

SEMES 2024 - Purecontrol

Résumé

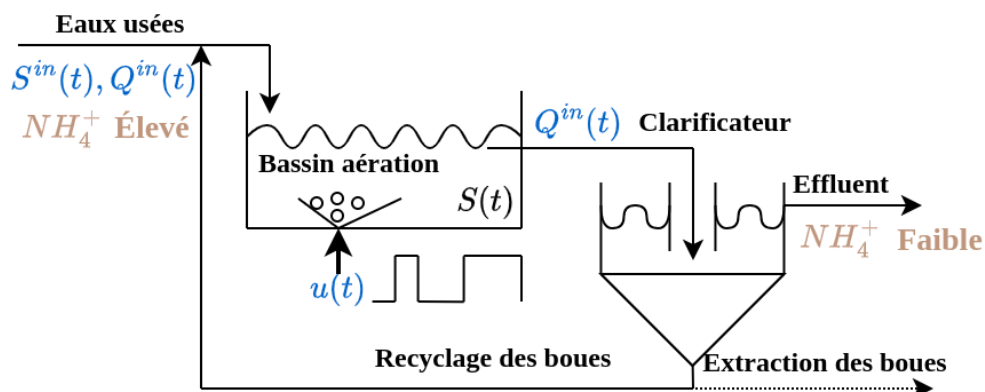
Purecontrol développe des solutions de régulation optimale pour des systèmes industriels, notamment pour les stations d'épuration, en utilisant des méthodes d'apprentissage machine. Ces méthodes visent à optimiser le processus de nitrification, réduisant ainsi la consommation d'énergie. Le projet actuel se concentre sur la reconstruction de la concentration d'ammonium (NH_4^+) à partir de données limitées, telles que les mesures d'oxygène dissous et de potentiel RedOx, dans un système partiellement observé [4]. Le défi réside dans la modélisation des dynamiques non linéaires et des perturbations du système [5]. Purecontrol combine des modèles physiques et des techniques d'apprentissage machine pour prédire cette concentration. Malheureusement, des verrous technologiques subsistent quant à l'utilisation de certains modèles dérivés de la physique. Ces modèles physiques introduisent des variables entières et sont sujets à des minimums locaux lors des tâches d'identification ou de lissage. Développer des méthodes permettant l'observation de l'ammonium grâce à ces modèles permettrait de réduire les coûts de déploiement de la solution Purecontrol sur les stations ne disposant que d'une sonde RedOx, connue pour son prix accessible.

Introduction

Dans le cadre de ses activités, Purecontrol développe des solutions de régulation optimale pour des systèmes industriels en exploitant des méthodes d'apprentissage machine. Ces méthodes permettent initialement de synthétiser un jumeau numérique du système à réguler uniquement à partir des données disponibles, servant par la suite de support pour la synthèse de contrôleurs optimaux. Spécifiquement pour les stations d'épuration, Purecontrol optimise le processus de nitrification en contrôlant les surpresseurs d'air, permettant ainsi des économies d'énergie de l'ordre de 5% à 20% par rapport à une régulation plus traditionnelle.

Station d'épuration à boues activées alternées

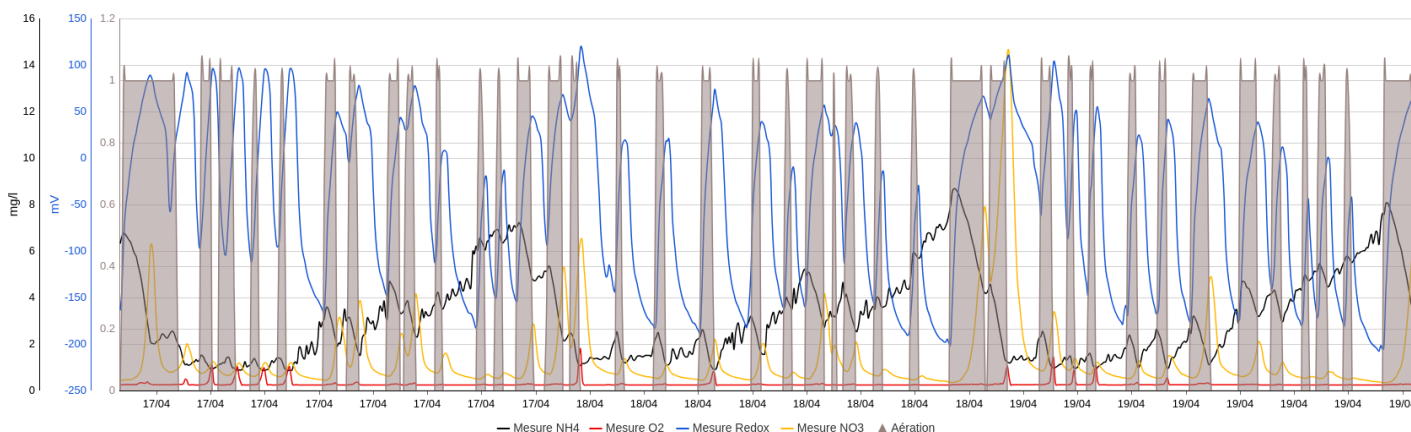
Dans le contexte des stations d'épuration, l'objectif central du contrôle est axé sur l'élimination de l'azote. Plus précisément, le but principal est de réduire la concentration d'ammonium (NH_4) provenant de l'eau entrante, tout en minimisant la consommation d'énergie. Cette réduction peut être réalisée à l'aide des stations à boues activées alternées, caractérisées par des périodes alternées d'aération (avec l'introduction d'oxygène (O_2)) dans le bassin d'aération) et des phases sans aération, comme illustré sur la figure ci-dessous.



