

Un protocole pour la modélisation du fonctionnement des stations d'épuration à boues activées

Les stations d'épuration sont des systèmes dynamiques, soumis à d'importantes variations temporelles. La modélisation de leur fonctionnement, qui consiste à représenter mathématiquement l'évolution dans le temps de variables d'intérêt représentant les phénomènes biologiques, physiques et chimiques qui se déroulent dans les ouvrages, est utilisée pour mieux comprendre les processus mis en jeu et optimiser le traitement des eaux résiduaires. Focus sur les activités du groupe de travail Good Modelling Practice de l'IWA, auquel participe activement les équipes d'Irstea, notamment dans l'élaboration d'un protocole pour l'utilisation des modèles de boues activées en pratique.

La modélisation mathématique du fonctionnement des stations d'épuration à boues activées est très utilisée pour des fins de recherche, de dimensionnement d'ouvrages, d'optimisation, de formation... Une analyse récente des pratiques en matière de modélisation des boues activées a montré que la qualité des projets dépendait largement des objectifs fixés, du budget et de l'expertise disponible (Hauduc *et al.*, 2009). Cette analyse a par ailleurs mis en exergue les obstacles limitant l'utilisation, par les praticiens (ingénieurs, bureaux d'études), des outils de modélisation dynamique du traitement des eaux résiduaires : l'absence de documents qui guideraient les modélisateurs tout au long de leur projet a particulièrement été notée. Afin de lever ces verrous, et pour améliorer la qualité des simulations, un partenariat international a été mis en place suite à un séminaire qui a eu lieu dans le cadre du 4^e IWA World Water Congress à Marrakech en 2004. Le groupe constitué (*Task Group de l'International Water Association (IWA) « Good Modelling Practice »* – GMP – <https://iwa-gmp-tg.irstea.fr/>), auquel Irstea participe, a notamment développé un protocole pour l'utilisation des modèles de boues activées en pratique (Rieger *et al.*, 2012).

Utilisation des modèles de boues activées – État de l'art

Comme présenté sur la figure ❶, les objectifs d'utilisation des outils de modélisation dynamique du fonctionnement des stations d'épuration à boues activées sont multiples (Spérandio *et al.*, 2007 ; Rieger *et al.*, 2010) et peuvent être regroupés sous quatre catégories : l'optimisation du

fonctionnement d'installations existantes (exploitation, stratégies de contrôle...), le dimensionnement (nouvelles stations d'épuration et extensions), la prédiction d'opérations à venir (maintenance, évolution des charges...) et la formation.

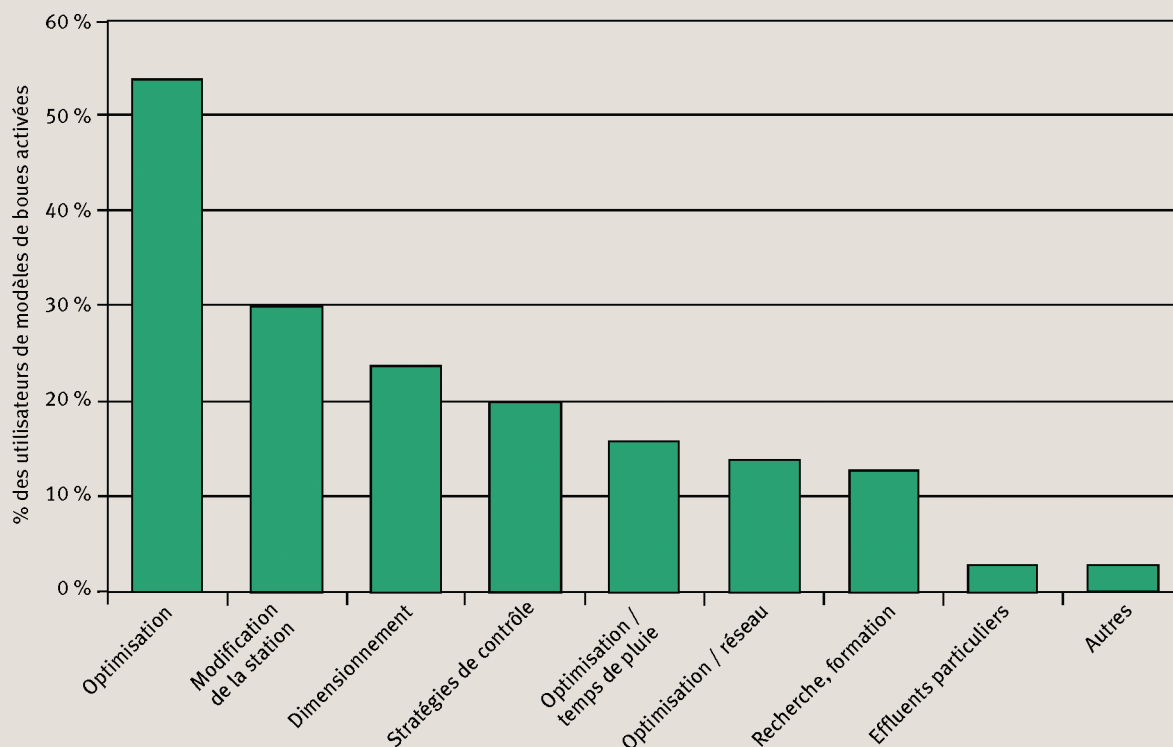
Les utilisateurs de modèles ont par ailleurs un profil et une utilisation différents en Europe et en Amérique du Nord. Principalement universitaires, les européens qui utilisent les outils de modélisation ont pour objectif d'optimiser le fonctionnement de stations d'épuration existantes. En Amérique du Nord, les modèles sont utilisés par des compagnies privées, principalement pour concevoir et dimensionner les installations.

