

Proposition de sujet de thèse 2024

(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 *: Réutilisation des effluents de dialyse par couplage des procédés de filtration membranaire et d'oxydation avancée.

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: WONG-WAH-CHUNG, Pascal, pascal.wong-wah-chung@univ-amu.fr; BURTEY, Stéphane, stephane.burtey@univ-amu.fr

Laboratoire *: Laboratoire Chimie Environnement (LCE) et Centre de Recherche en CardioVasculaire et Nutrition (C2VN)

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*	Réutilisation des effluents de dialyse par couplage des procédés de filtration membranaire et d'oxydation avancée
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	WONG-WAH-CHUNG Pascal (HDR) BURTEY Stéphane (HDR)
Laboratoire*	Laboratoire Chimie Environnement
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	ECCOREV-ITEM (à redéposer) Projet ANR (à redéposer)

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Réutilisation des effluents de dialyse par couplage des procédés de filtration membranaire et d'oxydation avancée

Descriptif *:

La réutilisation d'eaux usées est une approche essentielle dans la préservation de la ressource en eau et nécessite de mettre en place des traitements adaptés et sans impact pour l'environnement. Les gisements d'eaux usées à traiter sont multiples mais aucune étude ne s'est intéressée à l'eau produite par hémodialyse aussi appelée dialysat. L'hémodialyse est la technique la plus utilisée dans les pays occidentaux pour la prise en charge de la maladie rénale chronique (MRC) arrivée au stade 5 (nécessitant le recours à la dialyse ou à la transplantation rénale).

En France en 2021, 48 245 patients sont en hémodialyse chronique¹, dans le monde le nombre d'hémodialisés est estimé à 3,4 millions patients². Une séance d'hémodialyse standard consomme entre 382 et

500 litres d'eau ultrapure et un patient dialysé trois fois par semaine, 52 semaines par an, consomme 59,5 m³ par an². En France, on peut estimer la quantité d'eau utilisée par l'hémodialyse à 2,8 millions de m³ par an, ce qui correspond à la consommation d'eau annuelle d'une ville comme Brest. A l'échelle mondiale, il a été estimé que la consommation d'eau pour l'hémodialyse est d'environ 265 millions de m³ par an en 2023².

L'eau d'hémodialyse est dite ultrapure, elle est produite par prétraitement sur des colonnes et osmose inverse, ce qui conduit à une perte entre 20 et 30% d'eau³. Ensuite l'eau ultrapure entre dans la boucle de production du dialysat où puis elle est combinée à un concentré ionique pour obtenir un dialysat. Ce dialysat va servir à la réalisation des échanges avec le sang du patient à travers une membrane semi perméable par des phénomènes de convection et de diffusion. Ce dialysat va se charger en toxines urémiques et en médicaments hydrosolubles passant la membrane de dialyse comme cela a été prouvé *in vitro* pour deux antibiotiques, la gentamicine et la vancomycine⁴. Il est à noter qu'aucune donnée sur le contenu en produits pharmaceutiques dans ses effluents n'existe dans la littérature alors que la plupart des patients dialysés sont sous traitement médical, ce qui est le cas des patients du Centre de néphrologie et transplantation rénale (CNTR) des hôpitaux universitaires de Marseille (AP-HM)⁵. Cet effluent de dialyse constitue donc un effluent hospitalier spécifique avec une variété potentielle de nombreux composés pharmaceutiques, des concentrations non négligeables en glucose (5,2 mM), en ion chlorure et hydrogénocarbonate (respectivement 110 et 39 mM), en urée (20-30 mM)⁶ ... qui a été très peu caractérisé spécifiquement à la différence des effluents hospitaliers^{7,8}. L'effluent de dialysat devient un déchet qui est actuellement rejeté à l'égout alors qu'il a été prouvé que celui-ci pouvait présenter une certaine toxicité⁹ tout comme les effluents hospitaliers¹⁰.

