

## Modélisation du procédé de boues activées à l'aide d'un modèle à biomasse structurée

B. Lavallée<sup>1</sup>, P. Lessard<sup>1</sup> et P. A. Vanrolleghem<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Département de génie civil, Université Laval, Ste-Foy, Québec, G1K 7P4.

<sup>2</sup> BIOMATH Department, Ghent University, Coupure Links 653, B-9000 Gent, Belgium

Au cours des dernières années on a vu apparaître plusieurs modèles mathématiques qui prévoient la réponse dynamique de systèmes de traitement d'eau usée. Les modèles ASM (Henze et coll., 2000) sont largement utilisés dans ce domaine. À la base, le concept des modèles ASM assume que la biomasse active ( $X_H$ ) est homogène, et ne subissant pas de changement métabolique dans le temps. On peut donc assumer que la représentation de la biomasse est comme une image statique de son état métabolique. Ainsi, selon le système d'équation proposé, la réponse cinétique de la biomasse active est du point de vue mathématique, invariable (Ramkrishna, 1983).

La représentation simplifiée de l'activité métabolique des modèles ASM entraîne certaines variations dans l'évaluation de plusieurs paramètres (Grady et coll., 1996; Lavallée et coll., 2001; Vanrolleghem et coll., 1998). Vanrolleghem et coll. (1998) suggèrent qu'une représentation mathématique plus réaliste, améliorerait la qualité de l'information obtenue lors de l'évaluation des paramètres cinétiques. Selon eux, une information de meilleure qualité serait requise pour modéliser adéquatement certains systèmes, comme les sélecteurs, RBS et autres systèmes à charge variable.

L'objet de la recherche envisagée, consistera donc à modifier le modèle ASM1 pour inclure la régulation enzymatique proposée par d'autres auteurs (Ramkrishna, 1983). L'objectif des modifications proposées, vise à obtenir une représentation plus réaliste de la biomasse, qui soit représentative de l'activité spécifique des micro-organismes, et ainsi obtenir une information de meilleure qualité lors de l'évaluation des paramètres cinétiques. Éventuellement, à l'aide d'une telle représentation, l'évaluation des paramètres cinétique deviendrait une procédure indépendante de l'âge de la biomasse. Ceci nous permettrait, de mieux modéliser certains systèmes à charge variable, comme les sélecteurs, les réacteurs à écoulement en piston, RBS etc.

Tel que proposé par plusieurs auteurs (Daigger et Grady, 1982; Ramkrishna, 1983), la biomasse ( $X_H$ ) peut être structurée avec deux composantes principales, soit le bagage protéique ( $e_G$ ) et l'ARN ( $R$ ). La représentation cybernétique proposée par Ramkrishna (1983) inclue des fonctions de régulation du type « *feedforward* » et « *feedback control* », tel que représenté à la figure 1. Le bagage  $e_G$  représente l'activité spécifique de la biomasse ( $e_G/X_H$ ), c'est à dire son aptitude à dégrader un substrat, et  $R$  représente l'état « métabolique », c'est à dire l'aptitude de la biomasse à modifier son activité spécifique.

Le modèle peut inclure la description de chaînes enzymatique particulières, selon la méthode expérimentale utilisée pour identifier les paramètres (Baloo et Ramkrishna, 1991). Les constantes cybernétiques peuvent être identifiées lors du calage du modèle sur des données tirées de cultures en chemostat à charge variable tel que proposé par Baloo et Ramkrishna (1991).

