



COMMUNAUTÉS DE RECHERCHE ACADÉMIQUE Rhône-Alpes



ENVIRONNEMENT

Rhône-Alpes Région



UNIVERSITÉ DE LYON



DOCTEURS CHIMIE edchimie-lyon.fr

Performances, modélisation et limites d'un procédé à lit fluidisé associant cultures libres et fixées (IFAS) pour le traitement du carbone et de l'azote des eaux résiduaires

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea

Paul Moretti
Nov. 2012- Oct. 2015



www.irstea.fr






2

Les partenaires

- Irstea de LYON:
Accueil du Doctorant, mise à disposition d'un pilote semi-industriel, suivi analytique, apport de connaissances en et modélisation (J-Pierre Canler et J-Marc Choubert, dir. thèse)
- INSA de Lyon:
Apport de connaissances du procédé IFAS (Pierre Buffière, co-dir.)
- Vinci Environnement:
Partenaire industriel, apport de connaissances dimensionnement, financement de matériel (Olivier Pétrimaux)
- Université de Laval à Québec:
Modélisation cultures fixées immergées, dont 1 séjour de 3 mois à Québec (Pr. Paul Lessard)
- Région Rhône Alpes, ARC Environnement:
Financement: Allocation Doctorale de Recherche

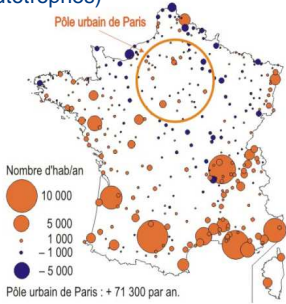

➤ Comité de suivi tous les 3 mois

3

Contexte de l'étude

PROCÉDÉ À CULTURE FIXÉE FLUIDISÉE

- **Contexte réglementaire et démographique:**
 - Réglementation plus sévère (objectif DCE)
 - Augmenter les capacités de traitement sans modifier les volumes de réacteur (contrainte foncière)
- **Limite des procédés intensifs conventionnels (Boue activée)**
 - La Nitrification: limite de compacité (lessivage des autotrophes)
 - Variations de charges touristiques
- **Procédé à Culture fixée fluidisée:**
 - Moving Bed Biofilm Réacteur (MBBR)
 - Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS)

4

Contexte de l'étude

RECHERCHES ENGAGÉES PAR L'EQUIPE EPURE (IRSTEA LYON) EN PARTENARIAT AVEC UNIV. LAVAL

- **Biofiltration immergée : culture fixée fixe**
 - Evaluation de procédé depuis les années 90 (Canler/Perret)
 - Thèse E. Vigne (2007) / Evaluation et Modélisation (pilote St-Fons)
- **Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) : culture fixée fluidisée**
 - Développé en Norvège au début des années 90
 - 26 installations en France en 2011
 - Thèse U. Barry (2012) / Evaluation et Modélisation (pilote Fontaine s/ Saône)
 - Synthèse Agence de l'eau RMC www.fndae.fr
- **Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS): culture libre + fixée fluidisée (= hybride)**
 - Technologie récente: Annapolis, Maryland (Randal et al. 1996). 1^{ère} française : Lille-Marquette (en cours de mise en route)
 - Thèse P. Moretti (2015) / Evaluation et Modélisation (pilote Hall Feysine)

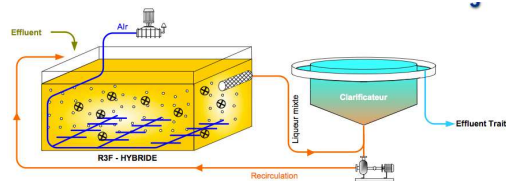


Principe de l'IFAS

Procédé "hybride" associant à lit fixé fluidisé

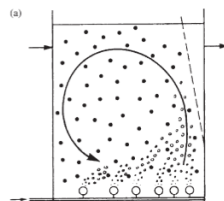
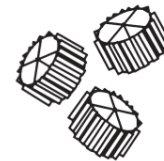
- **Culture libre: Liqueur mixte (floc de Boue activée)**
 - **Culture fixée fluidisée : Biofilm (Biomédia)**
 - découplage temps de séjour des solides (floc) et temps de séjour biofilm
- MBBR: Culture libre très faible, pas de recirculation

