

Modélisation des écoulements liquides réactifs au sein d'un digesteur solide à percolation

A. Shewani, P. Horgue, S. Pommier, G. Debenest,
X. Lefebvre, E. Gandon, E. Paul

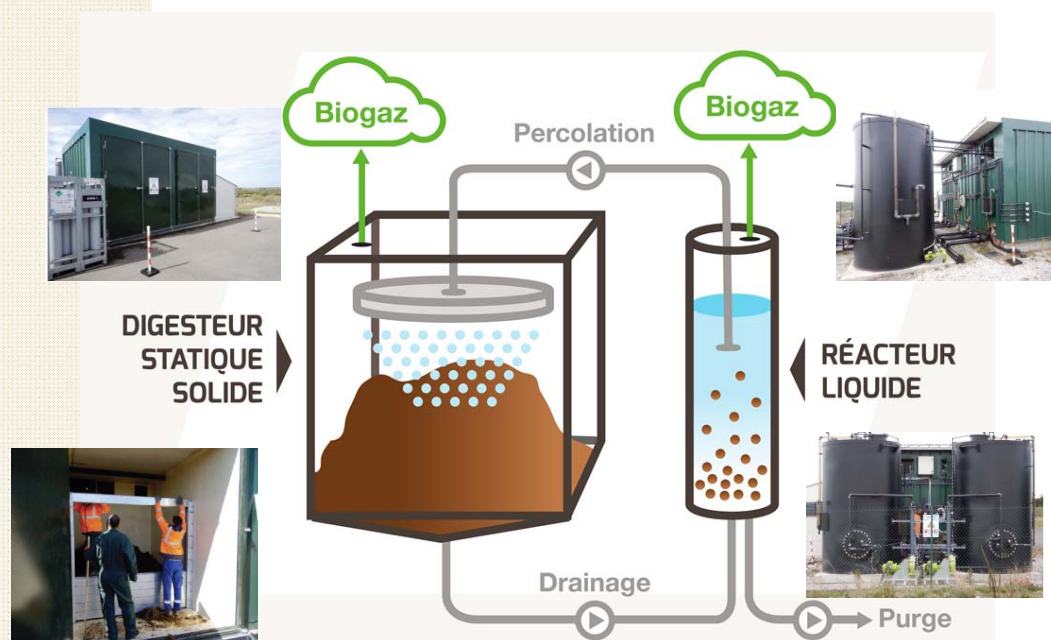
JRI Limoges – 10, 11 et 12 février 2016

Plan

- **Contexte et enjeux**
- **Approche milieu double porosité et modélisation**
- **Détermination des propriétés et paramètres pour le modèle**
 - La distribution de la phase liquide
 - Les échanges entre porosités
- **Résultats: simulations numériques**
 - Lessivages des AGVs accumulés
 - Introduction d'un terme réactif
- **Conclusions et perspectives**

Contexte et objectifs

Méthaniseurs par « voie solide discontinue »



Avantages

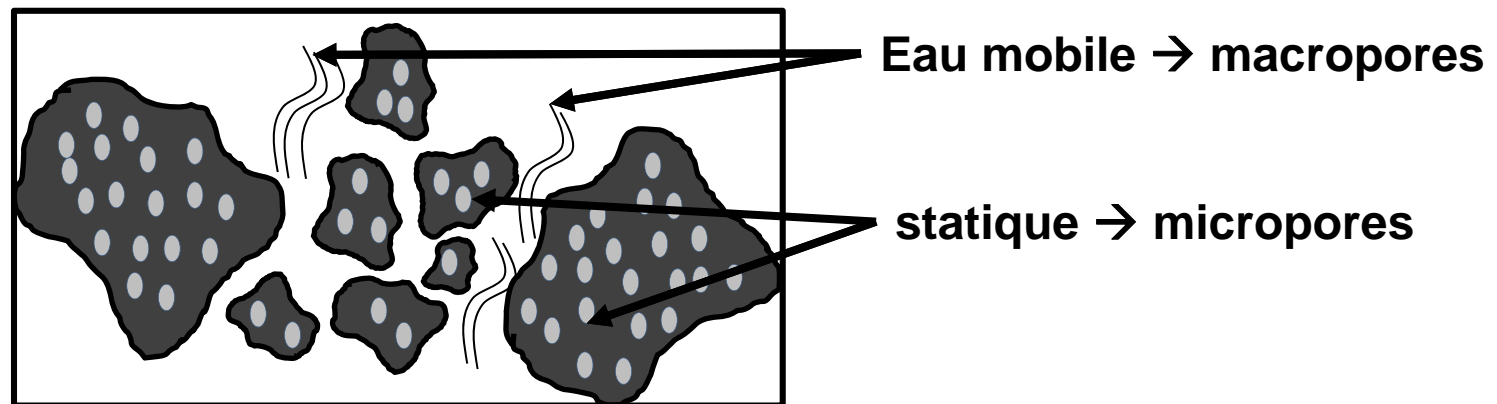
- Moindres quantités d'eau
- Volume réduit
- Maintenance facile
- Digestat pelletable

