



**TRAITEMENT DES EAUX : À L'INTERFACE DE PROCESSUS
CHIMIQUES, BIOLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES, NOUVEAUX
OUTILS DE CARACTÉRISATION DES PROCÉDÉS**

Julien LAURENT, Maître de Conférences, ENGEES-IMFS

Réunion axe transverse EDD – 19 novembre 2012



Equipe « Mécanique des fluides »

- Dispositifs expérimentaux



Sites expérimentaux

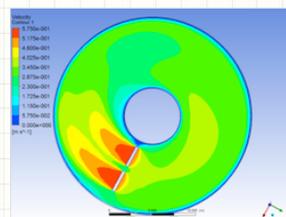
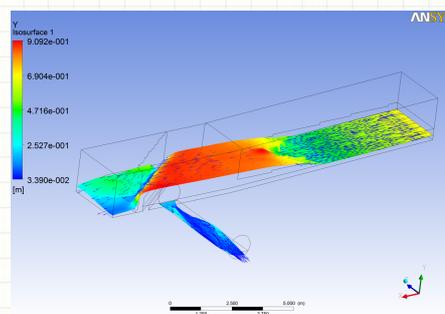
- Zones humides artificielles pour le traitement des eaux pluviales



3

Modélisation

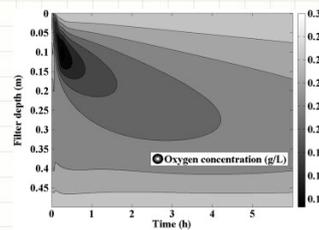
- 3D CFD modeling
 - Ansys Fluent
 - OpenFoam
- Applications
 - Sewer network modeling (CSOs)
 - Water treatment (reactor optimization, settling)



4

Modélisation

- Flow, transport, reaction, transfer in porous media (sand filters for wastewater treatment)



5

Plan de la présentation

1

- Intérêt du couplage hydraulique – transfert - réaction

2

- Traitement des eaux pluviales : caractérisation du transport réactif. Approches systémique et mécanique des fluides numérique

3

- Apport de la CFD pour l'optimisation de réacteurs biologiques

19/11/12

6

Objectif de l'étude hydrodynamique

- Mitigation des polluants dans les ouvrages de traitement des eaux
 - Cinétiques :
 - Chimiques
 - Biologiques
 - Adsorption
 - Transport solide

19/11/12

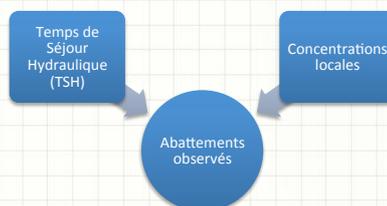
7

Objectif de l'étude hydrodynamique

Cinétiques réactionnelles

- Exemple : cinétique d'ordre 1

$$r = -kC$$



Paramètres régis en grande partie par les phénomènes hydrodynamiques !!!

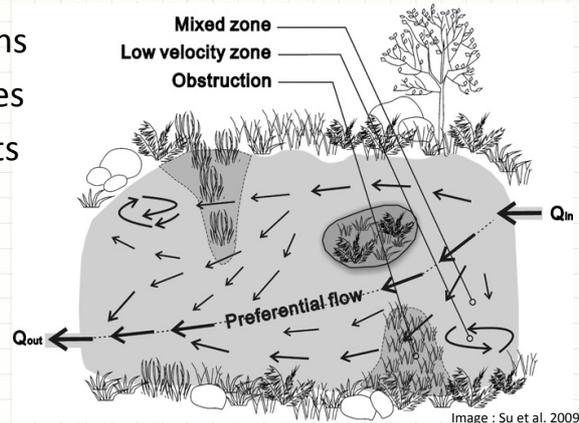
19/11/12

8

Objectif de l'étude hydrodynamique

- Non-idéalité des écoulements :

- Recirculations
- Zones-mortes
- Court-circuits
- Dispersion



19/11/12

9

2 approches

- Mécanique des fluides numérique

- Surface libre : Equations de Navier-Stokes => Ex. : ANSYS Fluent®
- Milieu poreux : Equation de Darcy, Richards => Hydrus, modèle de Petitjean et al. (2012)

- Méthode de la Distribution des Temps de Séjour

19/11/12

10



**TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES :
CARACTÉRISATION DU TRANSPORT RÉACTIF.
APPROCHES SYSTÉMIQUE ET MÉCANIQUE DES
FLUIDES NUMÉRIQUE**

19/11/12 11

Objectifs du projet

- Restauration d'un cours d'eau :
l'Ostwaldergraben
 - Création d'un corridor écologique (crapaud vert)
 - Traitement des eaux pluviales : réseau séparatif
 - Polluants usuels : MES, pollution carbonée...
 - Substances prioritaires : métaux lourds, hydrocarbures, pesticides

