



HAL
open science

Modélisation dynamique du traitement des eaux usées et des lisiers

J.M. Choubert, Sylvie Gillot, Anne Emmanuelle Stricker, Fabrice Béline, Y.
Racault, A. Heduit, Sylvie Gillot

► **To cite this version:**

J.M. Choubert, Sylvie Gillot, Anne Emmanuelle Stricker, Fabrice Béline, Y. Racault, et al.. Modélisation dynamique du traitement des eaux usées et des lisiers. 2008, pp.4. hal-02594983

HAL Id: hal-02594983

<https://hal.inrae.fr/hal-02594983>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation dynamique du traitement des eaux usées et des lisiers

→ Un outil puissant en évolution

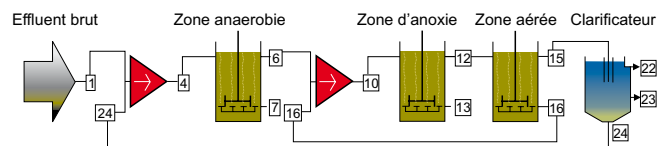
La modélisation mathématique consiste à créer une représentation virtuelle d'un système grâce à la résolution par ordinateur d'équations décrivant son fonctionnement. Cette représentation se prête ensuite à l'étude et à des expérimentations (appelées simulations) tout comme le système réel, en présentant l'avantage de pouvoir multiplier les expériences avec un gain de temps, de moyens et d'efficacité par rapport à l'expérimentation sur site. Cet outil s'est répandu dans tous les domaines scientifiques et techniques. Il est utilisé par les chercheurs, mais aussi par les acteurs opérationnels (gestionnaires, ingénieurs). En effet, en plus d'améliorer la compréhension des phénomènes en interprétant et prolongeant l'expérience, la modélisation est un outil de prévision, de test de scénarios et d'optimisation de procédés.

En traitement des effluents liquides, on modélise le fonctionnement dynamique (intégrant les variations dans le temps) d'une station d'épuration grâce à la mise en équation des phénomènes biologiques (croissance / décès de biomasses), physiques (aération, hydraulique, décantation) et chimiques (précipitation, oxydo-réduction) qui s'y déroulent. Le procédé sur lequel les connaissances et les applications sont les plus avancées est la boue activée, mais la modélisation est progressivement étendue à de nombreux autres procédés. Des modèles pour la biofiltration, les cultures fixées sur support mobile et la digestion anaérobie sont

déjà disponibles, et ceux pour les procédés extensifs (lagunage, infiltration-percolation sur filtres plantés de roseaux) sont en cours de développement.

→ Un outil complexe et exigeant

Les modèles sont disponibles dans des interfaces logicielles commerciales conviviales déchargeant l'utilisateur des opérations de programmation informatique. Le Cemagref utilise deux d'entre elles, GPS-X® et WEST®. Pour des besoins spécifiques de recherche, ils peuvent aussi être mis en œuvre avec des logiciels de calcul numérique de type Scilab ou Matlab.



Exemple de schéma permettant de modéliser une station d'épuration urbaine de traitement

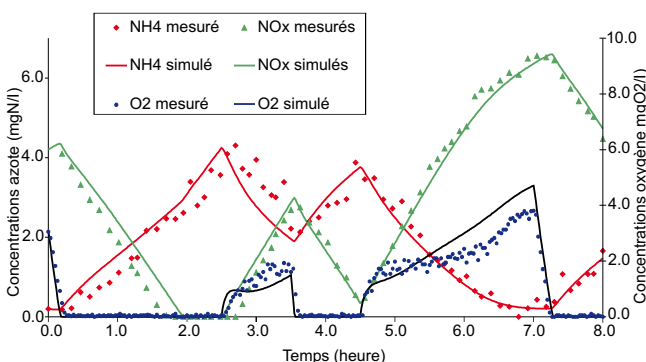
Les données d'entrée

Pour modéliser le fonctionnement d'une station d'épuration, il est impératif de disposer de données spécifiques et fiables : **description physique de la filière** (dimensions des ouvrages, débits des pompes, caractéristiques de l'aération,...), **descriptif du fonctionnement** (déclenchement de l'alimentation,

l'aération, l'extraction de boue), **mesures de la quantité et de la qualité** des eaux à traiter. Les modèles nécessitent souvent des données qui ne sont pas directement accessibles et pour lesquelles il n'existe pas de protocole de mesure simple et normalisé. Par exemple la concentration totale en DCO des eaux usées n'est pas suffisante ; elle doit être décomposée en 4 ou 5 fractions selon leur comportement dans la station (rapidement et lentement biodégradables, soluble et particulaire inertes, biomasse active).

