

2SC5291 - Traitement biologique optimisé des eaux résiduaires urbaines

Responsables : **Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24**

Année académique : **2024-2025**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Dans les stations de traitement des eaux résiduaires urbaines, les procédés biologiques sont destinés à l'élimination de la pollution carbonée et azotée, sous l'action de microorganismes qui se développent de manière spontanée en milieu aérobie ou anaérobie.

Les polluants éliminés sont concentrés sous forme de suspensions aqueuses ou de boues, constituant des déchets volumineux avec des matières fermentes cibles et toxiques. Le traitement des boues constitue donc une phase importante des systèmes d'épuration devant assurer la réduction de leur volume et des nuisances olfactives. Un des procédés les plus répandus pour ce traitement est la digestion anaérobie, laquelle produit des liquides à forte concentration en azote qui doivent être traités avant leur rejet en milieu naturel. La quantité d'azote contenue dans ces effluents peut représenter jusqu'à 20% d'augmentation de la charge d'azote à éliminer par la station. Deux solutions s'offrent à cette problématique : (1) une dite classique, dans lequel ces effluents concentrés sont directement renvoyés en tête de station ou (2) le procédé d'oxydation anaérobie d'ammonium, ou Anammox, une alternative innovante aux procédés de nitrification/dénitrification traditionnels, permettant la transformation directe de nitrite et d'ammonium en diazote gazeux.

L'objectif de cet EI est de proposer des stratégies de contrôle pour les deux solutions mentionnées afin de respecter les exigences épuratoires minimales des eaux traitées et de comparer leur performance en matière de coûts d'exploitation et de production de biogaz comme vecteur de valorisation énergétique des boues.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

ST5

Prérequis :

Il n'y a pas de prérequis spécifique

Plan détaillé du cours (contenu) :

- Introduction sur la pollution, les technologies de traitement des eaux et des boues résiduaires.
- Modélisation et analyse de stabilité d'un schéma simplifié de bassins de boues activées.
- Simulation de la filière classique à débit d'alimentation constant et variable. Compréhension du fonctionnement des procédés unitaires, impact des paramètres opératoires sur la composition de l'effluent, dynamique des populations microbiennes.
- Simulation de la filière Anammox à débit d'alimentation constant et variable. Compréhension du fonctionnement des procédés unitaires, impact des paramètres opératoires sur la composition de l'effluent, dynamique des populations microbiennes.
- Proposition de régulation PID afin de respecter le cahier de charges de dépollution imposé.

Ajustement des paramètres des régulateurs PID par une méthode empirique de calage essai-erreur. Evaluation de la qualité des régulations (erreur statique, temps de réponse, dépassement, absorption des perturbations).

– Comparaison des deux filières sur la base des coûts d'exploitation (apport supplémentaire de carbone et consommation d'électricité pour les besoins en aération), production de boues et production de biogaz par digestion anaérobie.

Déroulement, organisation du cours :

L'équipe pédagogique et l'industriel réaliseront une première séance d'introduction à la problématique. Une présentation sur l'approche de modélisation des ouvrages de traitement d'eau sera proposée avec un focus sur les réacteurs de traitement biologique. Ensuite, les étudiants seront répartis en équipes. Toutes les équipes travailleront sur le même cahier de charges, afin qu'ils puissent traiter les aspects génie des procédés et automatique de l'enseignement. Des articles scientifiques et de la documentation technique sera mise à disposition des élèves pour approfondissement des notions traitées. Une procédure écrite pour l'ajustement empirique de paramètres PID dans le logiciel de simulation utilisé de l'EI sera également fournie. Finalement, chaque équipe fera une proposition de contrôle-commande PID au partenaire, comportant la comparaison et l'analyse critique des deux filières.

Organisation de l'évaluation :

L'évaluation se base sur : un rapport écrit, une présentation orale et un contrôle continu avec des échanges courts avec le partenaire industriel.