19/11/12 12

Bassins versants

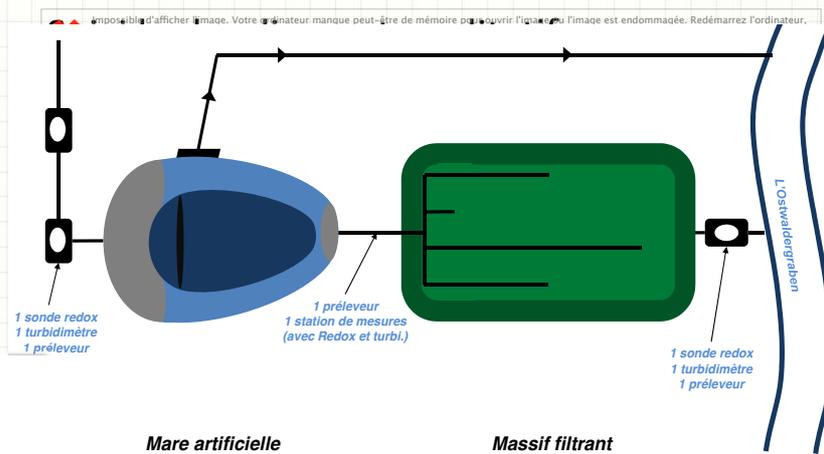


— BV1 — BV2 — BV3

19/11/12

13

Typologie des filières & Instrumentation



19/11/12

14

Instrumentation



19/11/12

15

Dimensionnement

		BV1	BV2	BV3
Bassin versant	Surface totale (m ²)	27 000	12 200	18 000
	Surface active (m ²)	9 000	3 800	5 200
Mare artificielle	Surface (m ²)	31	22	18
	Charge hydraulique (m/an)	10	6	10
Massif filtrant	Surface (m ²)	90	480	100
	Conductivité hydraulique (m/s)	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$
	Charge hydraulique (m/an)	50 à 60	-	25 à 30
	% de la surface active	1%	-	2%

Massif vertical
« standard »

↓
Temps de
contact court

Massif vertical
« optimal »

↓
Temps de
contact long

19/11/12

16

La filière étudiée

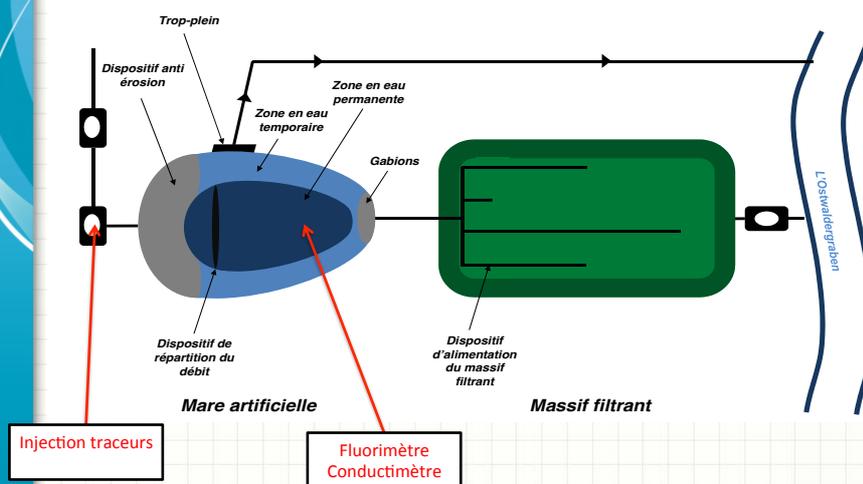


19/11/12

17

Protocole de traçage

Localisation des points de mesures



19/11/12

18

Protocole de traçage

Quantités injectées – Appareils de mesure

- Fluorescéine
 - Traceur non-conservatif (photosensible)
 - 300 mg
 - Mesure par fluorimètre de terrain GGUN-FL30
 - Problématique de l'étalonnage
- Chlorure de sodium
 - Traceur conservatif
 - 11,5 kg
 - Mesure par sonde autonome YSI 6620

