



**CHAIRE
INDUSTRIELLE CRSNG
EN EAU POTABLE**

POLYTECHNIQUE
MONTREAL



**Chaire de recherche
du Canada**

**sur la dynamique des
contaminants
microbiens dans les
sources
d'approvisionnement
en eau**

Exfiltration d'égouts : la contamination des eaux de surface par voie souterraine

Sarah Dorner, Ph.D.

13 mars 2013



Étudiants et collaborateurs



- **Doctorat :**

- ♦ Mariam Hajj-Mohamad,
- ♦ Anne-Sophie Madoux-Humery

- **Maîtrise :**

- ♦ Hélène Guérineau
- ♦ Mounia Hachad,

- **Baccalauréat :**

- ♦ Pablo Gonzalez
- ♦ Salma El Hajjaji
- ♦ Yannick Rosaz
- ♦ Armelle Tisserand

- **Collaborateurs :**

- ♦ Michèle Prévost
- ♦ Philippe Pasquier
- ♦ Sébastien Sauvé
- ♦ Richard Villemur



Projet du Réseau Canadien de l'eau



- **1,2 millions\$ sur 3 ans**
- **Projet pancanadien avec des partenaires municipaux en Ontario, Québec et Nouvelle-Écosse**
- **Objectif : identifier les événements critiques avec un potentiel de mener à des épidémies de maladies d'origine hydrique**



Plan



1. Introduction

1. Contexte
2. Dépistage des sources de contaminants
3. Exfiltration d'égouts

2. Échantillonnage

1. Résultats
2. Conclusions

3. Modélisation

1. Résultats
2. Conclusions

4. Perspectives





Mise en contexte



- **Les municipalités en Ontario, Québec, et la Nouvelle-Écosse doivent identifier les menaces (ou devront bientôt le faire) afin de développer des plans de protection de leurs sources d'eau potable**
- **Les risques microbiologiques sont les plus importants pour la protection des sources d'eau potable**
- **Les usines de traitement au Canada ont généralement une excellente capacité pour traiter des eaux considérées difficiles (qualité hautement variable)**
- **Le défi : anticiper les événements qui pourraient dépasser la capacité de l'usine pour enlever les microorganismes pathogènes**



Protection des sources d'eau potable



- **Dans le passé : développement avec peu de considération des risques pour les prises d'eau potable**
- **Exemples :**
 - ♦ **Prises d'eau en aval des rejets d'eaux usées**
 - ♦ **Perte complète des sources d'eau potable souterraines à cause de contaminants**
 - ♦ **Transport et le risque d'accidents**
- **Mesure de protection principal : dilution**



Étude de cas



- **Un cours d'eau de très bonne qualité**
- **De très bonne qualité, mais :**
 - ♦ **Situé en zone urbaine/industrielle ayant de nombreuses sources de contamination possibles**
 - ♦ **Négligé pendant de nombreuses années (emphasis sur le traitement de l'eau) → bon pour la vie aquatique, mauvais pour les risques microbiologiques**
 - ♦ **Les concentrations d'indicateurs microbiologiques augmentent le long du cours d'eau**



Dépistage des sources de contaminants



- Sources de contamination :
 - ◆ Vie aquatique (concentrations des *E. coli* augmentent en été)
 - ◆ Chiens et humains qui se promènent près du cours d'eau
 - ◆ Égout à proximité
 - ◆ Activités illicites (cours d'eau comme dépotoir)





Le problème des égouts



- **Scénario catastrophique identifié par plusieurs grandes municipalités canadiennes → bris d'un intercepteur ou d'un collecteur du réseau d'égout en amont d'une prise d'eau**
- **Scénario non catastrophique, mais préoccupante → exfiltration d'égout à proximité d'une prise d'eau**
- **Nécessite une voie de transport souterraine**
- **Probabilité d'occurrence? Probabilité d'occurrence avec exfiltration élevé?**



Exfiltration d'égouts



- **Est une source importante de contamination des eaux souterraines en milieu urbain**
 - ♦ **Microorganismes pathogènes, pharmaceutiques, caféine, etc.**
- **Quantité : 1 à 20 % ± 30 % des débits en temps sec**
- **Souvent inconnu, peu d'études sur l'impact sur les sources d'eau potable**



État de l'infrastructure au Canada



Exemple : Égout de plus de 120 ans, fermeture de rue, 4 à 10 jours pour la réparation



Photos: CBC



État des conduites



Photo : Andrew Emond



État des conduites





État des conduites



Photo : Andrew Emond



Sources potentielles de variation de la qualité



- **Ruissellement/Exfiltration**
 - Indicateurs fécaux
 - Produits pharmaceutiques
 - Caféine
- **Population animale versus humaine**
 - Indicateurs fécaux
 - Bactéroïdes





Sources fécales ?



