

Comportement des micropolluants dans l'environnement: Modélisation dynamique du Bisphenol A et des métaux lourds dans les STEPs

Colloque
Ferdinand Bonn

ACFAS, Québec

6 mai 2008

Peter Vanrolleghem,
Guillaume Jalby & Frédéric Cloutier



Chaire de Recherche du Canada
en Modélisation de la Qualité de l'Eau



modelEAU: son logo ...

- Localisation
 - Québec, le long d'une rivière
- Liens avec nos objectifs à long terme
 - Récolte de données
 - Eaux urbaines
 - En continu (automatisé)
 - Qualité des données
- Son nom : Modélisation des systèmes des eaux



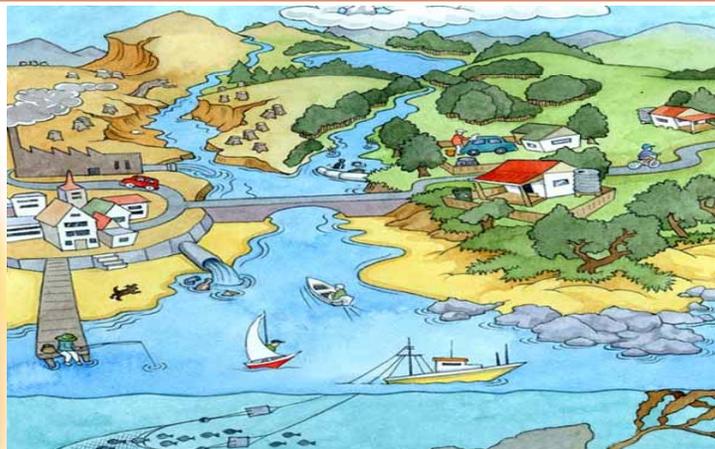
2



Plan de la présentation

- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

Problématique

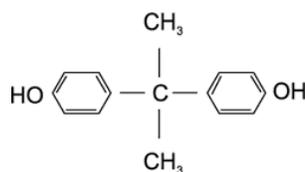


Problématique

▪ Exemple: Bisphénol-A (BPA)

▪ Utilisations

- Polycarbonates (Bouteilles, CDs)
- Résines d'époxy (Boîtes de conserve)



Problématique

▪ Exemple: Métaux lourds

▪ Provenance

- Pneus (Zinc, Cuivre, Chrome)
- Pièces de voiture (Plomb, Cadmium)
- Toitures (Zinc, Cuivre)



Problématique

- Protéger l'environnement:



Problématique

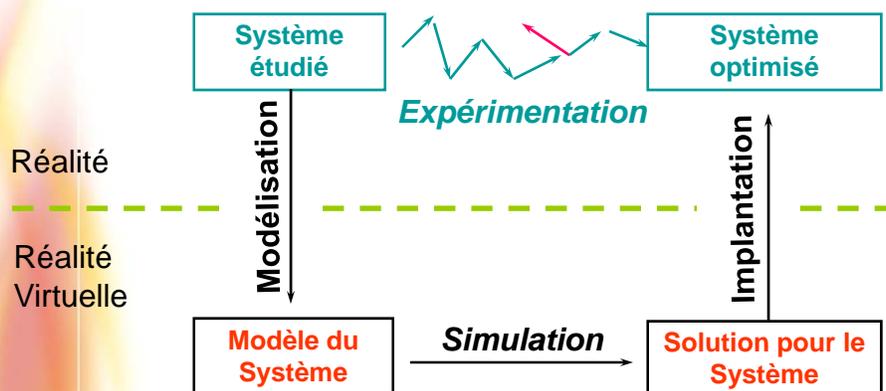
- Affluent d'une STEP:
 - Polluants traditionnels
 - Matière organique (excréments, cuisine, douche, feuilles)
 - Azote (urine, engrais)
 - Phosphore (détergents, engrais)
 - Produits toxiques
 - Composés organiques xénobiotiques (parfums, détergents)
 - Métaux lourds

Micropolluants
Polluants émergents
Polluants prioritaires

Problématique

- Effluent d'une STEP
 - Une certaine quantité de polluants sera rejetée
 - Quelle proportion?
 - Comment améliorer la situation?
 - Limiter l'utilisation de certains produits
 - Modifier la configuration/fonctionnement de la STEP

Problématique: Pourquoi modéliser ?