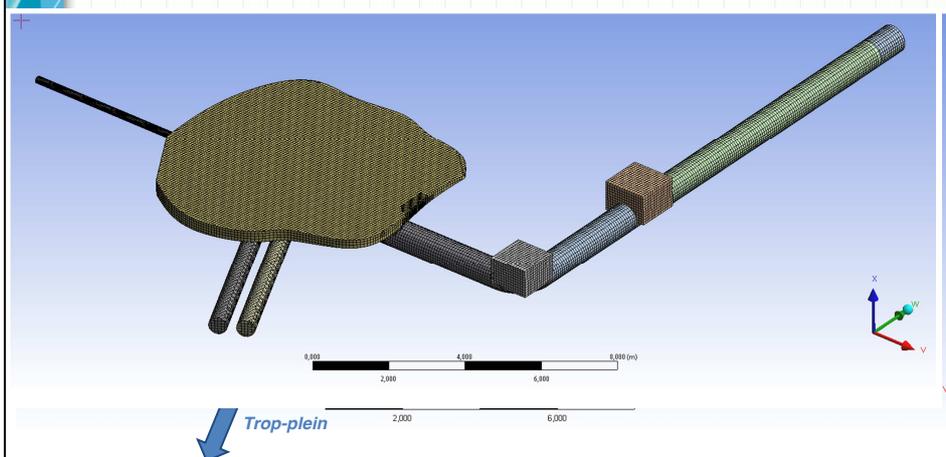


19/11/12

19

Matériel & méthodes

Modélisation numérique



19/11/12

20

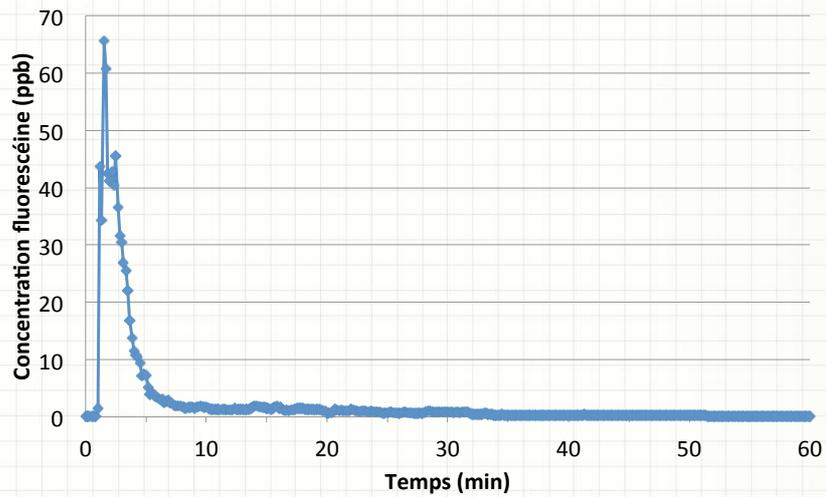
Traçage fluorescéine



19/11/12

21

Restitution fluorescéine



19/11/12

22

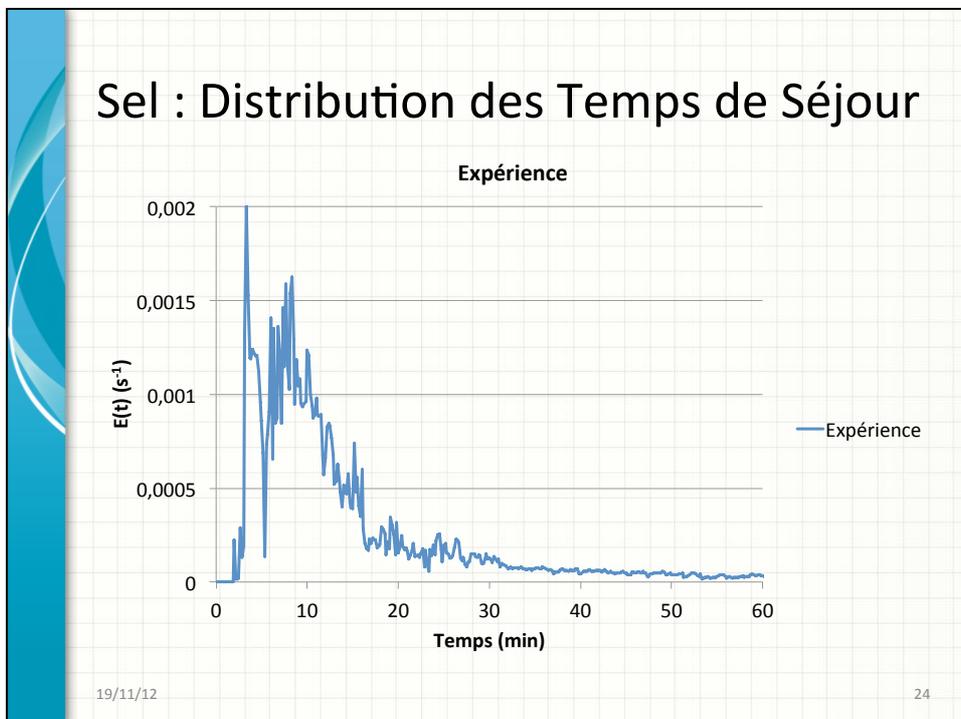
Restitution fluorescéine

- 33% !!!

=> Photodégradation



19/11/12 23



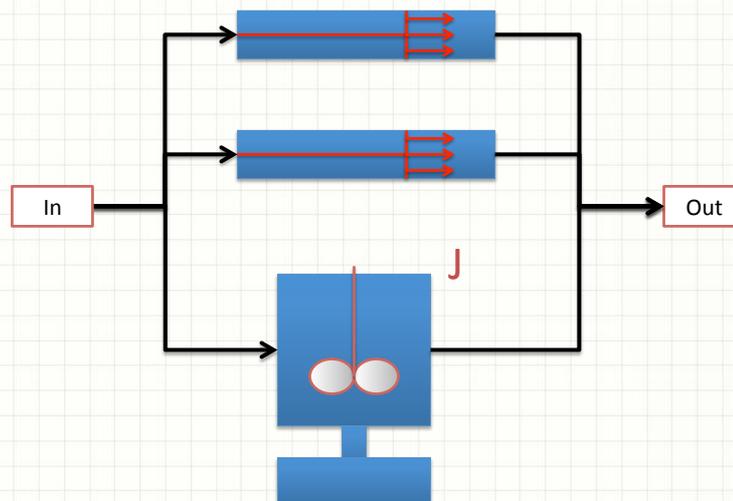
Sel : Distribution des Temps de Séjour

- Signal bruité :
 - Position du capteur
 - Effets de densité
- Incertitude ligne de base (bruit de fond)
- Paramètres calculés :
 - Temps de passage : 32 min
 - Temps de séjour moyen : 19 min
 - Indice de court-circuit : 0,09
 - Volume accessible au fluide : 11 m³

