



**HAL**  
open science

## Intérêt de la télétransmission de données pour la modélisation du traitement des eaux usées

Aurélien Marquot, Jacky Vedrenne, Yvan Racault

► **To cite this version:**

Aurélien Marquot, Jacky Vedrenne, Yvan Racault. Intérêt de la télétransmission de données pour la modélisation du traitement des eaux usées. 4<sup>ème</sup> conférence STIC et Environnement 2006, Narbonne, 5-7 avril 2006, 2006, Narbonne, France. pp.8. hal-02588047

**HAL Id: hal-02588047**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02588047>**

Submitted on 13 May 2024

**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.

# Intérêt de la télétransmission de données pour la modélisation du traitement des eaux usées

A Marquot\*, J Vedrenne\*, Y Racault\*

\*Equipe Epuraton, Unité REBX, Cemagref de Bordeaux, 33612 Gazinet ([Yvan.racault@cemagref.fr](mailto:Yvan.racault@cemagref.fr))

## Résumé

Les besoins en données de terrain pour des travaux de simulation scientifique ont conduit le Cemagref à développer des choix stratégiques en terme de méthode d'acquisition/transmission de données. L'utilisation d'une télétransmission sur plusieurs sites distants du laboratoire (où les données sont stockées et exploitées) a permis d'observer son intérêt face aux systèmes existants déjà sur les stations et aux acquisitions sans télétransmission. L'acquisition de données pour des travaux de simulations implique des contraintes fortes sur la fiabilité et la flexibilité de la chaîne de mesure que seul un système indépendant peut apporter. D'autre part la télétransmission offre un gain de temps considérable en terme de traitement des données et de réactivité face aux aléas rencontrés sur sites réels. Un exemple pratique est présenté en montrant comment un flux de données TOR et un flux de données analogique (4-20 mA) peuvent être combinés pour offrir une information pertinente sur l'état du procédé de traitement. Il est finalement conclu, qu'il est également dans l'intérêt des constructeurs, des gestionnaires et des maîtres d'œuvre de stations d'épuration d'anticiper sur l'évolution future des systèmes de supervision qui feront eux aussi appel à la modélisation.

## Mots-clés

Station d'épuration des eaux usées, modélisation, télétransmission, acquisition de données