L'enquête réalisée par le *Task Group* a finalement montré que la « non-utilisation » de modèles était en grande partie due au manque de procédures clairement établies, qui permettent de garantir la qualité des projets. Le groupe GMP s'est donc fixé pour objectifs d'élaborer et de mettre à disposition des praticiens un protocole d'utilisation des modèles de boues activées qui explicite les données et les méthodes requises.

Le protocole unifié

Le protocole retenu synthétise les procédures publiées dans le domaine de l'épuration des eaux usées, auxquelles s'ajoutent des éléments clés proposés dans les protocoles de modélisation d'autres domaines (l'hydrologie, notamment). L'interaction entre le modélisateur et les parties prenantes d'un projet de modélisation (clients, consultants, chercheurs...) est notamment prise en compte.

❶ Les principaux objectifs d'utilisation des outils de modélisation des boues activées (d'après Hauduc *et al.*, 2009).



Le protocole GMP repose également sur les connaissances échangées lors des discussions qui ont eu lieu dans le cadre de réunions de groupes de travail locaux (tel que le groupe « Modélisation » de l'ASTEE, Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement - encadré ❶), de *workshops* et de conférences. Il propose une procédure en cinq étapes (figure ❷), qui intègre :

- une vue d'ensemble structurée, incluant les boucles de retour vers les étapes précédentes du protocole ;
- l'effort requis (données nécessaires, calage requis, estimation de la durée du projet) en fonction des objectifs du projet de modélisation ;
- des stratégies et procédures de : (i) collecte et analyse des données ; (ii) caractérisation des effluents, des paramètres de la décantation, de l'hydrodynamique et des processus biologiques ;
- des conseils pour le choix des modèles et leur implantation ;
- une procédure de calage/validation des paramètres ;
- des conseils pour faciliter l'interaction entre le modélisateur et les partenaires du projet ;
- des conseils pour élaborer les documents relatifs au projet ;
- des exemples, incluant les erreurs typiques à éviter.

Chacune des cinq étapes du protocole est examinée et validée par l'ensemble des partenaires du projet avant de passer à l'étape suivante (losanges grisés de la figure ❷). Cette validation est basée sur les rapports et autres documents générés lors des cinq étapes ; celles-ci sont brièvement décrites dans les paragraphes suivants.

Définition du projet

La première étape du protocole consiste en la définition des objectifs du projet de modélisation. Les différents

partenaires du projet ainsi que leurs responsabilités sont identifiés. La précision attendue des résultats de simulation est définie dès ce stade, de même que les besoins et les contraintes en termes de données, de compétences, de délais et de livrables, afin de fixer le budget et les échéances. À partir de la définition du projet, un document de suivi est élaboré. Ce document évolutif comprend une description de chacune des étapes et est validé à chaque étape par l'ensemble des partenaires impliqués.

