

Poste ouvert à candidature / Position available for application

English version below

Post-doctorat en Automatique (12 mois)

Post-doctorate in Control theory (12 months)

Supervision et commande optimale d'un procédé de digestion anaérobie

Monitoring and optimal control of a process of anaerobic digestion

Mots clés : biogaz, méthaniseur, commande prédictive, systèmes non linéaires, observation, optimisation

Date de démarrage : dès que possible

Financement : ANR RELOAD. CDD de 1 an.

Poste ouvert au sein du Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S, UMR8506), Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, localisé à Gif-sur-Yvette (plateau de Saclay).

Contexte

La digestion anaérobie (AD) permet de produire du biogaz, à partir de déchets organiques, et permet donc de produire de l'énergie propre. Un des enjeux dans la conception de ce type de procédé est d'assurer son fonctionnement optimal, pour maximiser la conversion des déchets en biogaz, tout en minimisant les coûts d'exploitation.

Le projet post-doctoral proposé concerne la conception d'estimateurs et lois de commande pour un digesteur anaérobie opéré en mode dit continu. Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet RELOAD (Reaching Efficient & high-Load Operation of Anaerobic Digestion, projet financé par l'ANR, coordonné par Air Liquide). Le projet RELOAD porte sur la production de biogaz par digestion anaérobie et a pour double objectif de : (i) optimiser l'agitation au sein des bioréacteurs en vue d'augmenter la charge en matière sèche traitée et (ii) concevoir une stratégie de contrôle-commande optimale pour la supervision du procédé.

Les bioréacteurs de digestion anaérobie (biodigesteurs ou méthaniseurs) sont des systèmes complexes particulièrement délicats à opérer. Les problématiques y sont nombreuses : comportement hydrodynamique, comportement biologique et effets couplés entre les deux. Le système d'agitation doit être conçu de sorte qu'un mélange homogène soit assuré tout en minimisant le stress bactérien. De plus, la difficulté d'opération augmente avec la charge en matière sèche (principal substrat pour la production de biogaz), dont la limite classique se situe actuellement à 15 %. Grâce à la conception de nouveaux outils (mélangeurs conçus numériquement, modélisation biologique, modélisation par machine learning et méthodes d'estimation et de commande avancées), le consortium ambitionne d'opérer les méthaniseurs avec une charge pouvant atteindre 20 % de matière sèche et ainsi d'augmenter leur productivité en biogaz.

Le projet RELOAD se structure ainsi autour de 5 grandes phases : caractérisation de l'hydrodynamique des digesteurs, couplage du modèle hydrodynamique au modèle biologique (appelé « modèle hydro-biologique complet »), développement d'une stratégie d'observation et de commande optimale, validation sur site pilote et développement de nouveaux mélangeurs.

Au sein de ce consortium, votre mission sera de concevoir des stratégies de commande robuste afin de maintenir le biodigester dans des conditions optimales de fonctionnement. Cela impliquera également la conception de capteurs logiciels (stratégies d'observation et d'estimation) afin de reconstruire les variables non mesurées en ligne.

Descriptif scientifique

Une étude préalable (en amont des travaux de ce projet postdoctoral et réalisée par les partenaires du consortium) permettra de déterminer les conditions optimales de fonctionnement du bioprocédé, avec comme objectif la maximisation de la productivité de l'AD avec une charge accrue de matière sèches. Votre mission sera de mettre en place une surveillance intelligente du processus et un contrôle optimal avancé, en tenant compte des signaux de sortie mesurés tels que la production de biogaz, les acides gras volatiles et les informations issues du système d'agitation.

Dans un premier temps, sur la base des données mesurées, des capteurs logiciels (ou algorithmes d'estimation) seront développés pour faciliter la surveillance du système, tout en fournissant des informations clés à la loi de commande. L'estimation du taux de croissance et de certaines variables clés (par exemple des concentrations non mesurées) sera développée. L'accent sera mis sur les techniques d'estimation robustes (par exemple, estimation robuste à horizon fuyant, estimateurs par intervalles ...). Ces capteurs ont déjà été développés pour les procédés de digestion anaérobie, et plus spécifiquement pour le modèle Anaerobic Digestion Model n°1 (ADM1) (Batstone *et al.* 2002). L'objectif sera d'étendre ces stratégies au modèle boîte noire du procédé étudié (modèle obtenu par des approches de machine learning dans le cadre du projet RELOAD).