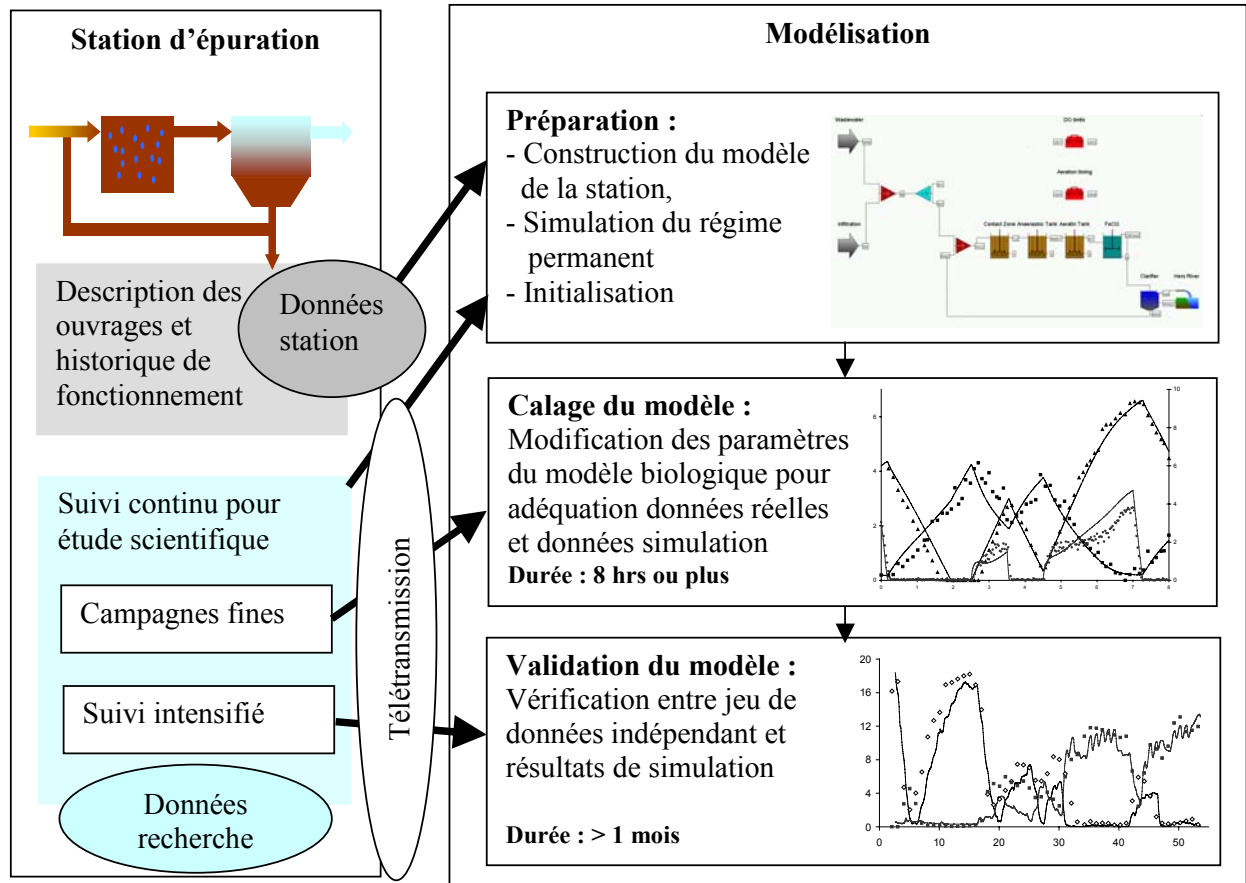
## INTRODUCTION

L'acquisition de données sur les systèmes de traitement des eaux usées connaît un développement croissant, y compris pour les stations d'épuration de petite et moyenne taille. La mesure de paramètres clés comme les débits entrants et sortants d'une station d'épuration, les concentrations en boue et en oxygène dans ses bassins ou encore les concentrations en pollutions carbonées, azotées et phosphorées permet la construction de bases de données qui servent principalement à la gestion de la station et au contrôle de ses performances.

La réglementation, toujours plus stricte en terme de rejets, implique la nécessité de réhabiliter, agrandir et même créer des systèmes de traitement des eaux usées qui justifient une activité de recherche scientifique partagée entre secteurs public et privé. Cette recherche porte notamment sur le développement de modèles numériques permettant de reproduire les phénomènes biologiques responsables de la dépollution des eaux usées et de simuler des scénarios prospectifs de dimensionnement ou de gestion. Les principaux modèles sont les modèles de boues activées type ASM (activated sludge models (Henze *et al.*, 2000)).

Ces modèles comportent des paramètres qui ne sont pas accessibles par mesure directe (par exemple taux de croissance ou de mortalité de la biomasse). Il convient donc de réaliser des étapes d'initialisation, de calage et de validation des paramètres. Ces étapes requièrent l'acquisition de données avec des contraintes en terme de qualité et de fréquence d'échantillonnage plus importantes que celles imposées par la gestion et le contrôle habituels qui sont appliqués sur les stations. La figure 1 montre l'utilisation des données acquises en fonction de leur origine. Ce schéma est extrait de travaux sur la modélisation du traitement de l'azote par boues activées en sites réels ( Marquot *et al.*, 2005; Marquot, 2006).

L'utilisation d'installations pilotes peut permettre de s'affranchir des problèmes de compatibilité entre le fonctionnement « normal » d'une station réelle et les contraintes apportées par une étude scientifique. Néanmoins les équipes de recherche en traitement des eaux usées du Cemagref maintiennent le suivi d'installations réelles afin de pouvoir compléter les connaissances acquises en laboratoire.



