

Modélisation dynamique du fonctionnement des stations de traitement et de valorisation des eaux usées

Ahlem Filali, Sylvie Gillot



www.irstea.fr

*Journée Scientifique CODEGEPR
21 Novembre 2019*

Evolution des fonctions des STEPs

2

Passé

Traiter pour réduire les risques sanitaires, puis protéger les milieux récepteurs

Présent

Optimiser le traitement

- niveaux de rejet plus stricts
- maîtriser les impacts environnementaux et les coûts (énergie, réactifs, gaz à effet de serre,...)
- + nouvelles espèces à considérer (micropolluants)

Futur

Recycler et valoriser les ressources contenues dans les eaux

- EAU, nutriments (N, P), matière organique (biogaz, chaleur)
- production de molécules plateformes (biopolymères,...)

Evolution des fonctions des STEPs

3

Passé

Traiter pour réduire les risques sanitaires, puis protéger les milieux récepteurs

De la STEP à la
StaRRE – Station de Récupération des Ressources de l'Eau

From WWTPs to
WRRFs – Water Resource Recovery Facilities

Futur

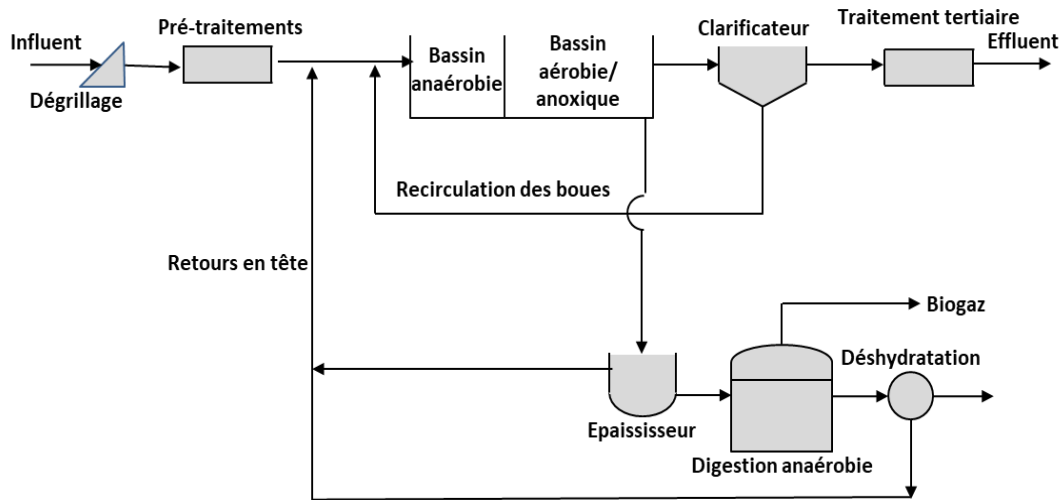
Recycler et valoriser les ressources contenues dans les eaux

- EAU, nutriments (N, P), matière organique (biogaz, chaleur)
- production de molécules plateformes (biopolymères,...)

La modélisation en pratique

4

Modélisation = représentation mathématique simplifiée des processus physiques, chimiques et biologiques ayant lieu dans les ouvrages de la station



- Ecoulements
- Réactions physico-chimiques (précipitation-dissolution, décantation, filtration,...)
- Transfert gaz – liquide (aération, émission de gaz,...)
- Réactions biologiques (conversion biologique des substrats)
- Fractionnement de la matière organique en classes de biodégradabilité