Dans un deuxième temps, une fois l'algorithme d'estimation finalisé, l'objectif sera de concevoir des lois de commande robustes pour le bioprocédé. Une loi de type commande prédictive robuste (Robust Nonlinear Model Predictive Control, RN MPC) est préconisée afin de tenir compte des contraintes physiques agissant sur le procédé et des incertitudes sur le modèle. Le contrôle prédictif sera intégré dans une structure hiérarchique de type cascade, pour faire face aux différentes dynamiques du processus (voir Figure 1). Les stratégies développées utiliseront des mesures en temps réel, issues de capteurs basiques (par exemple pH, alcalinité, production de gaz et débits) et de capteurs logiciels (conçus à la première étape de ce projet postdoctoral).

En fonction de l'état d'avancement des travaux, l'optimisation en ligne de la productivité du bioprocédé sera également envisagée, soit via une loi de commande prédictive de type Economic MPC, soit par une mise à jour de la trajectoire de référence à fournir à la stratégie de commande précédemment développée. Cette mise à jour se fera à partir de données mesurées ou estimées, qui donneront plus d'informations sur le comportement réel du système.

Les travaux théoriques développés seront validés sur un procédé pilote en partenariat avec Air Liquide.

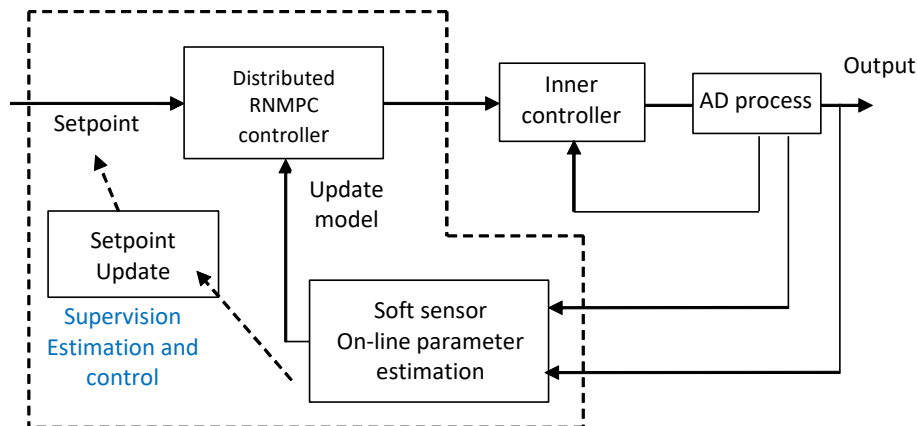


Figure 1. Structure envisagée pour l'estimation et la commande du procédé étudié

Profil recherché

Docteur en Automatique ou en Mathématiques Appliquées.

Des compétences en modélisation et/ou commande de (bio)procédés seront appréciées mais non obligatoires.

Maîtrise de Matlab ou Python.

Lieu de travail

Laboratoire des Signaux et Systèmes, CentraleSupélec, campus de Saclay, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif sur Yvette Cedex.

Encadrement scientifique

Les travaux seront encadrés par :

- Sihem Tebbani, sihem.tebbani@centralesupelec.fr, Professeure CentraleSupélec.
- Didier Dumur, didier.dumur@centralesupelec.fr, Professeur CentraleSupélec.

Renseignement et candidature

Pour candidater, merci d'envoyer un CV et une lettre de motivation à Sihem Tebbani (sihem.tebbani@centralesupelec.fr) et Didier Dumur (didier.dumur@centralesupelec.fr).

Références

- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource technology*, 99(17), 7928-7940.
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., & Vavilin, V. A. (2002). The IWA anaerobic digestion model no 1 (ADM1). *Water Science and technology*, 45(10), 65-73.
- Ramachandran, A., Rustum, R., Adeloje, A.J. (2019). Review of Anaerobic Digestion Modeling and Optimization Using Nature-Inspired Techniques. *Processes* 7(953), 1-12.
- Madsen, M., Holm-Nielsen, J. B., & Esbensen, K. H. (2011). Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(6), 3141-3155.
- Jimenez, J., Latrille, E., Harmand, J., Robles, A., Ferrer, J., Gaida, D., & Steyer, J. P. (2015). Instrumentation and control of anaerobic digestion processes: a review and some research challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 615-648.