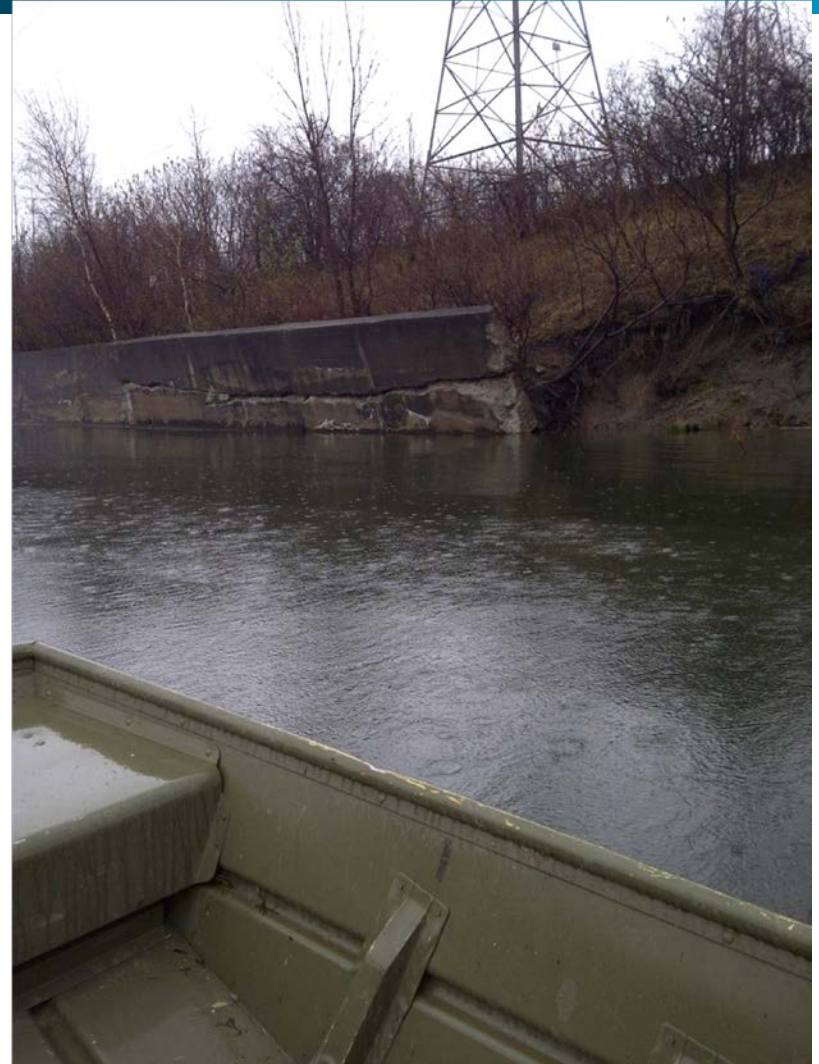


Sources fécales ?





Sources fécales ?





Sources fécales ?



Photo : Andrew Emond



Objectifs



- **Objectifs :**
 - ♦ Identifier et confirmer les sources de variabilité de la qualité
 - ♦ Évaluer les risques potentiels à la filière de traitement
- **Méthodologie :**
 - ♦ Échantillonnage par temps sec et par temps de pluie (>8mm)
E.coli + carbamazépine + caféine
 - Confirmer les causes des changements de qualité d'eau
- **Modélisation de l'exfiltration d'égout**



Échantillonnage



- I. Qualité microbiologique de l'eau**
 - 1. Variations saisonnières : Turbidité et *E. coli***
 - 2. Résultats des échantillonnages étés 2011 et 2012**

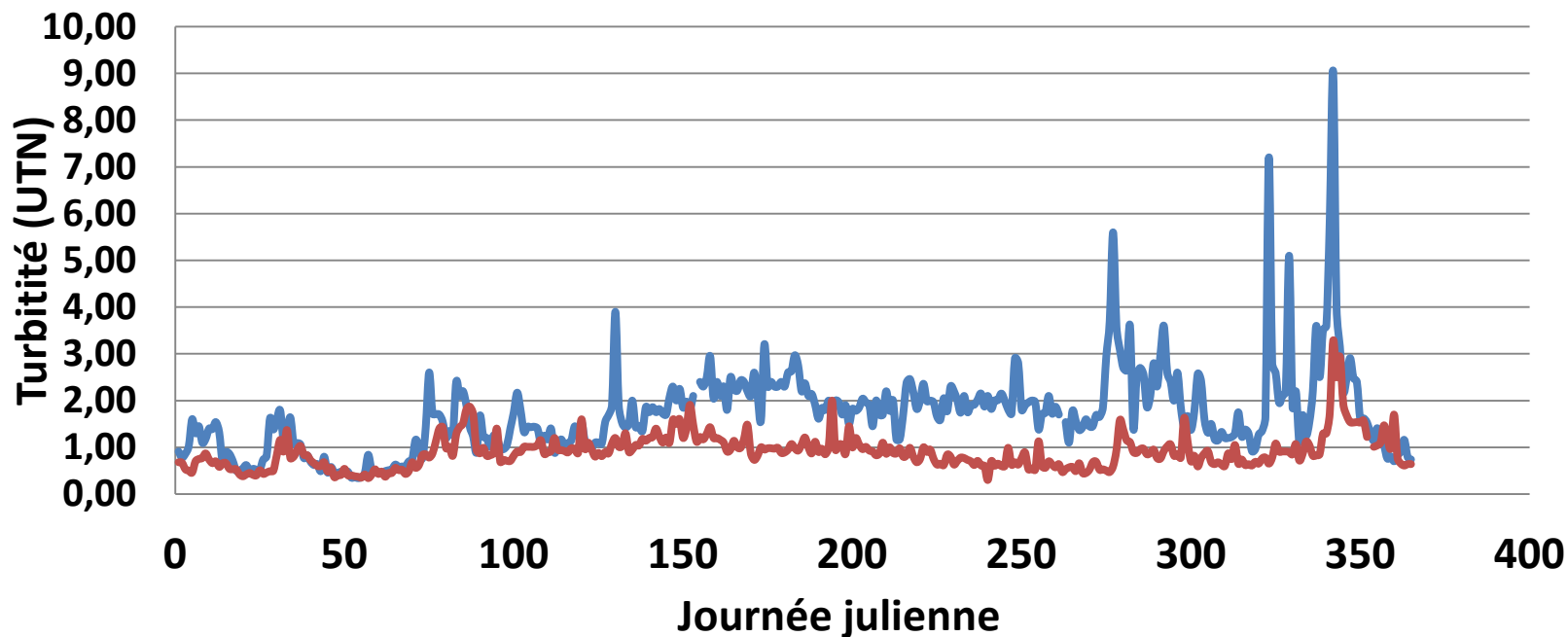
- II. Qualité microbiologique des sédiments**
 - 1. Résultats préliminaires été 2011**
 - 2. Données sédiments vs eau**



Variation de la turbidité (Guérineau, 2013)



Turbidité (2010)