Points critiques

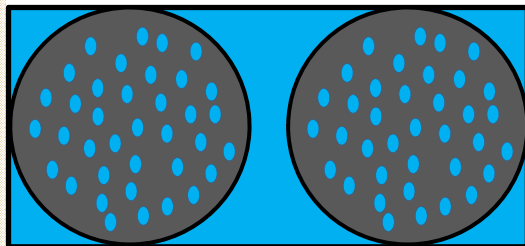
- Assurer la bio-accessibilité du substrat
- Contrôler l'accumulation des AGVs

Approche milieu double porosité et modélisation

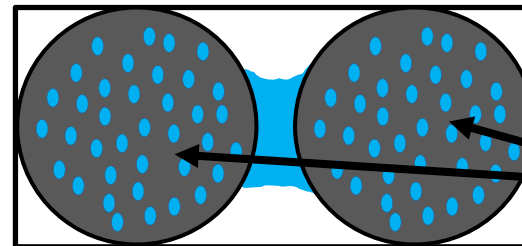
- Double porosité: micro-pores et macro-pores
- Eau statique / Eau mobile
- Saturation = volume poreux occupé par la phase liquide



État saturé



Capacité au champ



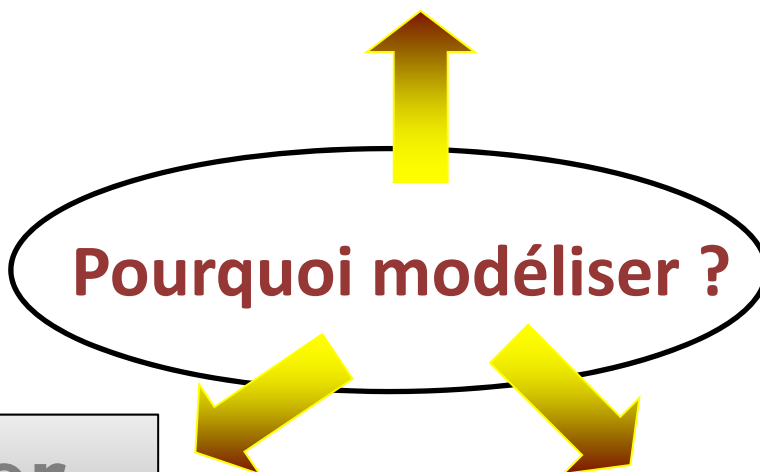
Particule solide

Eau statique
retenue dans la
micro-porosité



Comprendre

- Simplification des phénomènes
- Analyse des mécanismes
- Vérification d'hypothèses

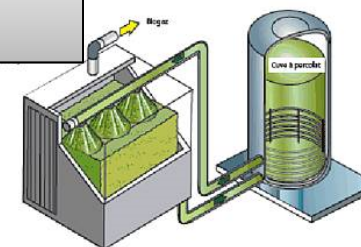
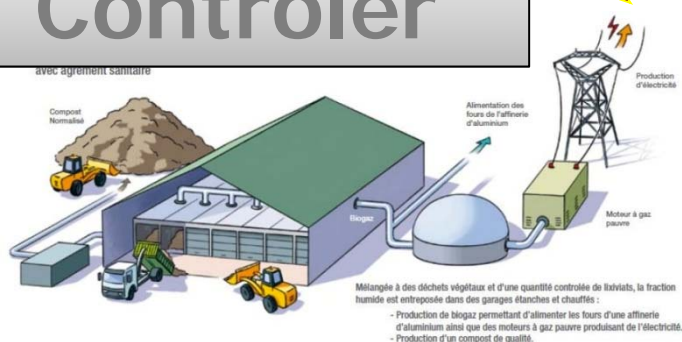