19/11/12

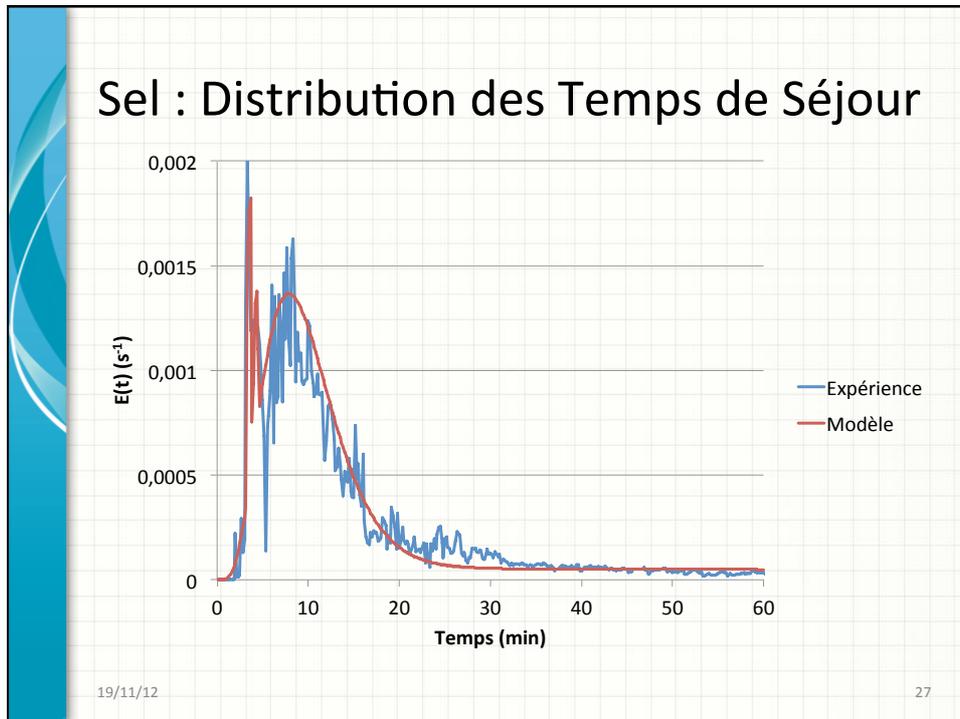
25

Modèle systémique



19/11/12

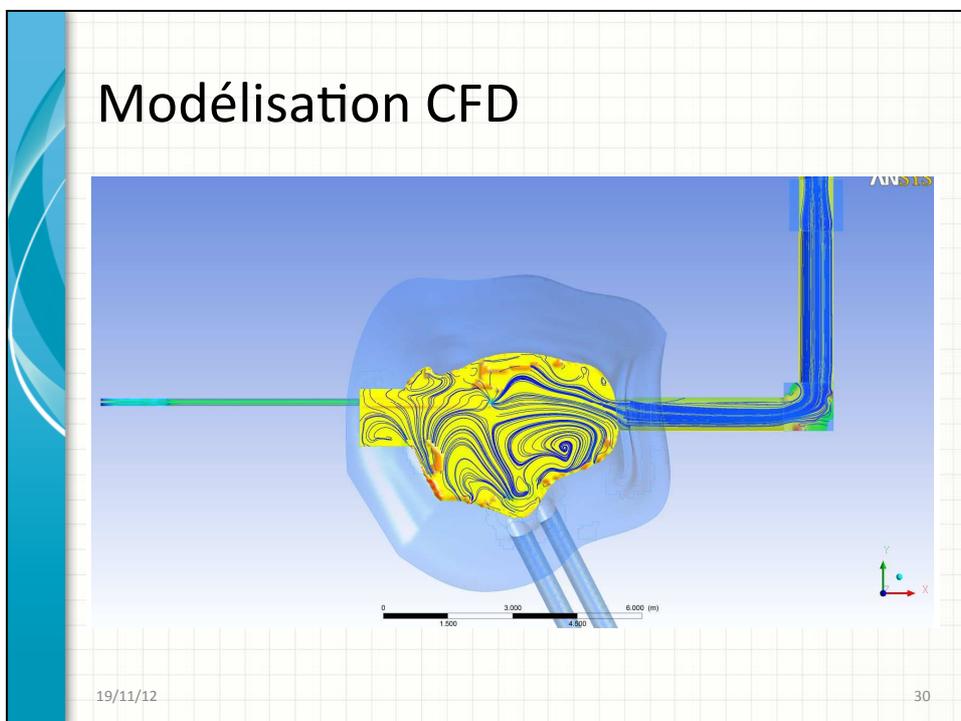
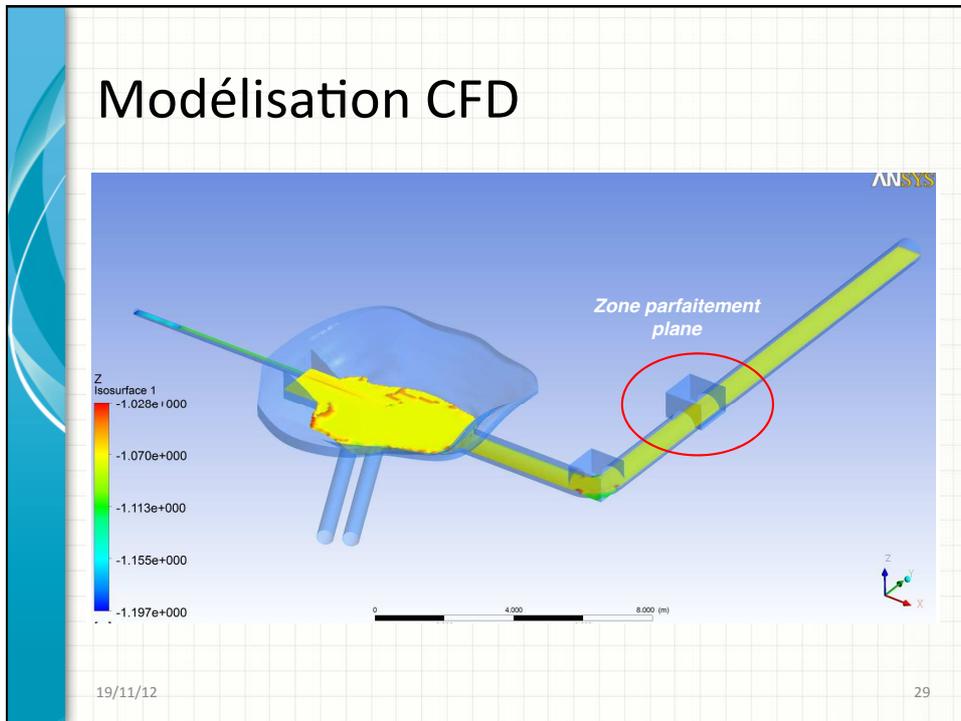
26