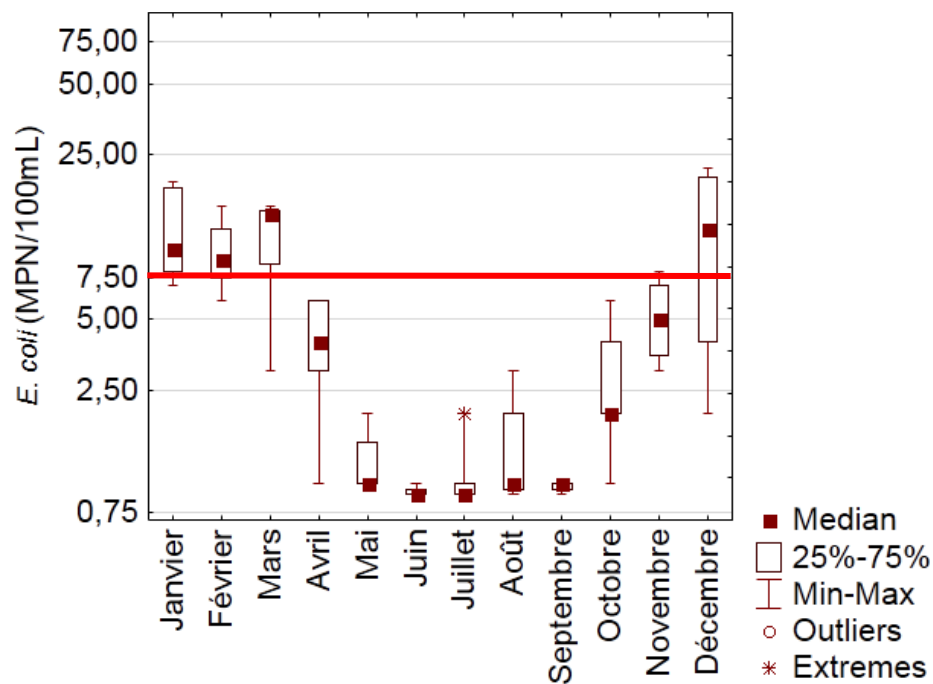
- Le cours d'eau agit généralement comme un décanteur
- Hausse de la turbidité et des particules annuelle à l'usine 2
 - Hausse printanière de 0,1 à 1 UTN durant 20-30 jours
 - Pointes instantanées max de 5,7 UTN
- Cause interne ou externe



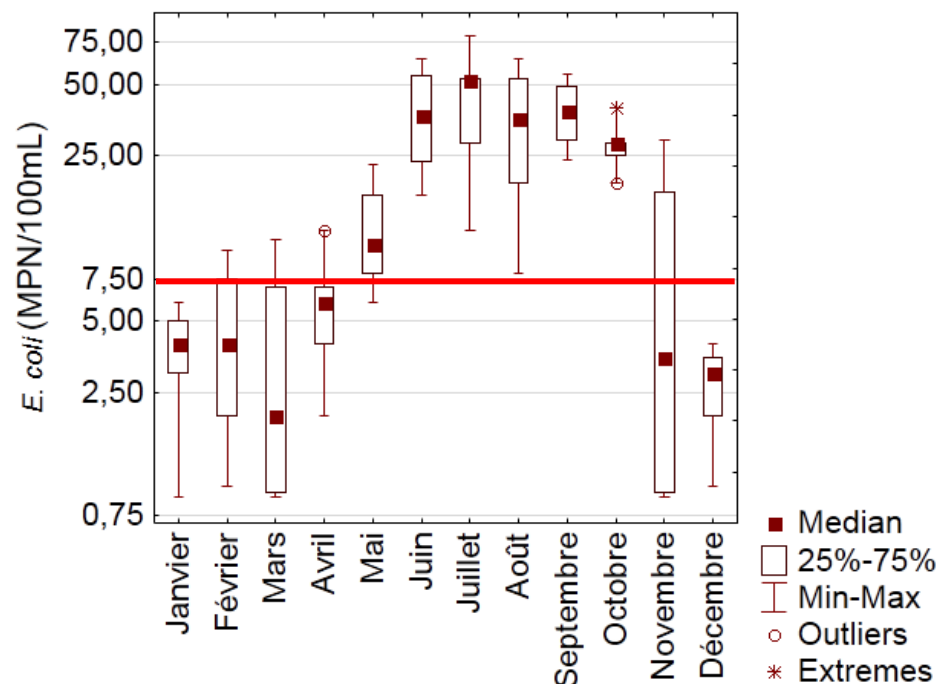
Variation saisonnière *E. coli* sur 10 ans (Guérineau, 2013)



Point 1 – Amont 2012



Point 2 – Aval 2012



- Concentrations supérieures au Point 1 en période hivernale
- Diminution estivale des concentrations en *E.coli* au Point 1
- Augmentation estivale au Point 2
- ➔ Existence d'une source de contamination fécale dans le cours d'eau

