

Offre de thèse : Optimisation des voies de valorisation des boues piscicoles

Présentation INRAE

L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) est un établissement public de recherche rassemblant une communauté de travail de 12 000 personnes, avec 272 unités de recherche, de service et expérimentales, implantées dans 18 centres sur toute la France. INRAE se positionne parmi les tout premiers leaders mondiaux en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal. Ses recherches visent à construire des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes

Environnement de travail, missions et activités

Environnement :

Ce travail de thèse s'inscrit dans le projet VAOBOUT (Valorisation et Optimisation du traitement des BOUes piscicoles et Transfert de connaissances), coordonné par l'ITAVI et financé par FranceAgriMer. Il sera réalisé au sein de l'UR OPAALE (INRAE) et en étroite collaboration avec les partenaires du projet : l'ITAVI, la PEIMA et l'EPLFPA de Bréhoulou. Le projet de recherche a pour objectif principal d'apporter des solutions concrètes aux différents acteurs de la filière piscicole et aux politiques publiques pour le développement de la pisciculture française.

Contexte :

Pour se développer, la pisciculture française doit relever le défi d'une meilleure intégration environnementale tout en s'adaptant aux évolutions climatiques. Les systèmes aquacoles traditionnels, souvent critiqués pour leur impact sur les écosystèmes aquatiques (rejets d'effluents riches en nutriments, utilisation d'eau, etc.), évoluent en intégrant différentes technologies notamment de gestion des effluents. Parmi elles, les systèmes aquacoles recirculés (RAS) permettent de recycler l'eau utilisée, réduisant ainsi les rejets dans le milieu naturel et limitant la dépendance à cette ressource. Toutefois, ils génèrent des boues piscicoles, riches en azote (N) et en phosphore (P), dont la gestion reste un défi.

A ce jour, l'épandage reste la voie de valorisation la plus répandue mais la valeur agronomique des boues piscicoles reste encore à démontrer. En effet, le N reste majoritairement en phase liquide ; déséquilibrant le ratio N/P nécessaire aux plantes et abaissant ainsi leur valeur agronomique. Cette solution s'accompagne aussi de contraintes logistiques, comme la disponibilité des plans d'épandage ou le transport. Les systèmes d'aquaculture intégrée multi-trophique (AIMT), comme l'aquaponie, permettent de valoriser le N de la phase liquide, mais butent sur ce même déséquilibre, limitant l'assimilation optimale des nutriments par les cultures hydroponiques.

Pour y remédier, l'ITAVI et l'UR OPAALE d'INRAE ont développé un procédé innovant de bio-acidification des boues piscicoles ; adapté des travaux sur les boues de stations d'épuration (Braak et al. 2016) et les lisiers porcins (Piveteau et al. 2017).. Ce procédé permet de minéraliser et dissoudre une fraction importante du P et donc de le rendre biodisponible. Toutefois, plusieurs interrogations subsistent telles l'adaptabilité du procédé à la diversité des caractéristiques des boues piscicoles, l'impact des minéraux dissous sur les plantes hydroponiques ainsi que le risque de re-précipitation du P lors du mélange avec la phase liquide.

La digestion anaérobie offre une voie complémentaire de valorisation des boues piscicoles. Bien que plusieurs études se soient intéressées à leur méthanisation en mono (Choudhury et al. 2023; Klein et al. 2024) et en co-digestion avec des biodéchets alimentaires, des résidus végétaux ou des boues activées (Wu et Song 2021; Choudhury et al. 2023; Netshivhumbe et al. 2024; Klein et al. 2024), aucune ne s'est encore penchée sur leur co-digestion avec d'autres effluents d'élevage. Au vu de sa maturité et son usage extensif dans le domaine de la digestion anaérobie, la modélisation mathématique (ex : ADM1 (Batstone et al. 2002) ou SYS-Metha (Bareha et al. 2021)) offre une alternative intéressante aux expérimentations et permet de simuler les dynamiques du procédé, d'optimiser les mélanges et d'anticiper les dysfonctionnements.

Les besoins en recherche et développement sont évidents pour optimiser les voies de valorisation des boues piscicoles et ancrer durablement la filière dans une bioéconomie circulaire, en cohérence avec les autres secteurs d'élevage en France.