- "Facilité" de mise en œuvre sur des installations existante type boue activée
 - Réhabilitation de station d'épuration



Les biomédias

- **Biomédias en flottation libre (densité proche de 1,0)**
- Anox Kaldnés (K1), VINCI (BMX1)
- Autres formats (Biochip...)
- Coût: 500 à 1000€/m³
- **Fluidisation**
- Taux de remplissage IFAS: 40-50%
- Aération moyennes/grosses bulles



Questionnement de la thèse

Approche Processus / Procédés

7

- **Aboutir au dimensionnement du procédé IFAS?**
 - Quelles concentrations au rejet sont attendues? (C et N)
 - Quelles charges polluantes appliquées? (C et N)
 - Quel critère de dimensionnement utiliser?
 - Limites

- **Processus: rôle et contribution du biofilm (vs. liqueur mixte) en IFAS?**
 - Le biofilm nitrifie-t-il la charge azotée appliquée en IFAS?
 - Comment la nitrification du biofilm est-elle influencée par le substrat?
 - Le biofilm ensemence-t-il la culture libre en autotrophe?

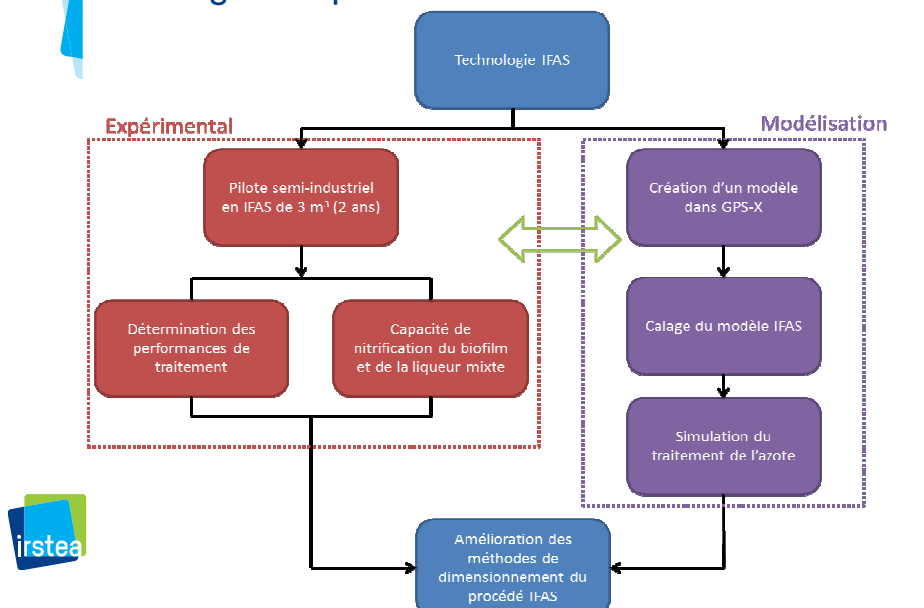
- **Aboutir à un modèle pour une configuration de procédé IFAS?**
 - Quelles modèles correspond le mieux au procédé?
 - Quelles sont les paramètres adaptés?
 - Quelle démarche de modélisation suivre?
 - Limites



In-fine : Quelle optimisation attendre pour le procédé (dimensionnement, fonctionnement) ?

Stratégie adoptée dans la thèse

8



9

Expérimental: Outils de Travail

Hall expérimental de la Feysine

- Pilote de 3,0 m³



Instrumentation

- Automatisme industriel
- 10 Sondes en ligne pour mesures instantanées
- Prélèvement sur 24h toute les semaines

Mesures ciblées

- Vitesse maximale de nitrification



- Etude de la fluidisation en colonne



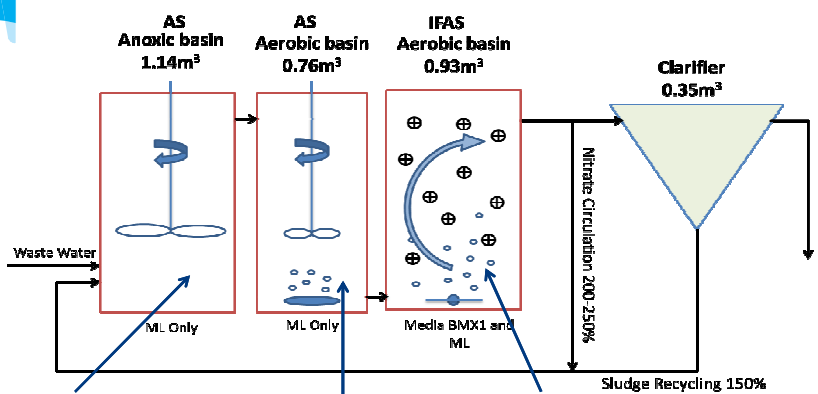
Installation pilote en fonctionnement de Mai 2012 à Septembre 2014:

- 2,5 ans de données




10


La configuration IFAS étudiée à l'échelle pilote



Zone Anoxie:
Dénitrification
 Pas de biomédia
 Pas d'aération

Zone Aérobie 1:
Carbone
 Pas de biomédia
 Aération séquentielle

Zone Aérobie 2:
Nitrification
 Biomédia BMX1
 Taux de remplissage: 43%



Eau usée Brute

11

	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	NK (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)
Eau usée brute	204	451	114	182	46	33
dessablée	±84	±139	±29	±60	±13	±10

	DCO/DBO ₅ (gDCO/gBDO ₅)	DCO/NK (gDCO/gN)	Ammonification (%)
Eau usée brute	2.8	8.5	67%
dessablée	±0.5	±2.0	±7%

- Suivi sur le long terme (89 échantillons moyen 24h sur 2 ans)
- Eau Usée Brute dessablée provenant de la station de la Feysine (Villeurbanne)
- Eau chargée en azote et en composés particuliers par rapport à une ERU classique
 - Retour de digestion de la station de la Feysine au point de prélèvement



Programme expérimental

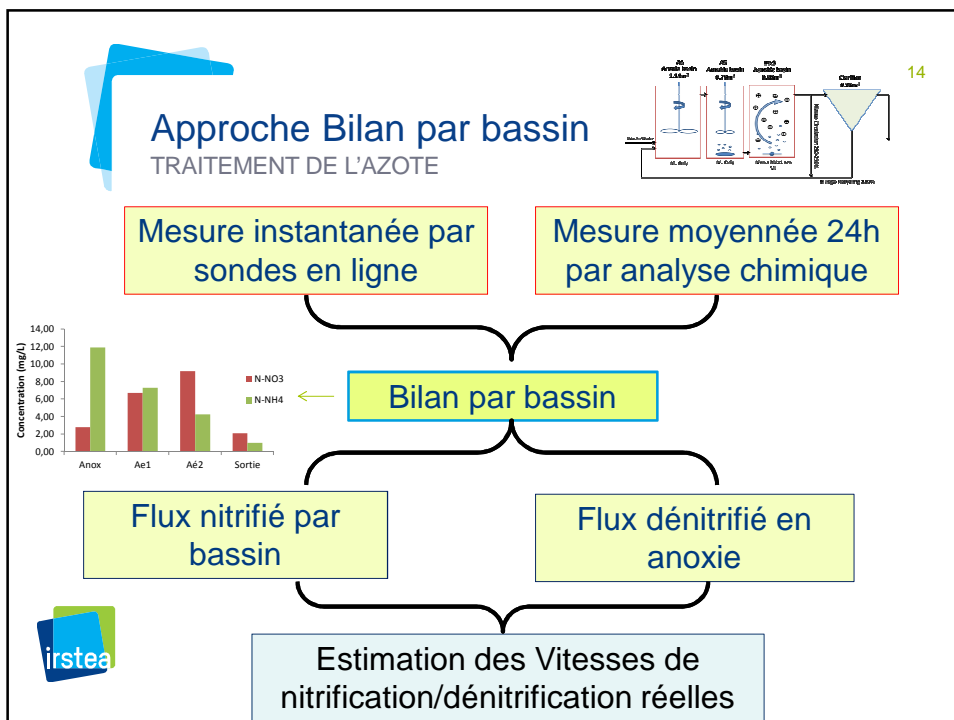
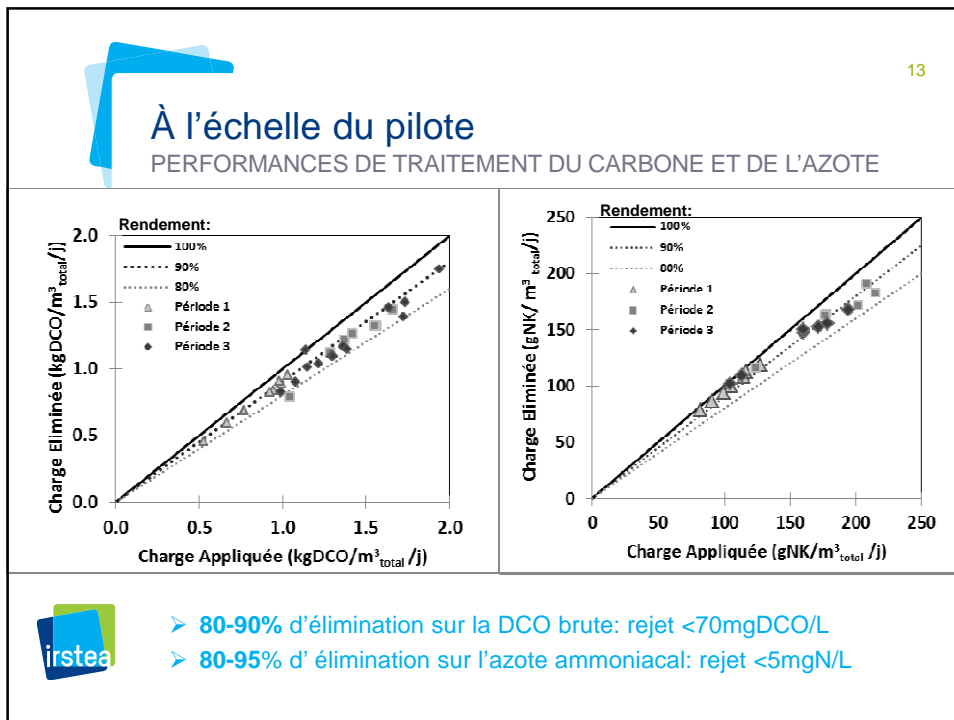
CONDITIONS OPÉRATOIRES ÉVALUÉES