**Figure 1.** Transfert de données entre station d'épuration et travaux de modélisation.

L'acquisition de données sur site réel soulève de nombreuses questions méthodologiques. Il est connu que ce genre d'activité est coûteux tant en terme financier qu'en terme de ressources humaines. La littérature actuelle préconise donc l'exploitation au maximum des données déjà acquises par les systèmes de supervision en place et la minimisation des mesures complémentaires (Vanrolleghem *et al.*, 2003) (Petersen *et al.*, 2003) (Sin *et al.*, 2005).

Cependant, pour ses recherches sur l'aptitude des modèles numériques à représenter les procédés de traitement de l'azote par boues activées, l'équipe du Cemagref de Bordeaux a opté pour une stratégie différente. Lors d'études sur sites réels, l'équipe installe un système d'acquisition de données indépendant de celui de la station. Ce système a été récemment amélioré avec une télétransmission des données du site d'étude vers le laboratoire. Cet article présente un retour d'expérience en soulignant les intérêts de cette stratégie d'acquisition.

## I. CONTEXTE

Il est nécessaire de rappeler le cadre de l'acquisition de données en vue d'une étude de modélisation puisqu'il diffère notamment de celui de la gestion ou du contrôle :

- Durée d'acquisition limitée dans le temps

- Besoins forts en fiabilité, flexibilité et portabilité
- Nécessité de pouvoir réaliser des bilans de masse ou de flux pour la compréhension du système
- Distance éventuellement grande entre le site d'étude et le laboratoire.

Le tableau 1 présente un exemple des paramètres acquis en fonction des trois types de signaux qui sont utilisés pour l'acquisition de données. La base de données qui en découle est complétée avec des données acquises par mesures chimiques et par relevés manuels.

**Tableau 1.** Enregistrements par types de signaux.

Type de signal	4-20 mA	TOR	Comptage
Paramètres	Bassin d'aération :	Temps de marche et horodatages :	Débits :
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O<sub>2</sub>, pH, Redox</li> <li>- MES</li> <li>- température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pompes</li> <li>- aérateurs</li> <li>- traitements des boues (centrifugeuse,...)</li> <li>- électrovannes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- entrée</li> <li>- sortie</li> <li>- process</li> <li>- pluviométrie</li> </ul>
	Eau usée, effluent : (spectrophotomètre)		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DCO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</li> </ul>		

### I.1. La chaîne de mesure/acquisition

L'acquisition de données repose sur la fiabilité de la chaîne de mesure (mesure par le capteur, conversion et transmission du signal, stockage et traitement des données) et donc sur la cohérence entre ses différents maillons. Concernant les systèmes déjà en place sur les stations d'épuration, il est généralement observé que l'investissement matériel est suffisant, mais que la coordination entre les différents étages de l'acquisition (qui font appel à différents corps de métiers : exploitants, électriciens, automaticiens, programmeurs...) est souvent insuffisante. La multiplicité des sources d'erreurs (étalonnage du capteur, problème de transmission, problème de stockage) amène donc souvent à considérer que la qualité des données est insuffisante pour les besoins d'une étude scientifique.

D'autre part une étude scientifique nécessite généralement une certaine flexibilité dans les formats et les fréquences d'enregistrement des données. L'orientation gestion/contrôle sur une station d'épuration amène souvent à installer des systèmes d'acquisition de données dont la fréquence d'acquisition est fixe (et parfois la même pour tous les paramètres) et dont les bases de données ont une portabilité restreinte voir inexistante.