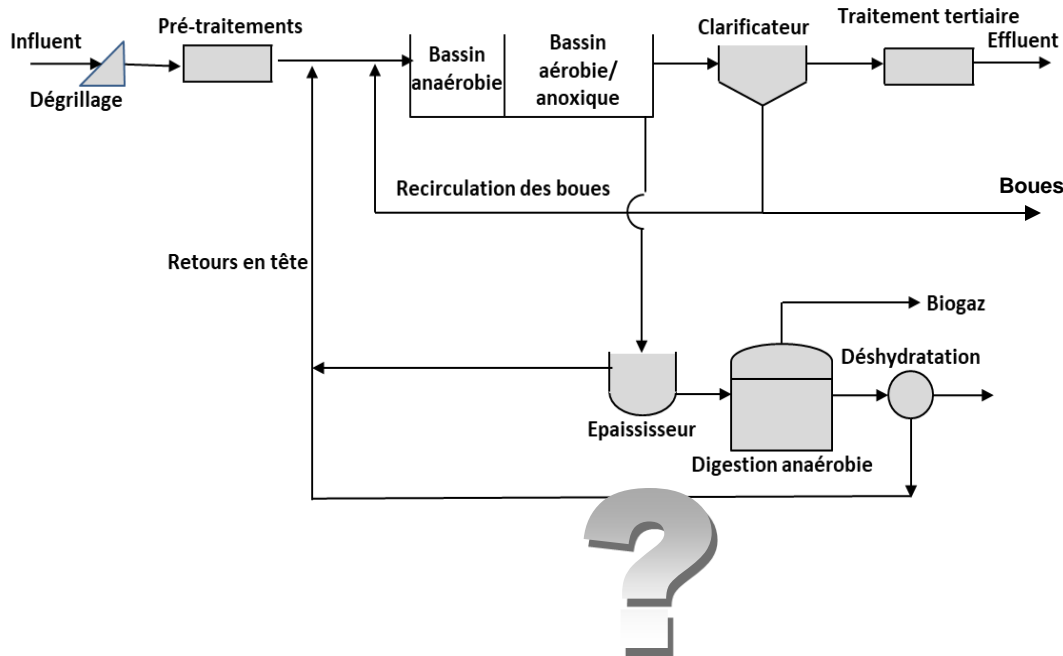
Système d'équations différentielles de degré 1 à résoudre



Rôle(s) de la modélisation

Début des années 90

Développement de modèles biocinétiques pour le traitement du Carbone et Azote ... puis, Phosphore (1999)

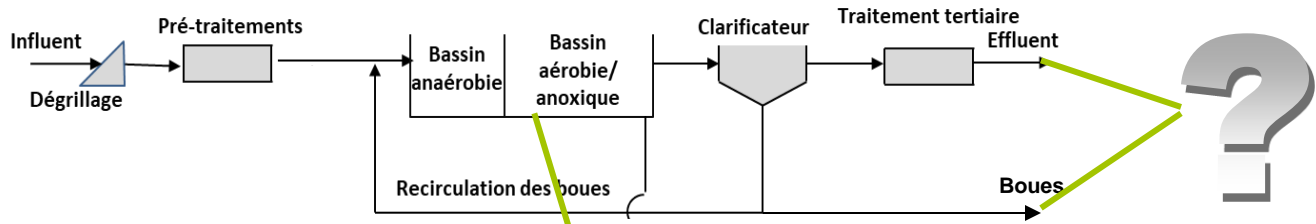


Rôle(s) de la modélisation

Début des années 90

Développement de modèles biocinétiques pour le traitement du Carbone et Azote ... puis, Phosphore (1999)

Dimensionnement



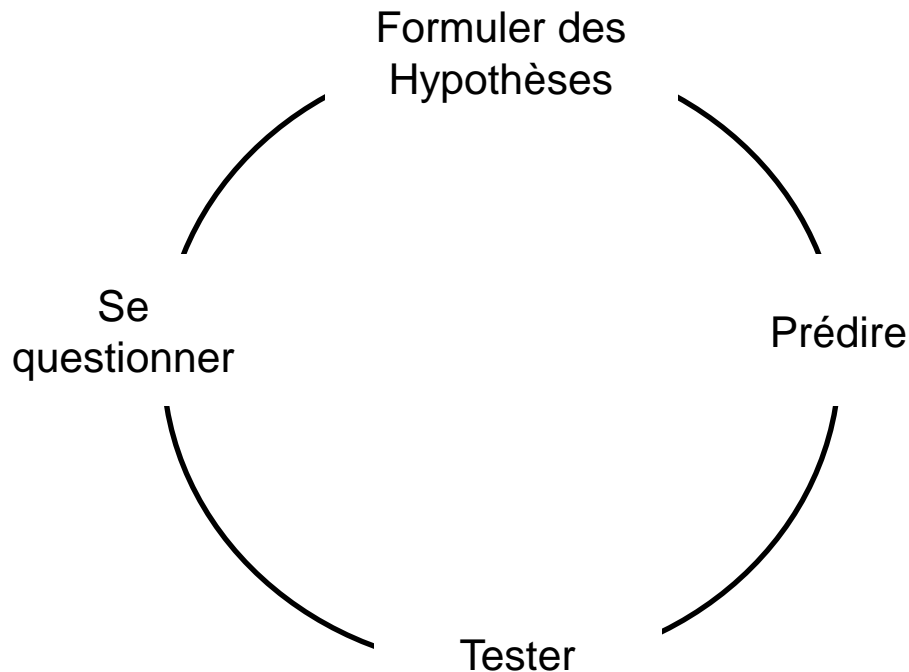
- Concentrations en polluants
- Production de boues