Moyens :

- Outils logiciels : SUMO ; simulateur complet de la filière classique
- Documentation décrivant les procédés unitaires de traitement (eaux résiduelles et boues)
- Encadrement :
 - o Enseignants: Cristian Puentes (enseignant-chercheur, CS, LGPM), Sette Diop (chercheur, L2S), Giovany Rubio (PhD student, CS, LGPM)
 - o Partenaire industriel

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Simuler une station d'épuration d'eaux résiduelles urbaines avec traitement des effluents secondaires ou boues.
- Comprendre le fonctionnement du procédé Anammox comme alternative au traitement traditionnel de la pollution azotée.
- Concevoir des boucles de régulation PID pour maintenir le système à des conditions souhaitées de fonctionnement (exigences réglementaires sur la concentration d'azote et carbone).
- Déterminer et analyser de manière critique la meilleure solution au traitement des effluents à forte concentration en ammoniacale en matière de coûts d'exploitation et de valorisation énergétique des boues.

Description des compétences acquises à l'issue du cours :

- C1.1, Analyze: study a system as a whole, the situation as a whole. Identify, formulate and analyze a system within a transdisciplinary approach with its scientific, economic, human dimensions, etc. Milestone 1

- C1.2, Modeling: using and developing the appropriate models, choosing the correct modeling scale and the relevant simplifying assumptions. Milestone 2
- C2.3, Identify and independently acquire new knowledge and skills. Milestone 2
- C4.2, Propose one or more solutions answering the question rephrased in terms of value creation and complemented by the impact on other stakeholders and by taking into account other dimensions. Quantify the value created by these solutions. Arbitrate between possible solutions. Milestone 1
- C.6.1 Solve a problem numerically. Milestone 1
- C7.1, Basically: Structure ideas and arguments, be synthetic (assumptions, objectives, expected results, approach, and value created). Milestone 2
- C7.2, On the relationship with others: Understand the needs and expectations of his interlocutors evolutionarily. Encourage interactions, be a teacher, and create a climate of trust. Milestone 2

Bibliographie :

Support pdf de l'industriel partenaire

Ouvrages de références en automatique de bioréacteurs :

- Bastin G., Dochain D., On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors, Elsevier, 1990.
- D. Dochain (éditeur). Automatic Control of Bioprocesses, Wiley-ISTE, 2008.

Techniques de l'ingénieur :

- BOEGLIN J.C., Traitement biologique des eaux résiduaires, Techniques de l'Ingénieur, J3942 V1, Décembre 1998.
- BOEGLIN J.C., Traitements et dispositions finales de boues résiduaires, Techniques de l'Ingénieur, J3944 V1, Septembre 2000.
- GAÏD A., Traitement des eaux résiduaires, Techniques de l'Ingénieur, C5220 V1, Février 2008.
- SPERANDIO M., HERAN M., GUILLOT S., Modélisation biologique des procédés biologiques de traitement des eaux, Techniques de l'Ingénieur, W6500 V1, Août 2007.

Articles procédés Anammox :

- NSENGA KUMWIMBA M., LOTTI T., SENEL E., LI X., SUANON F. Anammox-based processes: How far have we come and what work remains? A review by bibliometric analysis, Chemosphere 238 (2020) 1-17.
- VAN DER STAR W.R.L., ABMA W.R., BLOMMERS D., MULDER J.W., TOKUTOMI T., STROUS M., PICIOREANU C., VAN LOOSDRECHT M.C.M., Startup of reactor for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam, Water Research 41 (2007) 4149- 4163.
- TAO C., HAMOUDA M.A., Steady-state modeling and evaluation of partial nitrification-anammox (PNA) for moving bed biofilm reactor and integrated fixed-film activated sludge processes treating municipal wastewater, Journal of Water Process Engineering 31 (2019) 1-9.
- LACKNER S., GILBERT E.M., VLAEMINCK S.E., JOSS A., HORN H., VAN LOOSDRECHT M.C.M., Full-scale partial nitritation/anammox experiences - An application survey, Water Research 55 (2014) 292-303.
- BIASE A., KOWALSKI M.S., DEVLIN T.R., OLESZKIEWICZ J.A., Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: A review, Journal of Environmental Management 247 (2019) 849-866.
- VEUILLET F., LACROIX S., BAUSSERON A., GONIDEC E., OCHOA J., CHRISTENSSON M., LEMAIRE R. Integrated fixed-film activated sludge ANITATMMox process - a new perspective for advanced nitrogen removal, Water Science and Technology 69.5 (2014), 915-922.