



Contrôle d'un système intégré d'assainissement urbain basé sur la qualité de l'eau vers des stratégies tolérantes aux fautes

Thèse

Sovanna Tik

**Doctorat en génie des eaux
Philosophiæ doctor (Ph.D.)**

Québec, Canada

**Contrôle d'un système intégré d'assainissement
urbain basé sur la qualité de l'eau
vers des stratégies tolérantes aux fautes**

Thèse

Sovanna Tik

Sous la direction de:

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

Résumé

En matière de gestion des eaux usées urbaines, l'évolution de la réglementation vers une approche holistique amène les gestionnaires des réseaux d'égouts et des stations de récupération des ressources de l'eau (StaRRE) à considérer le système intégré d'assainissement urbain (SIAU) de manière globale. Ce changement de paradigme ouvre la porte à des collaborations entre les domaines, autrefois considérés comme distincts, que sont le drainage urbain et le traitement des eaux usées. Dans ce contexte d'innovation et d'intégration, la modélisation devient un outil clef, permettant d'appréhender la complexité des interactions entre les différentes composantes d'un SIAU.

D'autre part, les gestionnaires de SIAU sont amenés à développer la résilience de leurs systèmes pour faire face aux impacts des changements climatiques, dont les effets à long terme sont difficilement quantifiables. Cependant, les experts s'accordent à dire que les événements de pluie d'intensité extrême deviendront plus fréquents, et viendront tester les capacités opérationnelles des infrastructures actuelles. Afin que les ouvrages continuent à fournir une performance respectant les normes en vigueur, tout en respectant les contraintes budgétaires de leurs gestionnaires, les solutions flexibles, telles que l'implantation de systèmes de contrôle en temps réel (CTR), devraient être privilégiées. D'autant plus que, grâce aux récents développements technologiques, de nouveaux outils de mesure, de communication et d'analyse, de plus en plus fiables, sont mis en marché.

L'objectif de cette thèse est de proposer et d'évaluer la pertinence d'une gestion intégrée du SIAU par CTR basé sur la qualité de l'eau, utilisant des mesures de turbidité, un indicateur de la pollution particulaire, pouvant également être mesurée en concentration de matières en suspension (MeS). Ces stratégies de contrôles innovantes visent à réduire le déversement global de polluants particulaires (et des polluants associés, tels que les métaux lourds, les pathogènes, etc.) dans le milieu naturel. Dans ce cadre, un modèle intégré – réseau d'égouts et StaRRE – a été développé pour évaluer ces stratégies. Une approche de modélisation utilisant la distribution de la vitesse de chute des particules (DVCP) a été proposée pour mieux décrire les phénomènes de décantation et de remise en suspension dans l'ensemble des ouvrages et permettre ainsi une meilleure prédition de l'évolution de la pollution particulaire lors des événements pluvieux.

D'autre part, les études expérimentales ont montré que les capteurs de turbidité installés dans le SIAU sont soumis à des conditions difficiles, menant à des fautes. La perte de performance des stratégies de contrôle basées sur la qualité des eaux en cas de fautes sur le signal du capteur de turbidité a donc été évaluée. Grâce aux méthodes de détection de fautes, un système d'alarme pourrait permettre aux gestionnaires de décider du mode de gestion à adopter ou pourrait initier un basculement automatique en mode de gestion dégradé. Ce mode dégradé est défini par une stratégie de contrôle n'utilisant plus le signal fautif. Les simulations de ces scénarios ont montré la possibilité de maintenir une partie des bénéfices obtenus par les stratégies de contrôle utilisant un capteur parfait. Ces bénéfices sont conservés lorsque la faute est détectée dans un délai raisonnable - dépendant de la dynamique du système.

Les résultats de cette étude laissent ainsi présager un fort potentiel d'optimisation des opérations des ouvrages de transport et de traitement des eaux usées et pluviales, particulièrement lorsqu'on considère leur utilisation de manière intégrée, plutôt qu'en tant que systèmes autonomes et distincts. D'autre part, le modèle intégré pourrait être utilisé comme outil d'aide à la décision pour déterminer les modes de gestion (intégrée) les plus adaptés.

Mots-clefs : contrôle en temps réel (CTR); gestion du temps de pluie; modélisation intégrée; système intégré d'assainissement urbain (SIAU); traitement primaire physico-chimique.

Abstract

Regulation concerning urban wastewater management is evolving towards a holistic approach which leads stakeholders to increasingly consider the *integrated urban wastewater system (IUWS)*, including the sewer system and the water resource recovery facility (WRRF), as a whole. This change of paradigm opens doors to new collaborations between the traditionally separated fields of urban drainage and wastewater treatment operation and research. In this context of innovation and integration, modelling is going to be a key tool, granting a better understanding of the complexity of interactions between the different parts of the IUWS.

At the same time, the IUWS has to become more resilient to face the impacts of climate change, the long-term effects of which are difficult to quantify. Still, climate change experts agree on the increasing probability of occurrence of high intensity rain events, reaching the limits of current wastewater infrastructure operational capacities. In order for these infrastructures to continue to provide adequate performance with respect to current norms and regulations, while limiting costs and budgetary needs, flexible solutions, such as implementing real-time control (RTC) systems, should be considered. Especially since recent technological developments bring new and more reliable tools to measure water quality, and also to analyse and manage large quantities of data.

This study focuses on the behaviour of the particulate pollution in the IUWS, an important water quality indicator, commonly measured as the total suspended solids (TSS) concentration and highly correlated with turbidity measurement. As turbidity sensors are readily available with increasing reliability, their operational use can be envisioned.

The objective of this thesis is to develop and assess water quality-based control strategies for the IUWS. An integrated - sewer and WRRF - model, using the particle settling velocity distribution (PSVD) approach, has been proposed. This approach improves the description of particle settling and resuspension in the whole system, allowing a better forecast of TSS concentration dynamics, especially during rain events. Based on this integrated model, innovative water quality-based control strategies, aiming at reducing overall discharge of particulate pollutants (and the heavy metals, pathogens, etc. that come with it) to the receiving water during wet weather, have been proposed and successfully tested.

Experimental studies demonstrated that turbidity sensors installed in the IUWS are subject to harsh conditions, leading to faulty sensor signals. The performance loss due to the use of water quality-based control strategies affected by a faulty turbidity signal has been evaluated in detail and this has demonstrated the need for fault detection tools. When a faulty signal is detected, alarms will allow operators to decide which operating mode should be used instead of the one using the now faulty sensor. Alternatively, automatic responses and changes could be implemented to counteract the effects of a faulty signal. This last option, called *downgraded operating mode*, which implies reverting to a control strategy that does not use the faulty signal, has been simulated and tested. If the fault is detected within reasonable time (which depends on the system dynamics), these simulations have shown that part of the increase of performance gained with the water quality-based strategy using the good signal, can be maintained.

The results of this study thus present a strong case for optimizing wastewater infrastructure operations, especially when they are considered as an integrated system, instead of autonomous and mutually exclusive systems. Furthermore, the developed integrated model may be used as a decision support tool to help determine the best possible (integrated) control strategy.

Keywords : chemically enhanced primary treatment (CEPT); integrated modelling; integrated urban wastewater system (IUWS); real-time control (RTC); stormwater management.