- Volumes / configuration des réacteurs
- Besoins en aération

Rôle(s) de la modélisation

○ Intégrateur et facilitateur de la connaissance

Identifier les paramètres (mécanismes) prépondérants ou de transition
Comprendre les mécanismes sous-jacents aux observations



- Analyse de sensibilité
- Outils de biologie moléculaire
- Outils de chimie analytique

Rôle(s) de la modélisation

- Intégrateur et facilitateur de la connaissance
- Dimensionnement
- Benchmarking (extension)
- Contrôle



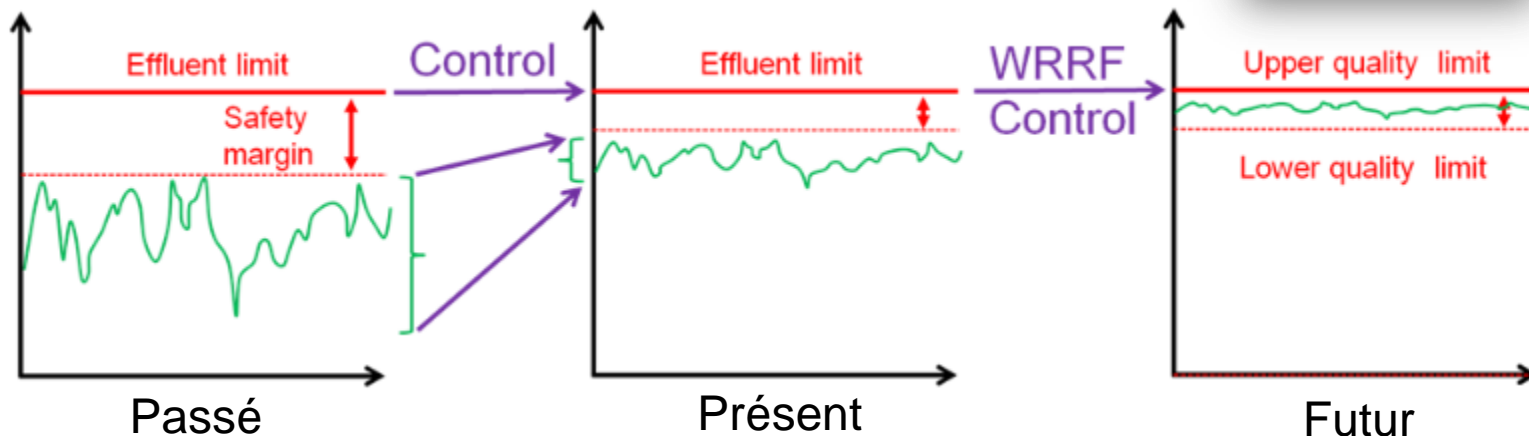
Contraintes

- Réduction des marges économiques et opérationnelles
- Nécessité d'assurer une qualité définie de produit

(Vanrolleghem & Vaneckhaute, 2014)