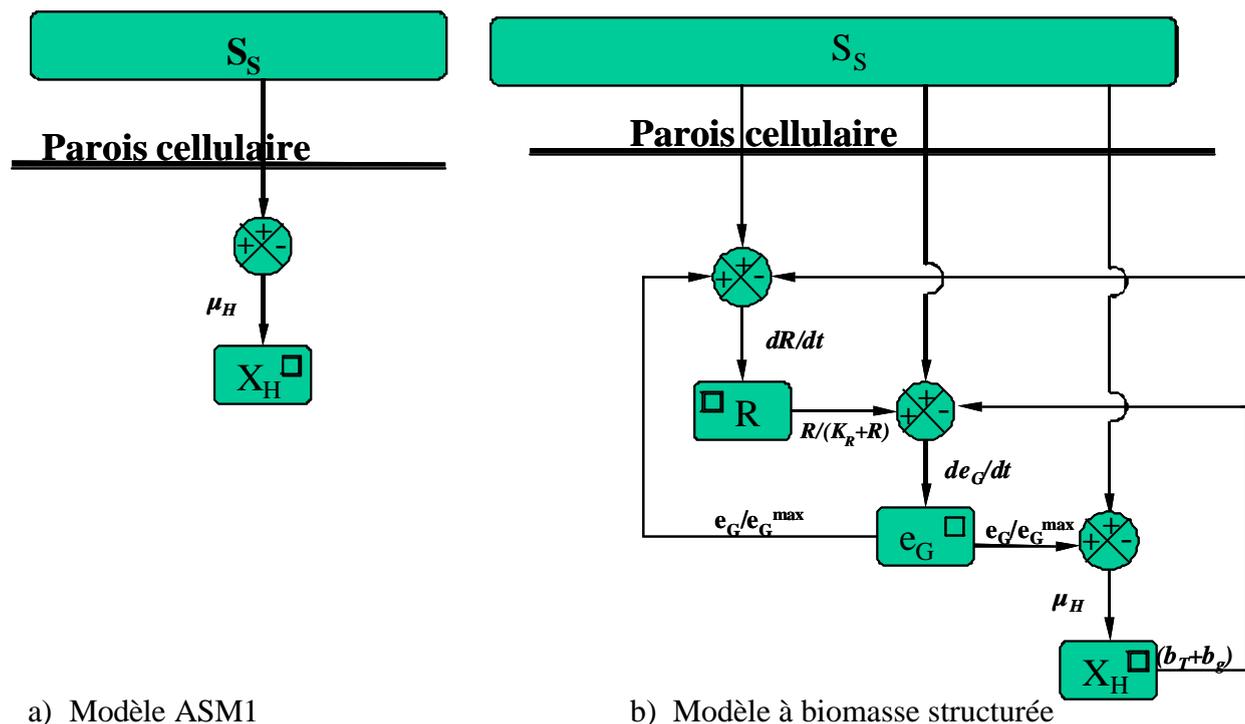


Figure 1. Représentation des composantes de la biomasse et des fonctions de régulation.

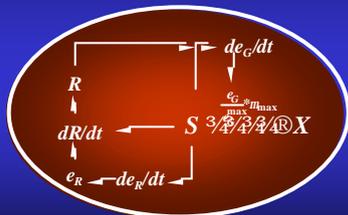
Un modèle mathématique a donc été construit sur la base du modèle ASM1 et des modèles cybernétiques, et une méthode expérimentale est proposée pour identifier les nouveaux paramètres du modèle. Quelques aspects de la méthode expérimentale demeurent à préciser.

Le modèle mathématique proposé permettra éventuellement d'inclure la variation de l'activité spécifique et de l'âge de boue dans les modèles dynamiques, ainsi que d'introduire certains processus de maintenance afin de mieux prévoir la production de biomasse.