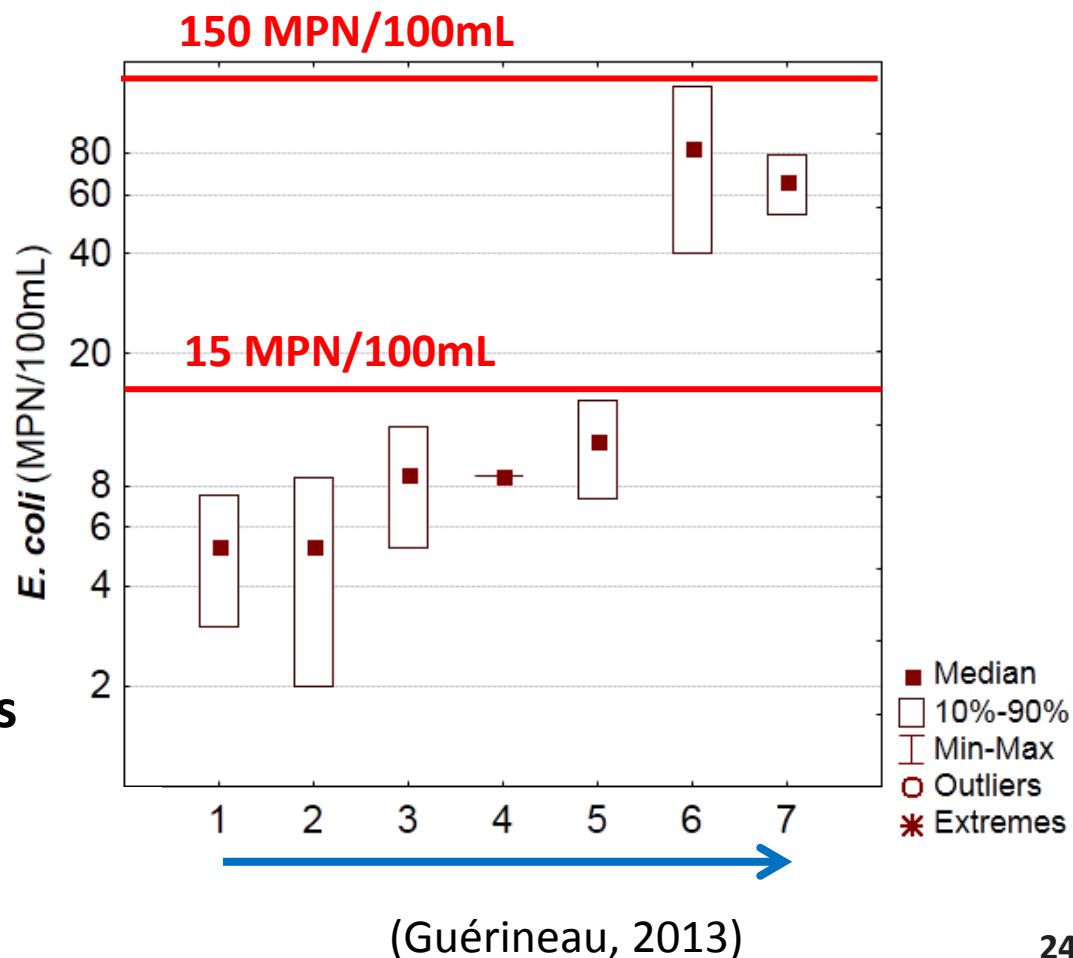


Résultats préliminaires (Été 2011)



- Suivi *E. coli* sur 7 points en 2011
 - ♦ Temps sec (n=3)
 - ♦ Temps de pluie (n=2)
- Hausse trop importante pour ne provenir que des animaux
 - ♦ 1400 rats laveurs
 - ♦ 40 à 180 canards
- Poursuite des échantillonnages par temps de pluie et temps sec pour mieux comprendre l'anomalie microbiologique

E. coli - Temps de pluie – Été 2011





Résultats globaux eau

E.coli – 2011 & 2012



- 7 points de référence communs aux échantillonnages de 2011 et 2012
- Présence d'une source de contamination fécale confirmée
- Localisation à préciser :

(Guérineau, 2013)

Entre 5 900 et 7 000 m → 1,1 km

Temps sec – Points de référence

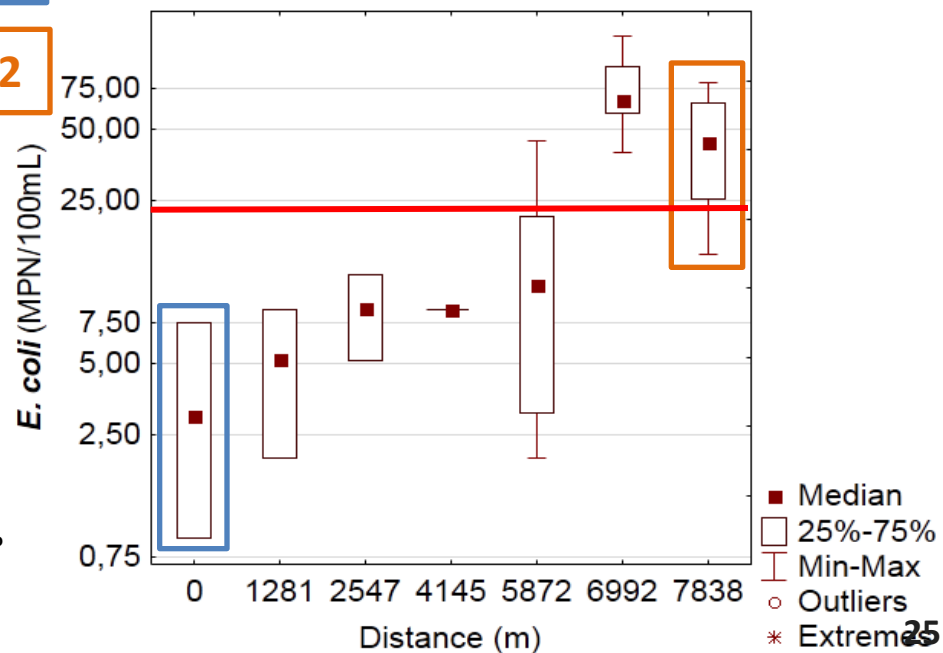
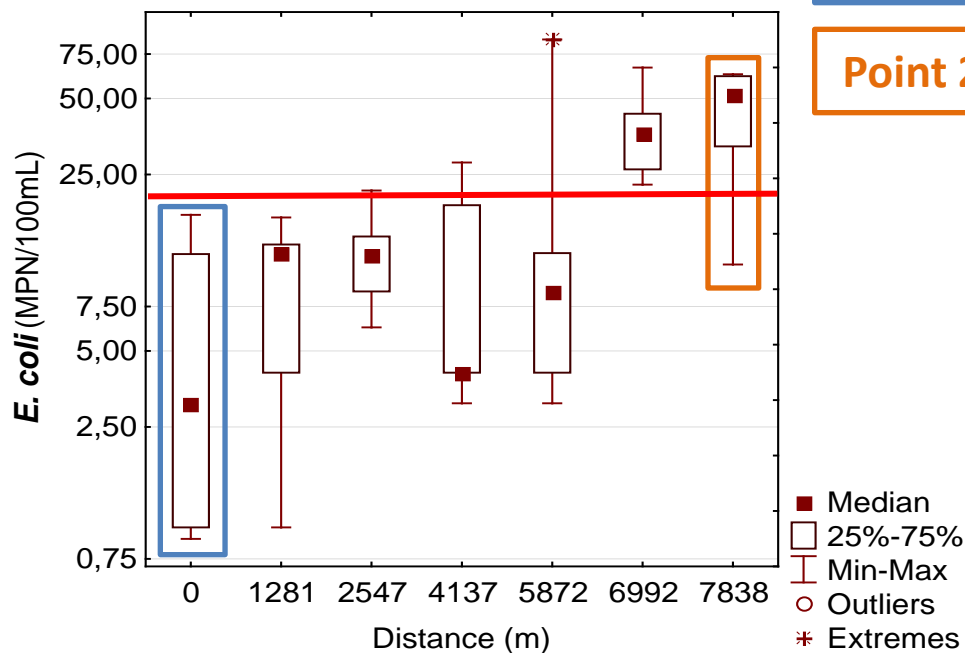
Étés 2011 & 2012

