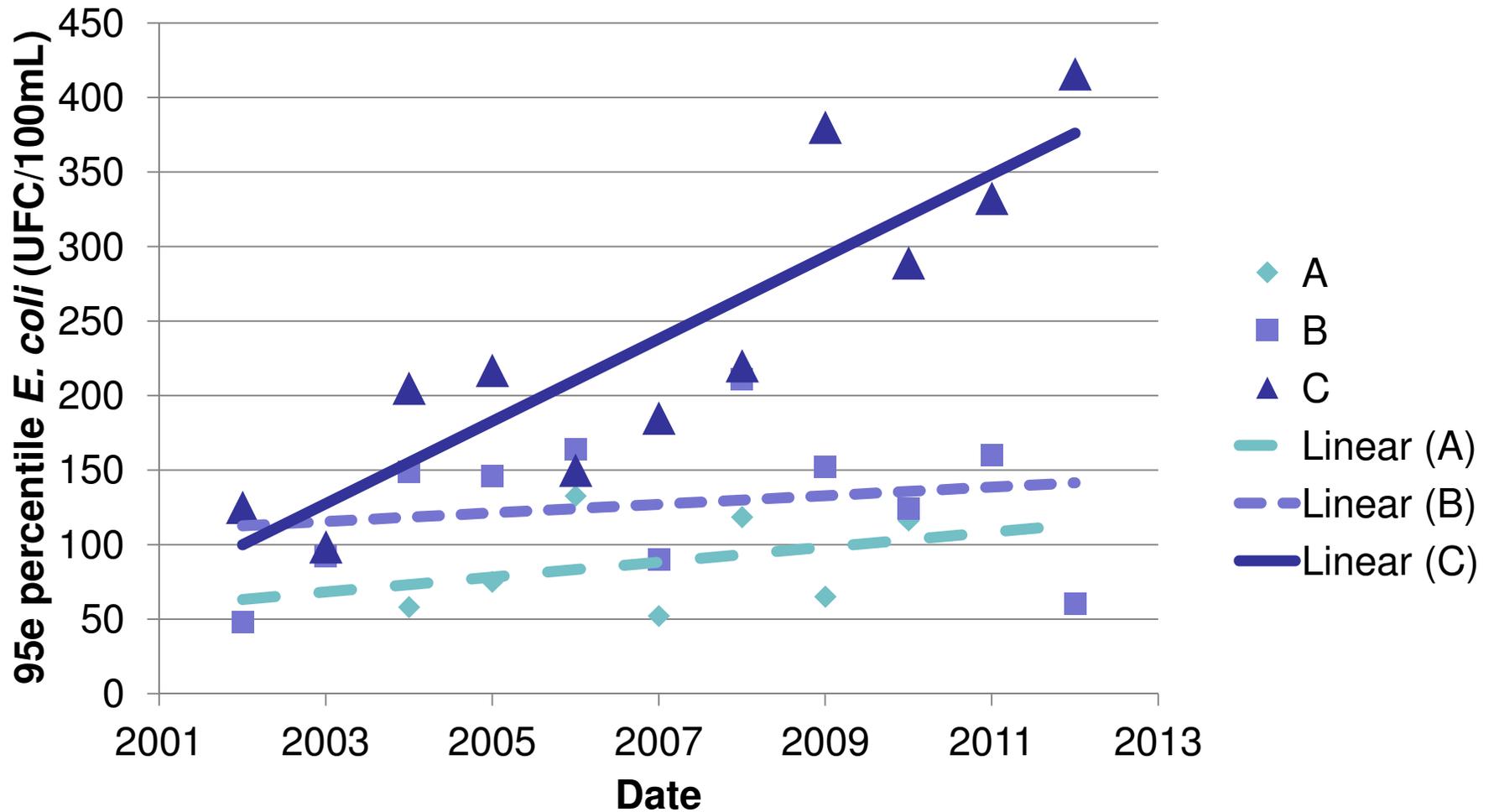


Variations de la qualité de l'eau



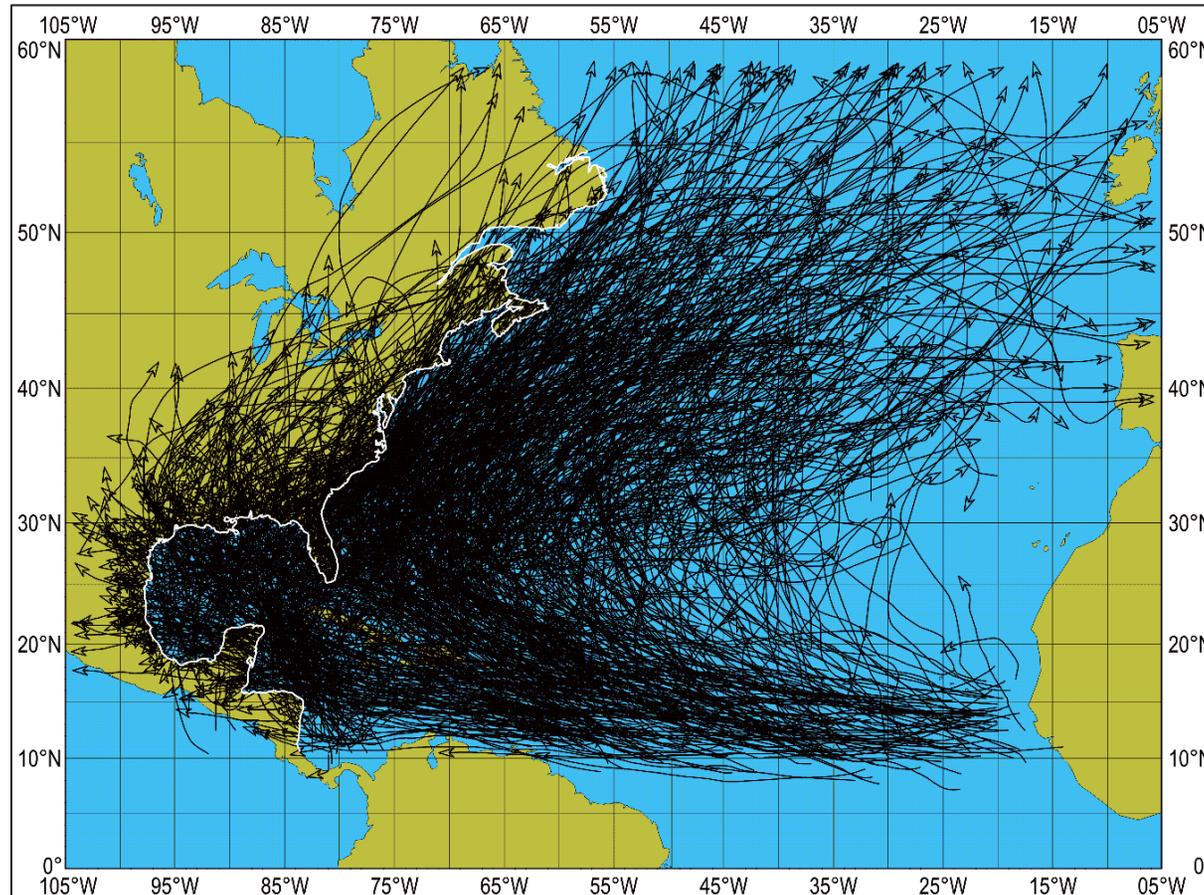


Évolution de la qualité de l'eau





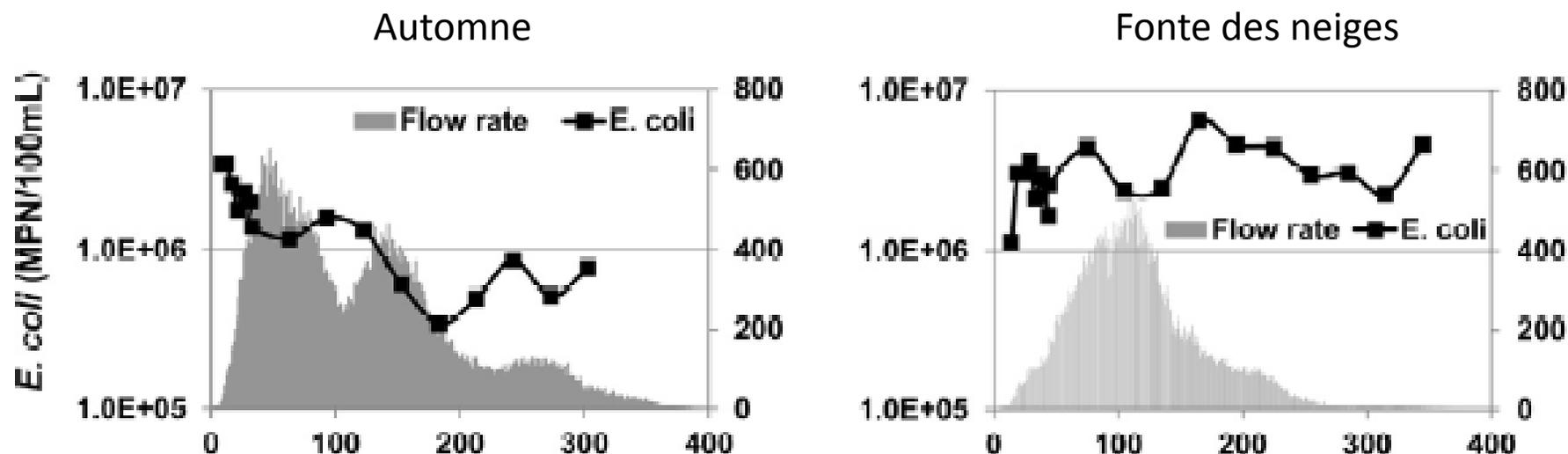
Tempêtes tropicales et ouragans



NORTH ATLANTIC TROPICAL STORMS AND HURRICANES, 1851-2004 (1325 STORMS)
NOAA



Débordements durant la fonte des neiges



Concentrations élevées mais peu de restrictions durant la fonte des neiges (Madoux-Humery et al. , 2013 *Water Research*)



Questions de recherche

- **Quels seront les impacts des changements climatiques sur la qualité microbiologique de l'eau?**
- **Avons-nous les données nécessaires pour protéger nos sources d'eau potable en climat futur?**
- **Y aura-t-il des conséquences inattendues dans nos mesures d'adaptations aux changements climatiques?**