Les seules tentatives à l'heure actuelle pour réduire la consommation d'eau sont de récupérer l'eau rejetée par le processus d'osmose inverse ou de réduire le débit du dialysat³. Cette dernière approche peut faire prendre des risques au patient en diminuant la qualité de la dialyse. Il est important de noter que l'année dernière une technique de dialyse encore plus consommatrice d'eau l'hémodiafiltration a montré une amélioration de la survie des patients par rapport à des patients en hémodialyse conventionnelle¹¹. Il est probable que cette stratégie va devenir un gold standard de la prise en charge de la MRC augmentant de ce fait les volumes de dialysat. Il apparaît urgent et possible de pouvoir traiter et de recycler l'eau issue du processus d'hémodialyse¹², notamment pour de l'arrosage d'espaces verts, en particulier en éliminant les différents médicaments et leurs métabolites ou produits de transformation (PT) présents dans ce milieu. La présence des médicaments et leurs PT dans les eaux usées ayant un potentiel délétère pour l'environnement^{10, 13,14}.

De ce fait, l'objectif de ce travail est de montrer la faisabilité de la réutilisation de cet effluent d'hémodialyse riche en composés divers (produits pharmaceutiques, PT, glucose, urée, anions...) en s'appuyant sur l'utilisation d'un procédé couplant la filtration membranaire (FM) et des procédés d'oxydation avancée (POA). La filtration permettra l'obtention d'eau filtrée réutilisable et d'un concentrat qui sera traité par POA. Le couplage de ces procédés a démontré dans des études antérieures une forte capacité à éliminer des polluants organiques tels que les produits pharmaceutiques dans des eaux dopées ou des effluents d'eaux usées^{15,16} mais très peu d'études se sont intéressées à ces matrices particulières que sont les effluents de dialyse. Il a été ainsi montré que les processus de coagulation, floculation, sédimentation (CFS) et d'ultrafiltration, des traitements par électrocoagulation et électro oxydation ou encore de l'osmose inverse conduisaient à une réduction total des solides totaux dissous, de la conductivité, de la demande chimique en oxygène, des coliformes totaux, ou de la charge ionique^{17,18} et que l'amoxicilline peut être éliminée d'une eau synthétique d'hémodialyse par traitement électrochimique¹⁹.

Dans ce contexte, il s'agira, dans un premier temps, d'identifier la présence de composés pharmaceutiques et PT dans les effluents de dialyse par des analyses ciblées en chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem équipée d'une trappe d'ions (LC-MS-MS Trap). Ses analyses ciblées se baseront sur les prescriptions médicales des patients dialysés au CNTR de l'AP-HM⁵. En parallèle, la mesure des concentrations des différentes toxines urémiques (en particulier l'indole acétique acide (auxine) qui a un fort impact environnemental notamment dans la croissance des plantes²⁰) et des analyses microtoxique et

écotoxique utilisant les test CALLUX et MICROTOX sur *Vibrio Fisheri* (selon norme ISO 11348) seront réalisées²¹⁻²⁴. Ce travail nous permettra de déterminer le contenu en PP, PT et toxines urémiques d'effluents de dialysat mais aussi de modéliser l'exposome produit par le dialysat et en particulier l'effet cocktail entre toxines urémiques et médicaments.

A l'issue, l'utilisation des membranes visant à concentrer les effluents de dialyse en vue d'un rejet à l'environnement du perméat sera mise en œuvre en s'assurant de la rétention des produits pharmaceutiques et des toxines urémiques en particulier. La qualité du perméat doit répondre aux normes en vigueur²⁵ pour préserver l'équilibre de l'écosystème récepteur. L'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'Osmose Inverse (OI) sont des procédés membranaires qui peuvent répondre aux problématiques de qualité du perméat, compte tenu des seuils de coupure de ces procédés²⁶.

L'UF a pour avantage une consommation énergétique relativement faible conjuguée à une production de perméat importante et des rendements épuratoires intéressants mais qui n'élimine pas la pollution dissoute et les matières organiques de faible poids moléculaire²⁷. L'OI présente de très bon taux de rétention, y compris pour les polluants dissous avec une consommation énergétique plus élevée en comparaison à l'UF²⁸. L'osmose inverse permettra de concentrer le dialysat usagé avec de fort taux de rétention des sels²⁹ mais sera limité par la pression osmotique et le colmatage. Un des verrous scientifiques sera d'établir la part de chacun de ces deux phénomènes^{29,30}.