- Gestion
- Régulation
- Anticipation

Contrôler

- Simulation
- Adaptation
- Minimisation temps/coûts

Optimiser



Les équations du modèle

Distribution volumique

$$\phi_S + \phi_M + \phi_m = 1$$

Ecoulement de la phase liquide

$$\nabla \cdot U_L + \nabla \cdot U_G = -q_{L,M \rightarrow m}$$

$$\phi_M \frac{\partial S_M}{\partial t} + \nabla \cdot U_L = -q_{L,M \rightarrow m}$$

$$\phi_m \frac{\partial S_m}{\partial t} = q_{L,M \rightarrow m}$$

Transport de solutés

$$\phi_M S_M \frac{\partial C_M}{\partial t} + \nabla \cdot (C_M U_L) = \nabla \cdot (\phi_M S_M D^* \nabla C_M) + \alpha (C_M - C_m)$$

$$\phi_m S_m \frac{\partial C_m}{\partial t} = \nabla \cdot (\phi_m S_m D^* \nabla C_m) - \alpha (C_M - C_m)$$

Paramètres clé

Structure du massif :

Solide - Micropores - Macropores

Loi de Darcy : perméabilité

$$Q_{SHL} = \frac{K k_{r,L}(S_M)}{\mu_L} \rho_L g$$

Cinétique de remplissage des micropores

$$q_{L,M \rightarrow m} = C (1 - S_m)^2$$

Echange de soluté entre micropores et macropores

$$h_s(C_M - C_m)$$

L'outil de modélisation

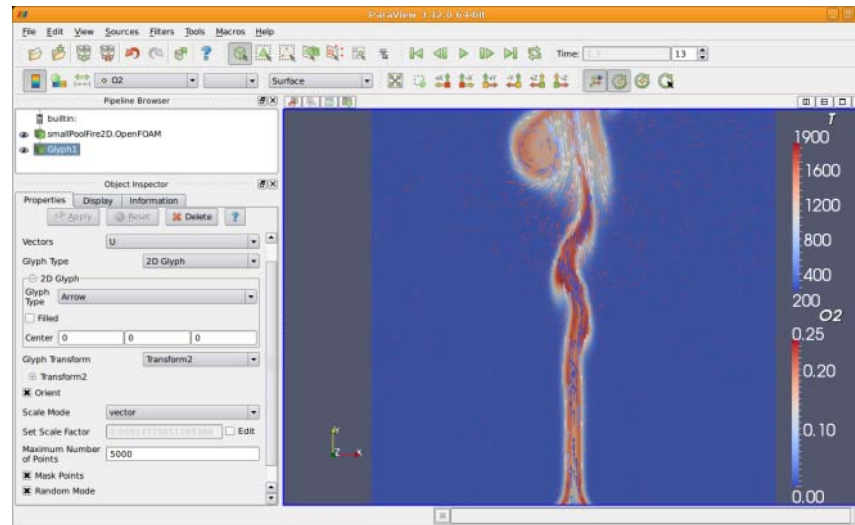
Open▽FOAM®



Développement d'une toolbox spécifique
pour écoulements réactifs en milieu poreux

➔ porousMultiphaseFoam

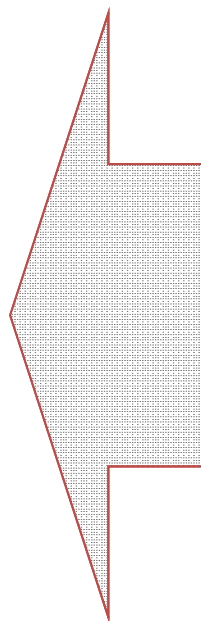
P. Horgue, C. Soulaire, J. Franc, R. Guibert, G. Debenest. An open-source toolbox for multiphase flow in porous media, *Computer Physics Communications*, 2015, vol. 187, p. 217-226.