Point 1

Point 2

Temps de pluie – Points de référence

Étés 2011 & 2012





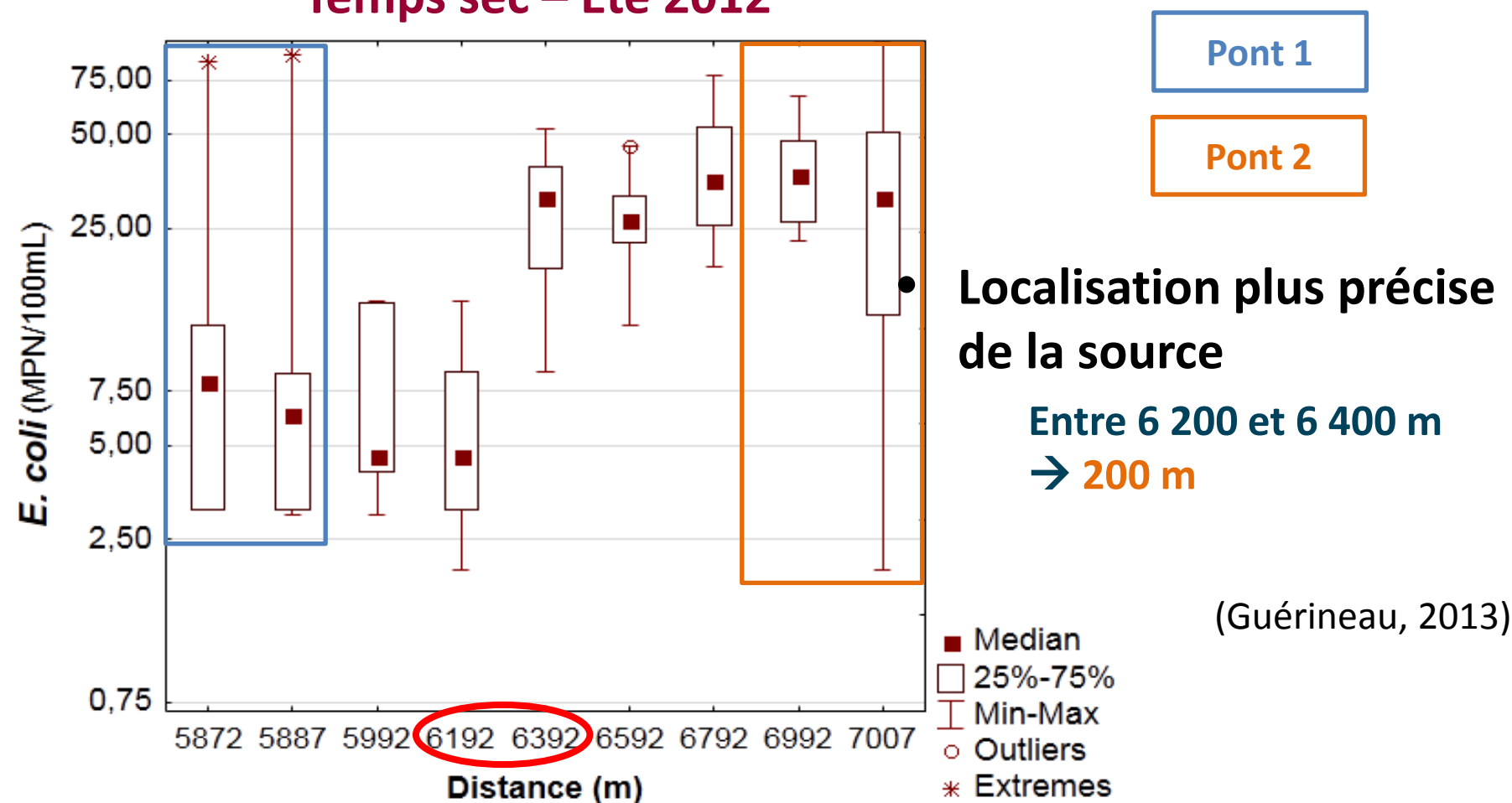
Résultats entre les deux ponts

E. coli – été 2012



Échantillonnage entre les deux ponts

Temps sec – Été 2012





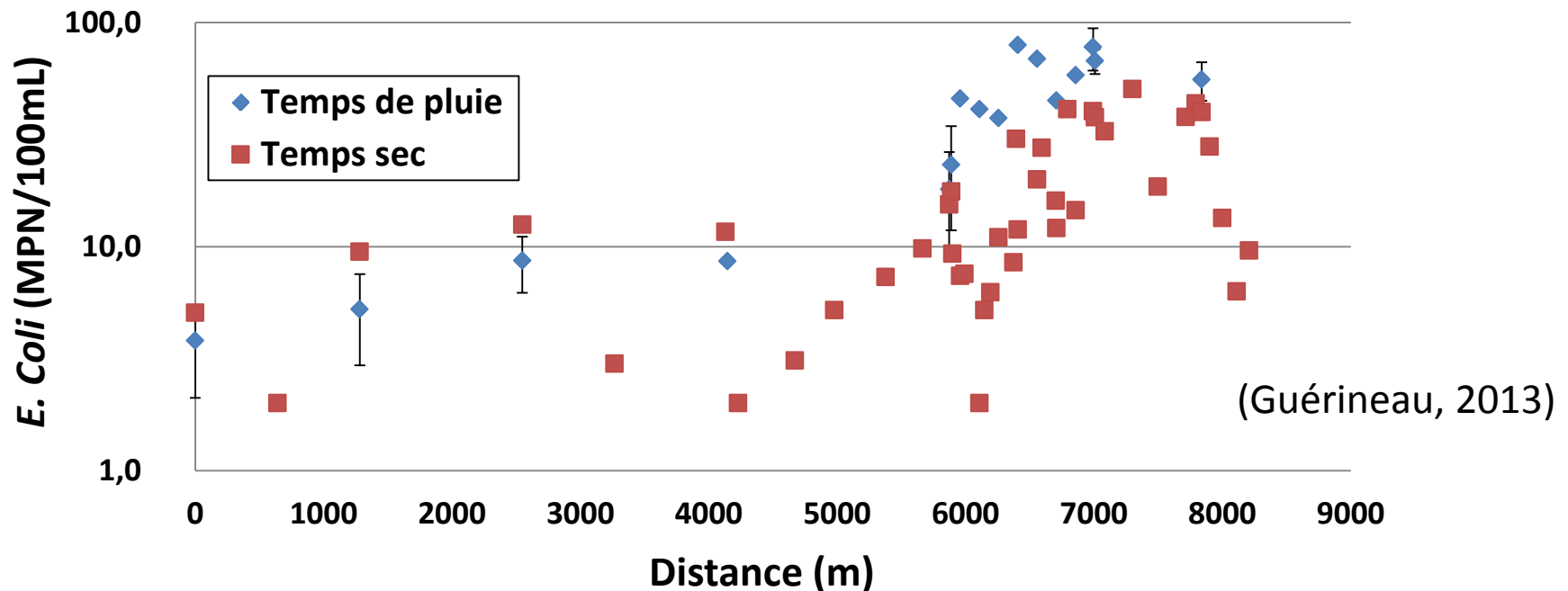
Temps sec vs Temps de pluie

E. coli – 2011 & 2012



Moyennes *E. coli*

Temps de pluie vs Temps sec - Étés 2011 & 2012



(Guérineau, 2013)