Collecte et analyse des données

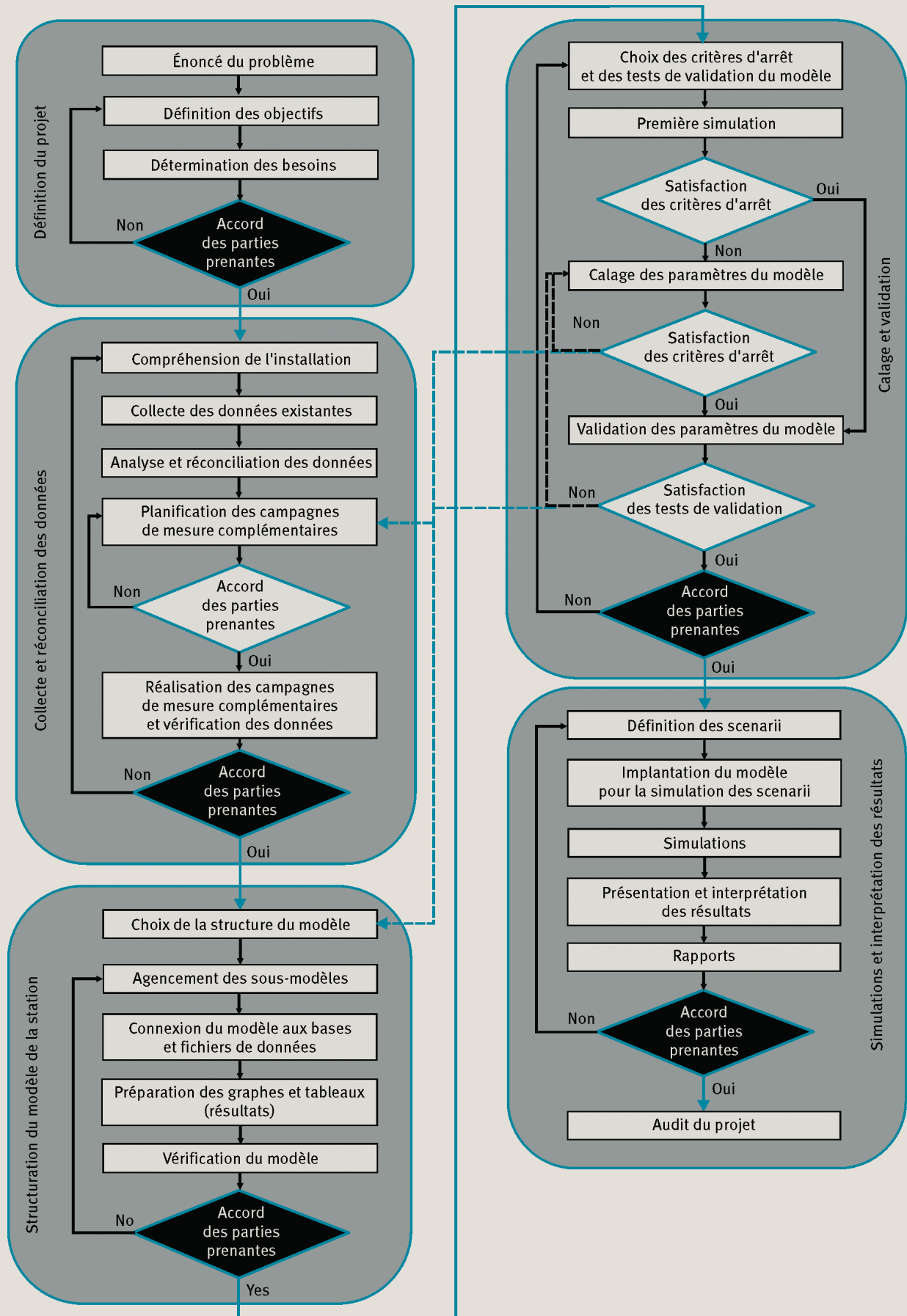
Reconnue comme l'une des principales étapes d'un projet de modélisation et pouvant représenter plus d'un tiers du temps consacré au projet, cette étape est relative aux données nécessaires pour alimenter et valider les modèles. La procédure proposée inclut la description des différentes sources de données, leur type, les données requises en fonction des objectifs du projet et les outils pour analyser et éventuellement réconcilier les données.