- **Est-ce que les modèles existants sont utiles pour répondre à ces questions?**



Mise en contexte

Changements climatiques

Changements des caractéristiques des surverses/hydraulicité de la rivière

Caractérisation du risque pour les milieux récepteurs et prises d'eau potable

Évaluation des méthodes d'adaptation



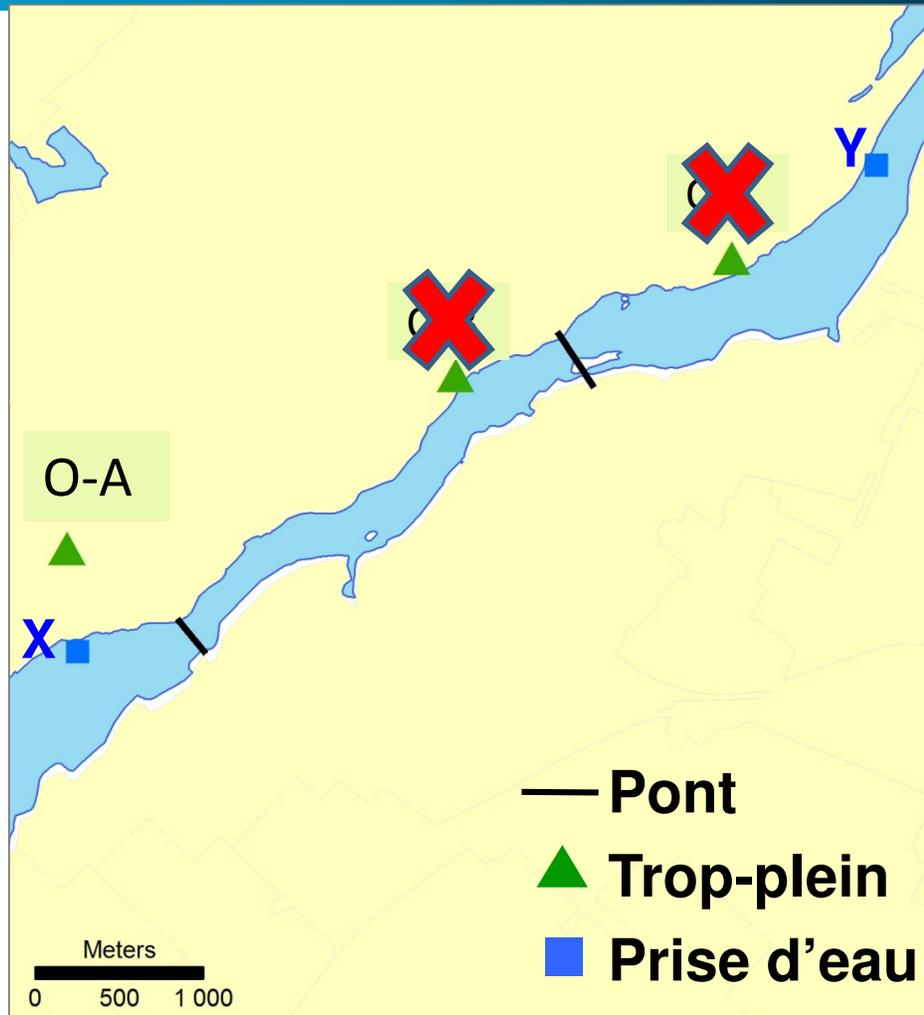
Campagne d'échantillonnage

- **Suivi en temps sec**
 - ♦ **Affluent de la station d'épuration (n=13)**
 - ♦ **Suivi sanitaire (n=9)**
- **Suivi de surverses**
 - ♦ **Échantillonnage (n=18)**
 - toutes les 5 min pendant 30 min, puis toutes les 30 min pendant 6 heures
 - ♦ **Suivi temporel de paramètres**
 - MES/MVES, azote, carbone, phosphore
 - *E. coli*
 - pharmaceutiques (caféine, carbamazépine, acétaminophène)
 - ♦ **Mesure des débits de surverse**