Enfin la chaîne d'acquisition d'une station d'épuration dépend généralement d'une alimentation électrique sécurisée. L'expérience du terrain révèle que les pannes électriques ne sont pas rares sur certaines stations d'épuration et elles entraînent potentiellement des pertes de données (soit au niveau de la mesure, soit au niveau de la supervision). Pour la modélisation ces pertes peuvent être critiques, notamment si elles concernent des données de contrôle/entrée (données qu'il faut nécessairement fournir au modèle pour qu'il fonctionne). Nous verrons donc que ce genre de situation justifie la stratégie d'un système d'acquisition de données indépendant et énergiquement autonome en vue d'une étude scientifique.

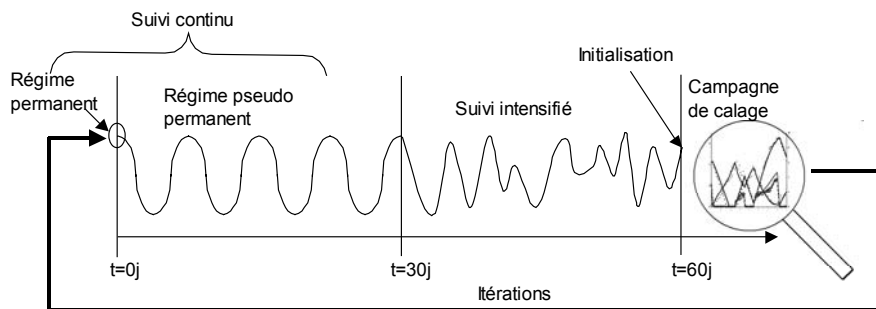
### I.2. Les types d'acquisition

L'acquisition de données sur site réel à des fins d'étude scientifique peut être distinguée en trois catégories (voir figure 1):

- suivi continu (pour l'étude du régime permanent)
- campagnes fines (pour le calage du modèle)
- suivi intensifié (pour la validation du calage)

Le suivi continu a pour but de rassembler les données nécessaires pour caractériser le système en condition de fonctionnement normal/moyen sans perturber sa gestion. L'objectif est de pouvoir simuler le fonctionnement en régime permanent de la station. Cette première approche permet notamment une initialisation pour les travaux de calage du modèle. Le calage proprement dit s'effectue lors des campagnes fines. Dans le cas du calage du modèle biologique utilisé pour représenter le traitement des pollutions carbonées et azotées, cette étape peut être réalisée à partir d'une campagne de 8 heures où les paramètres de gestion de la station sont contrôlés manuellement afin de provoquer des perturbations dans le système. Par exemple des cycles d'aération déterminés sont imposés pour accentuer des variations de concentrations en azote dans les bassins de boues activées.

Le suivi continu et les campagnes fines sont complémentaires puisque l'étape de calage du modèle nécessite une démarche itérative entre ces deux approches. Enfin la validation du modèle calé requiert l'utilisation de données indépendantes acquises lors du suivi intensifié (équivalent au suivi continu mais avec une augmentation de la fréquence de certaines



mesures).

La figure 2 présente le scénario itératif qui utilise les données des trois types de suivi. Dans cet exemple le suivi intensifié correspond à la fois à l'initialisation du système pour la campagne de calage et à une étape de validation. Cette validation est possible, bien que le suivi intensifié se situe avant la campagne de calage, car le processus de simulation est itératif (à chaque modification d'un ou plusieurs paramètres du modèle l'ensemble du scénario doit être à nouveau simulé).

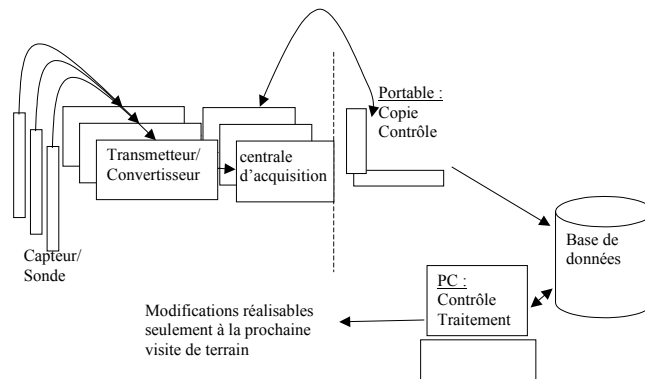
**Figure 2.** Utilisation des données de suivis et de campagnes pour la simulation.