L'analyse et la validation des données reposent sur la procédure schématisée sur la figure ❸.

❶ LE GROUPE DE TRAVAIL « MODÉLISATION » DE L'ASTEE

Dans le cadre de la commission scientifique et technique « assainissement » de l'ASTEE (Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement, <http://www.astee.org/>), un groupe de travail francophone a été constitué en 2007 afin notamment d'échanger sur les pratiques d'utilisation des modèles de fonctionnement des stations d'épuration. Ce groupe, miroir du groupe *Good Modelling Practice* de l'IWA, compte environ trente-cinq membres privés et publics qui se réunissent une à deux fois par an autour d'un thème fédérateur (validation des données de stations d'épuration, modélisation du devenir des micropolluants...).

Contact : sylvie.gillot@irstea.fr

2 Le protocole GMP.


3 Procédure d'analyse/réconciliation des données.

Détection des erreurs

Visualisation des données, statistiques descriptives
Vérifications simples
Vérifications avancées (ratios typiques)
Bilans matière
Vérification des performances

Localisation des sources d'erreurs

Basée sur l'expérience
Bilans matière croisés

Identification des sources d'erreurs

Mesure des débits
Échantillonnage
Méthodes analytiques
Mesures en ligne

Réconciliation des données

Correction des données et/ou des signaux,
à l'aide de régressions, notamment

Les ratios typiques qui caractérisent les eaux brutes et les eaux décantées (par exemple, DBO_5/DCO^1 ...) et d'autres indicateurs (MVS/MES², production de boues...) sont également fournis afin de faciliter l'étape de validation des données.

1. DBO_5 : demande biologique en oxygène sur 5 jours ;
DCO : demande chimique en oxygène.
2. MVS : matières volatiles en suspension ;
MES : matières en suspension.

Cette étape repose également largement sur la vérification des bilans matière, notamment à l'aide du paramètre phosphore, seul élément conservé en entrée et sorties (eau, boues) de la station d'épuration.

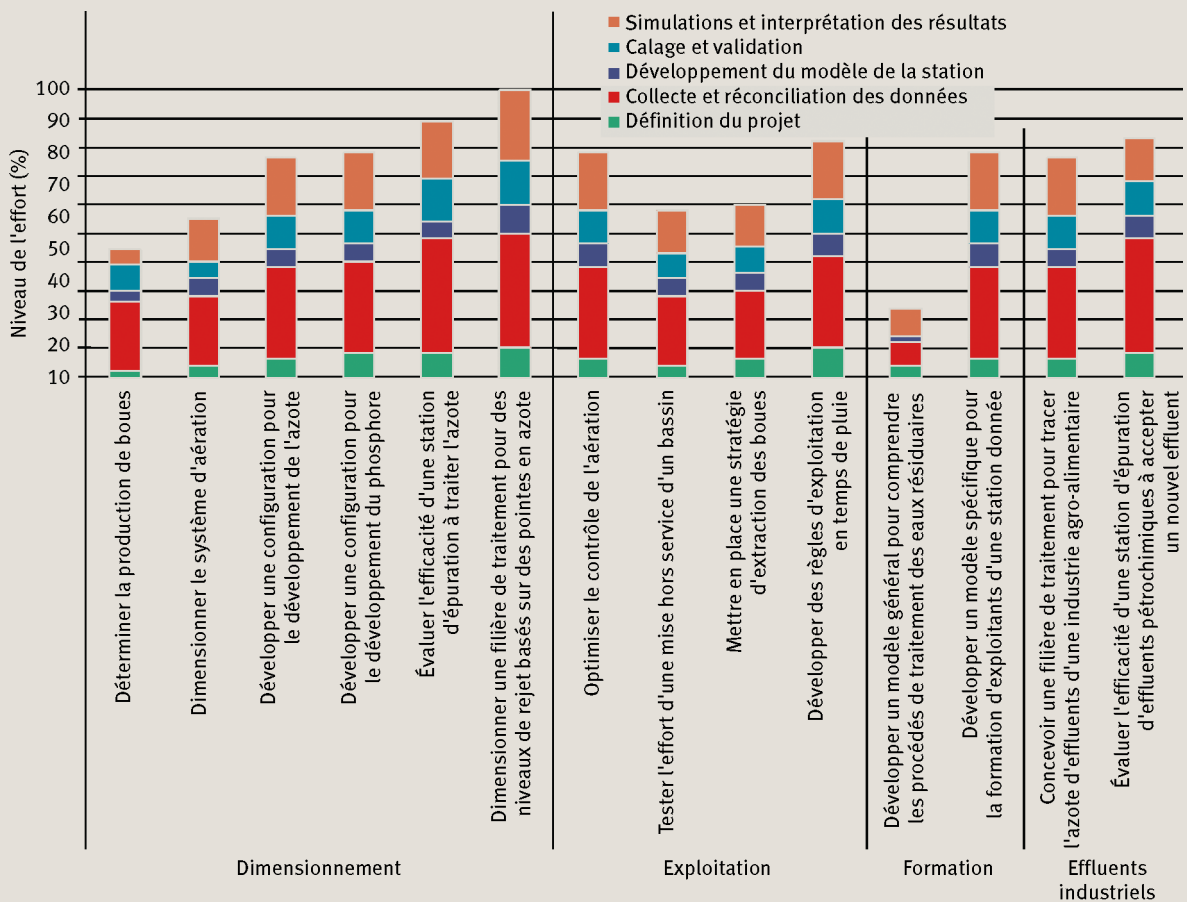
Construction et évaluation du modèle de la station d'épuration