© Inra, Gilles Cattiau



Rôle(s) de la modélisation

- Intégrateur et facilitateur de la connaissance
- Dimensionnement
- Benchmarking (extension)
- Contrôle
- Formation / outil de démonstration

formaliser / synthétiser un ensemble de connaissances

Exemple d'interface pour la formation du personnel technique

SAUR DASHBOARD NIMES

Plan d'ensemble

Synthèse Eau brute Eau traitée

Procédés et énergies Statistiques

Production de boues

Consommation d'énergie

Âge des boues

Emission de N2O

Données d'entrée: Default

Débit de récirculation

Consigne MES bassins

Taux extraction des boues

Débit dosage FeOH

Concentration FeOH

Température

Consigne NH4 AMMONIAIR

Fraction soluble

Fraction particulaire

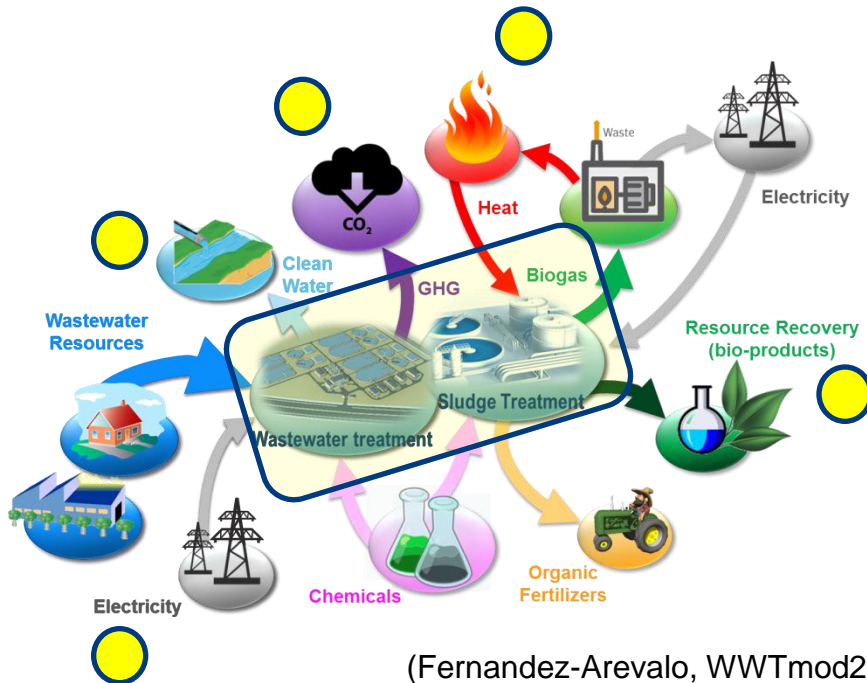
Table de commande

Pause Arrêter 18% Début: 1 Durée: 5.281 Fin: 25 Exporter...

MIKE

Rôle(s) de la modélisation

- Accélérateur d'acquisition de connaissances
- Dimensionnement
- Benchmarking (réhabilitation)
- Optimisation / contrôle multi-objectifs
- Formation / outil de démonstration
- **Intégration des stations dans un écosystème urbain**



(Fernandez-Arevalo, WWTmod2016)