### I.3. Principe de l'acquisition de données avec et sans un système de télétransmission

La figure 3 présente le système classique (sans télétransmission) utilisé antérieurement pour l'acquisition de données sur sites réels lors d'études scientifiques. La chaîne d'acquisition est en fait brisée entre la base de données et la mesure du capteur. Cette méthode triple le stockage des données :

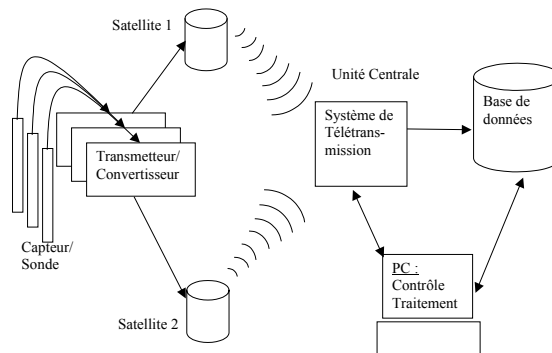
- 1) mémoire de stockage sur site (centrales d'acquisition de données)
- 2) copie dans un ordinateur portable lors de la visite de terrain
- 3) enregistrement dans la base de données (serveur ou PC du laboratoire)

La multiplicité des copies et l'intervention humaine systématique au milieu de la chaîne d'acquisition amplifient significativement le risque de perte de données. Un autre inconvénient avec ce type de méthode apparaît lorsque le site d'étude est éloigné physiquement de la base de données : le temps de réaction face à un problème sur la chaîne de mesure est soumis à la capacité des ressources humaines à pouvoir se déplacer.



**Figure 3.** Acquisition de données classique.

La figure 4 présente la mise en place d'un système de télétransmission dans la chaîne d'acquisition. Dans le cas de l'équipe de recherche du Cemagref de Bordeaux, le système est



composé d'une unité centrale communiquant d'une part en liaison radio avec des satellites installés en différents points du site étudié et d'autre part en liaison RTC avec la base de données (laboratoire). Les deux principales différences par rapport au système présenté précédemment sont :

- le remplacement de la mémoire de stockage sur site et de l'étape de recopie de l'information sur un ordinateur portable,
- la fermeture de la chaîne acquisition/transmission entre le capteur et la base de données avec également la possibilité d'intervenir directement et à distance sur le système de télétransmission.

**Figure 4.** Acquisition de données avec un système de télétransmission.

## II. INTERET DE LA TELETRANSMISSION POUR LE SUIVI CONTINU

### II.1. Fiabilité et contrôle

Le premier avantage du système de télétransmission est d'augmenter la fiabilité en réduisant les sources d'erreurs. Néanmoins les problématiques de l'étalonnage de la sonde, des

interférences électromagnétiques et des éventuelles déformations du signal par le convertisseur/transmetteur restent à considérer.

Le système de télétransmission permet également de réduire les pertes de données liées aux pannes électriques de la station du fait de son alimentation autonome. Cette fonctionnalité n'était pas toujours présente dans les boîtiers de stockage de données de la chaîne d'acquisition classique (figure 3). Quant à la fiabilité de l'acquisition, elle est fortement améliorée par la possibilité du contrôle continu et à distance des données enregistrées. Cette configuration permet de mieux préparer les opérations de terrain (suivi métrologique).

## II.2. Portabilité et traitement

L'utilisation d'un système unique pour le transfert de données d'origines très différentes permet d'uniformiser leur format. La télétransmission des données peut également être couplée à des « macros »; ainsi on a la possibilité d'appliquer un traitement automatisé et d'accéder directement à une mise en forme graphique avancée des données. Ces dernières sont donc très rapidement accessibles à la critique visuelle ou à leur utilisation pour la simulation.