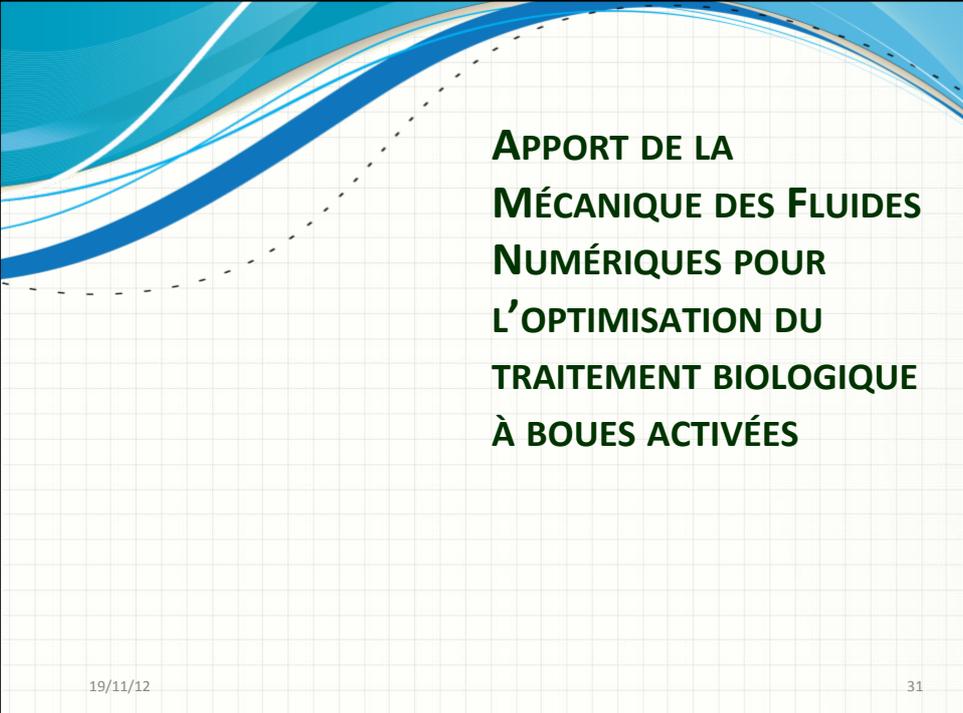


Modélisation CFD

- 1ers résultats de simulation :
 - Convergence pas encore atteinte
 - 300 00 itérations
 - 12h de calcul sur cluster 48 coeurs

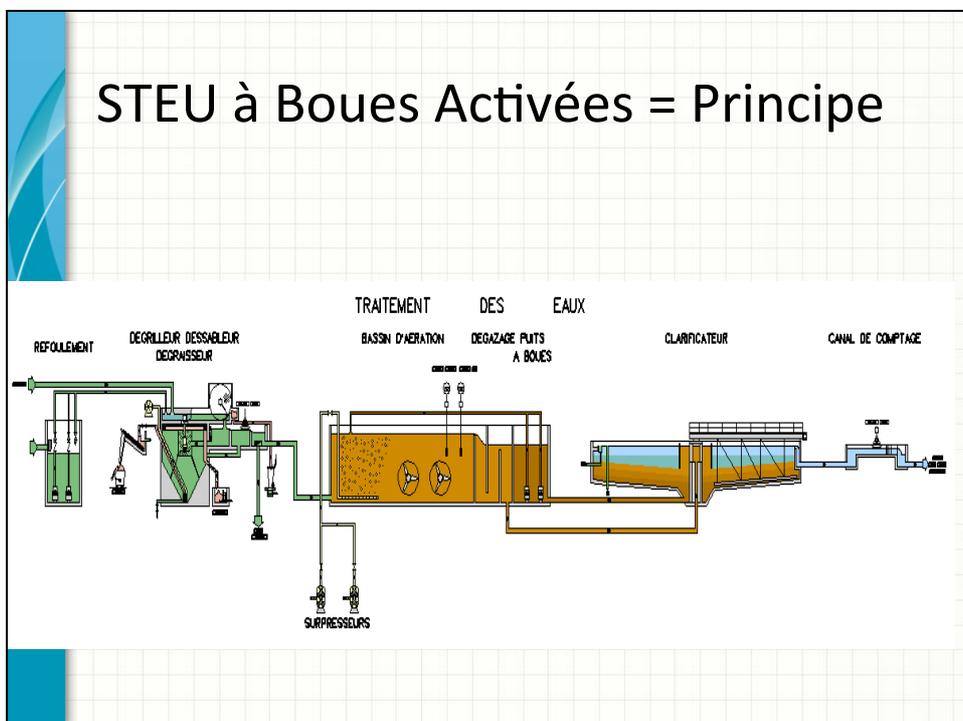
19/11/12 28





APPORT DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES NUMÉRIQUES POUR L'OPTIMISATION DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE À BOUES ACTIVÉES

