

Suivi, compréhension et modélisation d'une technologie à biofilm pour l'augmentation de la capacité des étangs aérés

Thèse

Bernard Patry

Sous la direction de :

Peter Vanrolleghem, directeur de recherche
Paul Lessard, codirecteur de recherche

Résumé

Les étangs aérés (EA) représentent une technologie de traitement des eaux usées très répandue dans les petites communautés du Canada et des États-Unis. Au Québec, c'est plus des deux tiers des stations qui sont de ce type. Parmi les stations de petite taille (débit annuel moyen <2500 m³/d), cette proportion monte à 85%. Avec, d'une part, l'évolution de la réglementation qui impose des normes de rejet de plus en plus strictes pour les stations de traitement et, d'autre part, la croissance des communautés desservies, la mise à niveau d'un grand nombre d'EA est nécessaire.

Une des solutions pour l'augmentation de la capacité des EA est d'ajouter un support bactérien fixe au sein des étangs pour augmenter le temps de rétention de la biomasse ainsi que leur concentration. Cette solution est exploitée par l'entreprise Bionest qui a développé la technologie KAMAK™ dont l'idée principale est d'ajouter un support bactérien fixe au sein de colonnes aérées installées directement dans les étangs. Le KAMAK™ complet est formé d'une alternance de zones de sédimentation (3) et de séries de colonnes formant des réacteurs à biofilm (2). Ce type de technologie peu documenté a fait l'objet du projet de recherche dont il est question dans cette thèse.

Une stratégie de suivi en continu de la qualité de l'eau a été déployée sur un système KAMAK™ pleine échelle installé – pour simuler une situation de surcharge – dans une portion des EA de la petite municipalité de Grandes-Piles (415 habitants). Ce suivi a permis de gagner de l'expérience quant à l'installation, l'exploitation et l'entretien de stations de mesure dans un contexte de petit système sans opération quotidienne et, bien sûr, de récolter des données permettant d'évaluer les performances du système à l'étude. Une procédure de traitement des données a été développée pour passer des données brutes à des données plus facilement interprétables et à des fichiers d'entrée pour la modélisation.

L'analyse des performances a principalement été orientée sur les défis identifiés pour le système, soit la nitrification et l'enlèvement des matières en suspension (MES). Pour la nitrification, les données ont montré que le système permet une nitrification saisonnière (à température chaude) prolongée par rapport à un étang aéré typique, et ce, même si le système est exposé à une forte charge organique. La prolongation de la période de nitrification d'environ un mois a été observée en automne, à la fin de la période optimale de nitrification. Pendant cette période, un événement temporaire de perte de nitrification a cependant été expérimenté. L'explication proposée pour cet événement concerne l'enlèvement des MES. Une présence importante de MES dans le système a en effet été corrélée avec cet événement.

Le suivi de l'accumulation des solides et de leur digestion a fourni des explications pour les variations de performance d'enlèvement des MES. Un suivi de l'évolution des hauteurs de sédiments, de leurs

caractéristiques et de la production de gaz associée à leur digestion a été réalisé. Ce suivi a montré que les conditions de forte charge appliquées au système sont associées à une accumulation hivernale des sédiments suivie d'une activité significative de digestion anaérobie pendant la période estivale. Cette digestion entraîne une production de biogaz pouvant causer la remise en suspension de sédiments. Ce phénomène a été utilisé pour expliquer l'augmentation momentanée des concentrations en MES et la perte temporaire de nitrification pendant l'été. Dans le cas de la nitrification, un attachement accru de MES au biofilm est associé à une pénétration plus faible de l'oxygène qui entraîne une baisse d'activité des bactéries nitrifiantes.