- Concentration *E. coli* : Temps de pluie >> Temps sec
- Par temps de pluie : Augmentation après le 6^{ème} km (source)



Limitations des indicateurs fécaux utilisés



Indicateur fécal	Concentration dans les eaux usées	LD	Débit d'eaux usées nécessaire pour atteindre LD dans le débit d'eau du cours d'eau (m ³ /d)
Carbamazépine	246 ng/L	6 ng/L	16 634
Caféine	32 894 ng/L	0,5 ng/L	10
<i>E.coli</i>	1,6.10 ⁷ MPN/L	10 MPN/L	0,4

- **Détection d'une contamination fécale**
 - ♦ Très facile à l'aide de l'indicateur fécal *E. coli*
 - ♦ Plus difficile à l'aide de carbamazépine et caféine
- **Résultats des analyses pharmaceutiques, caféine, Bactéroïdes non significatifs dans le cas d'une grande dilution**
(Guérineau, 2013)



Estimation du volume d'eaux usées



(Guérineau, 2013)

		Concentration moyenne en <i>E. coli</i> sans le bruit de fond	Débit d'eaux usées équivalent
		MPN /100mL	m ³ /j
Temps sec	Unité		
	Point 2 - Aval	35,6	13,4
	Source – 6 km	28,7	10,8
Temps de pluie	Point 2 - Aval	51,8	19,4
	Source – 6 km	78,5	29,4

- Chaque jour, l'équivalent de **10 à 30 m³** d'eaux usées se déverserait potentiellement dans le cours d'eau
- Volume déversé supérieur par temps de pluie
 - Source externe (infiltration ou ruissellement)



Rappel - Échantillonnage



I. Qualité microbiologique de l'eau

1. Variation saisonnière : Turbidité et *E. coli*
2. Résultats des échantillonnages étés 2011 et 2012

II. Qualité microbiologique des sédiments

1. Résultats préliminaires été 2011
2. Données sédiments vs eau

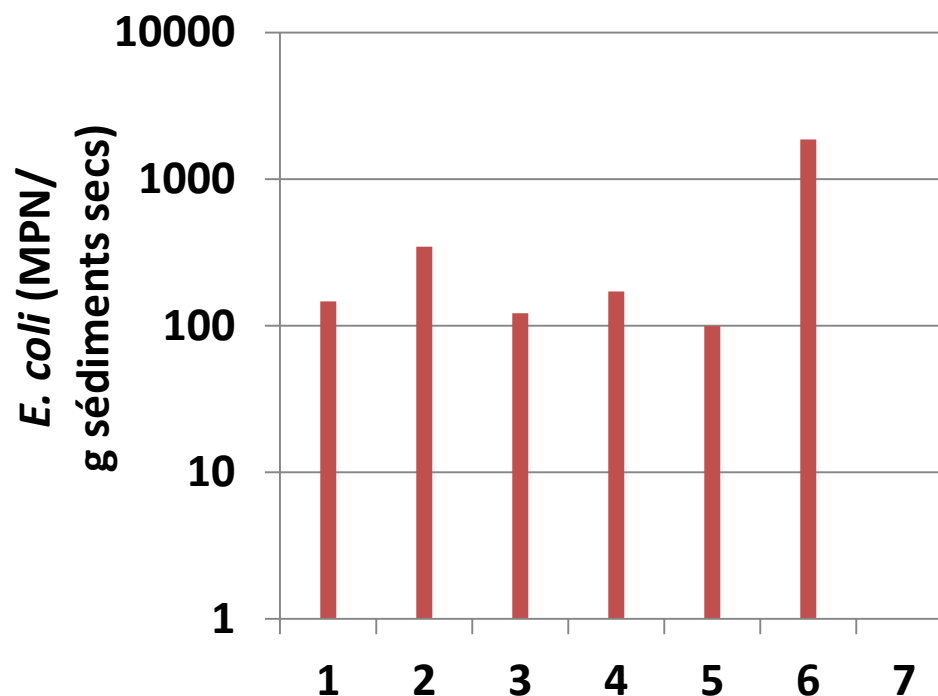


Sédiments – 2011



- **E. coli**
 - ◆ Même tendance que l'eau
 - ◆ Augmentation > 1log au point 6

E. coli sédiments
Été 2011



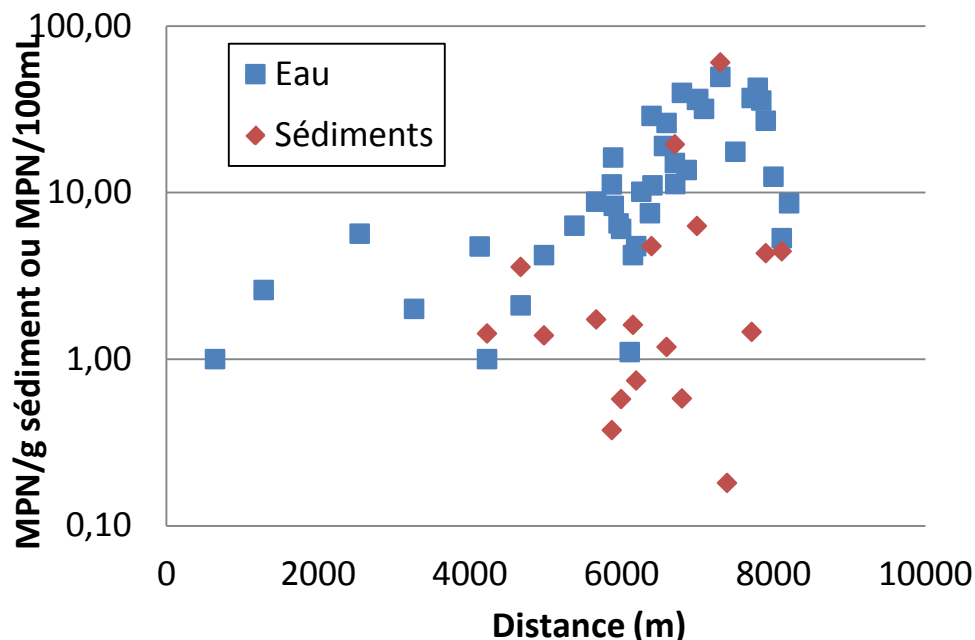
(Guérineau, 2013)