Campagne d'échantillonnage



Durée des surverses (min)	89 à 958
Volume des surverses (m ³)	92 à 19530
Débit moyen (L/s)	17,1 à 659
Débit maximal (L/s)	50,2 à 3485
Précipitations totales (mm)	3,4 à 39,8
Durées des précipitations (min)	132 à 1351



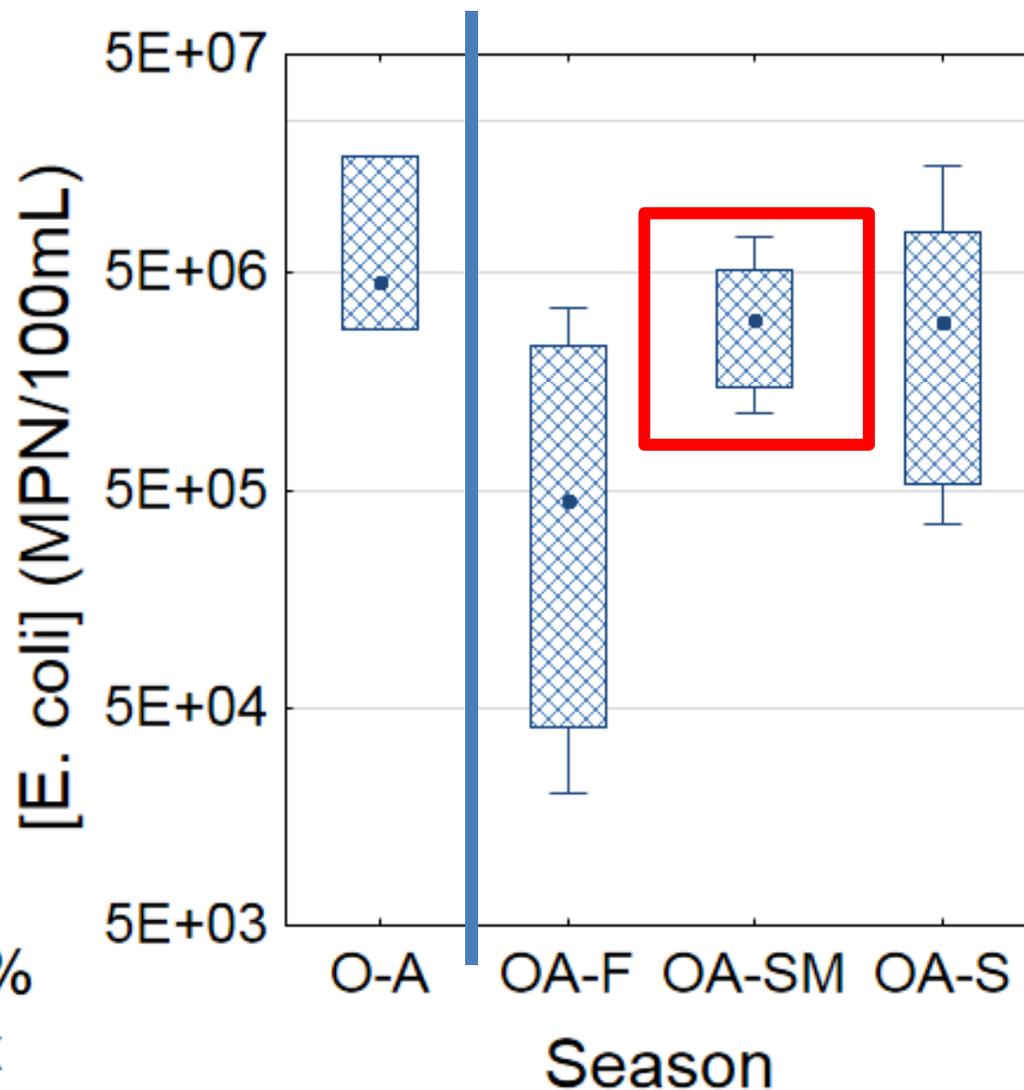
Campagne d'échantillonnage

- Égout sanitaire vs Surverses

EMC surverses : $1,7 \cdot 10^6$
E. coli/100mL

Concentrations en *E. coli*
très variables durant les
surverses

- Median
- ▨ 10%-90%
- ┆ Min-Max

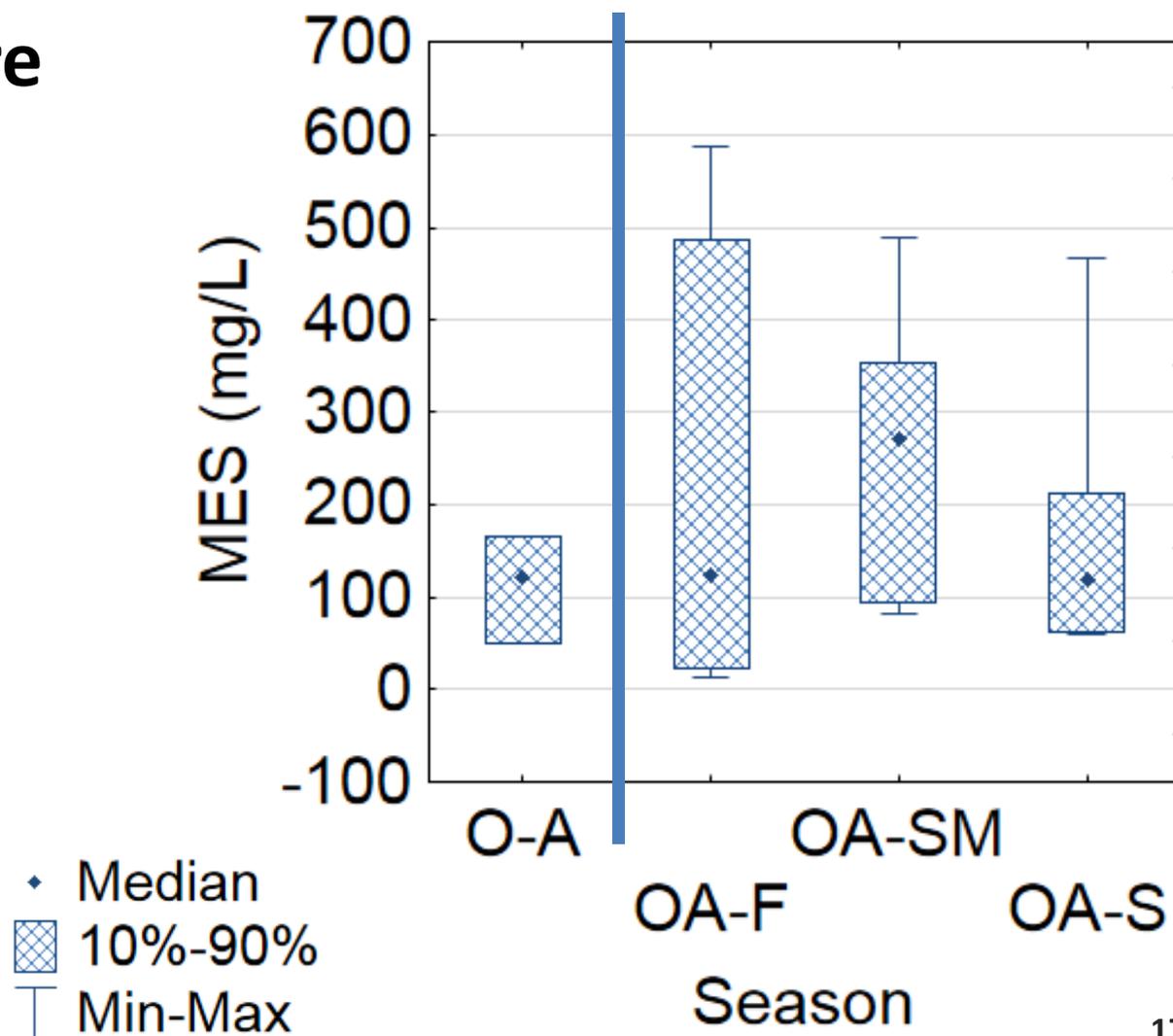




Campagne d'échantillonnage