Dans le but de comprendre de manière globale les performances du système et de vérifier les explications présentées pour les baisses momentanées de performance, un modèle mathématique a été développé. Ce modèle a permis de mettre en lumière la complexité de la nitrification saisonnière et d'illustrer les liens existants entre les processus actifs au sein du système. Des fonctionnalités innovantes ont été intégrées au modèle pour décrire la remise en suspension de sédiments et l'influence de la température sur les bactéries autotrophes. Ces dernières ont été divisées en deux groupes pour décrire adéquatement les performances de nitrification. Le modèle a finalement été utilisé pour évaluer l'impact de stratégies opérationnelles et de modifications de configuration sur les performances du système.

Abstract

Aerated lagoon (AL) systems are widely used for wastewater treatment in small communities of Canada and the United States. In the province of Québec, for example, more than two thirds of all plants are of this type. Among the plants classified as small or very small (yearly average flowrate below 2500 m³/d), this fraction rises to 85%. With, on the one hand, the evolution of regulations imposing increasingly strict discharge standards for treatment plants and with, on the other hand, the growth of the served communities, the upgrading of many AL type plants is becoming a necessity.

One of the solutions put forward for increasing the capacity of AL is to add a fixed biofilm support within the lagoons to increase the biomass retention time as well as their concentration. This solution has been adopted by the Quebec company Bionest by developing the KAMAK™ technology. The main idea of the KAMAK™ is to add a fixed bacterial support within aerated columns installed directly in the lagoons. These columns, installed in series, form biofilm reactors within the lagoons. The complete KAMAK™ system consists of an alternation of sedimentation zones (3) and biofilm reactors (2). This thesis aims at increasing the knowledge of this type of technology which was poorly documented so far.

An online water quality monitoring strategy was deployed on a full-scale KAMAK™ system installed in a portion – to simulate an overload situation – of the AL of the small Quebec municipality of Grandes-Piles (415 inhabitants). This high-frequency monitoring made it possible to gain an understanding regarding the installation, operation and maintenance of automated monitoring stations in the context of a small system without day-to-day operation and, of course, to collect data to objectively assess the performance of the studied system. A data treatment procedure was developed to transform raw data into more easily interpretable data and, ultimately, into input files for process modelling.

Interpretation of the monitoring data allowed assessing the performance of the technology. The performance analysis focused on the main challenges identified for the system, namely nitrification and total suspended solids (TSS) removal. For nitrification, the data have shown that the system allows extended seasonal (at warm temperature) nitrification compared to typical AL systems (suspended growth), and even with the system being exposed to higher organic loading rates. The extension was mainly observed in the fall, at the end of the optimal nitrification period. However, during the summer period, a temporary nitrification loss event was experienced. The explanation for this event is connected to the second challenge: TSS removal. Indeed, TSS present in the system was correlated with this event and with the operating temperature.

Monitoring of solids accumulation and sediment digestion helped identify potential causes for the poor TSS removal performance in this period. The evolution of sediment height, sediment characteristics and gas

production associated with their digestion, was monitored in parallel to the monitoring of water quality. It showed that the high loading rate conditions applied to the system are associated with sediment accumulation during winter followed by their anaerobic digestion during the summer period. The resulting production of biogas caused sediment resuspension. This resuspension phenomenon has been used to explain the momentary deterioration in effluent quality in terms of TSS and ammonia during the summer period. Regarding nitrification, an increased attachment of TSS to the biofilm, associated with a lower penetration of oxygen, led to a decrease in the activity of the nitrifying bacteria.

In order to understand the performance of the system in a comprehensive manner and to validate the presented explanations for the momentary deterioration of performance, a mathematical model was developed to describe the complete system. The modelling work highlighted the complexity of the nitrification performance dynamics and illustrates, in an integrated manner, the existing links between the different active processes within the system. Innovative features were integrated in the model to describe the resuspension of sediment and the influence of temperature on autotrophic bacteria. Two groups of autotrophic bacteria had to be considered in the model to adequately describe the observed nitrification performance. The model was finally used to assess the impact of new operational strategies and configuration changes on the performance of the system.