Plan de la présentation

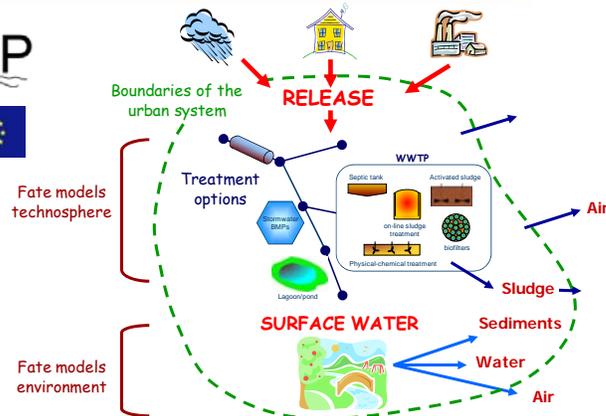
- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

Objectifs

- Développer un modèle permettant de décrire le comportement des micropolluants en plus des polluants traditionnels dans une STEP (*et dans le réseau d'égouts et la rivière*)
- Score-PP
 - Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants

Objectifs

ScorePP



Plan de la présentation

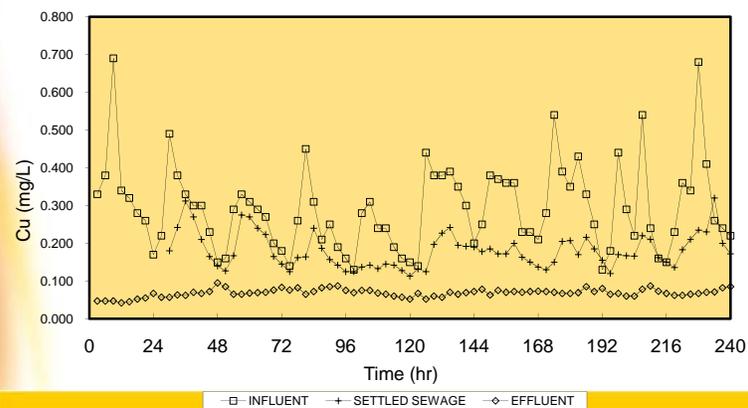
- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

Matériel et méthodes

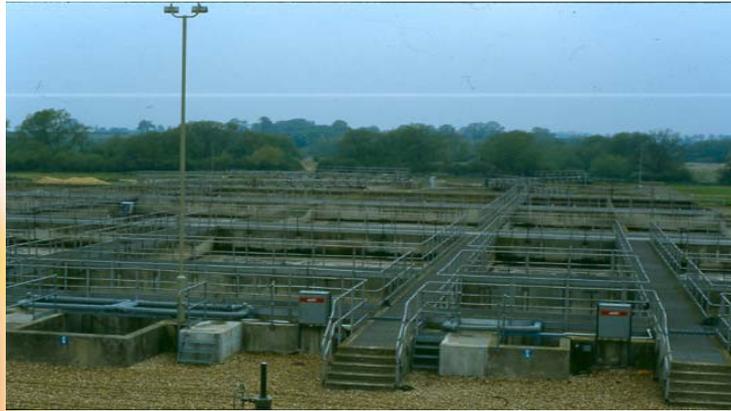
- STEP de Norwich, UK
- Boues activées avec digestion des boues
- Données recueillies en 1986
 - DCO, MES, NH_4 , 6 métaux lourds
 - 10 jours, à 3h d'intervalle
 - Différents endroits dans la STEP
 - Base de données unique au monde