Le calage et la validation

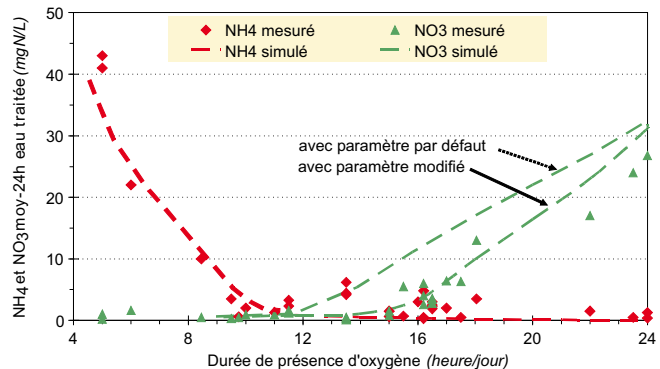
Le modèle doit ensuite être adapté au cas étudié en modifiant les paramètres des équations utilisées. Pour les boues activées, ce travail porte sur les coefficients décrivant les processus biologiques de conversion des polluants (taux de croissance et de décès, rendements cellulaires) et sur ceux impliqués dans la décantation. Le calage est atteint lorsque, pour un même jeu de données d'entrée, les concentrations simulées en sortie et à l'intérieur du procédé concordent avec les concentrations mesurées (exemple ci-dessous).



Exemple de calage : concentrations en ammoniacque, nitrates et oxygène mesurées et simulées dans le bassin d'aération d'une installation boue activée en aération intermittente (Marquot, 2006)

Pour des raisons mathématiques, plusieurs jeux de valeurs de coefficients peuvent conduire aux mêmes résultats calculés. Pour élargir le domaine de validité, et donc le degré de confiance que l'on accorde aux résultats de simulations ultérieures, il est préférable de diversifier les conditions de calage. Il est souvent nécessaire de faire des mesures en réacteur séparé où l'on contrôle les conditions opératoires (ex : vitesse de nitrification maximale), afin d'en extraire les valeurs de certains coefficients de manière indépendante.

Une fois les paramètres obtenus, le modèle doit être validé en confrontant ses prédictions avec des données différentes (exemple ci-après).



Exemple de validation : concentrations en ammoniacque et nitrates, mesurées et simulées dans les eaux traitées de 22 installations à boues activées en aération intermittente (Choubert et al., 2006)

➔ Applications au Cemagref

Le cadre naturel

Le Cemagref utilise les modèles ASM (Activated Sludge Model) en traitement biologique des eaux usées depuis 1995, en application sur des pilotes et des stations réelles de type boues activées fonctionnant dans le domaine de l'aération prolongée. Elaborés et reconnus au niveau international, les modèles ASM décrivent le traitement du carbone, de l'azote et du phosphore en boue activée. La prise en main de cet outil s'est d'abord faite dans le cadre de projets combinant recherche et applications (Stricker, 2000 ; Choubert, 2002 ; Boursier, 2003 ; Lagarde, 2003 ; Marquot, 2006), dont les objectifs comprenaient :

- l'évaluation de l'outil : limites, confrontation des résultats obtenus à ceux issus des formules de dimensionnement comme celle de la demande en oxygène et de la production de boue, détermination d'un jeu de paramètres « standard » pour les boues activées en aération prolongée ;
- des mises au point méthodologiques : protocoles de fractionnement des eaux usées (Stricker, 2000 ; Lagarde, 2004 ; Boursier, 2005), procédures de calage des paramètres biologiques (Marquot, 2006 ; Vigne et al., 2007 ; Spérandio et al., 2008) ;
- l'apport d'une valeur ajoutée aux questions de recherche et un appui aux questions de dimensionnement et de gestion.

Aujourd'hui, les quatre équipes du Cemagref (Antony, Bordeaux, Lyon, Rennes) utilisent la modélisation des traitements des effluents liquides. Des formations au sein de groupes d'utilisateurs internationaux, ainsi qu'un groupe de travail interne permettent d'échanger et de renforcer les pratiques.

Enfin, le Cemagref participe activement à l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques en modélisation des boues activées (http://www.modeleau.org/GMP_TG/) dans le cadre d'un groupe de travail de l'IWA (International Water Association) et anime un groupe de travail de l'ASTEE regroupant les principaux acteurs francophones.