En fonction des résultats, la NF pourra être utilisée afin de concentrer les composés organiques tout en limitant la rétention des sels, cette diminution de pression osmotique devrait permettre de plus concentrer les médicaments et métabolites. Il est à noter que la NF est un procédé qui a été développé pour l'obtention de principes actifs. L'UF ne pourra être utilisée ici car le seuil de coupure est trop élevé mais une des innovations de ce projet serait d'utiliser les modules d'UF de dialyse usagés. En compactant mécaniquement les membranes on devrait abaisser le seuil de coupure vers des valeurs de membranes de NF. Quoi qu'il en soit ces modules sont destinés à être jetés et cette modification pourrait leur apporter une seconde vie. Le traitement d'un dialysat neuf et usagé par OI va permettre d'appréhender la limitation au transfert et avoir une idée du facteur de concentration que l'on peut obtenir. En fonction des résultats et de l'efficacité d'oxydation du rétentat, des essais seront menés avec des membranes de NF ou des modules de dialyse usagés pour diminuer la charge en sel et augmenter la concentration des matières organiques et optimiser leur oxydation.

Différents types de membranes seront testés afin de prendre en compte la régénération de celles-ci sur plusieurs cycles. Des géométries tubulaires pourraient être privilégiées pour prendre en compte le colmatage du glucose présent dans le dialysat. C'est le couplage concentration par membrane et oxydation qui seront étudiées avec deux possibilités de rejet qui seront fonction des normes : soit le rejet du perméat d'OI/NF dans le milieu naturel et le concentrat oxydé en station d'épuration, soit le rejet du mélange des deux sous couvert que la salinité ne soit pas un frein vis à vis du lieu de rejet (sous-entendu que l'oxydation a détruit les matières organiques)^{31,32}.

Au cours cette partie de l'étude, des analyses systématiques seront mises en œuvre pour s'assurer de l'élimination des PP, PT et toxines urémiques identifiés dans les effluents de dialyse.

Le traitement des concentrats issus des procédés membranaires mis en œuvre au cours de ce projet s'appuiera sur l'utilisation de procédés d'oxydation avancée (POA) compte-tenu de leur capacité démontrée à éliminer de nombreux polluants organiques dont les produits pharmaceutiques (PP) dans les eaux³³⁻³⁸.

Parmi ces procédés, on peut citer l'ozonation, Fenton et photo-Fenton, UV et UV/H₂O₂, UV/SO₄⁻, l'oxydation électrochimique, électroFenton, la photocatalyse à l'aide de matériaux innovants (charbon actif biosourcé et nanobilles de dioxyde de titane³⁸...) ... ou encore une combinaison de POA. Dans la mesure du possible, la lumière UV simulée sera remplacée par la lumière solaire afin de diminuer le coût des traitements. Dans ces procédés, l'élimination des cibles organiques se produit du fait de la forte réactivité d'espèces oxydantes réactives telles que HO[•] et SO₄^{-•} ou l'ozone qui peuvent conduire à la minéralisation³⁶⁻³⁸. Cette étape ultime permet d'obtenir un rétentat traité et rejetable dans le réseau des eaux usées domestiques. Le choix de

ces procédés sera basé, dans une première approche, sur leur efficacité à réduire la charge en PP et PT des concentrats.

Ainsi, des solutions simples constituées uniquement des PP et PT (à des concentrations plus élevées ($\times 1$ à $\times 100$) que dans les effluents d'hémodialyse) identifiés en préambule par LC-MS-MS Trap seront considérées. Des essais d'élimination dans l'eau ultrapure seront mis en œuvre en utilisant différents POA afin de sélectionner un ou plusieurs POA ou combinaison de PAO avec la détermination de constantes cinétiques (durée de demi-vie et constante de vitesse). L'optimisation de ses procédés sera effectuée en utilisant une approche par plans d'expériences afin de déterminer les paramètres expérimentaux (pH, concentration en réactifs, $[O_2]$, domaines de longueur d'ondes...) conduisant à la dégradation la plus efficace des PP et PT³⁹.

Puis, le milieu contenant les PP et PT sera complexifié afin de se rapprocher de la composition des dialysats et d'évaluer l'impact de la présence du glucose, d'urée et d'anions. En effet, ces derniers sont présents à des concentrations importantes dans le dialysat et peuvent donc interférer par réaction de compétition entre HO^\bullet et PP ou encore par la production de nouvelles espèces radicalaires ($CO_3^{\bullet-}$, $Cl_2^{\bullet-}$...) bénéfiques, inertes ou néfastes aux procédés et susceptibles d'influencer la nature des sous-produits⁴⁰⁻⁴². La recherche et l'identification de ces espèces transitoires seront entreprises par spectrophotométrie d'absorption résolue en temps et des constantes de réaction entre ces espèces et les PP/PT seront déterminées. De plus, il sera indispensable de tester des concentrations de plus en plus importantes en glucose, urée et anions tout en préservant une dégradation satisfaisante des PP pour encadrer le facteur de concentration des effluents de dialyse lors de la filtration membranaire.