19/11/12 31

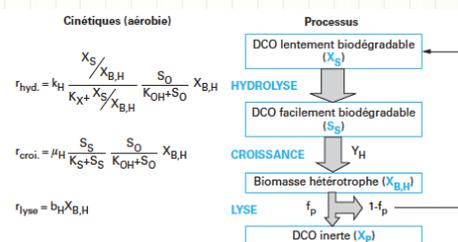


STEU à Boues Activées = Principe

- Le bassin d'aération : élément clé de la station d'épuration
- Son rôle : assurer la couverture des besoins en O_2 pour la dégradation bactérienne de la pollution
- Respect de 3 priorités pour son bon fonctionnement
 - Brassage suffisant
 - Aération suffisante
 - Optimisation dépense énergétique

Problématique

- Modélisation des STEU
 - Modèles biocinétiques reconnus : exemple de la famille des modèles de la famille ASM
 - Description de l'hydrodynamique : approc systémique
 - Hypothèses à vérifier (traçages...)
 - Temps de calcul si beaucoup de réacteurs en cascade
 - Utilisation de la Mécanique des Fluides Numériques
 - Meilleure description
 - Optimisation



Objectif

- Montrer une application simple de la MFN pour l'optimisation du brassage au sein d'un bassin d'aération
- Cadre de l'étude :
 - chenaux circulaires
 - diffuseurs fines bulles pour l'aération
 - agitateurs à rotation lente, à grandes pales et à axe horizontal



Méthodes

- Utilisation du code de calcul Fluent 13.0
- Code commercial utilisant la méthode des **volumes finis** pour résoudre les équations de **Navier Stokes** en **régime turbulent**
- Schémas de discrétisation : schémas amont du premier et second ordre

- En monophasique :
 - Equation de continuité :

$$\frac{\partial(V_i)}{\partial x_i} = 0$$

- Equation de la quantité de mouvement (RANS) :

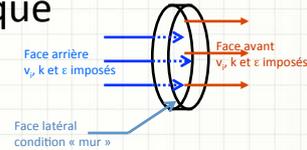
$$\rho \frac{DV_i}{Dt} = \rho \frac{\partial V_i}{\partial t} + \rho V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \rho g_i + \mu \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_j \partial x_j} - \rho \frac{\partial(\overline{v_i v_j})}{\partial x_j}$$

$$\overline{v_i v_j} = \nu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

- Transport de k et ε (modèle de turbulence)

Hypothèses de travail

- Simulation en régime stationnaire
- Travail en mode monophasique
- Modèle de turbulence 
- Conditions aux limites :

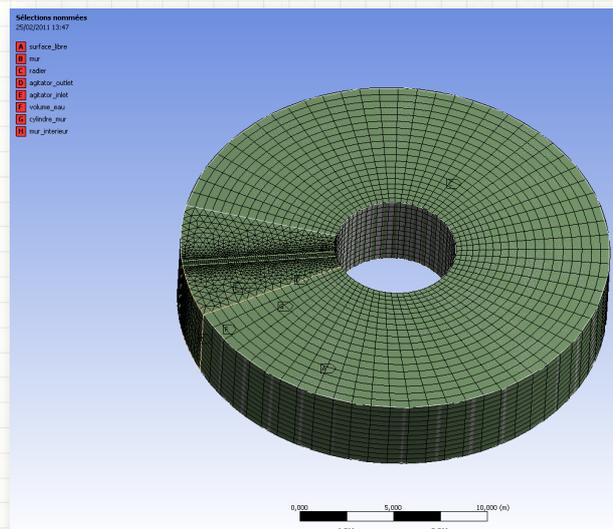


– Agitateurs

- approche « valeurs fixées »

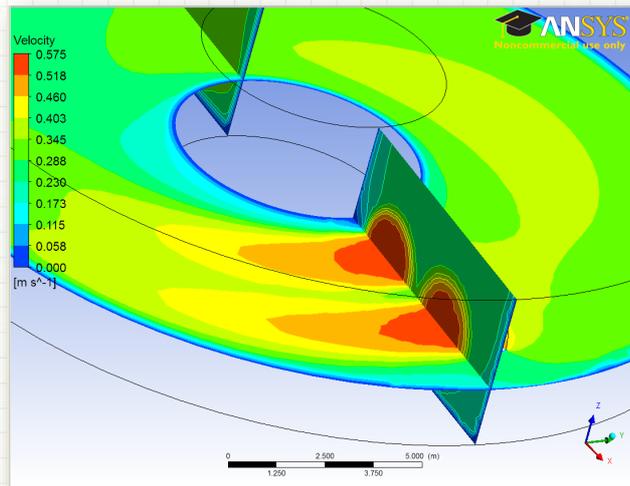
Zone	Condition aux limites
Aspiration agitateurs	Vitesse = $0,525 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Refoulement agitateurs	Vitesse = $0,525 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Paroi du bassin	Paroi ($Ks=70 \text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$)
Radier	Paroi ($Ks=60 \text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$)
Surface libre	Symétrie (surface libre supposée indéformable)

