

Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr

*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé * : Occurrence des PFAS dans les stations de traitement des eaux usées et développement de solution de traitement par des procédés d'oxydation avancée

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail : Anne PIRAM¹, anne.piram@univ-amu.fr – De Jong-Moreau Laetitia², laetitia.moreau@univ-amu.fr

Laboratoire *: 1. LCE -UMR7376 ; 2. IMBE- UMR7263

Tableau récapitulatif du sujet

Candidat(e) ⁽¹⁾	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
Sujet de doctorat proposé*	Occurrence des PFAS et autres perturbateurs endocriniens dans les stations de traitement des eaux usées et développement de solutions de traitement par des procédés d'oxydation avancée
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Anne PIRAM (non HDR) Laetitia De Jong-Moreau (HDR)
Laboratoire*	LCE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	ITEM + financement MAMP (projet PRESERVER2)

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Occurrence des PFAS et autres perturbateurs endocriniens dans les stations de traitement des eaux usées et développement de solutions de traitement par des procédés d'oxydation avancée

Descriptif * : Les pressions sur la ressource en eau ne cessent de s'accroître. Les réglementations n'incluent que de façon très parcellaire les polluants émergents dont les effets, seuls ou en mélange restent mal maîtrisés dans les eaux superficielles. Les effluents des stations de traitement des eaux usées (STEU) constituent une source majeure de rejet de perturbateurs endocriniens dans les milieux environnementaux, ces substances étant généralement peu abattues par les traitements conventionnels.

Les travaux développés dans le cadre du doctorat viseront à développer des solutions de remédiation innovantes basées sur les procédés d'oxydation avancées et visant à la réutilisation des eaux usées traitées. Ils intégreront les aspects de toxicologie permettant d'objectiver la perte de toxicité des eaux traitées.

La **première année** sera consacrée à la bibliographie et au développement et l'amélioration des méthodes d'analyses des perturbateurs endocriniens. Le LCE, dans le cadre de précédents programmes de recherche a développé une solide expertise dans l'analyse de substances perturbatrices endocriniennes d'origines variées (pharmaceutiques agricoles, industrielles, ...) et de différentes familles chimiques telles que les alkyphenols, les substances poly- et per-fluoroalkylées (PFAS), les dérivés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP+) ou les hormones. Ces méthodes seront appliquées dans le cadre de campagnes d'échantillonnage d'effluents issus des stations de d'épuration de la métropole d'Aix Marseille afin de doser les espèces présentes au niveau local. Des développements méthodologiques seront réalisés par des approches non ciblées afin de mieux caractériser les contaminations au niveau local, notamment pour la famille des PFAS qui requière des méthodologies d'analyse dédiées permettant d'assurer l'absence de contamination des échantillons. Pour réaliser ces mesures le doctorant s'appuiera sur un parc analytique performant et récent (LC-Orbitrap, plateforme IMAGINE² et LC-QTrap -7500+ Sciex). Il réalisera des expériences pour la sélection et l'optimisation des paramètres des procédés d'oxydation avancée sur le pilote d'oxydation avancée AOP-REACTISS (CEREGE, Hall Cirene, Aix en Provence), dans la continuité des travaux menés par le post-doctorant recruté par ITEM (2026-2027) pour le projet PRESERVER2. Les premiers essais seront développés sur une liste de substances préalablement dosées par le LCE dans le cadre de campagnes d'analyses dans les effluents des STEU de la MAMP (projet PRESERVER 2023-2025). La liste pourra évoluer au cours de la thèse en fonction des mesures réalisées dans les effluents notamment concernant les PFAS et HAP+.

La disparition de la molécule au cours du procédé de traitement ne s'accompagne pas toujours d'une diminution de la toxicité. En effet, les sous-produits formés peuvent parfois s'avérer aussi voire plus toxiques que la molécule initiale. De ce fait, en **deuxième année** de thèse, les procédés d'oxydation avancée permettant le meilleur abattement seront testés par des bioessais pour vérifier leur innocuité. Si nécessaire une recherche des produits de transformation sera réalisée afin de mieux interpréter les résultats observés en termes de toxicité. Les tests d'écotoxicité seront effectués à l'IMBE (en collaboration avec Laetitia Moreau, MCF-HDR) en utilisant comme modèle aquatique un invertébré, l'hydre d'eau douce. Pour la partie écotoxicité le ou la doctorant.e sera aidé par l'IGE recruté.e par PRESERVER2. Les tests proposés sont déjà maîtrisés par l'IMBE (test de régénération de l'hydre, test de morphologie, test de reproduction). Une fois l'efficacité du traitement objectivé au niveau chimique et au niveau biologique, des essais seront menés sur des effluents réels de STEU caractérisés par le LCE. Les effluents seront analysés chimiquement pour vérifier l'abattement des xénobiotiques après passage par le pilote AOP-REACTISS et leur contenu global évalué par une approche analytique non ciblée sur le LC/MS/MS Orbitrap Tribid (plateforme IMAGINE²). Ils seront également testés pour évaluer leur écotoxicité avant et après les oxydations avancées.