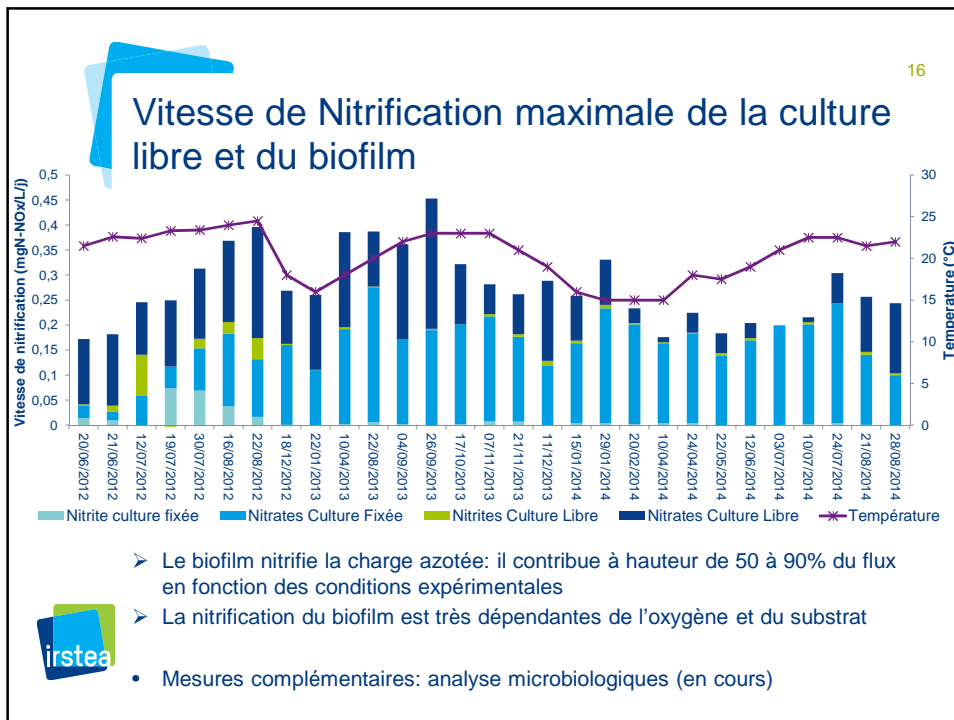
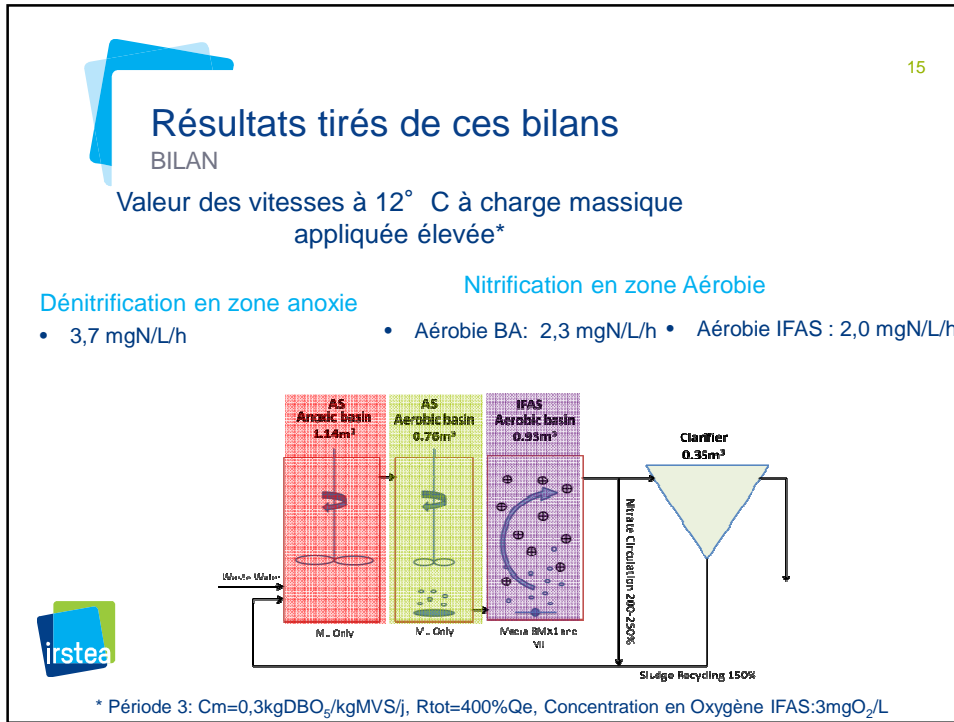
12