Représentation 3D et maillage



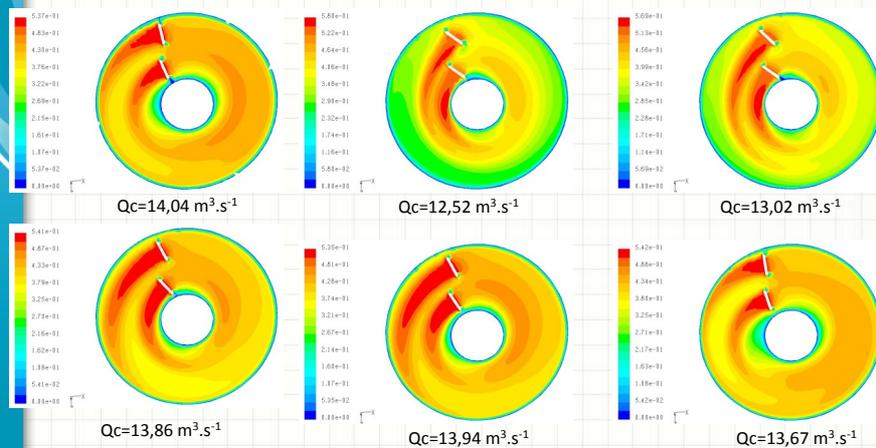
Résultats de simulation

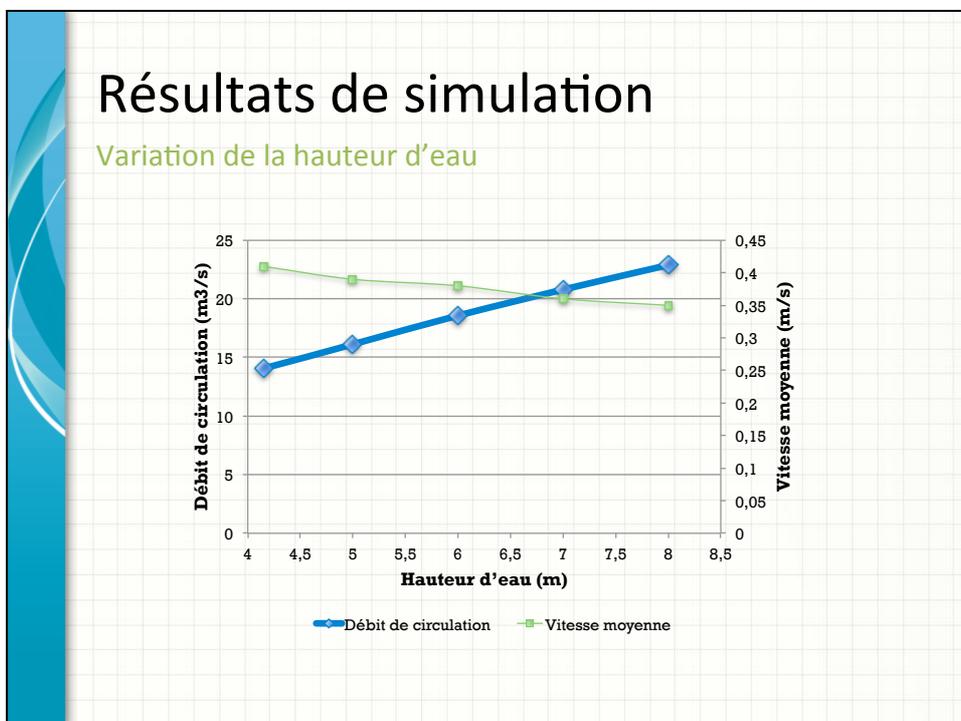
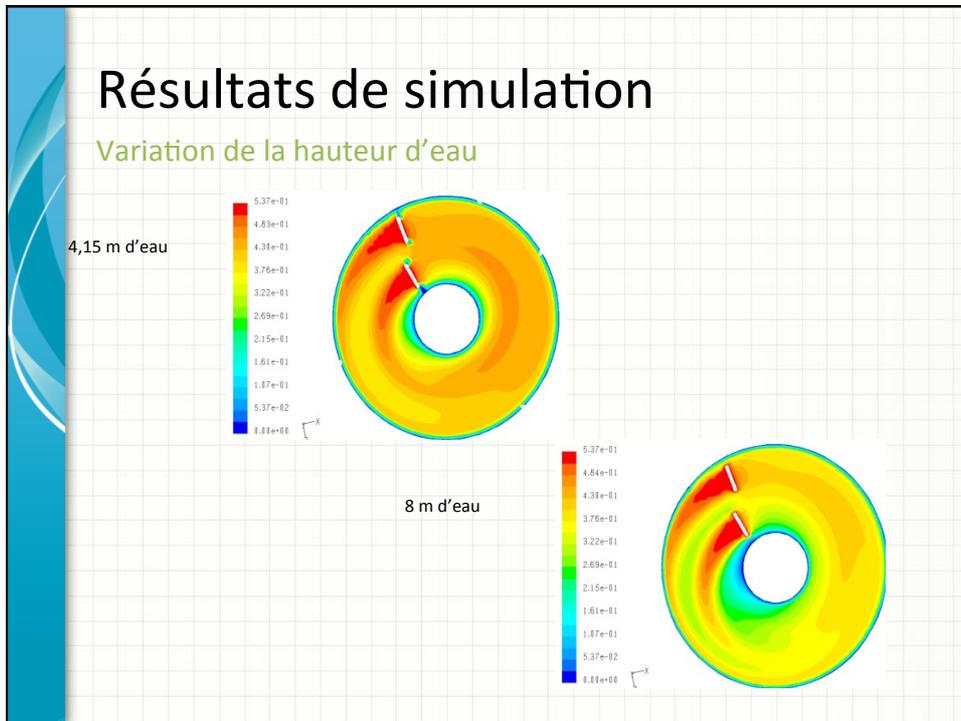
Variations de l'inclinaison des hélices dans le plan horizontal