Matériel et méthodes

- Exemple de données: Cuivre



Matériel et méthodes



Source: Paul Lessard

Matériel et méthodes



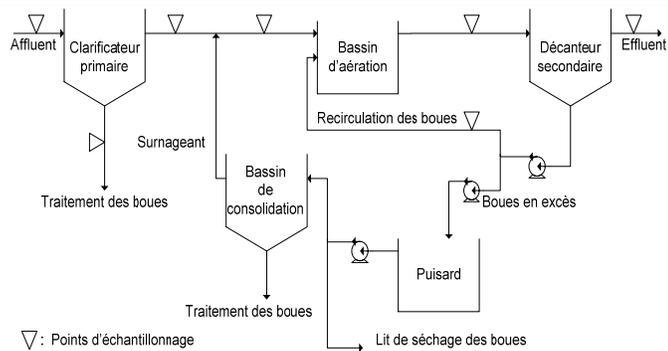
Source: Paul Lessard

Matériel et méthodes



Source: Paul Lessard

Matériel et méthodes



Procédé par boues activées à la STEP de Norwich
(Adapté de Lessard et Beck, 1993)

Matériel et méthodes

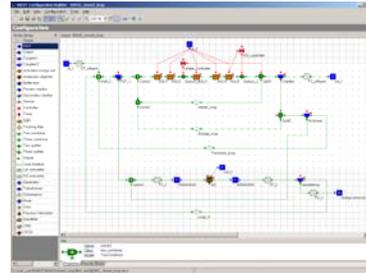
Logiciel WEST®

Développé par:

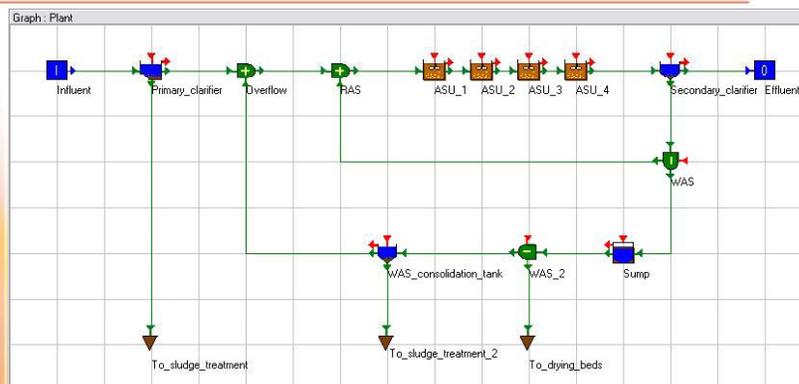


Possibilités:

- Simulations dynamiques
- Ajouter/étendre des modèles soi-même
- Extensions pour les réseaux (KOSIM) & rivières (RWQM1)



Matériel et méthodes



La STEP de Norwich dans le logiciel WEST

Plan de la présentation

- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- **Modélisation**
- Résultats
- Conclusion

Modélisation

Transport

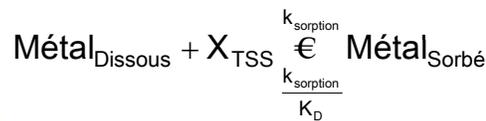
Réactions
chimiques

- Bilan de matière

$$\frac{d\text{Métal}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (\text{Métal}_{\text{in}} - \text{Métal}_{\text{out}}) - \text{Dég. bio.} - \text{"Sorption"} - \text{Volatilisation}$$

Modélisation

- Décrire la sorption:



$$K_D = \frac{k_{\text{sorption}}}{k_{\text{désorption}}}$$

$$\text{Taux} = k_{\text{sorption}} \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

Modélisation

Transport

Réactions
chimiques

- Bilan de matière

$$\frac{d\text{Métal}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (\text{Métal}_{\text{in}} - \text{Métal}_{\text{out}}) - \text{Dég. bio.} - \text{"Sorption"} - \text{Volatilisation}$$

$$\frac{dS_{\text{Métal}}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (S_{\text{Métal,in}} - S_{\text{Métal,out}}) - k \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

$$\frac{dX_{\text{Métal}}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (X_{\text{Métal,in}} - X_{\text{Métal,out}}) + k \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

Transport

Sorption/Désorption

Modélisation

- Importance des TSS:

$$\frac{dS_{\text{Métal}}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (S_{\text{Métal,in}} - S_{\text{Métal,out}}) - k \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

$$\frac{dX_{\text{Métal}}}{dt} = \frac{Q_{\text{in}}}{V} (X_{\text{Métal,in}} - X_{\text{Métal,out}}) + k \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

- Il faut une bonne précision sur les TSS!
- Il faut un modèle qui décrit la (dé)croissance de la biomasse et l'accumulation de la M.O.