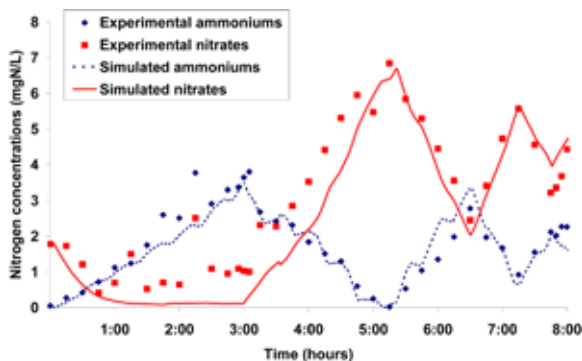
Expériences acquises

Le premier domaine ayant bénéficié des apports de la modélisation au Cemagref est la détermination des capacités maximales de traitement de l'azote des stations urbaines à boues activées et l'optimisation de leur gestion technique lors de conditions défavorables, telles que :

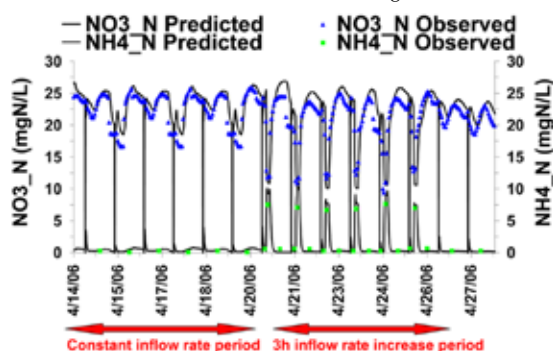
- les épisodes pluvieux en réseau unitaire (Stricker, 2000 et Lagarde, 2003) ;
- les faibles températures (Choubert, 2002) ;
- l'augmentation prolongée de charge à basse température, comme il s'en produit dans les stations touristiques de montagne (Choubert et al., 2006) ;
- les situations critiques d'exploitation : soutirage des boues, phénomènes d'inhibition, limitation de l'aération (Marquot, 2006).

L'expérience du Cemagref en modélisation a permis de déterminer un jeu de paramètres « standards » pour le domaine de l'aération prolongée, ainsi que les coefficients de changements de température associés. Des protocoles de calage/validation ont été élaborés (Marquot et al., 2006 ; Gillot et al., 2007). Plus récemment, la démarche développée sur les boues activées a été étendue aux Bio réacteurs à membranes (Delrue et al., 2008), à la Biofiltration (Vigne et al., 2007), et aux décanteurs secondaires.

Cas du BioRéacteur à Membranes (Delrue et al., 2008)



Cas de la Biofiltration tertiaire (Vigne, ., 2008)



Le Cemagref a également appliqué les modèles ASM au traitement des effluents très concentrés tels que les lisiers de porcs (Boursier, 2003). L'outil de simulation a été adapté pour prendre en compte les nitrites comme intermédiaire au cours des étapes de nitrification et de dénitrification et considérer les cinétiques spécifiques qui s'y produisent. À l'aide du modèle développé et en fonction des caractéristiques du lisier à traiter, les stratégies optimales de dimensionnement et de gestion (séquençage de l'alimentation et de l'aération) peuvent être déterminées. Ainsi, ce modèle a permis de définir les conditions optimales de traitement pour obtenir le shunt des nitrates et ainsi réduire les besoins en oxygène et en matière organique.

Plus récemment, des travaux ont été conduits afin de coupler les modèles de type « ASM » avec les modèles simulant la digestion anaérobie (Rousseau et al., 2008). À partir de ces travaux, il est possible de simuler une filière de traitement des effluents concentrés couplant la digestion anaérobie et le traitement biologique de l'azote.

Conclusions et avenir

Grâce à la représentation dynamique des processus de base et de leurs interactions, la modélisation apporte une aide à l'interprétation des phénomènes observés. Grâce aux possibilités illimitées de tests de scénarios, cet outil aide à progresser sur des questions concernant la capacité de traitement des stations, les choix de gestion ou de dimensionnement, les impacts des variations brusques de charge, de modifications, de pannes. Son caractère dynamique le rend aussi apte à prévoir le comportement des stations face à des événements transitoires de façon plus précise que les formules usuelles établies pour le régime permanent.

La mise en œuvre de la modélisation est cependant délicate car elle exige :

- une formation et une expérience de plusieurs années des utilisateurs dans la compréhension et l'utilisation de cet outil, afin d'éviter pièges et erreurs ;
- des mesures spécifiques préalables systématiques et rigoureuses ;
- une mise à jour régulière des connaissances qui évoluent rapidement au niveau international.

L'outil pourra progressivement être utilisé en soutien pour répondre à des questions d'appui technique, d'expertise ou d'évaluation de procédés.

Le Cemagref poursuit l'évaluation et l'utilisation de la modélisation en étendant ses sujets de recherche à la modélisation des procédés séquentiels, des milieux fortement concentrés et aux procédés à cultures fixées.