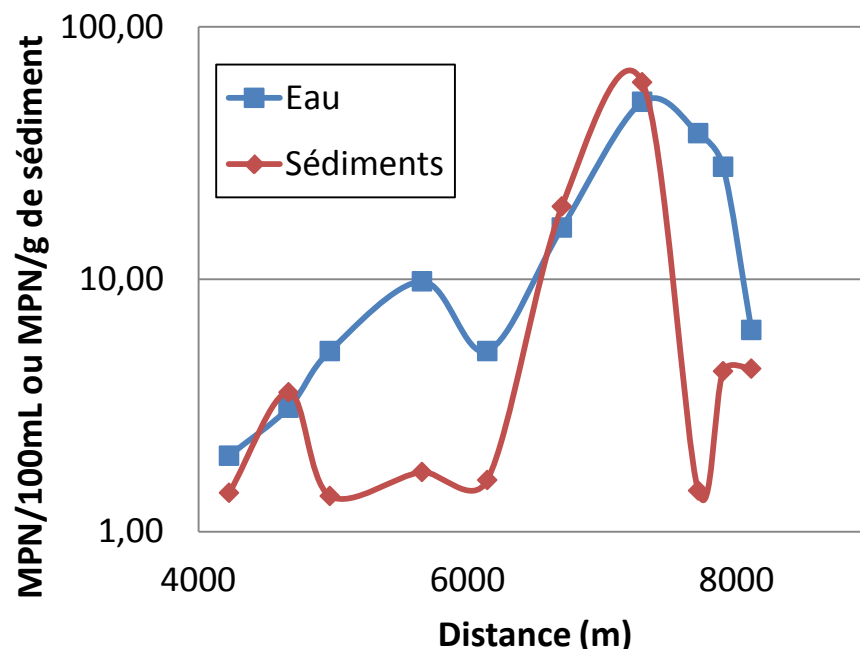
Sédiments vs Eau – 2012



Moyenne *E. coli* – Sédiments vs Eau
Été 2012



E. coli – Sédiments vs Eau
9/07/12



- Pas de tendance globale
- Au cours d'un échantillonnage :
 - ♦ Augmentation *E.coli* sédiments similaires aux données eau
- Interprétation des résultats à venir (pharmaceutiques, granulo, etc.)

(Guérineau, 2013)



Conclusions des échantillonnages



- **Faibles hausses de turbidité et des particules**
 - **Source interne : remise en suspension des sédiments, érosion des berges**
 - **Source externe : exfiltration ou ruissellement**
- **Hausse d'indicateurs fécaux en période estivale dans le cours d'eau**
- **Une source de contamination fécale se manifeste sur une portion de 200 m du cours d'eau (8 km)**
- **Augmentation significative des *E. coli* par temps de pluie**
- **Tendance sédiments et eau similaire dans un même évènement**
- **Dans le cas d'une grande dilution, meilleur indicateur fécal : *E. coli***
- **Volume d'eaux usées potentiellement déversé : 10 à 30 m³/j**

(Guérineau, 2013)



Modélisation



- **Modélisation préliminaire utilisant COMSOL Multiphysics**
- **Beaucoup d'hypothèses, peu de données sur les eaux souterraines**
- **Simulations ont pour but de déterminer s'il est possible qu'une surcharge hydraulique dans l'égout induise une contamination**