A l'issue, les POA retenus seront appliqués sur le rétentat membranaire les effluents d'hémodialyse mono patients ou des patients suivants le même traitement médical. Cette approche ciblée des prescriptions médicales permettra de tester et de valider les process de filtration et d'oxydation sur un panel de PP réduit. Au cours de ce travail, une double approche cinétique et mécanistique sera mise en œuvre en s'appuyant sur des techniques de point telles que la spectrométrie de masse haute résolution et en tandem (LC-MS-QToF). Ces études se feront à l'échelle laboratoire et aussi à l'échelle pilote (projet REACTISS). En effet, l'acquisition d'un pilote de dégradation par voie oxydative avancée pour l'épuration des eaux est prévu dans l'année 2024 soutenue par la Cité de l'Innovation et des Savoirs Aix-Marseille (CISAM). Ce pilote permettra de tester l'ensemble des POA envisagés à plus grande échelle ainsi que l'utilisation de la lumière solaire plutôt que des expositions en photoréacteurs UV.

Ensuite, les procédés (UF/POA) les plus performants seront testés sur le mélange des effluents de dialyse et l'identification des PP et sous-produits sera faite par LC-MS-MS Trap et LC-MS-QToF et elle permettra d'établir les mécanismes de transformation sur des effluents réels.

Tout au long de ces études, l'optimisation de ses procédés sera effectuée en utilisant une approche éprouvée par plans d'expériences et la mesure des concentrations des différentes toxines urémiques dans le concentrat ainsi que les tests CALLUX²² et MICROTOX²³ seront envisagés avant et après traitement des effluents de dialyse ciblés ou complexes. Ces résultats contribueront à sélectionner les procédés membrane/POA les plus efficaces et les moins impactants d'un point de vue environnemental.

Références bibliographiques :

- [1] rapport_rein_2021_2023-06-26.pdf. https://www.agence-biomedecine.fr/IMG/pdf/rapport_rein_2021_2023-06-26.pdf (Oct.2023)
- [2] Hmida MB, et al. Water implications in dialysis therapy, threats, and opportunities to reduce water consumption: a call for the planet. *Kidney Int.* 2023. 104:46-52. doi:10.1016/j.kint.2023.04.008
- [3] Chazot C, et al. The Green Nephrology Group of the SFNDT: initial reflections. *Nephrol Ther.* 2023;19(1):23-33. doi:10.1684/ndt.2023.1
- [4] Jang SM, et al. Determination of vancomycin and gentamicin clearance in an in vitro, closed loop dialysis system, *BMC Nephrology.* 2014, 15:204. <http://www.biomedcentral.com/1471-2369/15/204>
- [5] Liste des prescriptions médicales des patients traités au CNRT de l'APHM de Marseille en 2023.
- [6] Données issues du CNRT de l'APHM de Marseille