Missions :

Ce travail de thèse vise donc à (i) définir les liens entre conduite d'élevage et caractéristiques des boues piscicoles afin (ii) de déterminer le potentiel de production de biogaz en co-digestion avec d'autres effluents d'élevage mais aussi (iii) d'optimiser le procédé de bio-acidification dans le cas des boues piscicoles.

La caractérisation des boues piscicoles passera par une campagne d'échantillonnage et d'analyses de différents sites d'élevages piscicoles. Celle-ci permettra de réaliser une étude numérique de faisabilité de la méthanisation en co-digestion avec d'autres effluents d'élevage. Enfin, l'accent sera mis sur le développement d'un modèle couplant processus biologique et physico-chimique pour la mise au point du procédé de bio-acidification et l'utilisation des effluents du procédé en hydro/aquaponie. Les résultats de modélisation seront validés expérimentalement en laboratoire et en conditions réelles.

Formations et compétences recherchées

Formation recommandée : Master / diplôme d'ingénieur ou équivalent en génie des procédés biologiques, biotechnologies ou modélisation des systèmes biologiques

Connaissances attendues : génie des procédés biologiques, traitement et valorisation des effluents, digestion anaérobie, caractérisation physico-chimique. Des connaissances en modélisation mécaniste des processus biologiques seraient appréciées.

Aptitudes recherchées : autonomie, organisation, maîtrise des outils numériques (Scilab, Matlab, Python ou R), intérêt accru pour le travail expérimental (laboratoire et dispositifs expérimentaux) et en équipe pluridisciplinaire.

Références bibliographiques

- Bareha, Younès, Rim Affès, Julie Buffet, et Romain Girault. 2021. « SYS-Metha : Outil de prédiction des flux d'azote et de carbone sur les filières de méthanisation et des propriétés des digestats. » Recherche Data Gouv, juin 9. <https://doi.org/10.15454/U4S6OF>.
- Batstone, D. J., J. Keller, I. Angelidaki, et al. 2002. « The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1) ». *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* 45 (10): 65-73.
- Braak, Etienne, Sarah Auby, Simon Piveteau, Felipe Guilayn, et Marie-Line Daumer. 2016. « Phosphorus Recycling Potential Assessment by a Biological Test Applied to Wastewater Sludge ». *Environmental Technology* 37 (11): 1398-407. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1116612>.
- Chairattanawat, Chayanee, Arma Yulisa, et Seokhwan Hwang. 2022. « Effect of fish waste augmentation on anaerobic co-digestion of sludge with food waste ». *Bioresource Technology* 361 (octobre): 127731. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127731>.
- Choudhury, Abhinav, Christine Lepine, et Christopher Good. 2023. « Methane and Hydrogen Sulfide Production from the Anaerobic Digestion of Fish Sludge from Recirculating Aquaculture Systems: Effect of Varying Initial Solid Concentrations ». *Fermentation* 9 (2): 94. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020094>.
- Klein, Jan, Andrea Schüch, Sebastian Foth, et al. 2024. « Enhancing Energy Recovery from Aquaculture Residual Materials: A Focus on Anaerobic Digestion of African Catfish (*Clarias Gariepinus*) Sediment Sludge ». *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8 (mai). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1397491>.
- Netshivhumbe, Rudzani, Funmilayo Faloye, Amsalu Tolessa, Johann Görgens, et Neill Goosen. 2024. « Anaerobic Co-Digestion of Fish Sludge Originating from a Recirculating Aquaculture System ». *Waste and Biomass Valorization* 15 (9): 5589-605. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02569-2>.
- Piveteau, Simon, Sylvie Picard, Patrick Dabert, et Marie-Line Daumer. 2017. « Dissolution of particulate phosphorus in pig slurry through biological acidification: A critical step for maximum phosphorus recovery as struvite ». *Water Research* 124 (novembre): 693-701. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.017>.
- Suhr, K. I., C. O. Letelier-Gordo, et I. Lund. 2015. « Anaerobic digestion of solid waste in RAS: effect of reactor type on the biochemical acidogenic potential (BAP) and assessment of the biochemical methane potential (BMP) by a batch assay ». *Aquacultural Engineering, Workshop on Recirculating Aquaculture Systems (II)*, vol. 65 (mars): 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.12.005>.
- Wu, Yuqi, et Kang Song. 2021. « Anaerobic co-digestion of waste activated sludge and fish waste: Methane production performance and mechanism analysis ». *Journal of Cleaner Production* 279 (janvier): 123678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123678>.