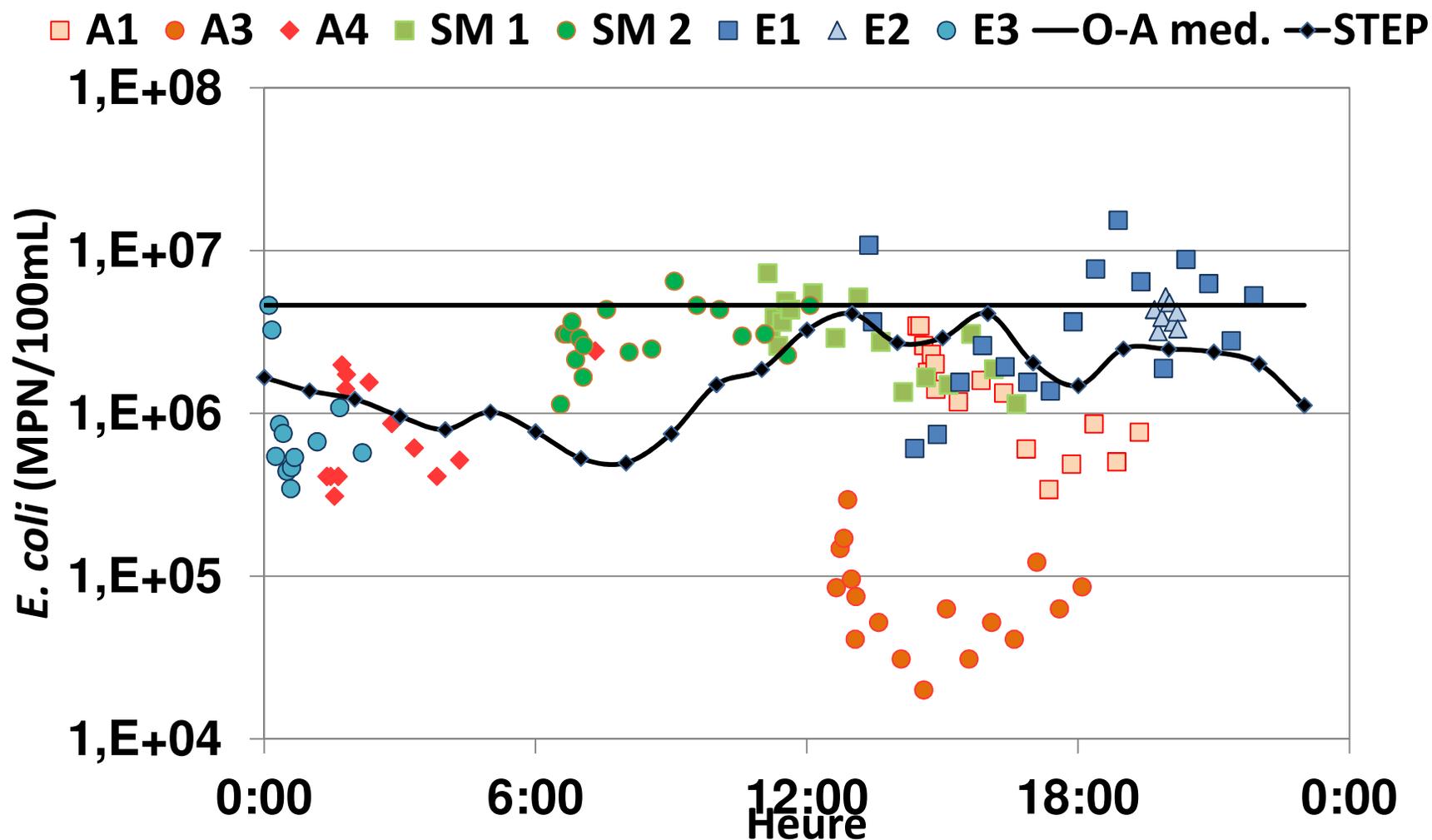
- Égout sanitaire vs Surverses

Concentrations en MES très variables durant les surverses



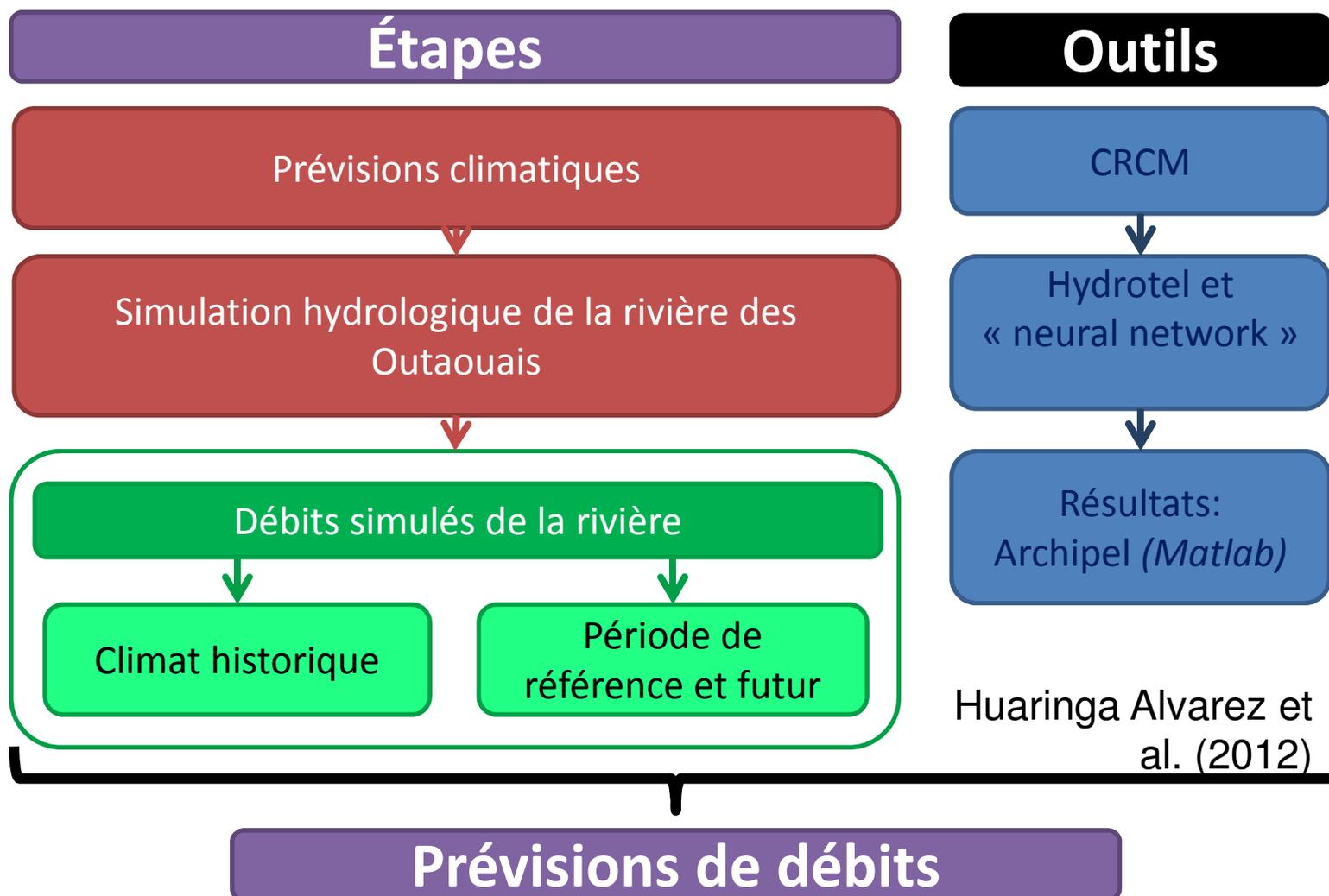


Campagne d'échantillonnage





Méthodologie – débits de rivière





Modélisation de la rivière

Données

Logiciel

Étapes

Débits

Hydrosim

Modélisation hydrodynamique

Concentrations

Dispersim

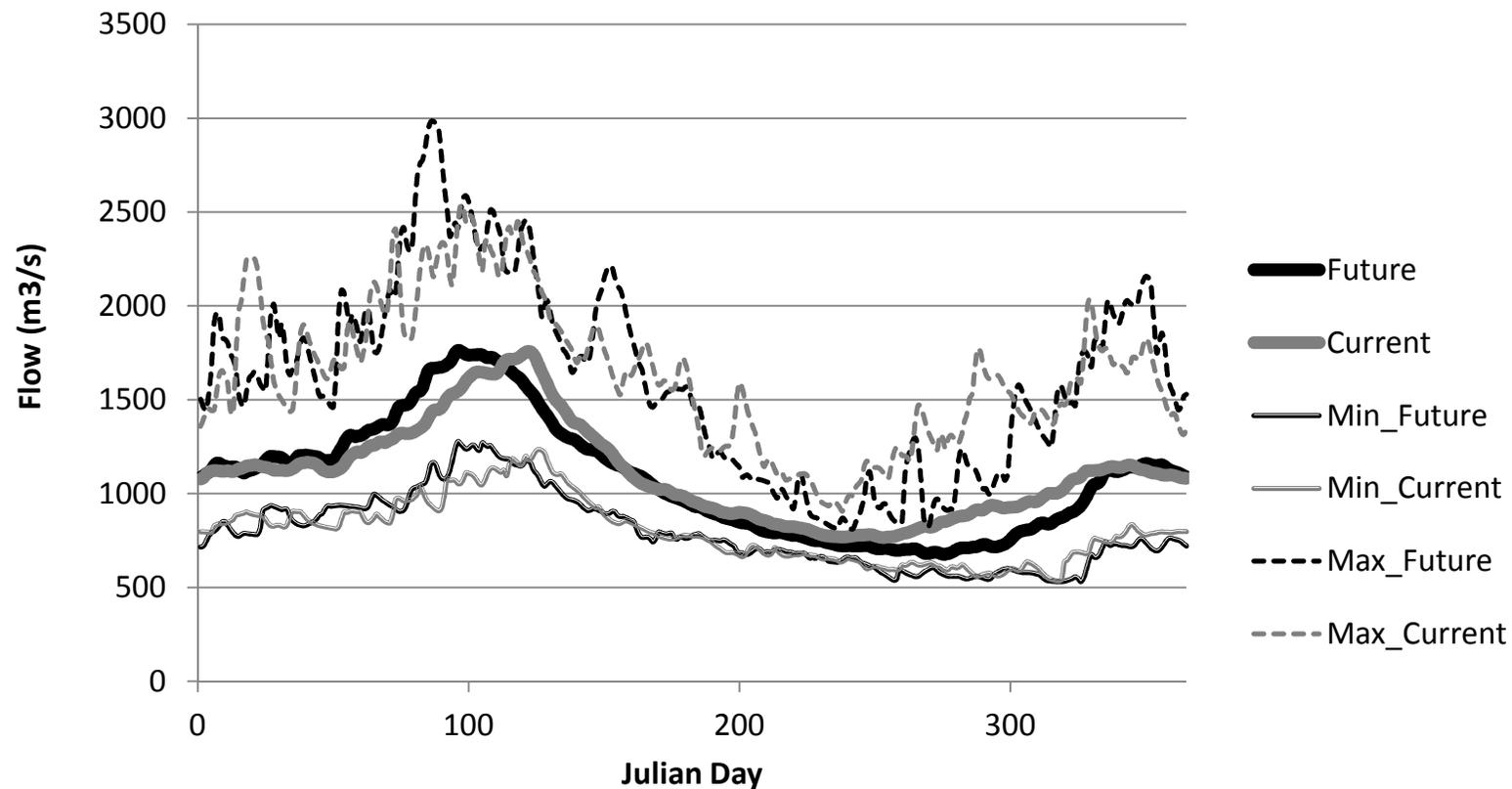
Dispersion des contaminants

Concentrations

Qualité de l'eau



Modélisation de la rivière



Jalliffier-Verne et al. 2014. *Science of the Total Environment*



Modélisation de la rivière

Période de récurrence (années)	Qp (Actuel) (m ³ /s)	Qp (Futur) (m ³ /s)	Différence (m ³ /s)	Différence (%)
2	2049	2118	69	3.4%
5	2277	2410	133	5.8%
10	2382	2546	164	6.9%
20	2462	2651	189	7.7%
50	2546	2762	216	8.5%
100	2598	2832	234	9.0%
1000	2734	3013	279	10.2%



Modélisation de la rivière

Période de récurrence (années)	Qmin (Actuel) (m ³ /s)	Qmin (Futur) (m ³ /s)	Différence (m ³ /s)	Différence (%)
2	689	620	-69	-10.0%
5	626	579	-47	-7.5%
10	594	562	-32	-5.3%
20	567	549	-18	-3.0%
50	536	537	1	0.1%
100	516	529	13	2.5%
1000	458	509	51	11.1%