Actuellement, la plupart des stations d'épuration sont gérées par des régulateurs rudimentaires basés sur des règles spécifiques, telles que le contrôle basé sur l'horloge ou les règles de niveau min/max [1]. Cependant, ces régulateurs peinent à s'adapter aux fluctuations des prix de l'électricité et aux conditions variables au sein des stations. En revanche, la commande prédictive basée sur modèle (MPC) [3] et la programmation dynamique (DP) [2] présentent un potentiel significatif, car elles exploitent des modèles dynamiques de processus pour permettre un contrôle précis des équipements, tout en respectant des contraintes et des fonctions de coût prédéfinies [3]. Néanmoins, leur déploiement efficace repose sur la disponibilité d'un modèle robuste de la dynamique du système.

Reconstruction de l'ammonium

L'objectif du projet est de reconstruire la concentration d'ammonium (NH_4^+) dans le passé et de pouvoir la prédire sur un horizon de 24 heures. Cependant, les stations d'épuration sont souvent équipées d'un nombre limité de capteurs, dont les mesures sont entachées de bruit, ce qui rend impossible l'observation directe de toutes les espèces chimiques présentes (système partiellement observé). Dans la plupart des cas, les seuls capteurs disponibles permettent de mesurer la concentration en oxygène dissous (O_2) et/ou le potentiel d'oxydo-réduction (RedOx) du bassin de traitement. L'enjeu est donc de reconstruire la concentration d'ammonium à partir de ces données limitées, en se focalisant sur les relations dynamiques entre le potentiel RedOx et la concentration de NH_4^+ .



Les processus dans les stations d'épuration se caractérisent par des perturbations significatives, des comportements non linéaires, et des dynamiques complexes. En outre, ils subissent des variations diurnes et saisonnières influencées par des fluctuations du débit entrant, la composition de l'eau brute, et les dynamiques internes du système de traitement. La figure ci-dessus illustre ces phénomènes.

Pour résoudre ce problème de reconstruction, un modèle physique de la dynamique du système a été développé, offrant une approche physique pour estimer la concentration d'ammonium. Ce modèle repose sur des équations différentielles décrivant les processus biochimiques en jeu. Toutefois, l'utilisation de méthodes alternatives d'estimation, basées sur l'apprentissage à partir des données capteurs RedOx et visant à prédire la concentration de NH_4^+ , est possible. L'objectif est d'explorer et d'évaluer différentes techniques permettant de restituer précisément l'évolution temporelle de l'ammonium à partir d'un jeu de données partiel, tout en tenant compte des incertitudes inhérentes au système.

[1] Paul, E. et al. (1998) 'Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using ORP, pH and DO', *Water Science and Technology*, 38(3), pp. 299–306.

[2] Bertsekas, D. (2012) *Dynamic programming and optimal control: Volume I*. Athena scientific.

[3] Chachuat, B., Roche, N. and Latifi, M. A. (2005) 'Optimal aeration control of industrial alternating activated sludge plants', *Biochemical Engineering Journal*, 23(3), pp. 277–289.

[4] Henze, M. et al. (2008) *Biological Wastewater Treatment*.

[5] Henze, M. et al. (2000) *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*.