La détermination des paramètres

Paramètres clé

Analyse de cycles
d'écoulement d'eau



Structure du massif :
Solide - Micropores - Macropores

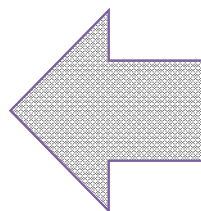
Loi de Darcy : perméabilité

$$Q_{SHL} = \frac{K k_{r,L}(S_M)}{\mu_L} \rho_L g$$

Cinétique de remplissage des micropores

$$q_{L,M \rightarrow m} = C (1 - S_m)^2$$

Analyse de cycles
d'écoulement de
traceurs



Echange de soluté entre micropores et macropores

$$\alpha (C_M - C_m)$$

Le dispositif expérimental



Injecteur

Massif de déchets

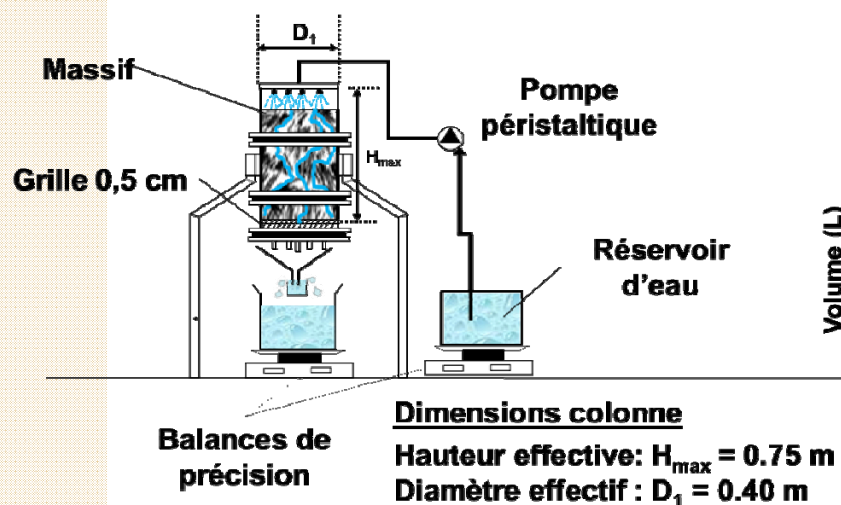
Collecteur de jus



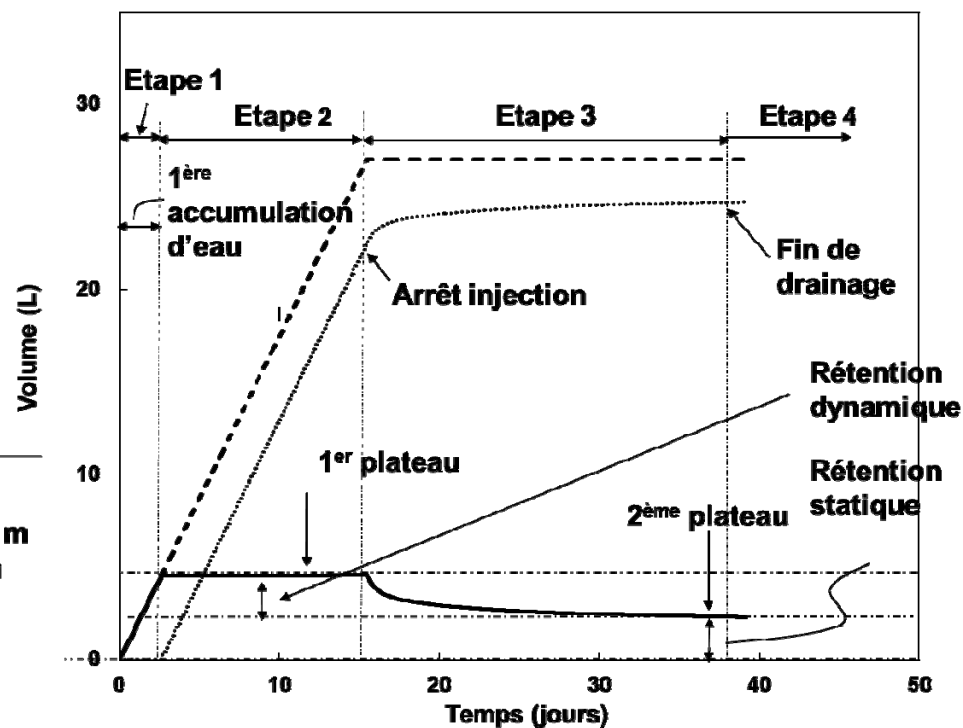
Distribution de l'eau

Principe

- 1^{er} chargement en eau = immersion par le bas / drainage
- Chargements suivants = percolation par le haut



(Shewani et al., 2015)