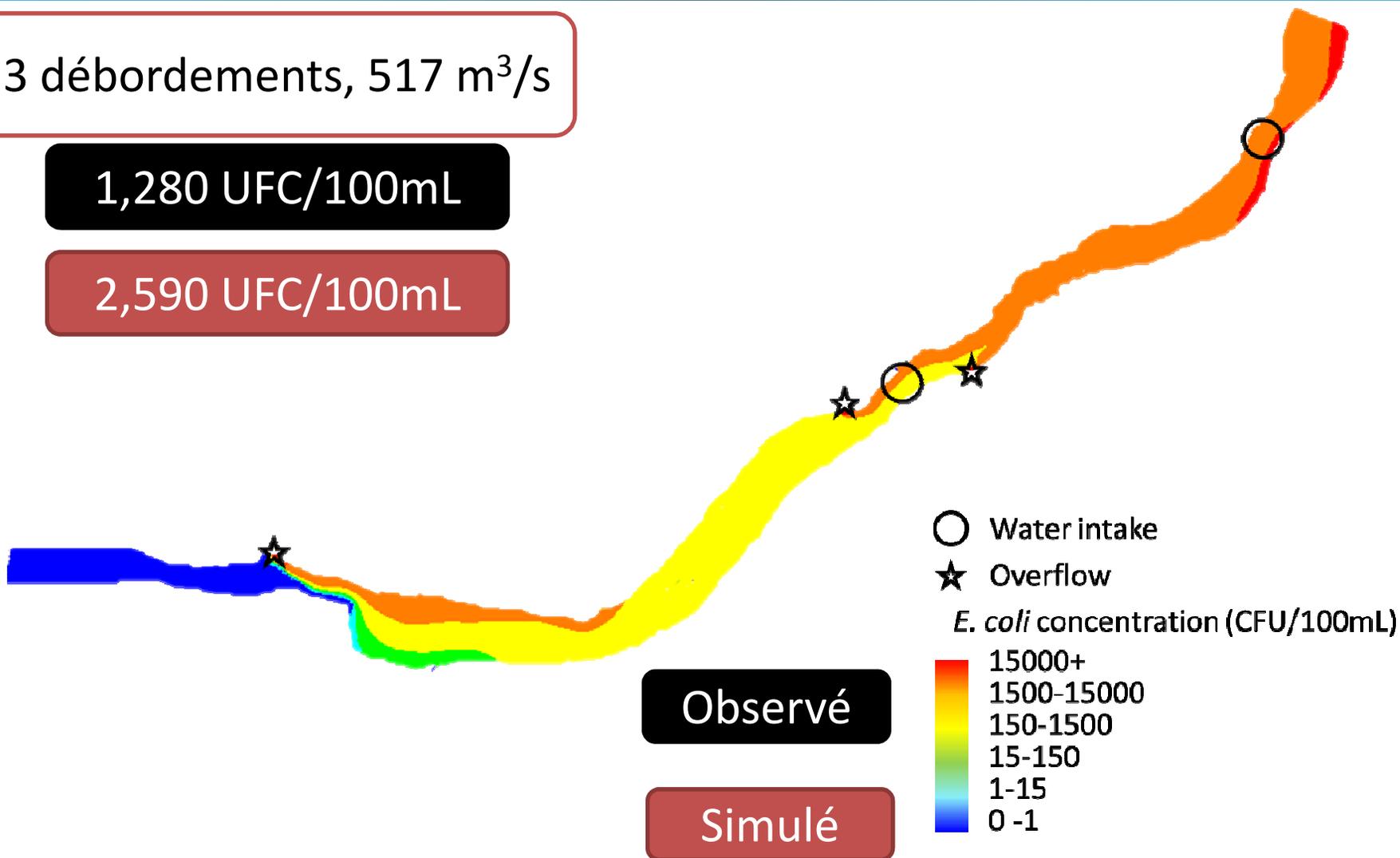


Modélisation des *E. coli*

3 débordements, 517 m³/s

1,280 UFC/100mL

2,590 UFC/100mL





Effets des changements globaux

	Crue		Étiage	
	Débit (m ³ /s) (20-an)	Concentration * (UFC/100mL)	Débit (m ³ /s) (20-an)	Concentration * (UFC/100mL)
Climat actuel	2,300	9,600	570	10,800
Climat futur	2,650	9,750	550	10,800
Évolution (vs actuel)	+15%	+1.6%	-3.5%	0%
Climat futur avec changements globaux**	2,650	18,300	550	20,000
Evolution (vs current)	+15%	+91%	-3.5%	+85%

* Concentrations extrêmes

**Augmentation des concentrations des débordements

Changements climatiques + urbanisation



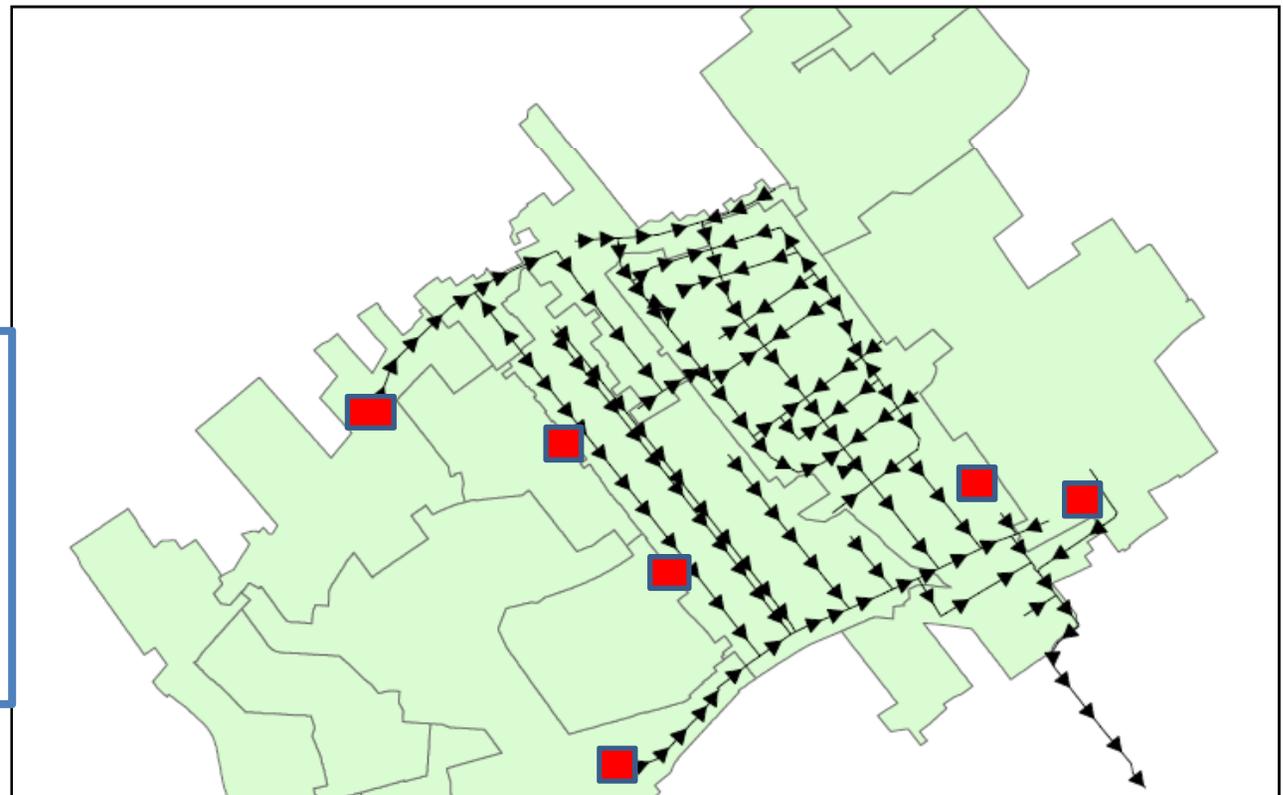
Modélisation du secteur (SWMM)

