

Résumé de la thèse de Maxime Dechesne : *Caractérisation rapide des boues d'épuration en spectrométrie de fluorescence : vers une mesure en ligne du potentiel méthanogène.*

Dans le cadre de la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (Loi n° 2015-992 du 17 août 2015), l'objectif majeur est de réduire la consommation énergétique de 50 % d'ici à 2050. Une des approches pour atteindre cette ambition repose sur l'utilisation des énergies renouvelables et de récupération (EnRR). Dans le domaine du traitement des eaux usées, la valorisation énergétique des boues par digestion anaérobie offre une perspective intéressante. À l'échelle de l'agglomération parisienne, cette méthode permet de produire annuellement plus de 80 millions de mètres cubes de biogaz, provenant de plus de 70 % des boues générées. Cependant, une évaluation précise du potentiel méthanogène (BMP) des boues demeure cruciale pour la gestion efficace de ces procédés et la conception d'installations industrielles adaptées. Le protocole classique de détermination du BMP, bien que précis, s'avère long et coûteux, ce qui le rend inapproprié pour une surveillance en temps réel des procédés de méthanisation.

Pour remédier à cette limitation, des méthodes alternatives rapides telles que la spectroscopie proche infrarouge (SPIR), ont été développées. Malheureusement, la SPIR nécessite généralement une préparation préalable des échantillons, notamment leur déshydratation, ce qui la rend difficile à appliquer en ligne pour l'acquisition de données en temps réel. Ces travaux visent à développer une méthode spectroscopique nécessitant moins de temps de préparation des échantillons, voire une analyse en ligne. Cette thèse explore la possibilité d'analyser les boues de station d'épuration en utilisant la spectroscopie de fluorescence tridimensionnelle (SF3D) pour prédire le potentiel méthanogène et d'autres paramètres physico-chimiques, dans le but d'optimiser la digestion anaérobie en STEU en temps réel.

Le premier volet de la thèse, présenté sous la forme d'un article, explore la possibilité de déterminer le potentiel méthanogène des boues séchées en utilisant une extraction séquentielle de la matière organique à l'eau ultra pure. Des résultats prometteurs ont été obtenus en utilisant les intensités de fluorescence mesurées dans les extraits en SF3D comme variables explicatives du potentiel méthanogène des boues. Le modèle de prédiction du BMP obtenu présente un bon coefficient de détermination et un bon écart de prédiction résiduel ($R^2 = 0,88$ et $RPD = 2,83$). La qualité de la prédiction du BMP est même légèrement supérieure à celle obtenue à partir d'une analyse des boues séchées en SPIR. Suite à ces résultats très positifs obtenus avec l'analyse en SF3D des extraits de boues séchées, il a été décidé de tester l'analyse en SF3D des centrats de boues obtenus en sortie de l'étape de centrifugation. C'est l'objet du second volet.

Le second volet de cette thèse, présenté également principalement sous forme d'un article, porte donc sur la caractérisation physico-chimique des boues épaissies prélevées après l'étape de centrifugation en STEU. Les boues épaissies sont déshydratées et analysées en SPIR, tandis que le centrat correspondant est analysé en SF3D. Les modèles prédictifs du BMP dans les boues épaissies obtenus en utilisant les intensités de fluorescence mesurées en SF3D dans les centrats comme variables explicatives sont de très bonne qualité ($R^2_{\text{val}} = 0,84$ et $RPD = 2,48$). Les modèles obtenus grâce aux analyses en SPIR sur les boues épaissies séchées sont également de bonne qualité mais ne surpassent pas les premiers. Ces résultats représentent une avancée majeure car la préparation de l'échantillon avant l'analyse en SF3D se résume à une simple filtration et dilution. Ces opérations sont rapides permettant ainsi la préparation et l'analyse d'un échantillon en laboratoire en moins d'une heure. De plus, il est tout à fait envisageable de réaliser une filtration et une dilution en ligne, suivies d'une analyse en temps réel à l'aide d'une sonde de fluorescence appropriée. Ces travaux constituent une avancée significative, ouvrant la voie à une caractérisation en ligne, en temps réel et à haute fréquence

des boues d'épuration dès 2024, grâce à l'utilisation d'une sonde de fluorescence adaptée (sonde développée au LEESU).

L'objectif du troisième volet de la thèse est de pouvoir suivre en temps réel l'état des digesteurs et éventuellement d'anticiper de futurs dysfonctionnements (AGV, TAC,...). Pour ce faire, deux pilotes de digestion en voie liquide ont été suivis à l'aide de la SF3D et d'analyses physico-chimiques. Les résultats ont montré qu'en utilisant cette méthode, il n'a pas été possible de prédire ou de suivre différents critères tels que le ratio acide gras volatils sur titre alcalimétrique complet (AGV/TAC) ou le ratio acide acétique sur acide propionique. Nous avons toutefois pu observer qu'une augmentation importante de la concentration en AGV ou du ratio AGV/TAC entraînait des modifications des signaux de fluorescence mesurés quelques jours après ces dysfonctionnements.

Ainsi, le fil conducteur de cette thèse repose sur la recherche de solutions pratiques et applicables à l'industrie, avec pour objectif de transformer les connaissances acquises en réponses tangibles aux défis et aux besoins du secteur de l'assainissement et de la méthanisation.