Il est également important de noter que la réduction du délai entre l'acquisition des données et leur traitement apporte les avantages suivants :

- La « fraîcheur » des données permet d'établir facilement des corrélations entre ces dernières et les événements qui se produisent sur le site d'étude (pluies, pannes, modification de la gestion...)
- La réduction du volume de données à stocker.

## III. INTERET DE LA TELETRANSMISSION POUR LES CAMPAGNES FINES

Les exigences d'une campagne fine en terme de pas de temps d'acquisition sont souvent différentes de celles du suivi continu. Le système de télétransmission permet alors un ajout facile de voies d'enregistrements supplémentaires et une modification des pas de temps d'acquisition. Ainsi le suivi continu mis en place n'a pas besoin d'être modifié et les données acquises pour la campagne fine peuvent être stockées et traitées de manière indépendante.

## IV. ASPECTS FINANCIERS

Le coût du matériel installé par l'équipe épuration du Cemagref de Bordeaux pour une étude sur site réel se situe aux environs de 80 k€ (station d'épuration à boues activées de taille moyenne 10 à 30 000 EH traitant l'azote). Le tableau suivant (2) représente la répartition en pourcentages des différents postes. L'installation d'un système de télétransmission nous a permis de réduire sensiblement le coût global en diminuant le poste « acquisition et transmission de données » de 5%. La diminution des fréquences de déplacement sur site a également significativement réduit le coût des études.

**Tableau 2.** Répartition des coûts matériels pour le suivi d'un site réel avec télétransmission.

Poste	Capteurs et transmetteurs	Matériel de test « in-situ »	Préleveurs d'échantillon	Acquisition/ transmission de données
Répartition des coûts	54%	9%	20%	17%

## V. EXEMPLE : MESURE DU TEMPS DE PRESENCE D'OXYGENE

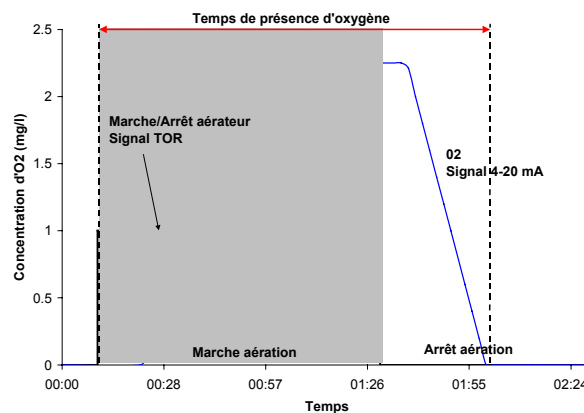
Le temps de présence d'oxygène (TPO) en boues activées correspond à la durée quotidienne d'aérobie dans un bassin d'aération où l'apport d'oxygène est « séquencé ». Ce paramètre s'avère très riche en informations sur l'état du système. Sa valeur est au minimum égale au temps d'aération (soit le temps de fonctionnement journalier des aérateurs). Ensuite s'ajoute le temps de descente de la concentration en oxygène dissous jusqu'à zéro (voir figure 5). La comparaison entre le temps d'aération et le temps de présence d'oxygène permet d'identifier les situations suivantes :

- problèmes de sous ou sur-aération
- problèmes biologiques (perte de nitrification, toxicité)
- variation brutale du débit et surtout de la charge

Néanmoins l'interprétation des valeurs prises par ce paramètre requiert une certaine expertise car le résultat dépend de nombreux facteurs comme la stratégie de gestion de l'aération appliquée (nombre, répartition et durée des cycles d'aération) et d'autres paramètres comme la charge et la température.