La StaRRE deviendra un
maillon de l'économie
circulaire

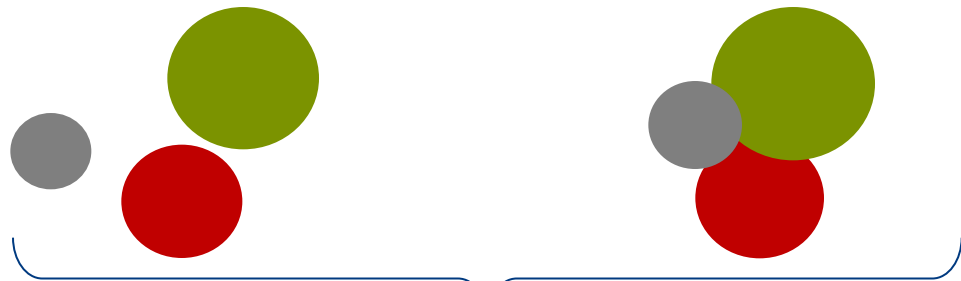
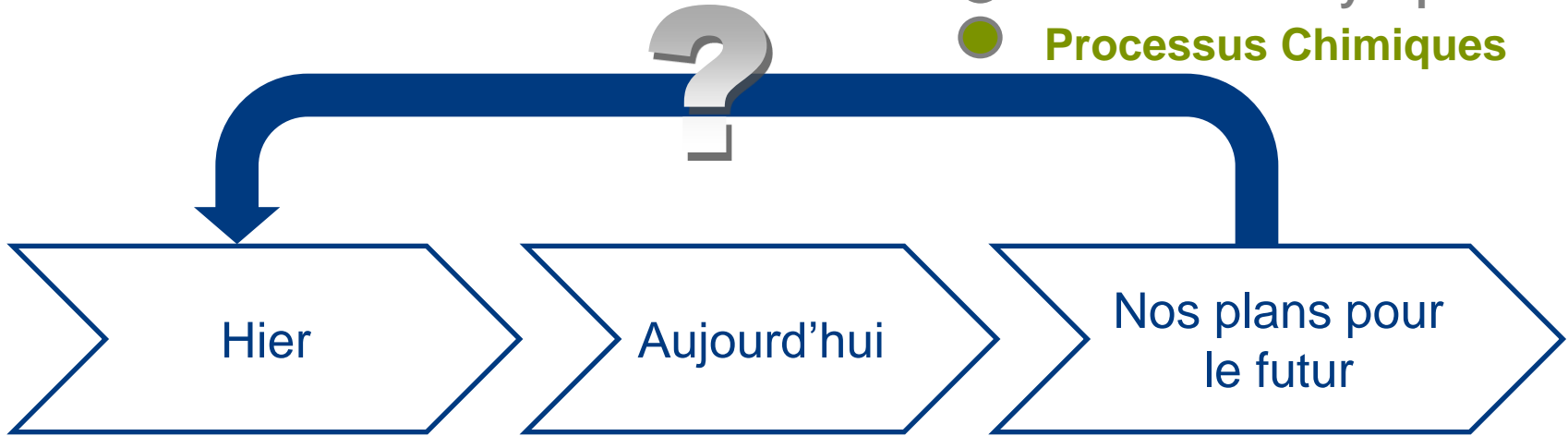


Approche intégrée
permettant de prendre en
compte les besoins &
contraintes locales

L'enjeu de l'applicabilité

- **Processus Biologiques**
- **Processus Physiques**
- **Processus Chimiques**

12



✓ Description plus fidèle des mécanismes
mais

- Non éprouvés sur des données réelles
- Basés, parfois, sur des concepts différents (connaissance vs compréhension)
 - TROP de paramètres !
 - Modèles d'experts