- [7] Santos LHMLM, et al. Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals, *Sci Total Environ.* 2013, 461-462: 302-316. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.04.077.
- [8] Vaudreuil MA, et al. Pharmaceutical pollution of hospital effluents and municipal wastewaters of Eastern Canada, *Sci Total Environ.* 2022; 10:846:157353. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157353.
- [9] Machado CK, et al. Potential environmental toxicity from hemodialysis effluent. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2014, 102: 42-47. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.01.009
- [10] Orias F and Perrodin Y. Pharmaceuticals in hospital wastewater: Their ecotoxicity and contribution to the environmental hazard of the effluent. *Chemosphere.* 2014, 115: 31-39. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.01.016
- [11] Blankestijn PJ, et al. Effect of Hemodiafiltration or Hemodialysis on Mortality in Kidney Failure. *N Engl J Med.* 2023;389(8):700-709. doi:10.1056/NEJMoa2304820
- [12] Tarras F, et al. Towards zero liquid discharge in hemodialysis. Possible issues. *Nefrologia.* 2021. 41(6) :620-624. Doi : 10.1016/j.nefro.2020.12.012
- [13] Świacka K, et al. Toxic effects of NSAIDs in non-target species: A review from the perspective of the aquatic environment. *Environ. Pollut.* 2021; 273:115891. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115891
- [14] Maculawicz J, et al. Transformation products of pharmaceuticals in the environment: Their fate, (eco)toxicity and bioaccumulation potential. *Sci Tot Environ,* 2022, 802: 149916. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149916
- [15] Rostam AB and Taghizadeh M. Advanced oxidation processes integrated by membrane reactors and bioreactors for various wastewater treatments: A critical review. *J Environ Chem Eng,* 2020, 8:104566. doi:10.1016/j.jece.2020.104566
- [16] Ganiyu SO, et al. Coupling of membrane filtration and advanced oxidation processes for removal of pharmaceutical residues: A critical review. *Sep Purif,* 2015, 156 :891-914. doi : 10.1016/j.seppur.2015.09.059
- [17] Mahdavi M, et al. Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in Saveh-Iran Hospital. *Desalin Water Treat,* 2020. 193 :274-283. doi: 10.5004/dwt.2020.25799.
- [18] Jalloli S, et al. Application of Sequential Combination of Electro-Coagulation/Electro-Oxidation and Adsorption for the Treatment of Hemodialysis Wastewater for Possible Reuse. *Sustainability.* 2022. Doi: 10.3390/su14159597.
- [19] Gonzalez-Nava VJ, et al. Electrochemical treatment of hemodialysis wastewater including pharmaceutical products. *Electrochimica Acta.* 2023. 437:141470. Doi: 10.1016/j.electacta.2022.141470.
- [20] Fiedler L, et al. Rapid auxin signaling: unknowns old and new. *Curr Opin Plant Biol.* 2023;75:102443. doi:10.1016/j.pbi.2023.102443
- [21] Gondouin B, et al. Indolic uremic solutes increase tissue factor production in endothelial cells by the aryl hydrocarbon receptor pathway. *Kidney Int.* 2013;84(4):733-744. doi:10.1038/ki.2013.133
- [22] Dou L, et al. Aryl hydrocarbon receptor is activated in patients and mice with chronic kidney disease. *Kidney Int.* 2018;93(4):986-999. doi:10.1016/j.kint.2017.11.010
- [23] My TTA, et al., Evaluation of the dioxin-like toxicity in soil samples from Thua Thien Hue province using AhR-CALUX bioassay – An update of Agent Orange contamination in Vietnam. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021;212:111971. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.111971
- [24] ISO 11348-3:2007/Amd 1 :2018, Qualité de l'eau, Détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de *Vibrio fischeri* (Essai de bactéries luminescentes).
Décret n° 2023-835 du 29 août 2023 relatif aux usages et aux conditions d'utilisation des eaux de pluie et des eaux usées traitées, *JORF N°0200* du 30 août 2023.
- [25] Aptel, P., et al. (ISBN 2.9516158-0-9)
- [26] Yacouba ZA. Couplage de procédés d'ozonation et de nanofiltration pour la réutilisation des eaux usées urbaines. 2020. <https://theses.hal.science/tel-03329660>
- [27] Greenlee, L. et al. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Res,* 2009, 43:2317-2348. doi: 10.1016/j.watres.2009.03.010
- [28] Howe K, Hand D, Crittenden J, Trussell R, Tchobanoglous G. Principles of Water Treatment. In: Hoboken, New Jersey: Wiley; 2012:672.
- [29] Wyart Y, et al. Morphological analysis of flat and hollow fiber membranes by optical and microscopic methods as a function of the fouling. *J Membr Sci,* 2014, 472 : 241-250. Doi: 10.1016/j.memsci.2014.08.012
- [30] Gout E, et al., Coupling membrane processes with wet air oxidation for the remediation of industrial effluents. *Chem Eng J.* 2023;472:144937. doi:10.1016/j.cej.2023.144937
- [31] Gout E, et al. Assessment and optimization of wet air oxidation for treatment of landfill leachate concentrated with reverse osmosis. *Process Saf Environ Prot.* 2022;162:765-774. doi:10.1016/j.psep.2022.04.046