D'un point de vue acquisition de données, ce paramètre s'obtient par la combinaison de plusieurs signaux : marches/arrêts des aérateurs et concentration en oxygène dissous. La programmation doit intégrer les deux règles suivantes :

- si au moins un aérateur est en marche alors le temps de présence d'oxygène est décompté (même si la concentration en oxygène est nulle)
- quel que soit l'état de marche des aérateurs, si la concentration en oxygène est non nulle, le temps de présence d'oxygène est décompté



**Figure 4.** Principe de la mesure du temps de présence d'oxygène (TPO sur un cycle d'aération).

A ces contraintes théoriques s'ajoutent des contraintes techniques telles que la détection du zéro par la chaîne de mesure. Le calibrage du capteur nécessite donc d'être très rigoureux. Dans la pratique, on utilise généralement un seuil légèrement supérieur à zéro pour éviter des aberrations.

L'intérêt du système de télétransmission pour l'acquisition du temps de présence d'oxygène réside dans la possibilité de programmer la combinaison de plusieurs signaux au niveau des centrales d'acquisition de données. Le TPO est donc « construit » avant d'atteindre la base de données. Cela apporte un gain de temps considérable par rapport à un système sans télétransmission (voir figure 3), où les données provenaient de boîtiers d'enregistrement



différents et devaient être combinées une fois rapatriées dans la base de données par des opérations fastidieuses de traitement.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'expérience de terrain de l'équipe de recherche en traitement des eaux usées du Cemagref de Bordeaux a permis de préciser l'intérêt de bénéficier d'un système de télétransmission de données pour le suivi scientifique de stations d'épuration, notamment pour la réalisation de travaux de modélisation. A terme, il est admis que la modélisation deviendra un outil intégré de la gestion de certaines stations d'épuration, notamment pour l'anticipation sur les stratégies à adopter (notamment avec des paramètres comme le temps de présence d'oxygène). Nous encourageons donc vivement les maîtres d'œuvre et les gestionnaires à s'orienter vers des systèmes d'acquisition souples qui permettent :

- de modifier les pas de temps d'acquisition
- de combiner différents types de signaux
- d'accéder facilement aux données enregistrées

Ces choix devraient permettre d'anticiper l'introduction annoncée de la modélisation dans les systèmes de supervision des stations d'épuration (Printemps *et al.*, 2004). La télétransmission de données deviendra vraisemblablement un élément clé pour des systèmes centralisés et experts, utilisant la modélisation comme outil de gestion prospectif pour un parc de petites et moyennes stations.

## REFERENCES

- Henze, M., Grady, C.P.L.J., Gujer, W., Marais, G.R. and Matsuo, T., eds. (2000). Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. IWA Publishing ed, Padstow, Cornwall (UK).
- Marquot, A. (2006). Modelling nitrogen removal by activated sludge on full-scale plants: calibration and validation of ASM1, UPPA.
- Marquot, A., Stricker, A.E. and Racault, Y. (2005). ASM1 dynamic calibration and long-term validation for an intermittently aerated WWTP. Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams.
- Petersen, B., Gernaey, K., Henze, M. and Vanrolleghem, P.A. (2003) Calibration of activated sludge models: A critical review of experimental designs. In: A.S.N.a.R. W. (Ed), Biotechnology for the Environment: Wastewater Treatment and Modeling, Waste Gas Handling, pp. 101-186. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Printemps, C., Zug, M., Baudin, A., Dormoy, T. and Vanrolleghem, P.A. (2004). Optimisation of a large WWTP thanks to mathematical modelling. *Water Science and Technology*, **50**(7), 113-122.
- Sin, G., Van Hulle, S.T.W., De Pauw, D.J.W., Van Griensven, A. and Vanrolleghem, P.A. (2005). A critical comparison of systematic calibration protocols for activated sludge models: A SWOT analysis. *Water Research*, **39**, 2459-2474.
- Vanrolleghem, P., INSEL, G., Petersen, B., Sin, G., De Pauw, D., Nopens, I., Dovermann, H., Weijers, S.R. and Gernaey, A.K. (2003). A Comprehensive model calibration procedure for activated sludge models. WEFTEC-2003.