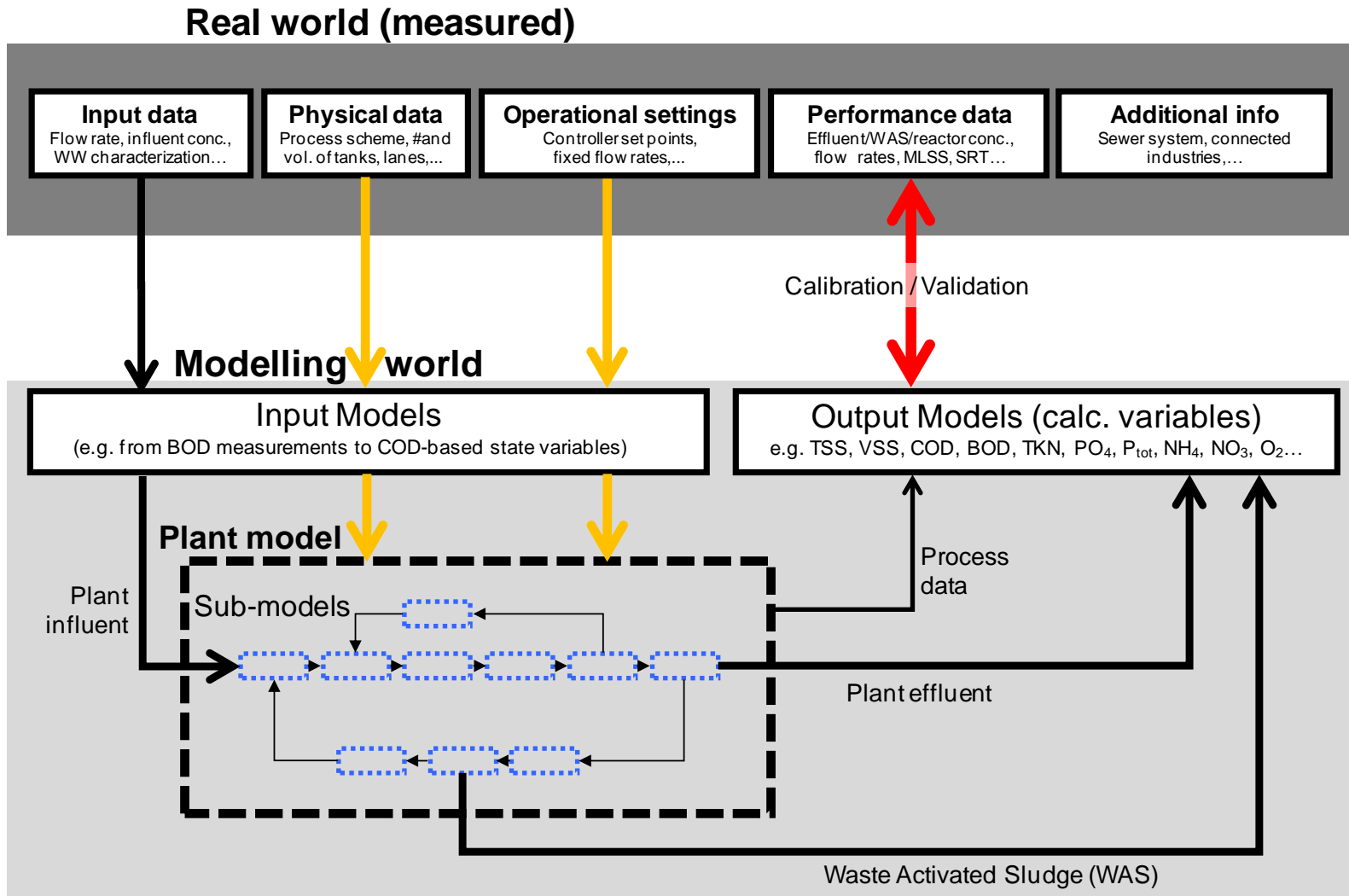
L'enjeu de la donnée

NATURE DE LA DONNÉE ET SA QUALITÉ

Etape de consolidation

13

~ 60% temps de modélisation



- **Données de fonctionnement et d'exploitation**

Bilan hydraulique / matière

Comparaison avec des données de références

- Proposition d'une procédure
- Publication de cas d'études (revues techniques)
- Création en cours d'un logiciel dédié

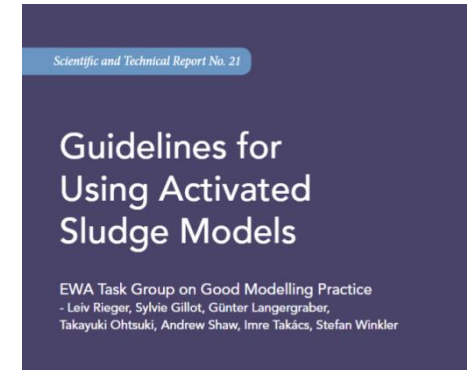
- **Données de capteurs**

Méthode statistique (filtres, détection de valeurs aberrantes / plage de mesure)

Méthode empirique (analyse de corrélations entre différentes variables)

- Besoin de formation et de transfert des outils

Intégration probable à terme de ces outils dans les logiciels de pilotage des stations (SCADA)



- **Données de fonctionnement et d'exploitation**

Bilan hydraulique / matière

Comparaison avec des données de références

- Proposition d'une procédure
- Publication de cas d'études (revues techniques)
- Création en cours d'un logiciel dédié

- **Données de capteurs**

Méthode statistique (filtres, détection de valeurs aberrantes / plage de mesure)

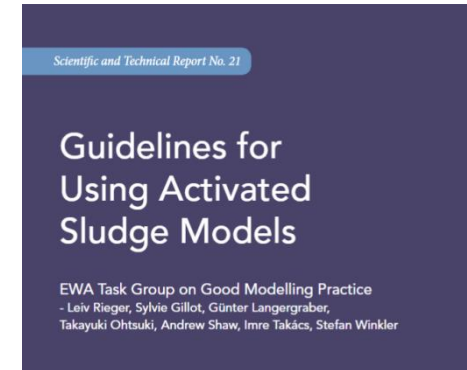
Méthode empirique (analyse de corrélations entre différentes variables)