- Tebbani, S., Lopes, F., Filali, R., Dumur, D., Pareau, D. (2014). Nonlinear predictive control for maximization of CO₂ bio-fixation by microalgae in a photobioreactor. *Bioprocess Biosyst Eng* 37, 83–97.
- H.O. Méndez-Acosta, B. Palacios-Ruiz, V. Alcaraz-González, V. González-Álvarez, J.P. García-Sandoval, (2010). A robust control scheme to improve the stability of anaerobic digestion processes, *Journal of Process Control*, Vol. 20, pp. 375–383.
- R.A. Flores-Estrella, V. Alcaraz-González, J.P. García-Sandoval, V. González-Álvarez, (2019). Robust output disturbance rejection control for anaerobic digestion processes, *Journal of Process Control*, Vol. 75, pp. 15–23.
- H. Kil, D. Li, Y. Xi, J. Li, (2017). Model predictive control with on-line model identification for anaerobic digestion processes, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 128, pp. 63–75.
- H.O. Méndez-Acosta, A. Campos-Rodríguez, V. González-Álvarez, J.P. García-Sandoval, R. Snell-Castro, E. Latrille, (2016). A hybrid cascade control scheme for the VFA and COD regulation in two-stage anaerobic digestion processes, *Bioresource Technology*, Vol. 218, pp. 1195–1202.

Post-doctorate in Control theory (12 months)

Monitoring and optimal control of a process of anaerobic digestion

Keywords: biogas, methanizer, predictive control, nonlinear systems, observation, optimization

Start date: as soon as possible

Funding: ANR RELOAD. 1 year fixed-term contract.

Open position within the Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S, UMR8506), Paris-Saclay University, CentraleSupélec, CNRS, located in Gif-sur-Yvette (Saclay plateau).

Context

Anaerobic digestion (AD) enables the production of biogas from organic wastes, providing a sustainable source of clean energy. One of the key challenges in the design of this kind of process is to ensure its optimal operation, to maximize the waste-to-biogas conversion, while minimizing operational costs.

The proposed postdoctoral project focuses on the developing estimators and control laws for an anaerobic digester operating in continuous mode. This study is part of the RELOAD project (Reaching Efficient & high-Load Operation of Anaerobic Digestion, project funded by the ANR, coordinated by Air Liquide). The RELOAD project concerns the production of biogas by anaerobic digestion and aims to: (i) optimize agitation within the bioreactors in order to increase the load of treated dry matter and (ii) design an optimal control strategy for process supervision.

Anaerobic digestion bioreactors also known as biodigesters or methanizers, are complex systems that are particularly delicate to operate, with several challenges: hydrodynamic behavior, biological behavior as well as their coupled effects. The stirring system must be designed so that a homogenous mixing is ensured while minimizing bacterial stress. In addition, operational complexity increases with the dry matter load (main substrate for biogas production), the classic limit of which is currently at 15%. Thanks to the design of new tools (digitally designed mixers, biological modeling, machine learning modeling and advanced estimation and control strategies), the consortium aims to operate the methane digesters with a load of up to 20% of dry matter, enhancing biogas productivity.

The RELOAD project comprises 5 main phases: characterization of the hydrodynamics of the digesters, coupling of hydrodynamical and biological models (called “complete hydro-biological model”), development of an optimal observation and control strategy, validation on pilot system and development of new mixers.

Within the consortium, your mission involves designing robust control strategies to maintain the biodigester in optimal operating conditions. This includes developing software sensors for online reconstruction of unmeasured variables.

Scientific description

A preliminary study conducted by the consortium partners, preceding the postdoctoral project, aims to determine the optimal operating conditions of the bioprocess. The goal is to maximize the productivity of the anaerobic digestion (AD) with an increased load of dry matter. Your mission will be to implement intelligent process monitoring and advanced optimal control strategies, considering measured output signals such as biogas production, volatile fatty acids and information from the stirring system.

Firstly, based on the measured data, software sensors (or estimation algorithms) will be developed to facilitate system monitoring, while providing key information to the control law. Estimation of the growth rate and some key variables (e.g. unmeasured concentrations) will be developed, with an emphasis on robust estimation techniques (for example, receding horizon robust estimation, interval estimators, etc.). These sensors have already been developed for anaerobic digestion processes, and more specifically for the Anaerobic Digestion Model n°1 (ADM1) (Batstone *et al.* 2002). The objective will be to extend these strategies to the black box model of the studied process (model obtained by machine learning approaches as part of the RELOAD project).

Secondly, once the estimation algorithm is finalized, the objective will be to design robust control laws for the bioprocess. A robust predictive control law (Robust Nonlinear Model Predictive Control, RNMPC) is recommended in order to take into account the physical constraints acting on the process and the uncertainties on the model. Predictive control strategy will be integrated into a hierarchical cascade structure, to deal with the different dynamics of the process (see Figure 1). The strategies developed will use real-time measurements, from basic sensors (e.g. pH, alkalinity, gas production and flow rates) and software sensors (designed in the first stage of this postdoctoral project).