Le modèle ASM1
(Activated Sludge Model No.1)

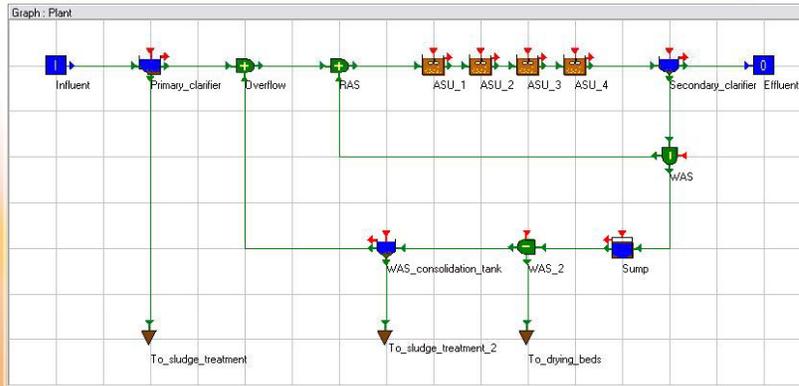
27

Plan de la présentation

- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

28

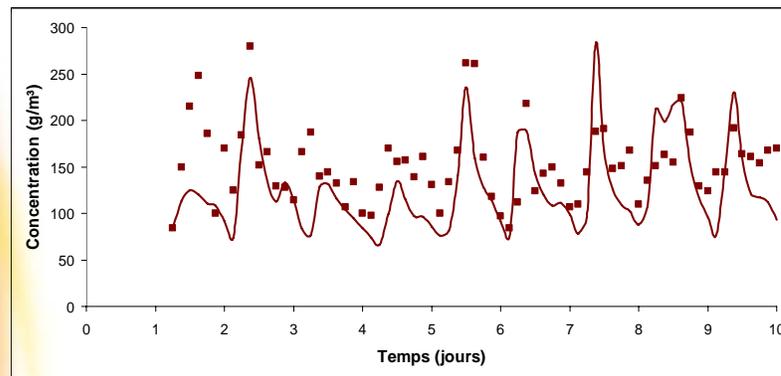
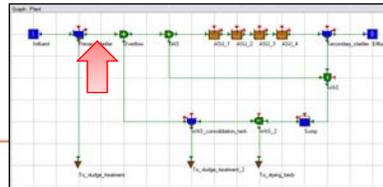
Résultats



La STEP de Norwich dans le logiciel WEST

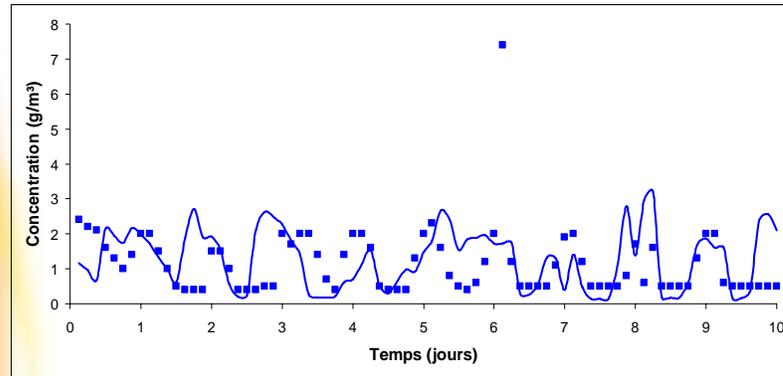
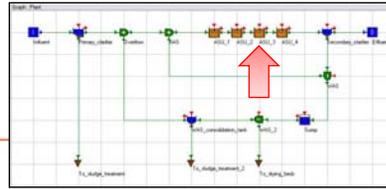
Résultats