- Besoin de formation et de transfert des outils

Evolution des pratiques / politiques de partage de la donnée

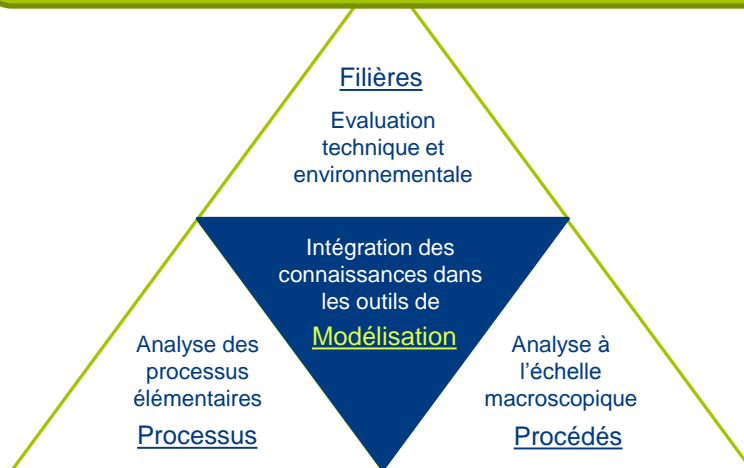
Le libre accès aux publications et aux données de recherche publique

« Open data » et les « data papers »



Bilan 2012 - 2016

Quelques exemples de travaux



17 doctorants, 4 post-doc et 1 AHN

30 articles scientifiques dans revues internationales

Organisation de conférence / workshops

- [WWTmod Seminar](#), 2 - 6 April 2016 in Annecy (FRA)
- Workshop on [Biofilm Reactor Modeling](#), 9 December 2016 at EAWAG (CHE)
- Workshop on [Modelling constructed wetlands with BIO_PORE \(COMSOL Multiphysics™\) and the HYDRUS Wetland Module](#), 6th WETPOL 11 – 13 September 2015 at York (UK)

Cours FI. et FC. (Ecole Centrale Supélec, Agroparitech, Master Sage paris XII, Engees, Ecole d'hiver "Modélisation des stations d'épuration" à l'INSA de Toulouse)

Modélisation intégrée des filières

Contact : Sylvie Gillot – sylvie.gillot@irstea.fr



Station de son ensemble

- Couplage de modèles
- Critères d'évaluation
- Optimisation globale

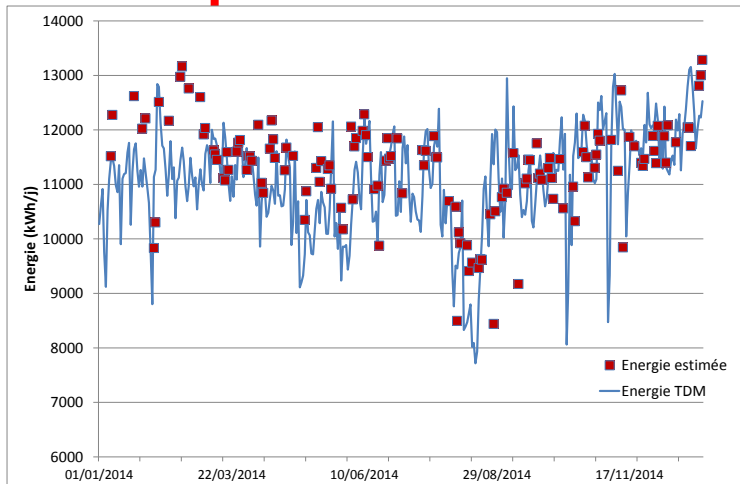
• Travaux théoriques pour la plupart

• Application à deux cas d'études

- La Feysine (300 000 EH)
- Bourg-en-Bresse (120 000 EH)

→ Evaluation de stratégies d'optimisation énergétique

• Démarrage de travaux sur la valorisation des nutriments (N & P) après traitement des boues



Maitrise des émissions de gaz à effet de serre

18

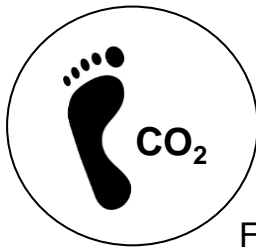
Contact : Ahlem Filali – ahlem.filali@irstea.fr