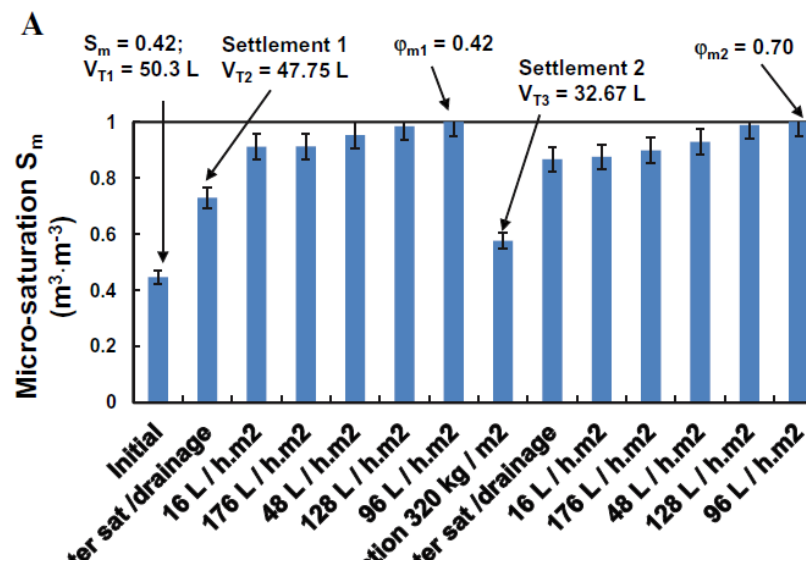


Répétition à différents débits surfaciques et différents niveaux de compaction

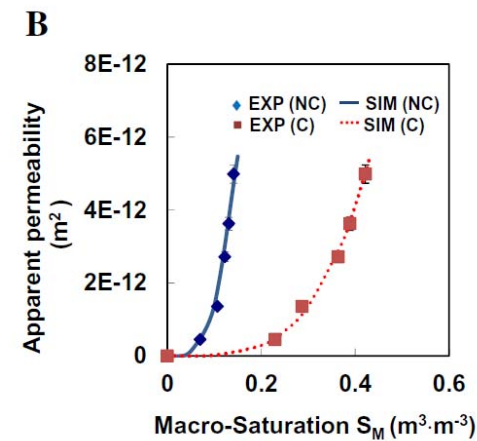
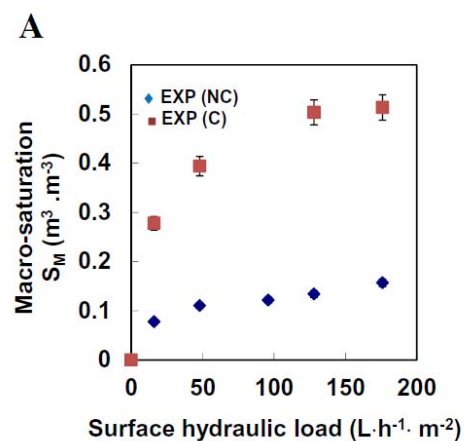
Distribution de l'eau (2)

Informations collectées

- Micro-porosité
- Capacité au champ (rétention statique)



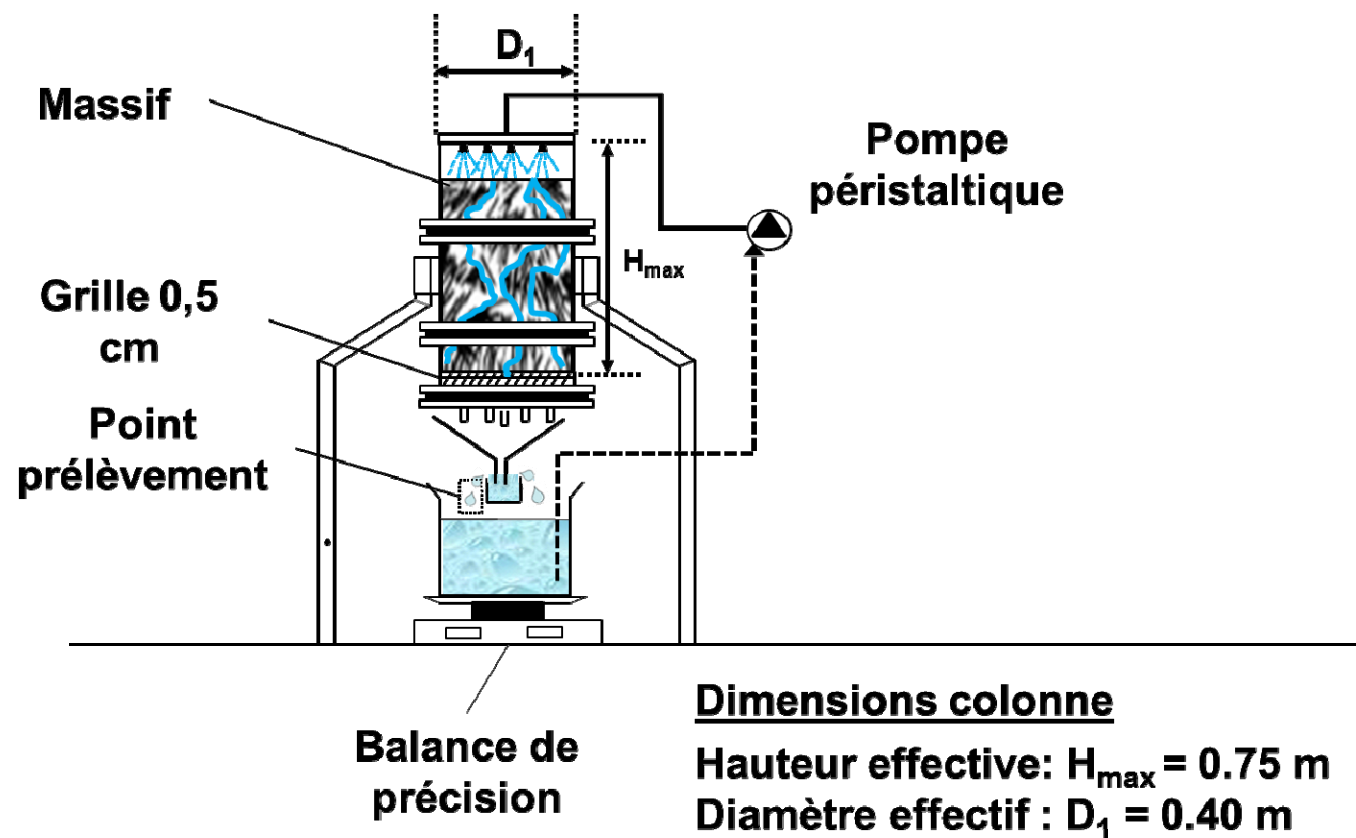
- Macro-saturation (rétention dynamique)
- Perméabilité apparente