Depending on the progress of the work, online optimization of the productivity of the bioprocess will also be considered, either via a predictive control (Economic MPC), or by updating the reference trajectory that is provided to the previously developed control strategy. This update will be based on measured or estimated data, which will give more information on the real behavior of the system.

The developed theoretical work will be validated on a pilot process in partnership with Air Liquide.

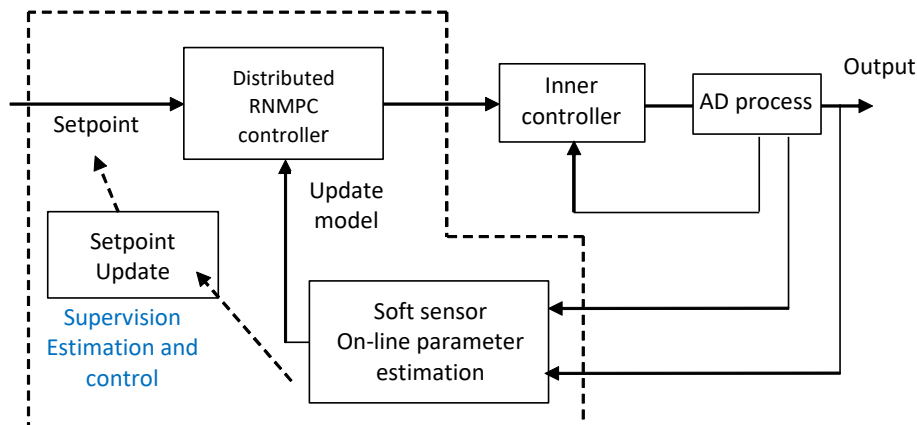


Figure 1. Structure envisioned for the estimation and control of the studied process

Required profile

PhD/doctoral thesis in Control Theory or Applied Mathematics.

Skills in modeling and/or control of (bio)processes will be appreciated but are not mandatory. Proficiency in Matlab or Python.

Work location

Laboratoire des Signaux et Systèmes, CentraleSupélec, Saclay campus, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif on Yvette Cedex.

Scientific supervision

The work will be supervised by:

- Sihem Tebbani, sihem.tebbani@centralesupelec.fr, Professor CentraleSupélec.
- Didier Dumur, didier.dumur@centralesupelec.fr, Professor CentraleSupélec.

Information and application

To apply, please send a CV and a cover letter to Sihem Tebbani (sihem.tebbani@centarlesupelec.fr) and Didier Dumur (didier.dumur@centralesupelec.fr).

References

- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., & Jones, D.L. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource technology*, 99(17), 7928-7940.
- Batstone, DJ, Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, SV, Pavlostathis, SG, Rozzi, A., & Vavilin, VA (2002). The IWA anaerobic digestion model no 1 (ADM1). *Water Science and technology*, 45(10), 65-73.
- Ramachandran, A., Rustum, R., Adeloye, AJ (2019). Review of Anaerobic Digestion Modeling and Optimization Using Nature-Inspired Techniques. *Processes* 7(953), 1-12.
- Madsen, M., Holm-Nielsen, J.B., & Esbensen, K.H. (2011). Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(6), 3141-3155.
- Jimenez, J., Latrille, E., Harmand, J., Robles, A., Ferrer, J., Gaida, D., & Steyer, JP (2015). Instrumentation and control of anaerobic digestion processes: a review and some research challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 615-648.
- Tebbani, S., Lopes, F., Filali, R., Dumur, D., Pareau, D. (2014). Nonlinear predictive control for maximization of CO₂ bio-fixation by microalgae in a photobioreactor. *Bioprocess Biosyst Eng* 37, 83–97.
- HO Méndez-Acosta, B. Palacios-Ruiz, V. Alcaraz-González, V. González-Álvarez, JP García-Sandoval, (2010). A robust control scheme to improve the stability of anaerobic digestion processes, *Journal of Process Control*, Vol. 20, pp. 375–383.
- RA Flores-Estrella, V. Alcaraz-González, JP García-Sandoval, V. González-Álvarez, (2019). Robust output disturbance rejection control for anaerobic digestion processes, *Journal of Process Control*, Vol. 75, pp. 15–23.
- Kil H, Li D, Xi Y, Li J, (2017). Model predictive control with on-line model identification for anaerobic digestion processes, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 128, p. 63–75.
- HO Méndez-Acosta, A. Campos-Rodríguez, V. González-Álvarez, JP García-Sandoval, R. Snell-Castro, E. Latrille, (2016). A hybrid cascade control scheme for the VFA and COD regulation in two-stage anaerobic digestion processes, *Bioresource Technology*, Vol. 218, p. 1195–1202.