La **troisième année** sera dédiée à terminer les expérimentations en cours, à la rédaction, à la valorisation et des résultats (articles). Une validation globale des développements réalisés dans le cadre du projet PRESERVER2 pourra être réalisée pour la famille des PFAS par le ou la doctorant.e. Cette validation globale intégrera les essais mis au point par le post-doctorant sur filtre planté avancé (FPA) et consistera à alimenter la série FPA

puis AOP par un effluent réel de STEU. Il est prévu un minimum de 2 communications dans des congrès pour exposer les résultats issus de ce travail doctoral.

Ces travaux devraient conduire à la publication de 3 articles dans des journaux de rang A portant respectivement sur :

- un article portant sur les développements méthodologiques, et les résultats des campagnes d'analyse : données disponibles à 12-15 mois de la thèse ;
- un à deux articles portant sur le développement et l'optimisation des paramètres opératoires AOP (incluant l'identification des sous-produits et les tests de toxicité) : données disponibles en fin de 2^{ème} année
- un article sur le couplage FPA-AOP : données disponibles en 3^{ème} année

Détail du Programme finançant la recherche* : Le projet PRESERVER2 (2026-2029 Porteur Pr Xavier Moreau IMBE-UMR7263) fait suite au projet R&D PRESERVER (déc 2023-déc 2025) initié par la Métropole Aix-Marseille Provence (MAMP, budget **526 664** €). PRESERVER a permis d'identifier des perturbateurs endocriniens présents dans les eaux de la MAMP et d'en évaluer les dangers. PRESERVER2 complétera cet état des lieux, dépassera le stade des constats et proposera des solutions de traitement innovantes. Le contrat PRESERVER2 a obtenu des financements auprès de la MAMP, GRDF et d'ITEM permettant de couvrir les frais de fonctionnement (50k€ MAMP+50 k€ITEM+46k€ GRDF) et ITEM-AMIDEX finance des moyens humains (1 IGE-IMBE-13mois, 1 post-doctorant LCE-CRERGE 13 mois et 1 post-doctorant LPED 13mois).

Ces moyens humains permettront de renforcer le pôle technique des statutaires (LCE & IMBE) déjà impliqués dans le projet. Ces financements acquis assurent de bonnes conditions pour la réalisation de la thèse demandée ici. De plus, PRESERVER2 bénéficie de l'accès à deux pilotes de nouvelle génération pour le traitement des eaux installés à la Halle CIRENE (CEREGE-LCE, Aix-en-Provence) a bénéficié d'une subvention de 300k€ (CISAM+, France 2030). Ces deux pilotes sont un Filtre Planté Avancé (FPA) fondé sur des processus naturels de phytoremédiation et d'adsorption piégeant des contaminants spécifiques et un dispositif d'oxydation avancée (REACTISS) pour dégrader des polluants récalcitrants.

Le projet PRESERVER2 est un projet interdisciplinaire visant identifier et abattre des contaminants émergents dans les eaux usées (tels que PFAS, HAP+, ETMM), en vue de leur réutilisation. Ce projet, développé sous une approche « *One Water-One Health* », s'attache à mieux comprendre les expositions environnementales afin d'évaluer et réduire leurs effets par le développement de solutions de traitement, en intégrant la perception sociale de cette démarche. Ce projet est développé dans le cadre d'un consortium de 4 laboratoires amU.

- Le LCE qui procédera au développement et/ou à l'amélioration de protocoles analytiques ultra-sensibles pour le l'analyse ciblée et non ciblée des contaminants organiques récalcitrants, ainsi qu'au développement de solutions de traitement par les procédés d'oxydation avancée.
- L'IMBE réalisera des bioessais multi-réponses pour caractériser le danger des eaux épurées issues de STEU avant et après traitement
- Le CEREGE développera des solutions de traitement des eaux par filtre planté avancé (FPA), et en collaboration avec le LCE, le couplage FPA-AOP
 - Le LPED mènera des approches sociologiques intégrées auprès des acteurs institutionnels et associatifs ainsi qu'auprès des habitants du territoire.