- [32] Kanakaraju D, et al., Advanced oxidation process-mediated removal of pharmaceuticals from water: A review. *J Environ Manag.* 2018, 219: 189-207. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.04.103
- [33] Jiao J, et al., Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) by Free Radicals in Advanced Oxidation Processes. *Materials.* 2022, 15:8152. Doi: 10.3390/ma15228152.
- [34] Meribout R., et al., Photocatalytic degradation of antiepileptic drug carbamazepine with bismuth oxychlorides (BiOCl and BiOCl/AgCl composite) in water: Efficiency evaluation and elucidation degradation pathways. *J Photochem Photobiol A Chem*, 2016, 328:105-113. doi : 10.1016/j.jphotochem.2016.04.024
- [35] El Mountassir EM, et al., TiO₂ and activated carbon of *Argania Spinosa* tree nutshells composites for the adsorption photocatalysis removal of pharmaceuticals from aqueous solution. *J Photochem Photobiol A Chem*, 2020, 338: 112183. doi : 10.1016/j.jphotochem.2019.112183
- [36] El Mountassir EM, et al., I Hydrothermal synthesis of 3D cauliflower anatase TiO₂ and bio sourced activated carbon: adsorption and photocatalytic activity in real water matrices. *Int J Environ An Ch*, 2022. doi: 10.1080/03067319.2022.2118586
- [37] El Mountassir EM, et al., 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*, 2023. doi: 10.3390/toxics11040299
- [38] Song T, et al. Degradation of Antibiotics via UV-Activated Peroxodisulfate or Peroxymonosulfate: A Review. *Catalysis.* 2022. Doi: 10.3390/catal12091025.
- [39] El Mouchtari EM, et al., Optimisation of a photocatalytic water treatment using response surface methodology and quality by design Approach, *Int J Environ An Ch*, 2022, [doi: 10.1080/03067319.2021.2012171](https://doi.org/10.1080/03067319.2021.2012171).
- [40] Yuan Y, et al., Influence of salinity on the heterogeneous catalytic ozonation process: Implications to treatment of high salinity wastewater. *J Haz Mat*, 2022, 423: 127255. doi : 10.1016/j.jhazmat.2021.127255
- [41] Chen S, et al., Effect of the chloride ion on advanced oxidation processes catalyzed by Fe-based metallic glass for wastewater treatment. *J Mater Sci Technol*, 2022, 117:49-58. doi : 10.1016/j.jmst.2021.11.044
- [42] Yuan R, et al., Effects of chloride ion on degradation of Acid Orange 7 by sulfate radical-based advanced oxidation process: Implications for formation of chlorinated aromatic compounds, *J Haz Mat*, 2011, 196:173-179. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.09.007

Détail du Programme finançant la recherche* :

Dans le cadre de cette thèse, le financement des activités de recherche s'appuiera sur une collaboration avec le Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres (M2P2) et le Centre de néphrologie et transplantation rénale (CNTR) des hôpitaux universitaires de Marseille (AP-HM), sur des projets en cours et d'autres à venir et sur le projet REACTISS (pilote de dégradation par voie oxydative avancée pour l'épuration des eaux) financé par la CISAM.

Cette demande de thèse vient en complément d'une demande de projet de recherche ANR qui a été déposé sans succès cette année et qui sera déposé de nouveau en 2024. En parallèle, des demandes auprès de la fédération ECCOREV et aussi auprès du CNRS (appel à projets MITI, mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires) seront déposées pour soutenir ce projet.

De plus, dans le cadre de ce projet collaboratif, les partenaires (LCE, M2P2 et CNTR) s'engagent à participer au financement du programme de recherche à hauteur de 15-20 k€/an incluant la mise à disposition de l'ensemble du matériel présent dans les structures, à la participation au support de la thèse en termes de consommables, de réactifs...mais aussi de déplacement et participation à des congrès.

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 : WONG-WAH-CHUNG Pascal,

Corps : Professeur des Universités

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Laboratoire Chimie Environnement

Adresse mail : pascal.wong-wah-chung@univ-amu.fr

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

1/-Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Methodology approach for characterization using micro-FTIR spectroscopy, J. Yang, M. Monnot, Y. Sun, L. Asia, P. Wong-Wah-Chung, P. Doumenq, P. Moulin, Water Research 232 (2023) 119711.