Étude des échanges des solutés

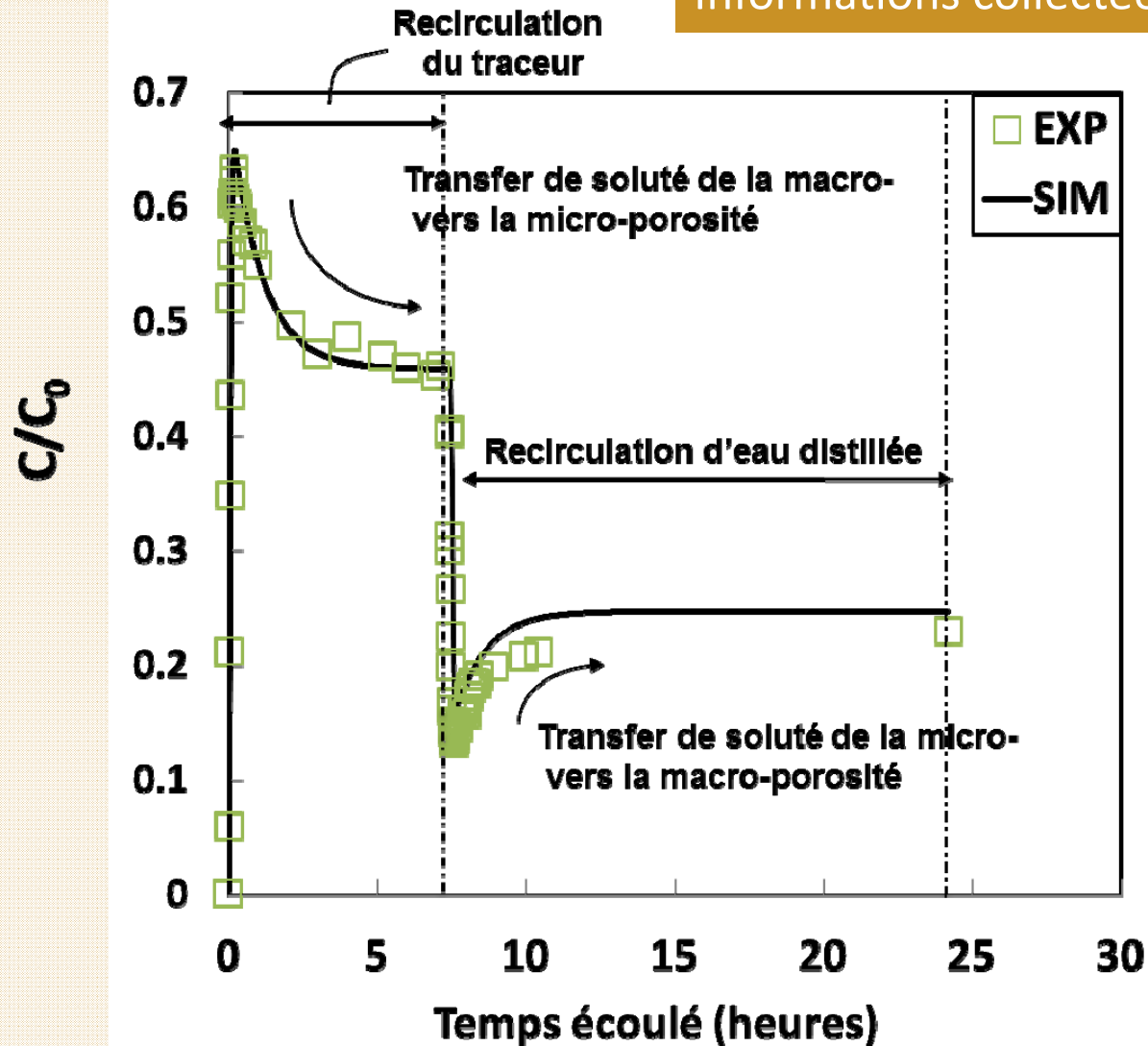
Principe

- Chargement de la microporosité → soluté
- Lessivage de la microporosité → eau



Étude des échanges des solutés (2)