Le protoxyde d'azote

- Puissant GES
- Source: conversion biologique de l'azote
- Emissions non réglementées

Seine Aval : 2,0 – 3,6 % N

✖ 4



File de traitement de l'azote



Projet ANR N2OTRACK (2015 - 2020)

Apport du modèle

- Explication mécaniste de la variation saisonnière des émissions
- Outil de quantification des émissions
- Outil d'évaluation de stratégies de réduction

Challenge

- Décrire les mécanismes physiques (hydrodynamique, transfert gaz-liquide) au sein des procédés



Micropolluants

Contact : Jean Marc Choubert – jean-marc.choubert@irstea.fr

Les micropolluants

- Ubiquistes, toxiques à faibles concentrations
- Solutions préventives (réduction à la source) et curatives (traitement)
- Développement de modèles dynamiques :
 - Procédés biologiques (boues, activées, bioréacteurs à membranes, biofiltres, ...)
 - Procédés complémentaires (photo-dégradation naturelle, adsorption, ozonation, ...)

Apport du modèle

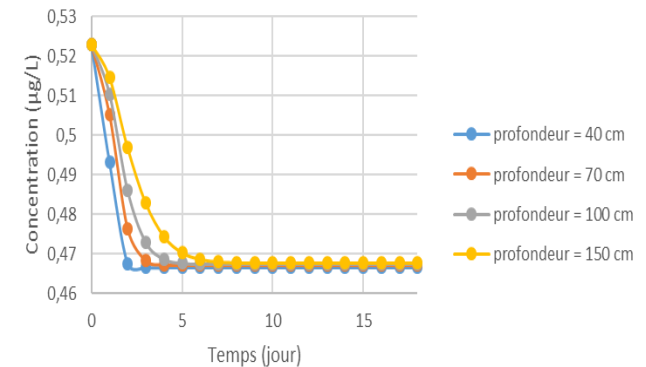
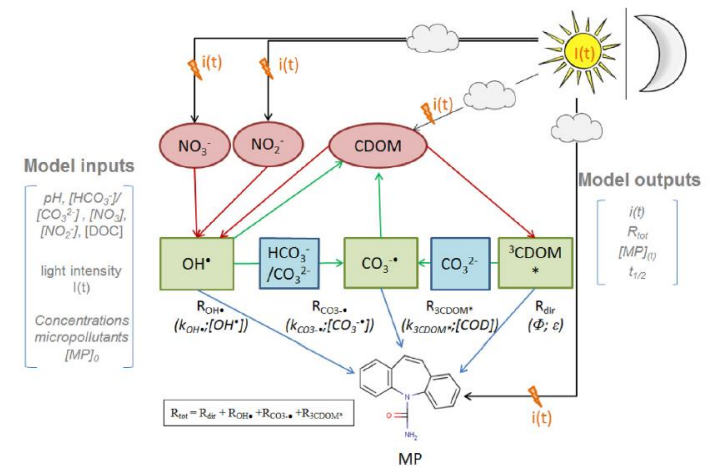
- Influence des paramètres majeurs (Matières organiques, nitrites) et des conditions opératoires...
- Explication du devenir des micropolluants au sein des procédés (transformation, sorption, ...)
- Elaboration d'un outil d'évaluation de stratégies de réduction des émissions → **SISMIC**

Challenge

- Prédire la génération de produits de transformation

Projet ANR TRANSPRO (2019 - 2022)

Ex. Photodégradation solaire



- La modélisation : un outil puissant
- Modèles mathématiques robustes pour C, N (et P)
- Intégration très récente dans les modèles de connaissances nécessaires à la transition de la STEP à la StaRRE
- Pour assurer la pérennité de ces modèles, il sera indispensable d'en faire des outils de l'ingénieur



évaluation *in situ*, acquisition de donnée, réflexion à l'interfaçage des modèles, développement de procédures pour faciliter l'utilisation des modèles,...

Merci

ahlem.filali@irstea.fr

sylvie.gillot@irstea.fr



Deviendra bientôt...

INRAE

Institut national de recherche en **agriculture,**
alimentation et environnement