## Références

- Baloo S. et Ramkrishna D., 1991a. Metabolic regulation in bacterial continuous cultures :1, Biotechnol. et Bioeng., vol. 38, p. 1337-1352.
- Daigger G. T. and Grady C. L. P. Jr., 1982. The dynamics of microbial growth on soluble substrate A unifying theory, Wat. Res., vol. 16, p. 365-382.
- Grady C. P. L. Jr., Smets B. F. et Barbeau D. S., 1996. Variability in kinetic parameter estimates : a review of possible causes and a proposed terminology, Water Research, vol. 30, no. 3, p. 742-748.
- Henze et coll., 2000, Activated sludge models, Scientific and technical reports no. 10, IAWQ.
- Lavallée B. , Lessard P. and Besser C., 2001. Variability of decay rate of heterotrophic active biomass, Proceedings of 3<sup>th</sup> international conference on micro-organisms in activated sludge and biofilm process, June 13-15, 2001, Roma, Italia.
- Ramrisha D., 1983. A cybernetic perspective of microbial growth, in Foundation of biochemical Engineering - Kinetics and thermodynamics in biological Systems, Blanch H. W., Papoustakis E.T and Stephanopoulos G. Edition, ACS Symposium Series 207, American Chemical Society, 161-178.
- Vanrolleghem P.A., Gernaey K., Petersen B., De Clercq B., Coen F. and Ottoy J.-P. (1998) Limitations of short-term experiments designed for identification of activated sludge biodegradation models by fast dynamic phenomena. In: Proceedings 7th IFAC Conference on Computer Applications in Biotechnology CAB7. Osaka, Japan, May 31 - June 4 1998. 567-572.

## MODÉLISATION DU PROCÉDÉ DE BOUES ACTIVÉES À L'AIDE D'UN MODÈLE À BIOMASSE STRUCTURÉE



B. Lavallée, P. Lessard et P. A. Vanrolleghem

## Contenu de la présentation

- Problématique
  - Modèle ASM1 et hypothèses
  - Ajustements métaboliques et hypothèses
- Objet de la recherche
  - Modèle proposé
  - Méthode expérimentale

## Hypothèses du modèle ASM1

- $b_H$
  - $Y_H$
  - $\mu_{Hmax}$
- sont constantes

$$\frac{rO_{2maxH}}{X_H} = m_{Hmax} * \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} = Cte$$

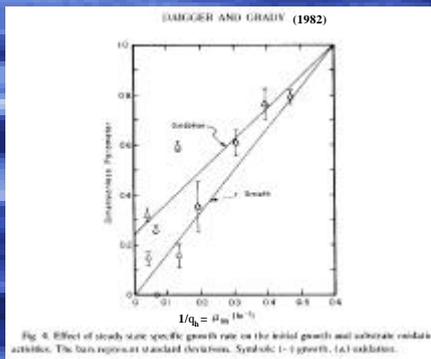
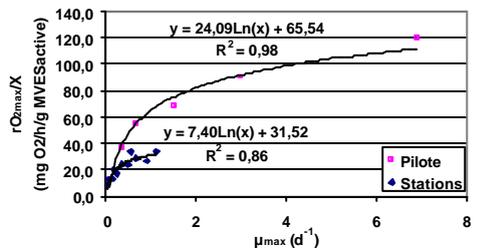


Fig. 4. Effect of steady state specific growth rate on the initial growth and substrate oxidation activities. The bars represent standard deviations. Symbols: (•) growth, (◻) oxidation.

Respiration spécifique (Weddle et Jenkins, 1971)



## Régulation vs hypothèses ASM1

$$\frac{rO_{2maxH}}{X_H} = m_{Hmax} * \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \cdot Cte$$