Informations collectées



Vitesse de transfert de de soluté:

$$h_s(C_M - C_m)$$

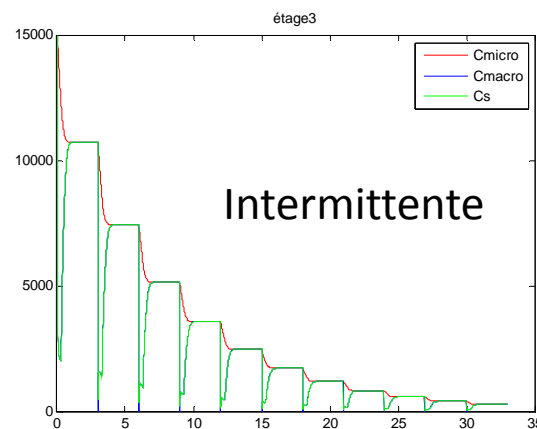
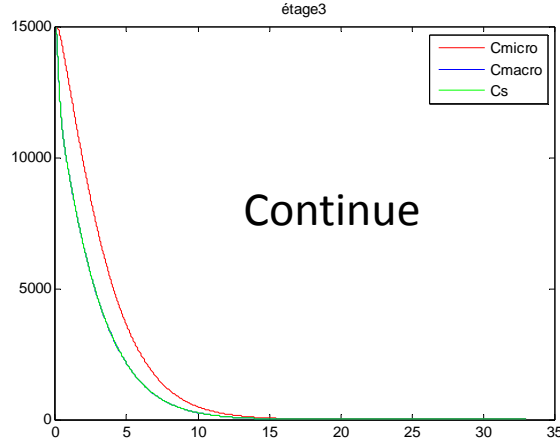
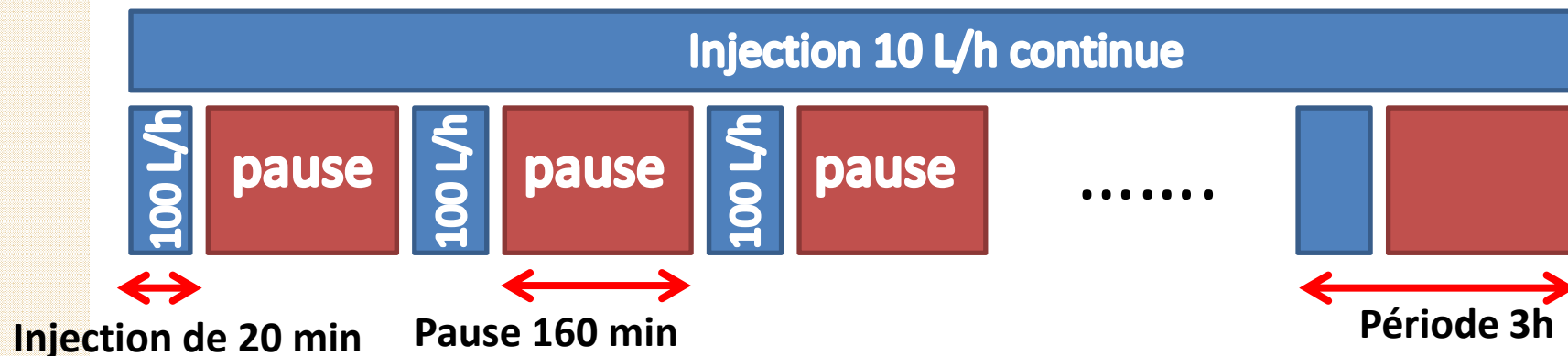
$$h_s = h \cdot a$$

