

**Modelling and Model-Based Optimization of  
N-Removal WRRFs:  
Reactive Settling, Conventional & Short-Cut N-Removal Processes**

Thèse  
Génie des eaux

**Gamze KIRIM**

**Sous la direction de:**

**Peter. A. VANROLLEGHEM, directeur de recherche  
Elena TORFS, codirectrice de recherche**

# Résumé

La détérioration des ressources en eau et la grande quantité d'eau polluée générée dans les sociétés industrialisées donnent une importance fondamentale aux procédés de traitement des eaux usées pour préserver les ressources, conformément à l'objectif 6 des 17 objectifs de développement durable des Nations Unies. Le rejet de nutriments tels que l'ammoniac par les eaux usées est un problème important, l'élimination de l'azote (N) est donc l'un des processus critiques de toute station de récupération des ressources en eau (StaRRE). L'objectif de ce projet de recherche doctoral est d'améliorer la compréhension des mécanismes d'élimination de l'azote dans le traitement biologique des eaux usées grâce à la modélisation, et d'optimiser les StaRRE existantes pour réduire la consommation d'énergie et de ressources. Dans ce cadre, 3 études différentes ont été réalisées.

Tout d'abord, un modèle de décanteur réactif unidimensionnel a été développé. Celui-ci prédit le comportement de décantation de boues à des concentrations élevées de boues ainsi que les conversions biocinétiques dans le processus de décantation secondaire (DS). Il a été constaté qu'une description précise des réactions biocinétiques dans la DS impose des défis de calibration élevés pour le modèle de décantation, car ce dernier doit capturer les profils de concentration complets de la biomasse active dans la couverture de boues. Le modèle calibré a pu prédire avec précision les profils de concentration des effluents et du lit de boues dans la DS. Le modèle développé peut être utilisé pour le contrôle et la simulation des StaRRE afin d'obtenir de meilleures prédictions des concentrations d'effluents et des boues de retour, et aussi de calculer correctement le bilan massique d'azote d'une StaRRE.

Deuxièmement, un modèle à l'échelle de l'usine a été mis en place pour un système de pré-dénitrification conventionnel pour la StaRRE pilEAUte à l'échelle pilote. Une méthodologie de calibration du modèle par étapes a été adoptée en fusionnant les principaux protocoles de calibration de modèle, tout en mettant l'accent sur le modèle biocinétique. Le modèle de la StaRRE pilEAUte, y compris le décanteur réactif développé, a été calibré et validé pour simuler les variables de modèle sélectionnées, puis utilisé pour une analyse de scénarios plus approfondie de l'optimisation de la consommation d'énergie et des ressources. Les résultats de l'analyse des scénarios ont montré le potentiel d'optimisation du système conventionnel d'élimination d'azote grâce à la réduction de l'aération et du retour interne des nitrates. Ils ont également démontré que la dénitrification dans le décanteur secondaire peut avoir une contribution significative à la capacité globale d'élimination d'azote d'une StaRRE lorsque la liqueur mixte peut traverser le lit de boues.

Troisièmement, l'étude visait à évaluer l'applicabilité des stratégies de commande continu et intermittent du rapport de l'ammoniac par rapport aux NOX-N (commande AvN) sur la StaRRE pilEAUte. Les stratégies de commande de l'aération par AvN sont appliquées en amont d'un réacteur de désammonification, qui est un

processus d'élimination efficace d'azote avec un besoin de ressources réduit (en termes d'aération et carbone) par rapport aux systèmes conventionnels. Les deux stratégies de commande testées pourraient être réalisées grâce à une commande automatique. Cependant, le maintien du rapport AvN dans l'effluent à la valeur souhaitée (1) dépend fortement des conditions opérationnelles telles que les variations de l'affluent, le temps de rétention des boues et la fiabilité des capteurs.

Même si la recherche est guidée par les études de StaRRE à l'échelle pilote', les méthodologies développées pour démontrer et modéliser les processus et les conditions opérationnelles économes en énergie et en ressources sont applicables et transférables à d'autres études de cas à plein échelle.

# Abstract

Deterioration of water resources and the large amount of polluted water generated in industrialized societies gives fundamental importance to wastewater treatment processes to preserve resources in accordance with goal 6 of the 17 sustainable development goals of the United Nations. Discharge of nutrients such as ammonia with wastewater is a significant issue, thus nitrogen (N) removal is one of the critical processes of any water resource recovery facilities (WRRF). The objective of this PhD research project was to improve the understanding of N-removal mechanisms in biological treatment of wastewater through modelling and to optimize existing WRRFs to reduce energy and resource consumption. Within this context, 3 different studies were carried out.

First, a one dimensional reactive settler model was developed that predicts the settling behaviour at high sludge concentrations together with biokinetic conversions in the secondary settling process. It was found that an accurate description of biokinetic reactions in the SST puts high calibration requirements on the settling model as it must properly capture the full concentration profiles of active biomass in the sludge blanket. The calibrated model was able to accurately predict the effluent and sludge blanket concentration profiles in the SST. The developed model can be used for control and simulation of WRRFs for better predictions of SST effluent and underflow concentrations and also properly calculate the nitrogen mass balance of a WRRF.

Second, a plant-wide model was set up for a conventional pre-denitrification system for the pilot-scale pilEAUte WRRF. A step-wise model calibration methodology was adopted by merging main existing model calibration protocols while placing emphasis on the biokinetic model. The pilEAUte model, including the developed reactive settler, was calibrated and validated to simulate the selected model variables and used for further scenario analysis for energy and resource optimization. The scenario analysis results showed the optimization potential of conventional N removal systems through application of reduced aeration and internal nitrate recycling. It also demonstrated that denitrification in the secondary settler can contribute significantly to the overall N removal capacity of the WRRF when mixed liquor can pass through the sludge blanket.

Third, it was aimed to evaluate the applicability of continuous and intermittent Ammonia vs  $\text{NO}_x\text{-N}$  (AvN) control strategies on the pilEAUte WRRF. The AvN aeration control strategies are applied prior to a deammonification stage which is a short-cut N removal process with reduced resource (aeration and carbon) requirements in comparison to conventional systems. Both strategies could be achieved through automatic control. However, keeping the AvN ratio in the effluent on the desired value highly depends on operational conditions such as influent variations, sludge retention time and the sensor's measurement reliability.

Even though this research is driven by case studies applied to a pilot-scale WRRF, the developed methodologies to demonstrate and model the energy and resource-efficient processes and operational conditions are applicable and transferable to other full-scale case studies.