



## Action R1.3.2

# Caractérisation de la contamination en micropolluants organiques et en gènes de résistance dans les boues de STEP

### Contacts :

Julien Le Roux (julien.le-roux@u-pec.fr)

My-Dung Jusselme (thi-my-dung.jusselme@u-pec.fr)

## CONTEXTE

Cette action s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés lors des précédentes phases d'OPUR, en particulier pendant la thèse de R. Mailler (2012-2015, OPUR4), qui ont visé à documenter la contamination des **boues de station de traitement des eaux usées** en micropolluants prioritaires et émergents (ex. produits pharmaceutiques, PFAS, HAPs, phtalates, alkylphénols) (Mailler et al., 2017). Ces dernières années (OPUR5), plusieurs stages ont également été réalisés en collaboration avec le SIAAP pour développer des méthodes d'analyses ciblées (composés pharmaceutiques) et non-ciblées (HRMS) au Leesu sur des matrices chargées, notamment dans le cadre de l'Observatoire de la Ville (stage de M2 de A. Cotard sur les eaux de bioréacteurs à membranes, stages de M1 de C. Messah et de M2 de A. Leclair sur les boues de STEU).

Conjointement, le devenir et la **transformation des micropolluants** est en lien étroit avec les **microorganismes**, présents en nombre et variété considérables dans les eaux usées, avec des relations complexes : dégradation des molécules, formation de sous-produits parfois plus toxiques, sélection et propagation de **bactéries résistantes aux antimicrobiens et des gènes de résistance** (problème majeur de santé publique pour le 21e siècle).

Une meilleure caractérisation de la contamination des boues de STEP, notamment par des micropolluants émergents comme les PFAS, ainsi que des liens entre contaminants chimiques et microorganismes apparaît comme un sujet de recherche d'actualité. Peu d'études y sont consacrées du fait de la complexité des matrices organiques, rendant difficiles la quantification des micropolluants. Le devenir des micropolluants dans les différentes filières de traitement (digestion vs procédés thermiques) est également un point à étudier, ainsi que leur répartition entre les phases aqueuses (filière eau) et particulaires (filière boue).

## OBJECTIFS

L'objectif principal serait ici de mieux comprendre le transfert des micropolluants et microorganismes ainsi que leurs interactions dans la **filière boue**. Il s'agira de mener une caractérisation couplée entre analyses chimiques et microbiologiques. Plus particulièrement, la démarche s'articulerait autour des approches suivantes :

- Documenter et quantifier la **contamination en micropolluants organiques** dans différentes filières de traitement des boues (ex. digestion vs. procédés thermiques) en effectuant un état des lieux de l'évolution des concentrations au long des filières, en s'appuyant sur diverses collaborations (ISA Lyon, ENSCR) et sur les développements analytiques déjà réalisés. Des analyses chimiques ciblées et non-ciblées seront menées, avec notamment le suivi de familles de polluants émergents (ex. PFAS, additifs issus des pneumatiques, polluants routiers, pharmaceutiques, produits de transformations...). Des analyses ciblées de polluants réglementaires (dioxines, HAPs...) pourront également être réalisées par un prestataire.
- Caractériser les mécanismes en jeu dans la biodégradation des micropolluants et identifier les microorganismes impliqués, en mettant en place des milieux de culture à partir des microorganismes issus des boues et en réalisant des analyses biologiques (caractérisation des communautés microbiennes) et chimiques (analyses ciblées et non-ciblées). Le diuron (molécule de la famille des biocides) pourra être utilisé comme molécule modèle pour étudier sa dégradation. D'autres molécules d'intérêt (identifiées au point 1) pourront être utilisées par la suite.
- Identifier et quantifier les gènes et les bactéries résistantes aux antimicrobiens dans les boues par des analyses de séquençage à haut débit (NGS). Les résultats dans les boues seraient mis en regard d'analyses similaires réalisées dans la filière eau.

## MÉTHODOLOGIE

La partie expérimentale s'appuyera sur des échantillons prélevés dans les filières de traitement des boues des usines du SIAAP. Des partenariats pourront être envisagés avec d'autres collectivités présentant des caractéristiques et filières différentes (ex. Rennes). Les analyses s'appuieront sur les compétences internes au Leesu (analyses de composés pharmaceutiques et analyses HRMS non-ciblées), sur des prestations pour les analyses de diversité microbienne/métagénomique ainsi que sur de potentielles collaborations pour les analyses d'autres composés organiques ciblés (ex. PFAS).

Un recrutement de doctorant sera envisagé à partir de fin 2025/début 2026, principalement par le biais d'une demande de bourse CSC ParisTech.

## RÉSULTATS ATTENDUS ET RETOMBÉES

Les résultats permettront :

- D'affiner les bilans de flux en micropolluants organiques dans les usines de traitement, dans les différentes filières de traitement, dans les files eau et boues, ainsi qu'au niveau de la répartition entre les phases particulaires et aqueuses. L'identification de molécules d'intérêt émergent pourra alimenter les suivis réalisés dans l'Observatoire de la Ville ;
- De mieux comprendre et décrire les processus de dégradation des micropolluants durant le traitement des boues, avec une meilleure compréhension du rôle des microorganismes impliqués dans cette dégradation ;
- De documenter la présence de gènes de résistance et de bactéries résistantes dans les eaux usées et les boues, en mettant en perspective les réponses des microorganismes en termes de résistance avec la présence de micropolluants organiques.