Coefficient
d'échange

Aire
interfaciale

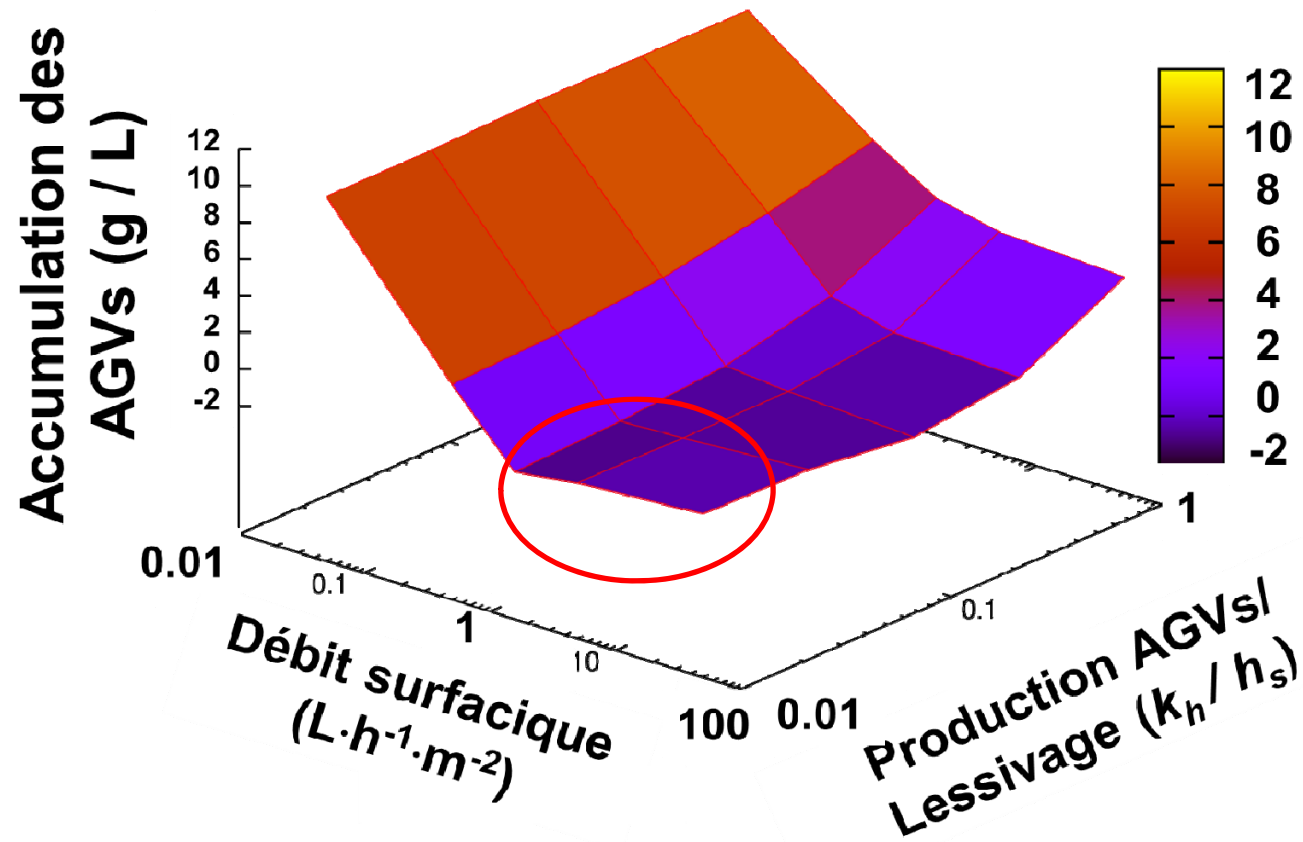
Simulations numériques

Ex. : Conditions de lessivage d'AGVs accumulés



- Volume d'eau injecté peu important
- Temps de contact entre eau mobile et eau statique à optimiser
- Attention au temps de séjour dans la cuve de stockage

Introduction d'un terme réactif



- Ratio entre vitesse de production et vitesse de transfert vers eau mobile

Conclusions et perspectives

- Méthodologie développée

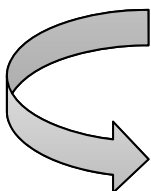
 - Caractérisation simple de l'hydrodynamique

 - Détermination des cinétiques de transfert de solutés entre eau mobile et statique

- Modèle numérique pour simulations

 - Couplage réactions biologiques /transferts

 - Applications à système Casier de percolation + Cuve de stockage (régimes de recirculation)



Un outil d'aide à l'optimisation du dimensionnement des stratégies de recirculations

Merci de votre attention

Rendez-vous à Toulouse lors de la soutenance
de thèse pour approfondir le sujet !

**« Optimisation des stratégies de recirculation des jus de
fermentation d'une technologie de méthanisation par voie
solide discontinue »**

shewani@insa-toulouse.fr
sebastien.pommier@insa-toulouse.fr