Un modèle de la station d'épuration est constitué de plusieurs sous-modèles interconnectés qu'il convient de choisir avec soin. Les objectifs du projet déterminent les limites du système, les procédés qui seront modélisés, ainsi que le niveau de détail requis (nombre de files modélisées, par exemple). L'étape de construction du modèle consiste à connecter les sous-modèles, à relier le modèle complet obtenu aux bases de données *ad hoc* (données d'entrée, d'exploitation...) et à définir la forme sous laquelle seront présentés les résultats de simulation (graphes, figures, tableau de données...). Cette étape est finalisée par la vérification fonctionnelle du modèle obtenu.

Calage et validation du modèle

Le calage d'un modèle peut être décrit comme l'ajustement de ses paramètres de manière à faire correspondre les données simulées aux données expérimentales. La qualité des résultats de simulation est évaluée pour des variables

4 Effort global requis pour différents exemples d'application.



► spécifiques - les variables cibles – dont les valeurs doivent être comprises dans un intervalle spécifié dans les objectifs du projet et ajusté à ce stade. Des tests de validation sont réalisés de manière à garantir l'utilisation du modèle avec la précision requise pour atteindre les objectifs fixés. Ils permettent notamment de définir le domaine d'utilisation du modèle, en lien avec la précision requise.

Simulation et interprétation des résultats

Cette dernière étape de la procédure consiste en la définition des scénarii à simuler, l'implantation du modèle, les simulations elles-mêmes, la présentation et l'interprétation des résultats. Finalement, la documentation concernant le projet doit permettre à chacun des acteurs du projet de vérifier les résultats de simulations et, si nécessaire, de reproduire le projet à l'identique. La procédure se termine lorsque l'ensemble des partenaires du projet valide les résultats.

Une matrice d'applications

En plus des procédures permettant de mener à bien les projets, une matrice d'applications a été élaborée (figure 4). Elle est constituée de quatorze exemples relatifs à l'utilisation de modèles pour le dimensionnement des stations d'épuration, pour l'optimisation de leur fonctionnement et pour la formation. Deux exemples spécifiques au traitement des eaux résiduaires industrielles sont également décrits. Pour chacun de ces exemples, l'effort requis pour atteindre les objectifs fixés est évalué, et les éléments permettant de mener à bien chacune des étapes du protocole sont détaillés.

Utilisation du protocole GMP - Bénéfices escomptés

De manière générale, le protocole proposé structure les interactions entre le modélisateur et les différentes parties prenantes du projet, et permet d'identifier les responsabilités de chacun pour atteindre les objectifs définis.