- TSS du surnageant



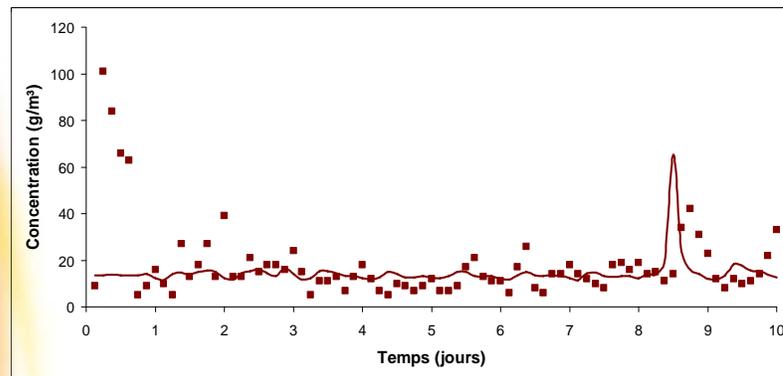
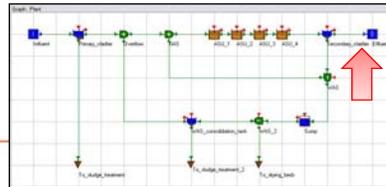
Résultats

■ Oxygène dissous



Résultats

■ TSS en sortie



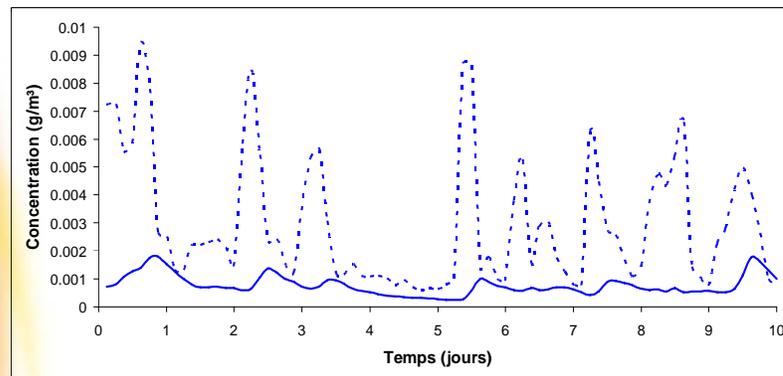
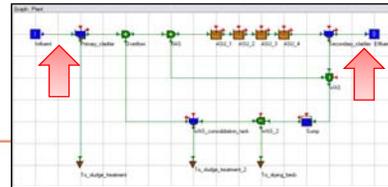
Résultats

- Métaux lourds étudiés

Paramètres	Unités	Cuivre	Zinc	Plomb	Cadmium	Chrome	Nickel
k_{sorption}	L/mg.j	0.0008	0.0001	0.0023	0.0002	0.0015	0.0008
$\text{Log}(K_D)$	L/kg	4.0 (3.1 – 6.1)	5.1 (3.5 – 6.9)	4.6 (3.4 – 6.5)	4.6 (2.8 – 6.3)	4.6 (3.9 – 6.0)	3.9 (3.5 – 5.7)
Enlèvement	%	90.2	80.1	93.3	75.6	86.5	71.6