$$\mu_{Hmax} \text{ et } Y_H \cdot Cte$$

$$b_{HrO2} = b_H(S) + \text{régulation}(S)$$

## Problématique

### Évaluation de la variable

Activité spécifique de la biomasse active

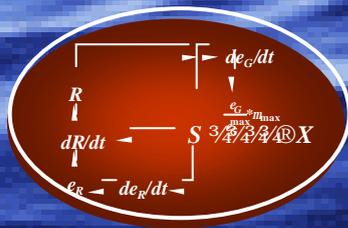
### OBJECTIFS

- Modéliser systèmes à charge variable
- Établir des stratégies

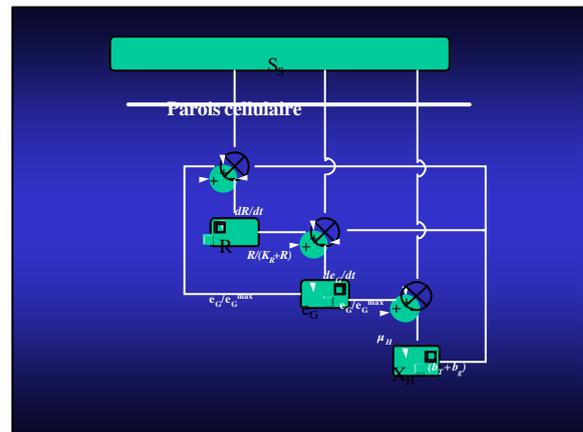
## Objectifs de recherche

- Présenter un nouveau modèle  
Variation de  $\mu_H^{\max}$ ,  $Y_H$  et  $b_H$ .  
Variables cybernétiques
- Validation expérimentale

## Modèle proposé



ASM1 + modèle cybernétique



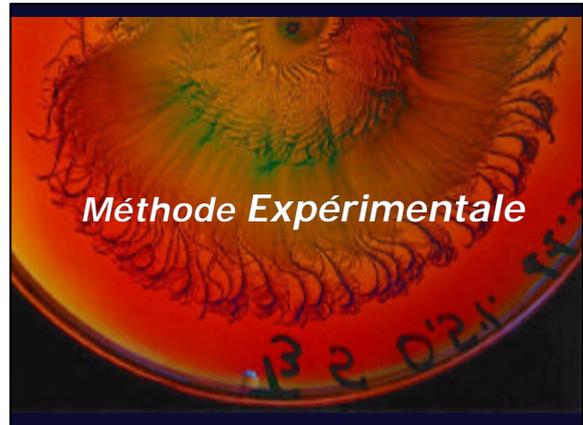
## Hypothèses

$$\text{Biomasse (DCO)} = X_H (1 + e_G)$$

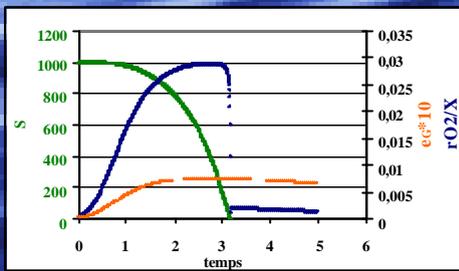
$$\frac{DCO / X_H}{ADN / X_H} \supset ADN \otimes X_H (DCO)$$

$$rO_{2\text{endo}} = [e_G * (b_{EG} + b_T)] * \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} * X_H$$

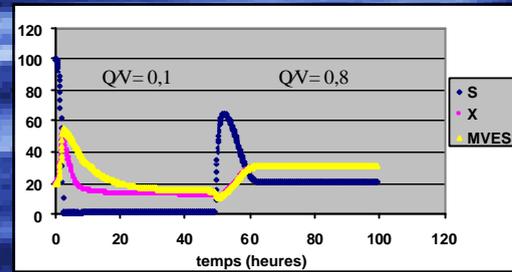
## Méthode Expérimentale



### Cultures en cuvée

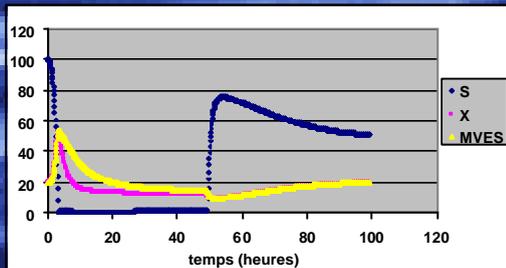


### Cultures en chemostat



$$a_R = 0.125 \quad b_R = 2.5$$

### Ressources



$$a_R = 0.05 \quad b_R = 0.1$$

## CONCLUSION

- Modéliser la variation de l'activité spécifique
- Méthode expérimentale réalisable

### OBJECTIFS

- Modéliser systèmes à charge variable
- Établir des stratégies