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : **De Jong-Moreau-Laetitia**

Corps : MCF-HDR

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : **IMBE-UMR7263**

Adresse mail : laetitia.moreau@univ-amu.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

- 1) Rigaud S, Garnier JM, Moreau X, De Jong-Moreau L, Mayot N, Chaurand P, Radakovitch O. 2019. How to assess trace elements bioavailability for benthic organisms in lowly to moderately contaminated coastal sediments? *Marine Pollution Bulletin*, 140: 86-100.
- 2) Jacquin L, Gandar A, Aguirre-Smith M, Perrault A, Le Hénaff M, De Jong L, Paris-Palacios S, Laffaille P, Jean S. 2019. High temperature aggravates the effects of pesticides in goldfish. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 172: 255-265.
- 3) Desbiolles F, Moreau X, De Jong L, Malleret L, Grandet-Marchant Q, Wong-Wah-Chung P, Laffont-Schwob I. 2020. Advances and limits of two model species for ecotoxicological assessment of carbamazepine, two by-products and their mixture at environmental level in freshwater. *Water Research*. 169: 115267.
- 4) Colpaert R, Villard PH, De Jong L, Mambert M, Benbrahim K, Abrales J, Cerini C, Pique V, Robin M, Moreau X. 2020. Multi-scale impact of chronic exposure to environmental concentrations of chlordecone in freshwater cnidarian, *Hydra circumcincta*. *Environmental Science and Pollution Research*. 27: 41052-41062.
- 5) Moreau X, Claeys-Bruno M, Andraud J-P, Macarie H, Martínez DE, Robin M, Sergent M, De Jong L. 2022. Hydra bioassay for the evaluation of chlordecone toxicity at environmental concentrations, alone or in complex mixtures with dechlorinated byproducts: experimental observations and modeling by experimental design. *Environmental Science and Pollution Research*. 29: 91017-91035.

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : PIRAM Anne

Corps : MCF

Adresse mail : anne.piram@univ-amu.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : LCE UMR 7376

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

- 1) Adaneh, AE, Ahmed MM, Wong-Wah-Chung P, **Piram A**, MO, Ibrahim NH, Doumenq P, Robleh MA. 2026. Occurrence and ecological risk of pharmaceuticals and personal care products in Djibouti's coastal waters *Marine Pollution Bulletin* 227: 119502
- 2) Dijoux, M., Denton, M., **Piram, A.**, Augy, S., Austruy, A., Loquais, C. Souloumiac A., **De Jong, L.**, Gonzales-Camoin E., Villard P-H., Terlier L., Bremond P., Benbrahim K., Dron J., Chamaret P., Moreau X., Gori S., Wong-Wah-Chung P., Doumenq, P. (2025, June). Exposure to PFAS: One Health approach in the anthropised area of Fos-Berre. Study of contamination and toxicity of PFAS in drinking water and analytical developments for lichen biomonitoring of atmospheric contamination. In *5ème congrès PFAS*.

- 3) El Mouchtari EM, Claeys-Bruno M., Rafqah S, Manzon D, Anane H, **Piram A**, Briche S, Wong-Wah-Chung P. 2023 Optimisation of a photocatalytic water treatment using response surface methodology and quality by design Approach. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 103 (20) : 9466-9482.
- 4) El Mouchtari EM, El Mersly L, Belkodia K, **Piram A**, Lebarillier S, Briche S, Rafqah S, Wong-Wah-Chung P 2023 Sol-Gel Synthesis of New TiO₂ Ball/Activated Carbon Photocatalyst and Its Application for Degradation of Three Hormones: 17 α -EthinylEstradiol, Estrone, and β -Estradiol. Toxics, 11 (4):299
- 5) Hidayati NV, Syakti AD, Asia L, Lebarillier S, Khabouchi I, Widowati I, Sabdono A, **Piram A**, Doumenq P, 2021, Emerging contaminants detected in aquaculture sites in Java, Indonesia, Science of The Total, Environment, 773: 145057

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : DELATTRE, Cécilia

Intitulé : Etude sur la caractérisation des sources PFAS issus de la dégradation des polymères fluorés présents dans les déchets.

Type d'allocation : CDD ingénieur

Date de début de l'allocation de doctorat : dec 2025

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : dec 2028

Programme finançant la recherche : ANDRA

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50.%

Nom : DIJOUX, Maëlys

Intitulé : Occurrence des résidus per- et polyfluoroalkylés (PFAS) dans la zone de Fos-Berre : analyse des lichens, eaux souterraines et eaux potables.

Type d'allocation : CIFRE

Date de début de l'allocation de doctorat : Fev 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : prévue en juil 2026

Programme finançant la recherche : Amidex (projet MATISSE)

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50.%

Nom : ADANEH, Abdillahi Elmi

Intitulé : Contamination of coastal and groundwater in Djibouti by pharmaceuticals and personal care products (PPCPs): Occurrence, distribution, and potential ecological impacts.

Type d'allocation : Campus France coopération France-Djibouti

Date de début de l'allocation de doctorat : Fev 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : planifiée le 15 juil 2026

Programme finançant la recherche : Centre d'Etudes et de Recherche de Djibouti (CERD)

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50.%