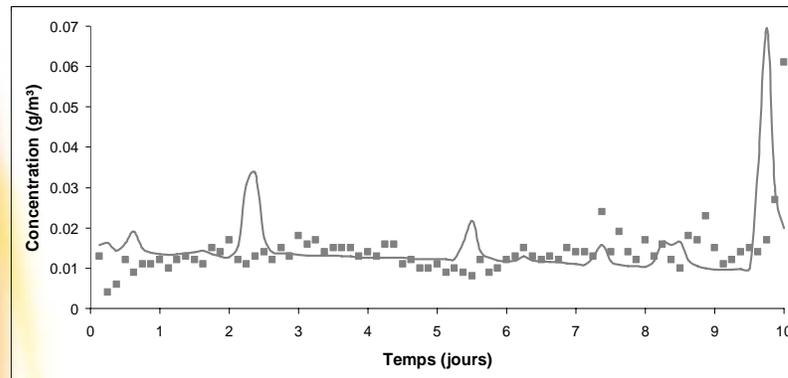
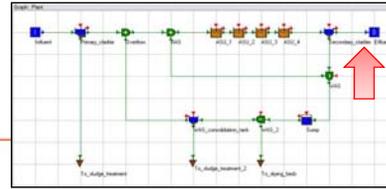
Résultats

- Cd: Affluent - effluent



Résultats

- Pb: Effluent



Plan de la présentation

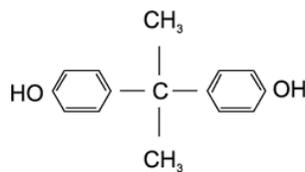
- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

Matériel et méthodes

▪ Étude de cas: Le Bisphénol-A (BPA)

▪ Utilisations

- Polycarbonates (Bouteilles, CDs)
- Résines d'époxy (Boîtes de conserves)



Matériel et méthodes

▪ Étude de cas: Le Bisphénol-A (BPA)

▪ Perturbateur endocrinien

- Modifie l'équilibre hormonal d'un organisme

▪ S'extrait des matériaux, surtout lorsque:

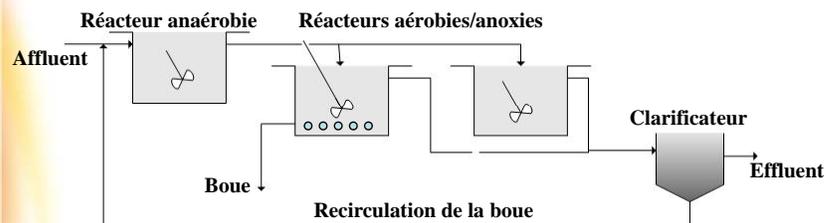
- Nettoyés avec des détergents puissants
- Portés à haute température
- Mis en contact avec des acides forts

▪ Concentration typique dans les eaux usées

- Entre 5 et 10 µg/L

Matériel et méthodes

- Usine pilote à Copenhague (Danemark)
 - Station de traitement des eaux Lynetten
 - Procédé Biedenipho™
 - Volume total des réacteurs: 11.6 m³



Matériel et méthodes

- Usine pilote à Copenhague (Danemark)



Matériel et méthodes

- Usine pilote à Copenhague (Danemark)



Modélisation

$$\frac{dXOC}{dt} = \frac{Q_{in}}{V} (XOC_{in} - XOC_{out}) - \text{Dégradation biologique} - \text{Sorption} - \text{Volatilisation}$$

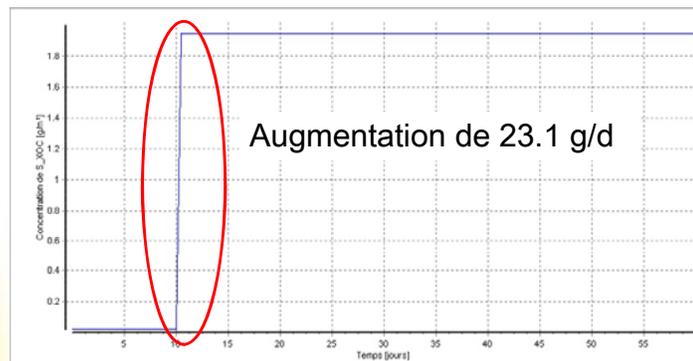
- Bisphénol A non-volatile
- Biodégradation par une bactérie spécialisée
- Biodégradation seulement en présence d'O₂