2/- Hydrothermal synthesis of 3D cauliflower anatase TiO₂ and bio sourced activated carbon: adsorption and photocatalytic activity in real water matrices, E.M. El Mouchtari, L. El Mersly, O. Jhabli, H. Anane, A. Piram, S. Briche, P. Wong-Wah-Chung, S. Rafqah, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2022.

3/-Insights in the Aqueous and Adsorbed Photocatalytic Degradation of Carbamazepine by a Biosourced Composite: Kinetics, Mechanisms and DFT Calculations, E.M. El Mouchtari, L. Bahsis, L. El Mersly, H. Anane, S. Lebarillier, A. Piram, S. Briche, P. Wong-Wah-Chung, S. Rafqah, International Journal of Environmental Research, 2021, 15:135–147.

4/-Additives as a major source of radiolytic organic byproducts of polyvinyl chloride (PVC), M. Chantreux, D. Ricard, L. Asia, S. Rossignol, P. Wong-Wah-Chung, Radiation Physics and Chemistry, 2021, 188, 109671.

5/-Experimental evidence of plastic particles transfer at the water-air interface through bubble bursting, M. Masry, S. Rossignol, B. Temime Roussel, D. Bourgogne, P.-O. Bussière, B. R'mili, P. Wong-Wah-Chung, Environmental Pollution, 2021, 280, 116949

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

Nom, Prénom : El Mouchtari, El Mountassir

Intitulé : Elimination photocatalytique de polluants organiques émergents, les composés pharmaceutiques, par de nouveaux matériaux composites biosourcés en milieu aqueux

Type d'allocation : Bourse cotutelle CeDoc (Université Cadi Ayyad et AMU)

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} septembre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 19 juin 2021

Programme finançant la recherche : CeDoc

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50 %

Nom, Prénom : Chantreux, Mathilde

Intitulé : Caractérisation des produits de dégradation du PVC radiolysé présent dans les stockages de déchets nucléaires

Type d'allocation : Bourse industrielle ANDRA

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} octobre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 16 décembre 2021

Programme finançant la recherche : Projet ANDRA

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50 %

Nom, Prénom : Masry Maria

Intitulé : Étude du devenir des déchets plastiques aquatiques sous l'effet de la lumière solaire : effets des polluants organiques adsorbés, fragmentation et transfert

Type d'allocation : Bourse MESR

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} octobre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 22 mars 2022

Programme finançant la recherche : Projet ANDRA, contrats Association Surfrider Europe et Solable
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Consultante chez Synerlab
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50.%

Nom, prénom : Ibrahim Irka Chaher

Intitulé : Développement et validation d'un procédé de traitement et de valorisation de lixiviats de compost : démarche d'économie circulaire pour une plateforme de compostage

Type d'allocation : Bourse CIFRE Biotechna

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} juin 2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 2 mars 2023

Programme finançant la recherche : Société Biotechna

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50.%

Nom, Prénom : Abdel Nour Carole

Intitulé : Photodégradation des micropolluants organiques dans la microcouche de surface Marine

Type d'allocation : Bourse ANR

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} juin 2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : ANR JCJC PhotoSeaSMil

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50.%

Nom, Prénom : Elmi Adaneh Abdillahi

Intitulé : Contribution à l'étude de la contamination organique du milieu aquatique du golfe de Tadjourah, République de Djibouti

Type d'allocation : Bourse Campus France coopération France-Djibouti

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} février 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : Institut des Sciences de la Terre du CERD, Djibouti

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50.%

Nom, Prénom : Vedeau, Ian

Intitulé : Développement et optimisation de systèmes de purification domestiques pour l'amélioration de la qualité des eaux de consommation

Type d'allocation : Bourse Région Sud-Entreprise Solable

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} octobre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : société Solable

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50 %

Autre directeur proposé (éventuellement)*

–BURTEY Stéphane :

Corps : Professeur des universités Praticien Hospitalier

Adresse mail : stephane.burtey@univ-amu.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Centre de Recherche en CardioVasculaire et Nutrition (C2VN), responsable de l'équipe nouvelles cibles moléculaires endothéliales (équipe 4 du C2VN)

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

1: Bataille S, McKay N, Koppe L, Beau A, Benoit B, Bartoli M, Da Silva N, Poitevin S, Aniort J, Chermiti R, Burtey S, Dou L. Indoxyl sulfate inhibits muscle cell differentiation via Myf6/MRF4 and MYH2

downregulation. Nephrol Dial Transplant. 2023 Dec 20;39(1):103-113. doi: 10.1093/ndt/gfad123. PMID: 37349959.