L'utilisation du protocole GMP est également susceptible de conduire aux bénéfices suivants (Shaw *et al.*, 2011).

Pour les modélisateurs

L'un des principaux freins à l'utilisation des outils de simulation en pratique est lié au manque de formation spécifique (Hauduc *et al.*, 2009). Ainsi, la majorité des modélisateurs est autodidacte, et a construit son expertise sur la base de sources variées et éparpillées, parfois même

contradictoires. Le protocole GMP offre des conseils pratiques pour chacune des étapes d'un projet de modélisation. Le modélisateur devrait gagner du temps : (i) lors de sa formation à partir d'un document complet et cohérent ; (ii) au cours du projet de par les procédures standardisées proposées et les erreurs typiques qui sont décrites.

Pour les partenaires du projet (maitre d'œuvre, exploitants, chercheurs...)

L'utilisation du protocole apportera des garanties quant à la qualité des projets de modélisation. Les partenaires d'un projet, même non utilisateurs de modèles, intégreront donc plus facilement les résultats de simulations dans leur processus de décision. ■

Remerciements

Le groupe de travail GMP bénéficie du soutien financier de l'IWA et des institutions employant ou ayant employé les membres du groupe (Irstea, Kurita Water Industries Ltd, Université Laval, Black and Veatch, EnviroSim Associates Ltd, Vienna Technical University, Ecole Polytechnique de Montréal, Eawag, Dynamita). Le groupe remercie particulièrement ses sponsors Hydromantis Inc et MostForWater N.V.

Les auteurs

Sylvie GILLOT

Irstea, UR HBAN, Hydrosystèmes et bioprocédés,
1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761 Antony Cedex
✉ sylvie.gillot@irstea.fr

Günter LANGERGRABER

Institute for Sanitary Engineering and Water Pollution Control, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Muthgasse 18, A-1190 Vienne, Autriche

Takayuki OHTSUKI

Kurita Water Industries Ltd, 4-7, Nishi-Shinjuku 3-Chome, Shinjuku-Ku, Tokyo 160-8383, Japon

Andrew SHAW

Black & Veatch, 8400 Ward Parkway, Kansas City, MO, 64114, États-Unis

Imre TAKÁCS

Dynamita SARL, 66 bis Avenue du Parc d'Espagne, 33600 Pessac

Stefan WINKLER

Institute for Water Quality and Waste Management, Vienna Technical University, Karlsplatz 13 / E 226, 1040 Vienne, Autriche

Leiv RIEGER

EnviroSim Associates Ltd., McMaster Innovation Park, 175 Longwood Rd S, Suite 114A, Hamilton, ON L8P 0A1, Canada

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- HAUDUC, H., GILLOT, S., RIEGER, L., OHTSUKI, T., SHAW, A., TAKACS, I., WINKLER, S., 2009, Activated sludge Modelling in Practice - An international Survey, *Water Science and Technology*, 60(8), p. 1943-1951.
- RIEGER, L., TAKACS, I., SHAW, A., WINKLER, S., OHTSUKI, T., LANGERGRABER, G., GILLOT, S., 2010, Editorial : Status and future of wastewater treatment modeling, *Water Science and Technology*, 64(1), p. 821-823.
- RIEGER, L., GILLOT, S., LANGERGRABER, G., OHTSUKI, T., SHAW, A., TAKACS, I., WINKLER, S., 2012, *Guidelines for Using Activated Sludge Models*, IWA Publishing, ISBN : 9781843391746, London, UK, 312 p.
- SHAW, A., RIEGER, L., TAKÁCS, I., WINKLER, S., OHTSUKI, T., LANGERGRABER, G., GILLOT, S., 2011, Realizing the Benefits of Good Modeling Practice, in : *Proceedings 84th Annual WEF Conference and Exposition*, Los Angeles, USA, October 15-19.
- SPÉRANDIO, M., HÉRAN, M., GILLOT, S., 2007, *Modélisation dynamique des procédés biologiques de traitement des eaux*, Techniques de l'Ingénieur, W 6 500, 18 p.

► Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue www.set-revue.fr



Station d'épuration à boues activées de Dommartin.