



HAL
open science

Analyse des incertitudes dans le contrôle prédictif appliqué aux stations d'épuration

Victor Bertret, Roman Le Goff Latimier, Valérie Monbet

► **To cite this version:**

Victor Bertret, Roman Le Goff Latimier, Valérie Monbet. Analyse des incertitudes dans le contrôle prédictif appliqué aux stations d'épuration. ROADEF 2025 - 26ème Congès Annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et de l'Aide à la Décision, Feb 2025, Paris, France. pp.1-2. ⟨hal-04985652⟩

HAL Id: hal-04985652

<https://hal.science/hal-04985652v1>

Submitted on 11 Mar 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Analyse des incertitudes dans le contrôle prédictif appliqué aux stations d'épuration

Victor BERTRET^{1,2,3}, Roman Le Goff Latimier², Valérie Monbet³

¹ Purecontrol, 68 Av. Sergent Maginot, Rennes, FRANCE
victor.bertret@purecontrol.com

² SATIE, ENS Rennes, CNRS, Bruz, FRANCE
roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr

³ IRMAR, Université Rennes 1, CNRS, Rennes, FRANCE
valerie.monbet@univ-rennes1.fr

Mots-clés : commande prédictive, modélisation stochastique, traitement des eaux usées

1 Contexte et objectifs

Le traitement secondaire des eaux usées dans les stations d'épuration (STEP) vise principalement à réduire la concentration d'azote ammoniacal (NH_4) dans les effluents tout en minimisant la consommation énergétique. Les bassins à boues activées alternées sont couramment utilisés, alternant entre des phases d'aération (apport d'oxygène, O_2) et des phases de non-aération. Un schéma de fonctionnement typique est illustré sur la Figure 1.

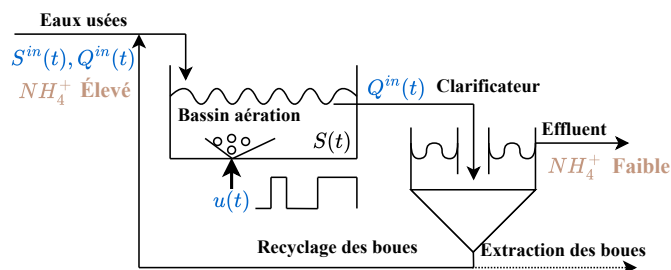


FIG. 1 – Schéma du traitement secondaire d'une station d'épuration à boues activées alternées.

Les stratégies de contrôle conventionnelles reposent sur des règles fixes, comme des cycles prédéfinis d'aération ou des seuils de concentrations [5]. Cependant, ces approches montrent leurs limites face aux fluctuations des conditions d'exploitation (débits entrants, qualité des effluents, coûts énergétiques). Des approches avancées, telles que la commande prédictive basée sur un modèle (MPC) et la programmation dynamique (DP), permettent une optimisation basée sur la modélisation du système [3]. Néanmoins, leur performance dépend de la précision des modèles utilisés afin de décrire la dynamique du système, en l'occurrence celle de l'azote. Cet article explore ainsi l'impact des incertitudes sur les performances du problème de contrôle optimal stochastique appliqué à l'aération d'une STEP.

2 Impact des incertitudes sur les performances du contrôle prédictif

La dynamique de la concentration d'azote ammoniacal (S_{NH}) dans le bassin d'aération est décrite par l'équation suivante, adaptée des modèles de Henze et al. [2] :

$$\frac{dS_{NH}(t)}{dt} = \frac{Q^{in}(t)}{V} [S_{NH}^{in}(t) - S_{NH}(t)] + r(t, S_{NH}(t), U(t)) + \eta, \quad (1)$$

où $Q^{in}(t)$ et $S_{NH}^{in}(t)$ représentent respectivement le débit (mesuré) et la concentration entrante d'azote ammoniacal (non mesurée), $r(t, S_{NH}(t), U(t))$ modélise les réactions biologiques sous le contrôle de l'aération $U(t)$, et $\eta \sim \mathcal{N}(0, \sigma_\eta)$ correspond au bruit de modélisation. L'état $S_{NH}(t)$ n'est pas directement observable, seule une mesure bruitée $Y_{NH}(t)$ est accessible via un capteur :

$$Y_{NH}(t) = S_{NH}(t) + \epsilon, \quad \text{avec } \epsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma_\epsilon). \quad (2)$$

Trois sources majeures d'incertitudes influencent ainsi le contrôle :

- Bruit de modélisation des dynamiques (η).
- Bruit de mesure (ϵ) provenant du capteur.
- Erreur sur l'estimation de la concentration entrante $S_{NH}^{in}(t)$.

L'impact de ces incertitudes sur les performances du contrôle a été étudié en calibrant un modèle linéaire simplifié sur des données simulées selon la méthodologie de Bertret et al. [1]. Les simulations ont été réalisées en intégrant un filtre de Kalman pour estimer l'état du système et en résolvant un problème de contrôle optimal stochastique [4] pour calculer les commandes optimales de manière itérative. Les performances ont été évaluées en termes de coût global, incluant la consommation énergétique et la violation de certaines contraintes telles que des seuils sur la concentration de NH_4 en faisant varier les différentes sources d'incertitudes.

3 Conclusion et perspectives

Cette étude a mis en lumière l'impact des incertitudes sur les performances du contrôle prédictif appliqué aux stations d'épuration. En s'appuyant sur un modèle dynamique calibré et la résolution d'un problème de contrôle optimal stochastique, elle a permis d'identifier les principales sources d'incertitudes influençant la qualité du contrôle. Les résultats obtenus soulignent que l'erreur d'estimation de la concentration entrante $S_{NH}^{in}(t)$ ainsi que le bruit de modélisation des dynamiques (η) constituent les facteurs limitants les plus critiques, affectant à la fois les coûts énergétiques et la faisabilité du contrôle. À l'inverse, l'impact du bruit de mesure provenant des capteurs s'est révélé relativement marginal sur les performances du contrôle. Cette compréhension constitue une étape clé pour orienter les futurs efforts d'amélioration. Une priorité sera donnée à l'amélioration de l'estimation de la concentration entrante, identifiée comme le facteur le plus critique dans la configuration actuelle. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour affiner ces observations et explorer des approches alternatives, comme l'évaluation des impacts d'un éventuel biais systématique dans les modèles employés.

Références

- [1] Victor Bertret, Roman Le Goff Latimier, and Valérie Monbet. A stochastic expectation maximization algorithm for the estimation of wastewater treatment plant ammonium concentration. In *2024 European Control Conference (ECC)*, page 3527–3532. IEEE, 2024.
- [2] Mogens Henze, W. Gujer, T. Mino, and M.C.M. van Loosdrecht. *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA Publishing, 2000.
- [3] Zhong-Sheng Hou and Zhuo Wang. From model-based control to data-driven control : Survey, classification and perspective. *Information Sciences*, 235 :3–35, 2013. Data-based Control, Decision, Scheduling and Fault Diagnostics.
- [4] Ali Mesbah. Stochastic model predictive control : An overview and perspectives for future research. *IEEE Control Systems Magazine*, 36(6) :30–44, 2016.
- [5] E. Paul, S. Plisson-Saune, M. Mauret, and J. Cantet. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using orp, ph and do. *Water Science and Technology*, 38(3) :299–306, 1998.