Résultats de simulation

Variations de l'inclinaison des hélices dans le plan horizontal



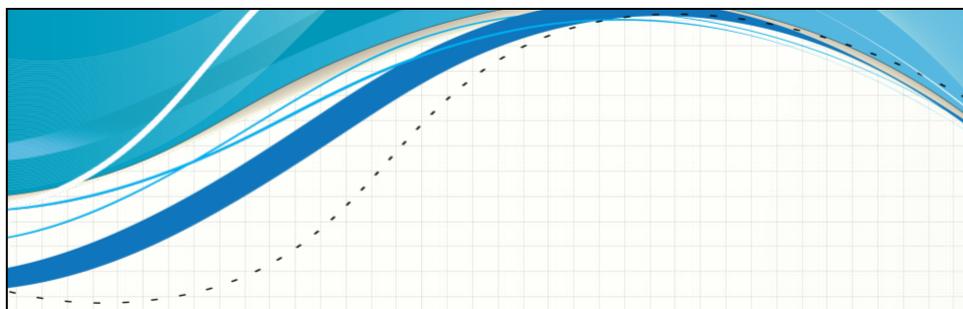


Résultats de simulation

Inclinaison verticale des hélices de 10°

- Essai pour plusieurs hauteurs d'eau

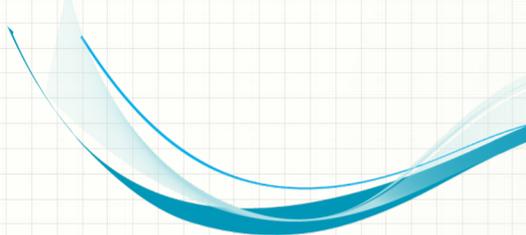
	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Hauteur d'eau (m)	6	7	8
Augmentation relative du débit de circulation	0,6 %	0,4 %	0,5 %



**CONCLUSION &
PERSPECTIVES**

19/11/12 44

Conclusions

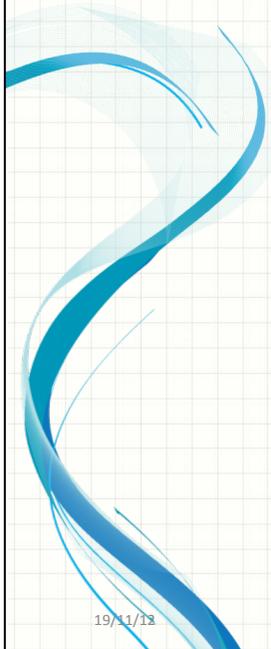


- Mécanique des Fluides Numérique : outil performant pour simuler l'hydrodynamique de réacteurs biologiques (ou autres !)
- Possibilité d'optimiser le dimensionnement et l'exploitation des ouvrages
- Possibilité de « traçages virtuels », approche compartimentale, etc.
 - Lien avec l'approche systémique

19/11/12

45

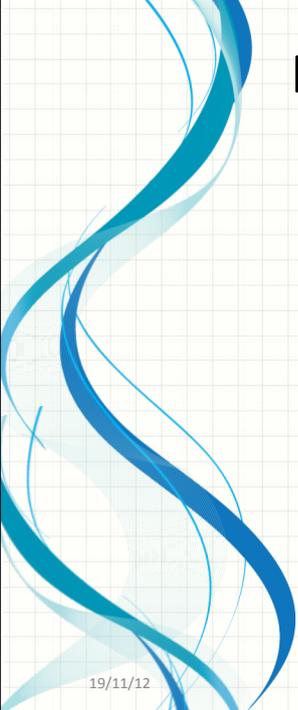
Conclusions



- Projets en cours
 - Ostwaldergraben : zones humides artificielles pour le traitement de rejets pluviaux stricts (CUS, ZAEU, AERM)
 - Intégration des propriétés rhéologiques des boues d'épuration dans un modèle de décantation 3D
 - Expertise sur l'infiltration d'eaux autoroutières en Alsace (CG 67)

19/11/12

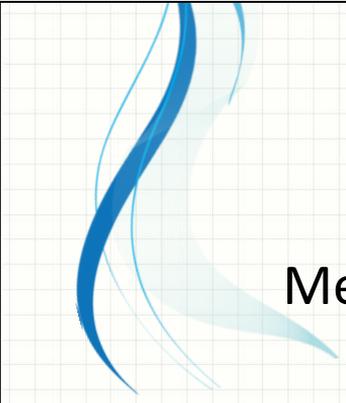
46



Perspectives

- Amélioration du protocole de traçage
 - Position des capteurs
 - Autre traceurs (SRB)
- Traçage avec prise en compte du massif filtrant vertical
- CFD
 - Modèles multiphasiques
 - Travail sur le maillage
 - Simulations pour différents débits
- DTS numériques => modèles systémiques et/ou compartimentaux

19/11/12 47



Merci de votre attention...

Questions

19/11/12 48