Plan de la présentation

- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

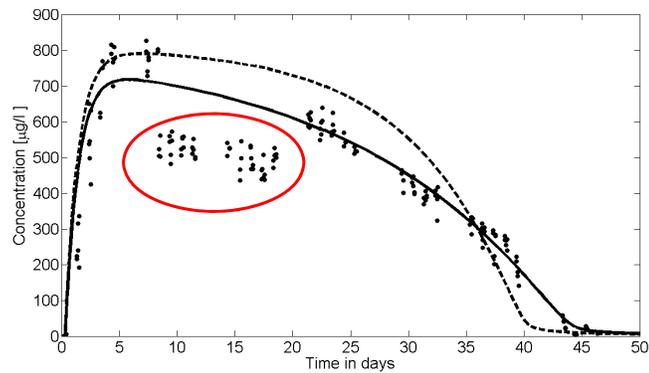
Résultats

- Expérience: Augmentation échelon de BPA



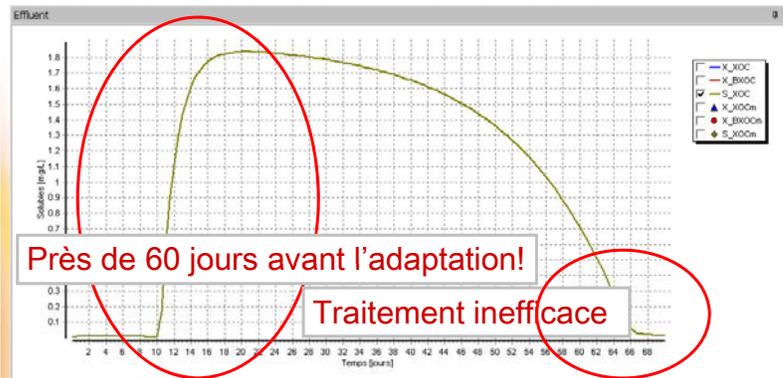
Résultats

- Étude de cas à Lynetten (Injection de 10 g/d de BPA)



Résultats

- Concentration de BPA à l'effluent



Résultats

- Concentration de BPA à l'effluent



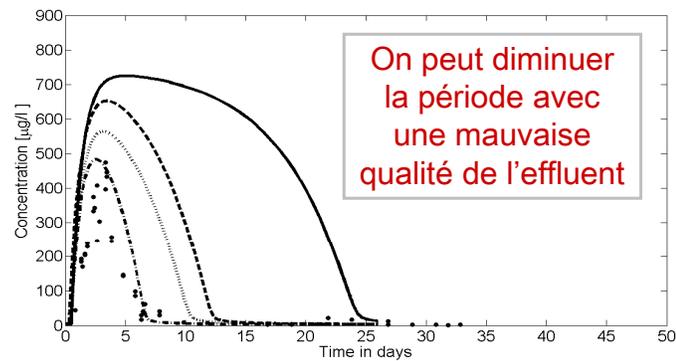
Croissance
des bactéries
spécialisées

Résultats

- Utilisation du modèle:
 - Effet des paramètres opérationnelles
 - Augmentation de la température et de l'aération
 - Injection de 1 g/d de BPA durant 60 jours afin d'adapter la biomasse pour le nouveau polluant
 - Aucune injection durant 14 jours
 - Injection de 10 g/d de BPA

Résultats

- Effet des paramètres opérationnelles



Plan de la présentation

- Problématique
- Objectifs
- Matériel et méthodes
- Modélisation
- Résultats
- Conclusion

Conclusion

- Études de cas:
 - Composés organiques xénobiotiques
 - Métaux lourds
- Conception d'un modèle qui traite:
 - Polluants traditionnels
 - Métaux lourds
 - Bisphénol A
- Potentiel du modèle
 - Optimiser la conception/fonctionnement des STEP

$$k_{\text{sorption}} \cdot \left(S_{\text{Métal}} \cdot X_{\text{TSS}} - \frac{X_{\text{Métal}}}{K_D} \right)$$

Conclusion

- Remerciements



*Chaire de Recherche du Canada
en Modélisation de la Qualité de l'Eau*

- Paul Lessard
- Erik Lindblom
- Guillaume Jalby