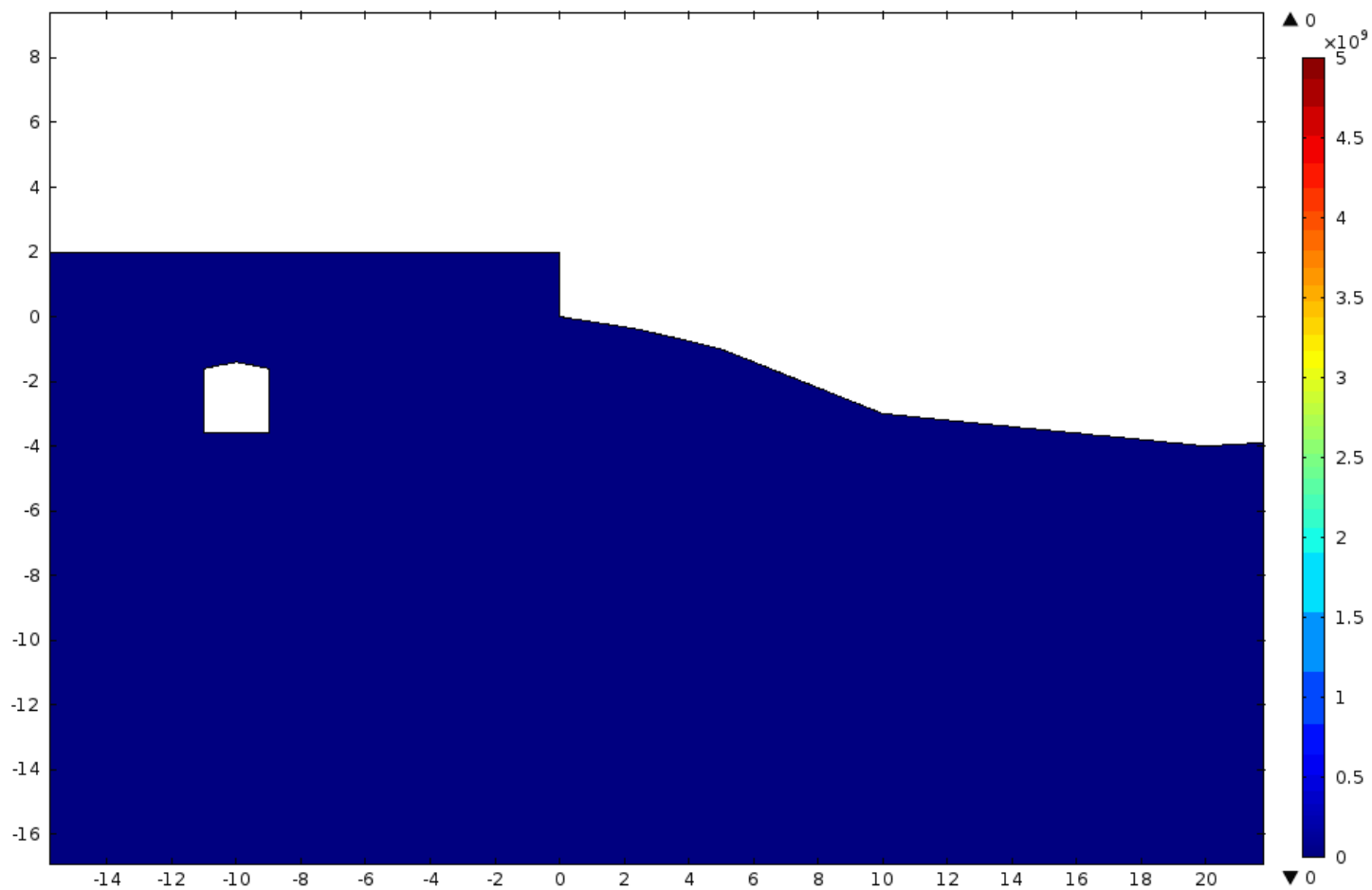
Simulations



- **Paramètres de la simulation 1:**
 - ♦ conductivité hydraulique horizontale de 5×10^{-4} m/s
 - ♦ conductivité hydraulique verticale de 1×10^{-7} m/s
 - ♦ porosité de 5%
 - ♦ surcharge hydraulique dans l'égout de 2m
- **Paramètres de la simulation 2:**
 - ♦ conductivité hydraulique horizontale de 1×10^{-5} m/s
 - ♦ conductivité hydraulique verticale de 1×10^{-7} m/s
 - ♦ porosité de 10%
 - ♦ surcharge hydraulique dans l'égout de 1m

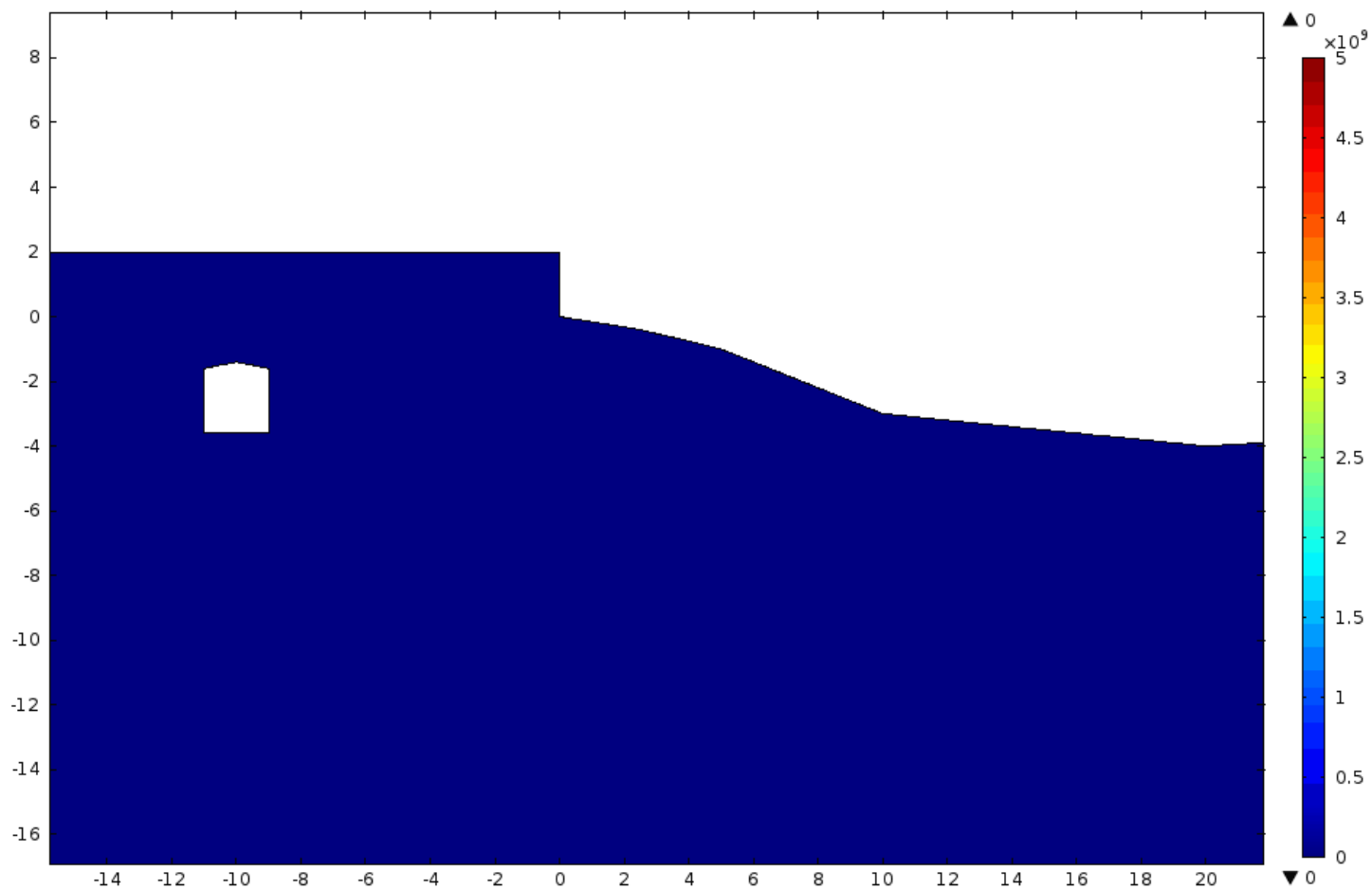


Simulation 1





Simulation 2





Conclusions



- **les simulations montrent qu'un contaminant pourrait migrer jusqu'au cours d'eau si la fracturation du roc était élevée et si une surcharge hydraulique de 2m pouvait se maintenir dans l'égout pendant suffisamment longtemps**
- **seules des investigations de terrain permettront de déterminer si cette possibilité est en réalité probable**

Remerciements

- **MDDEFP**
- **Réseau canadien de l'eau et nos partenaires municipaux**
- **Fondation canadienne pour l'innovation**
- **Chaires de recherche du Canada**

sarah.dorner@polymtl.ca