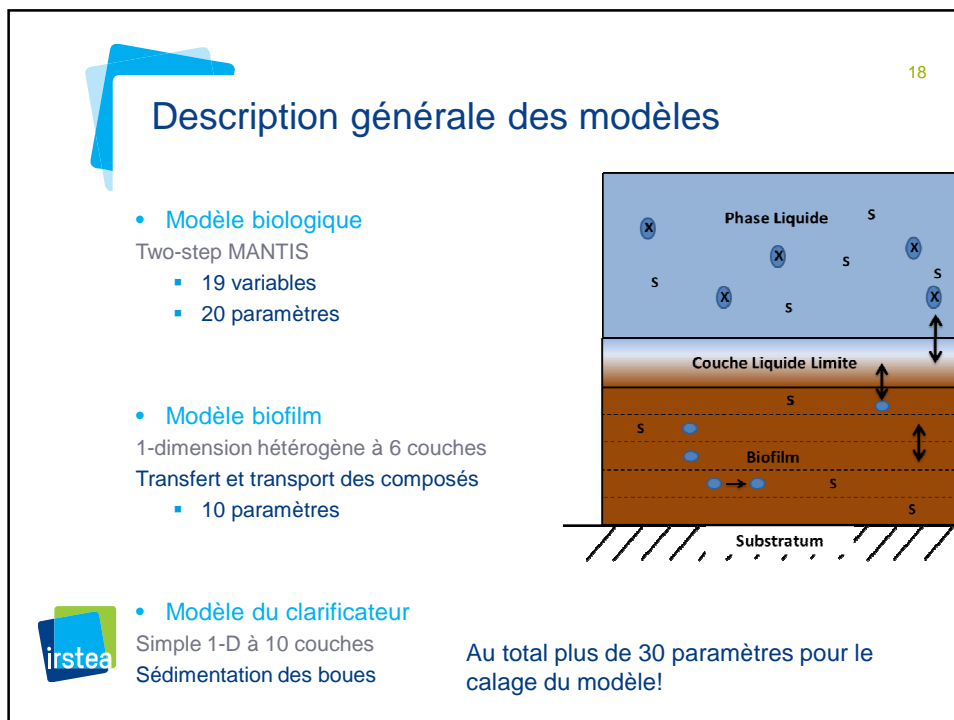
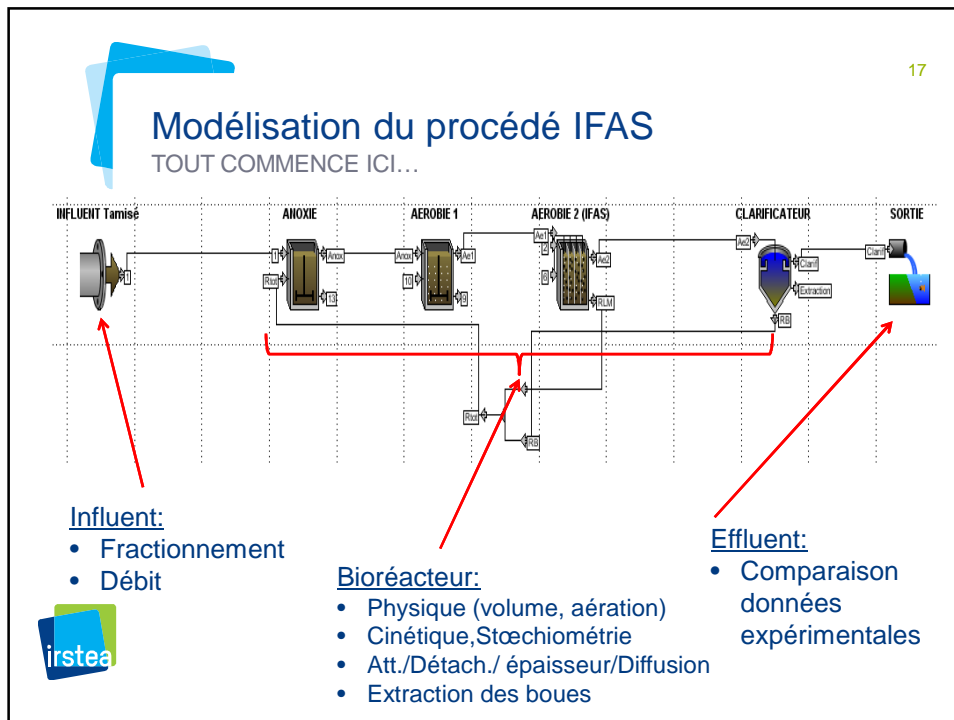
Périodes	Novembre 2012 -Mai 2013	Juin – Novembre 2013	Décembre- Mars 2014	Mai- Août 2014
	1	2	3	4,5,6
Charge Massique (kgDBO ₅ /kgMVS/j)	0.20	0.35	0.35	0.35
Qe (m ³ /j)	5.0	9.0	9.0	9.0
Température (°C)	15-18	20-25	15-18	19-24
Age des boues (j)	8-9	4-5	4-5	4-5
Oxygène Aérobie 1	24h/j	24h/j	24h/j	12-17h/j