→ Conduites
(type combiné)

■ Apports des eaux
sanitaires du
pseudo-séparatif

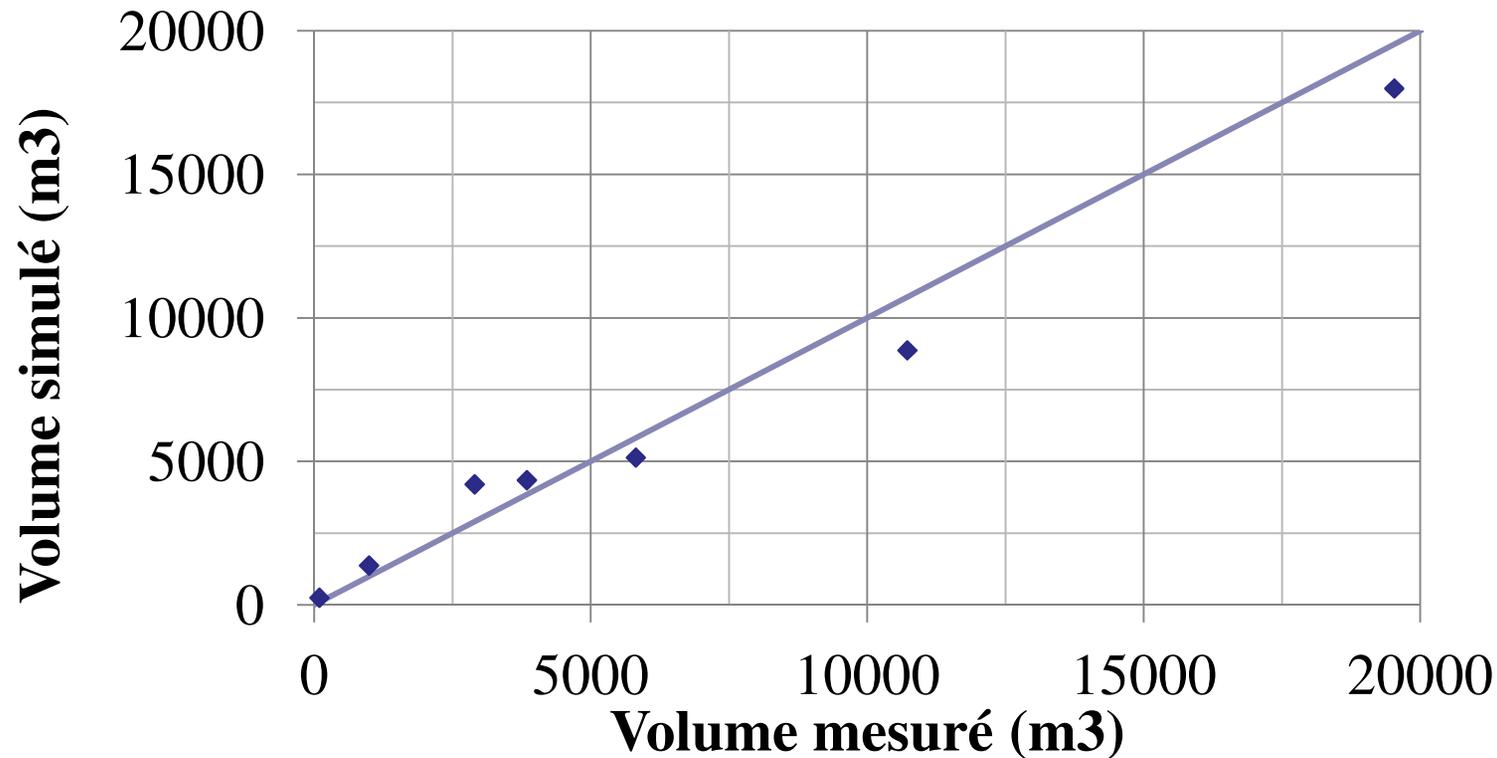
Modélisation: 7 des 9
événements échantillonnés

- Territoire québécois urbain de 345 ha
- occupation majoritairement résidentielle