2: Ebersolt M, Santana Machado T, Mallmann C, Mc-Kay N, Dou L, Bouchouareb D, Brunet P, Burtey S, Sallée M. Protein/Fiber Index Modulates Uremic Toxin Concentrations in Hemodialysis Patients. Toxins (Basel). 2022 Aug 27;14(9):589. doi: 10.3390/toxins14090589. PMID: 36136527; PMCID: PMC9502511.

3: Bataille S, Dou L, Bartoli M, Sallée M, Aniort J, Ferkak B, Chermiti R, McKay N, Da Silva N, Burtey S, Poitevin S. Mechanisms of myostatin and activin A accumulation in chronic kidney disease. Nephrol Dial Transplant. 2022 June, 23;37(7):1249-1260. doi: 10.1093/ndt/gfac136. PMID: 35333341.

4: Lano G, Sallée M, Pelletier M, Bataille S, Fraisse M, McKay N, Brunet P, Dou, L, Burtey S. Neutrophil:lymphocyte ratio correlates with the uremic toxin indoxyl sulfate and predicts the risk of death in patients on hemodialysis. Nephrol Dial Transplant. 2022 Nov 23;37(12):2528-2537. doi: 10.1093/ndt/gfab350. PMID: 35146525.

5: Makhloufi C, Crescence L, Darbousset R, McKay N, Massy ZA, Dubois C, Panicot-Dubois L, Burtey S, Poitevin S. Assessment of Thrombotic and Bleeding Tendency in Two Mouse Models of Chronic Kidney Disease: Adenine-Diet and 5/6th Nephrectomy. TH Open. 2020 Apr 16;4(2):e66-e76. doi: 10.1055/s-0040-1705138. PMID: 32309772; PMCID: PMC7162676.

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

Nom, Prénom : Pina Beltran Blanca

Intitulé : Modélisation de la thrombose veineuse profonde au cours de la maladie rénale chronique : rôle des toxines urémiques dérivés du tryptophane et de leur récepteur AhR

Type d'allocation : Pierre et Marie Curie (ITN strategy CKD)

Date de début de l'allocation de doctorat : 15 octobre 2020

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : ITN strategy CKD

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50%

Nom, Prénom : Kara Yeter

Intitulé : AhR : un nouvel acteur dans le purpura thrombotique thrombocytopenique (PTT)

Type d'allocation : Bourse ministère

Date de début de l'allocation de doctorat : 1 octobre 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : INSERM

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50%

Nom, Prénom : VALIZADEH Amir Hosein

Intitulé : DYSNATREM.IA : intelligence artificielle pour la prévention des dysnatrémies

Type d'allocation : Bourse AMIDEX

Date de début de l'allocation de doctorat : 1 octobre 2020

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : Amidex

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 25%

Nom, Prénom : LANO guillaume

Intitulé : LA N-ACETYLCYSTEINE INHIBE L'ACTIVATION DU FACTEUR TISSULAIRE ENDOTHELIAL PAR LA TOXINE UREMIQUE INDOXYL SULFATE

Type d'allocation : Bourse AMU

Date de début de l'allocation de doctorat : 1 novembre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : **27 avril 2022**

Programme finançant la recherche : SFNDT

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 100%

Nom, Prénom : CHERMITI Rania

Intitulé : Mécanismes de l'implication de MCP-1 et IL8 dans la dysfonction de fistule artérioveineuse chez les patients hémodialysés

Type d'allocation : Bourse SFNDT

Date de début de l'allocation de doctorat : 1 décembre 2020

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 1 septembre 2023

Programme finançant la recherche : SFNDT et ELSAN

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doctorat à Montpellier

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50%

Nom, Prénom : Bataille stanislas

Intitulé : Impact de l'insuffisance rénale sur l'accumulation de myostatine et la régénération musculaire : rôle de l'indoxl sulfate.

Type d'allocation : Fonds propres thèse réalisée alors que le candidat est médecin libérale

Date de début de l'allocation de doctorat : 26 septembre 2017

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : **16 décembre 2021**

Programme finançant la recherche : SFNDT et ELSAN

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50%