Charge massique appliquée 3.5 fois plus élevée que la charge massique nominale pour une Boue activée aération prolongée

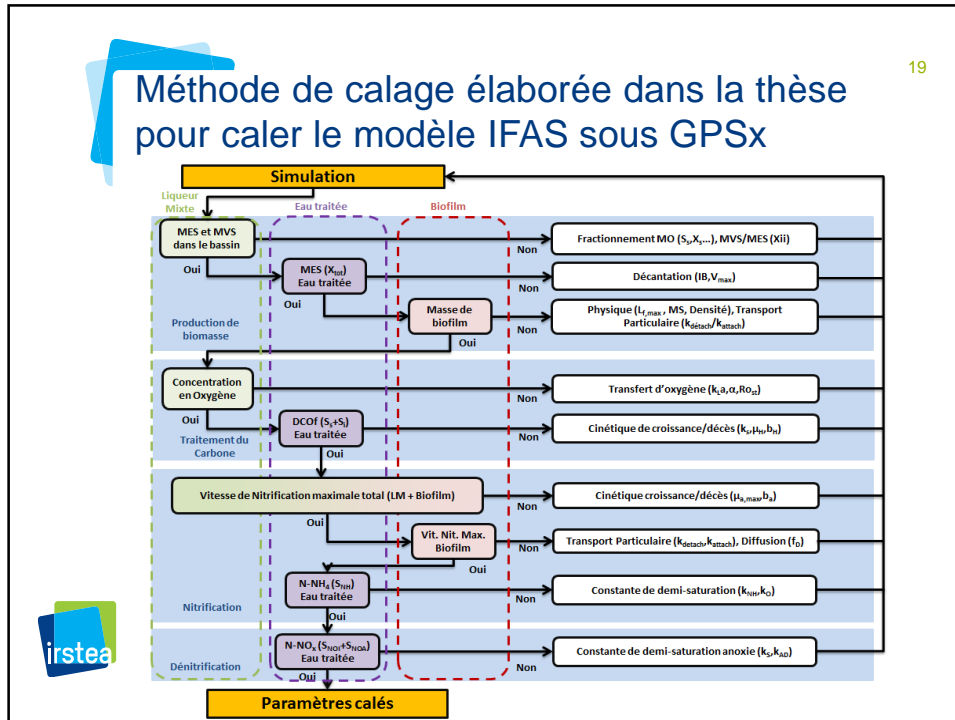






Méthode de calage élaborée dans la thèse pour caler le modèle IFAS sous GPSx

19

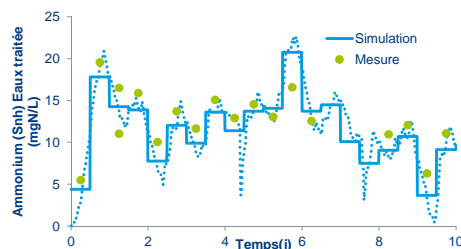


Résultat de simulation de l'azote

20

- Jeu de paramètres calés du modèle IFAS

	Unité	Défaut	Calé
$\mu_{aa,max}$	j^{-1}	0,26	0,80
$\mu_{ai,max}$	j^{-1}	0,30	0,90
b_a (AOB et NOB)	j^{-1}	0,04	0,05
$D_{w,O2}$	cm^2/s	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$D_{w,Snh}$	cm^2/s	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$
F_D	%	50%	50%
$L_{f,max}$	mm	0,50	0,12
k_{det}	$kg/m^2/j$	0,07	0,30
k_{attach}	$m^3/m^2/j$	0,50	0,50
MS	%	10	10



- Calages des paramètres physiques du biofilm, de détachement et des coefficients de croissance et de mortalité autotrophe
- Démarche de modélisation validée

21

Synthèse et Conclusion

- Le procédé IFAS dispose de performances de traitement élevées et associé à des concentrations au rejet faible pour des charges appliquées élevées
- Le dimensionnement de l'IFAS est mieux connu grâce au conditions de traitement étudiée (charge massique appliquée, oxygène, MES...)
- Le biofilm participe significativement à la nitrification: contribution de 50 à 90% au flux nitrifié, et il ensemence la liqueur mixte en autotrophe
- Les concentrations en substrat et en oxygène déterminent la concentration en autotrophe dans le biofilm (oxygène < 5mgO₂/L)
- Le procédé IFAS a été modélisé avec succès grâce au protocole de calage créé
- Les paramètres physique du biofilm et le transfert des composées sont des paramètres sensible pour la modélisation du procédé IFAS



22

Valorisation de la Thèse

- Règles de dimensionnement du procédé utilisées par VINCI Environnement
- Conférences Internationales:
 - IWA Biofilm (Paris 2013)
 - IWA World Water (Lisbonne 2014)
 - ACQE (Montréal 2014)
- Publications:
 - Moretti,P., Choubert,J.M., Canler,J.P., Buffiere,P., Petrimaux,O., Lessard,P. (2015) Understanding the contribution of biofilm in IFAS system. Water Science and Technology 71 (10), xxx
- Articles en cours d'écriture
 - Modélisation et calage d'un modèle 1D sur un procédé (IFAS)
 - Article technique TSM (en cours d'écriture)





23

Remerciements

- ARC Environnement et Région Rhône-Alpes
- Vinci, Université Laval et les membres du comité de pilotage pour avoir soutenu la thèse



24

Merci de votre attention