Modélisation débit de débordement



Volume simulé en fonction du volume mesuré



Modélisation MES

MES dans
les eaux
de surverse



MES dans les eaux de ruissellement

- Dépend de l'occupation du sol
- Accumulation et lessivage



MES dans la pluie

- 10mg/L

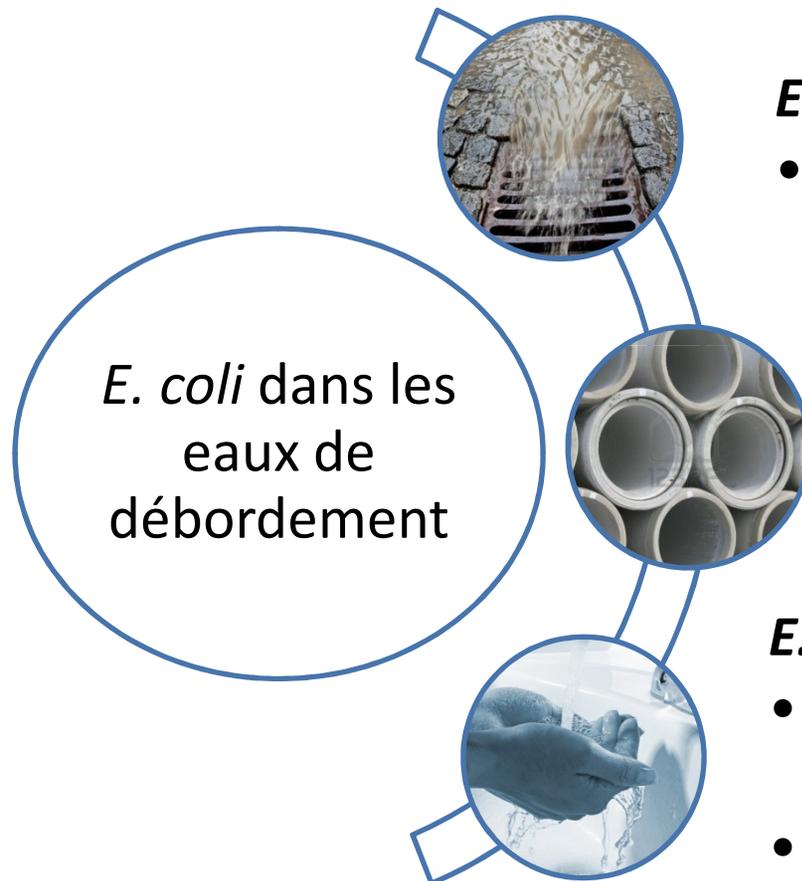


MES dans les eaux sanitaires

- Variations journalières
- Valeurs moyennes issues campagne échantillonnage



Modélisation *E. coli*



E. coli dans les
eaux de
débordement

E. coli dans les eaux de ruissellement

- accumulation puis lessivage

E. coli dans les conduites

E. coli dans les eaux sanitaires

- Variations journalières et saisonnières
- Valeurs moyennes issues des campagnes échantillonnage

http://fr.123rf.com/photo_2269786_les-conduites-d-39-eau-en-beton-empiles-en-rangees.html

<http://traitementdeseaux.fr/eaux-domestiques/>

<http://www.navimag-pro.com/eaux-de-ruissellement--les-etapes-du-traitement-id-144.html>



Jardins de pluie

Aménagements permettant de réduire les volumes de ruissellement



MDDEP, 2011

Modélisation

- Implanter pour drainer préférentiellement les aires de stationnement
- Drainent une surface totale imperméable représentant 21% de la superficie imperméable totale directement connectée

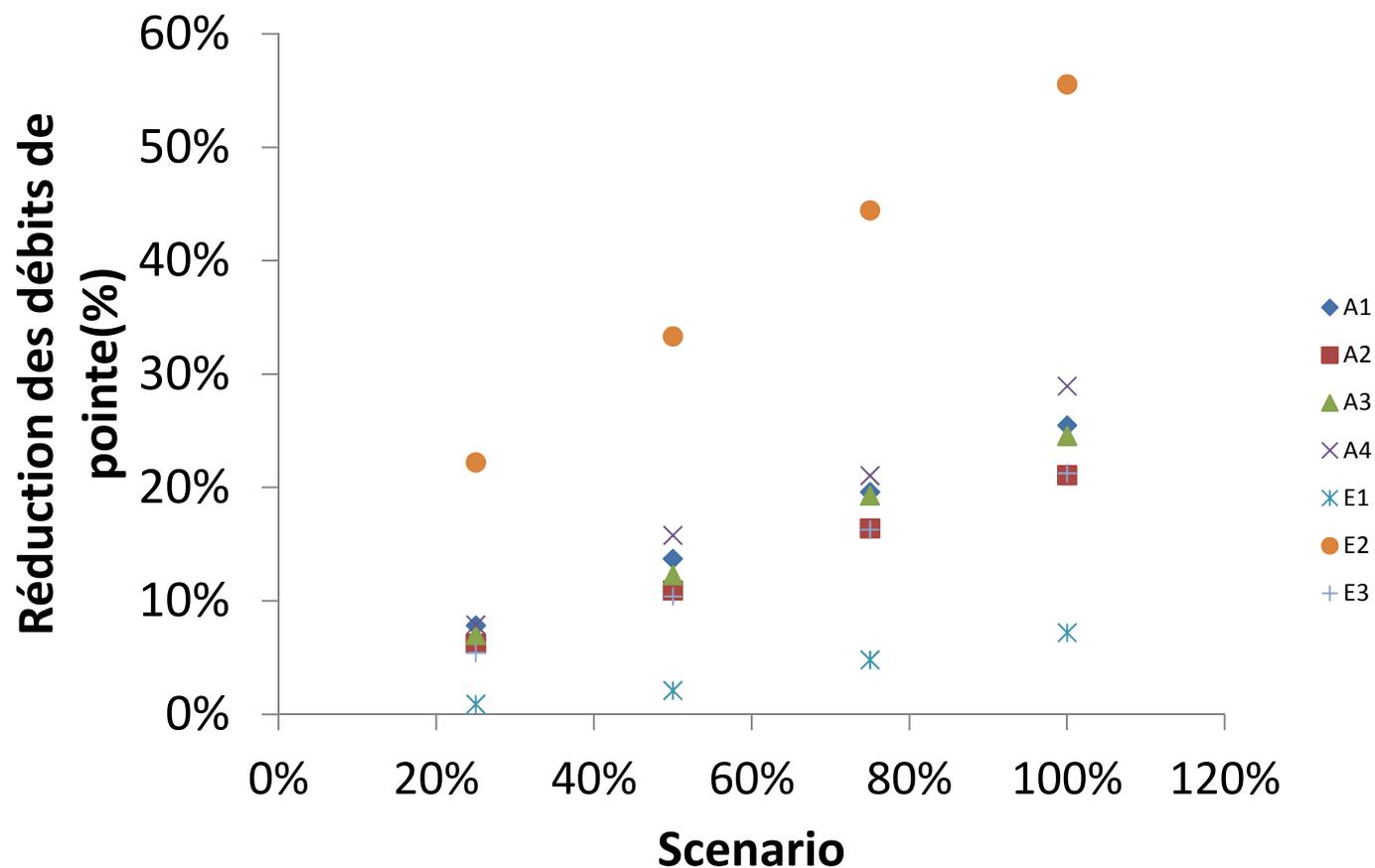


Modélisation des jardins de pluie

Précipitation totale	Supérieure à 25 mm	Inférieure 25 mm
Retenue dans le jardin de pluie	70 à 89%	99 à 100%
Réduction du volume de ruissellement	12,7 à 17,2%	19,2 à 19,4%
Réduction du volume des surverses	13 à 28%	24 à 62%
Réduction des débits de pointe des surverses	7 à 21%	25 à 56%



Modélisation des jardins de pluie





Modélisation des jardins de pluie

- **Jardins de pluie efficaces pour les petits événements pluvieux**
- **Plus grande accumulation solide dans le réseau**
- **Concentrations maximales plus élevées pour les événements de grande envergure (inefficacité des jardins de pluie pour ce type d'événement)**



Conclusions et Perspectives

- Dégradation de la qualité de l'eau de la rivière (débits + **augmentation de la population**)
- Les pratiques de gestion optimales pour contrôler le ruissellement ne pourront pas suffisamment réduire les risques pour l'eau potable





Conclusions et Perspectives

- **Nous avons besoin de :**
 - ♦ **meilleurs modèles pour le ruissellement urbain + débordements**
 - ♦ **meilleures données des charges des effluents municipaux**
 - ♦ **modélisation détaillée des effets des changements climatiques sur la fréquence et débits des débordements**





Remerciements

- **Ouranos, FCI, CRSNG**
 - **Chaires de recherche du Canada**
 - **Équipe de la Chaire Industrielle en Eau Potable de Polytechnique Montréal**
 - **Partenaires municipaux**
- 