➔ Références bibliographiques

- Beline F., Boursier H., Daumer M.L., Guiziou F., Paul E. (2007a). Modelling of biological processes during aerobic treatment of piggery wastewater aiming at process optimisation. *Bioresource Technology* 98 (17), 3298-3308.
- Beline F., Boursier H., Guiziou F., Paul E. (2007b). Modelling of biological nitrogen removal during treatment of piggery wastewater. *Water Science and Technology*, 55 (10), 11-19.
- Boursier H., Beline F., Paul E. (2004) Activated Sludge Model No. 1 calibration for piggery wastewater treatment using respirometry. *Water Science and Technology*, 49 (5-6), 389-396.
- Boursier H. (2003). Étude et modélisation des processus biologiques au cours du traitement aérobie du lisier de porcs en vue d'une optimisation du procédé. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 190 p. et annexes.
- Choubert J.M., Marquot A., Stricker A.E., Gillot S., Racault Y., Héduit A. (2008). Maximum growth and decay rates of autotrophic biomass to simulate nitrogen removal at 10°C with municipal activated sludge plants. *Water SA* 34 (1), 71-76.
- Choubert J.M., Stricker A.E., Marquot A., Gillot S., Racault Y., Héduit A. (2007). Improved prediction of nitrogen removal using updated asm1 default parameters verified at 13 full-scale plants. WEFTEC, San Diego, USA, 13-17 octobre 2007. 11 p.
- Choubert J.M., Marquot A., Stricker A.E., Racault Y., Héduit A. (2006). Reduction Of Anoxic Yield Value: Full-Scale Verification On Intermittently Aerated WWTPs and Consequences On Simulations. Conférence internationale IWA (Beijing 2006), 10-14 septembre 2006. 8 p.
- Choubert J.M., Racault Y., Grasmick A., Beck C, Héduit A. (2005). Nitrogen removal from urban wastewater by activated sludge process operated over the conventional carbon loading rate limit at low temperature. *Water SA* 31 (4), 503-510.
- Choubert J.M., Racault Y., Grasmick A., Canler J.P., Héduit A. (2006). A simulation-based optimization approach to control nitrogen discharge by activated sludge under winter seasonal peak load. *Water SA* 32 (4), 561-566.
- Choubert J.M. (2002). Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température. Thèse de doctorat, Université Strasbourg I. 177 p. et annexes.
- Delrue F., Choubert J.M., Spérandio M., Racault Y. (2008). Modelling a full scale membrane bioreactor using Activated Sludge Model n°1: challenges and solutions. IWA specialized conference Moscou (Russie) June 2008. 8 p.
- Gillot S., Choubert J.M., Racault Y., Héduit A. (2007) État de l'art de la modélisation du traitement biologique des eaux résiduaires. Journée Internationale d'Etude des Eaux, Cebedeau, 23 mai 2007.
- Lagarde F. (2003). Optimisation du traitement de l'azote et du carbone par boues activées en temps de pluie à basse température. Thèse de doctorat, Université Paris XII. 138 p. et annexes.
- Lessard P., Tusseau-Vuillemin M.H., Héduit A., Lagarde, F. (2007). Assessing chemical oxygen demand and nitrogen conversions in a multi-stage activated sludge plant with alternating aeration. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 82, 367-375.
- Marquot A., Stricker A.E., Racault Y. (2006a). ASM1 dynamic calibration and long-term validation for an intermittently aerated WWTP. *Water Science and Technology* 53 (12), 247-256.
- Marquot A. (2006b) Modélisation du traitement de l'azote par les boues activées sur station réelle : Calage et évaluation de l'ASM1. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour. 250 p. et annexes.
- Marquot A., Vedrenne J., Racault Y. (2006c). Intérêt de la télétransmission de données pour la modélisation du traitement des eaux usées. 4^e conférence STIC et Environnement 2006, Narbonne, 5-7 avril 2006. 8 p.
- Rousseau P., Steyer J.P., Volcke E.I.P., Bernet N., Béline F. (2008). Combined anaerobic digestion and biological nitrogen removal for piggery wastewater treatment: a modeling approach. *Water Science and Technology* 58 (1), 133-141.
- Martin-Ruel S., Comeau Y., Ginestet P., Héduit A. (2002). Modeling acidogenic and sulfate-reducing processes for the determination of fermentable fractions in wastewater. *Biotechnology and Bioengineering*, 80 (5), 525-536.
- Spérandio M., Heran M., Gillot S. (2008). Modélisation dynamique des procédés biologiques de traitement des eaux. Editions Techniques de l'Ingénieur (W6-500), 18 p.
- Stricker A.E., Lessard P., Héduit A., Chatellier P. (2003). Observed and simulated effect of rain events on the behaviour of an activated sludge plant removing nitrogen. *Journal of Environmental Engineering and Science* 2(6), 429-440.
- Stricker A.E. (2000). Application de la modélisation à l'étude du traitement de l'azote par boues activées en aération prolongée : comparaison des performances en temps sec et en temps de pluie. Thèse de doctorat, Université Strasbourg I. 270 p. et annexes.
- Vigne E., Choubert J.M., Canler J.P., Héduit A., Lessard P. (2007). Toward an operational dynamic model for tertiary nitrification by submerged biofiltration. *Water science and technology* 55(8-9), 301-308.