

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES – GRUTTEE 2024



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Session 1 : Gestion durable et enjeux socio-économiques



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



MOOC Eaux, villes et changements climatiques : un outil de sensibilisation pour l'action

Véronique Gisondi*^{†1} and Louise Millette¹

¹Polytechnique Montréal – Canada

Résumé

1. La formation, moteur d'action

1.1 La lutte à la crise climatique

L'eau est source de vie, mais aussi source de questionnements face aux dérèglements climatiques et aux autres conséquences des activités humaines. La perturbation des événements hydrologiques intensifie les impacts sur la qualité et la quantité d'eau. La pérennité de la ressource et de ses écosystèmes devient de plus en plus incertaine (1). L'implantation d'une transition socio-écologique passe par la formation. Selon les Nations Unies, la formation encourage les populations, les gouvernements et les entreprises à adopter de nouveaux comportements et à prendre des décisions en connaissance de cause (2).

1.2 L'adaptation des programmes de formation

À Polytechnique Montréal (PM), l'intégration du développement durable dans la formation est une préoccupation, depuis les premières fondations du Bureau du développement durable et sociétal (BDDS), il y a plus de vingt ans. Ainsi, la première tentative de diffusion transversale de la durabilité a été de fournir au corps enseignant des exemples concrets de l'application des principes de développement durable dans leurs différents domaines d'expertise. Au fil des ans, cette démarche s'est peaufinée avec un réseau d'accompagnement pour l'intégration de la durabilité dans les cours, déployé dans huit des neuf programmes d'ingénierie de l'université. Le travail se poursuit pour toucher un maximum de cours et d'enseignants.

Les principaux freins à l'intégration du développement durable dans les cours à PM sont liés aux besoins en ressources et en formation du corps enseignant (3). En effet, les enseignants ne se sentent pas nécessairement à l'aise avec les concepts de développement durable et leur application dans les domaines spécifiques aux cours n'est pas immédiatement perçue. Par ailleurs, des sondages ont montré que la communauté étudiante est d'avis que le développement durable représente une opportunité d'innovation en génie et demandent à ce qu'il soit davantage intégré dans leur programme d'étude (4).

Les *Massive Open Online Course (MOOC)*, des cours en ligne, gratuits et ouverts à tous, sont des moyens d'accroître l'intégration des concepts de durabilité dans les programmes de formation. Le BDDS a produit et anime deux fois par année trois *MOOC* portant sur le

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: veronique.gisondi@polymtl.ca

développement durable. Depuis 2016, plus de 23 000 personnes issues de plus de 100 pays ont suivi ces cours. Le matériel des *MOOC* est réinvesti dans certains cours et est disponible sur un site Moodle ouvert à tous les étudiants et enseignants de PM.

2. Un *MOOC* sur l'eau, agir sur sa qualité et sa quantité

2.1 Les avantages de cet outil

Le nouveau *MOOC* Eaux, villes et changements climatiques se veut un outil de sensibilisation pour toute personne s'intéressant aux enjeux de l'eau en contexte des dérèglements actuels et à venir. Cette formation aide à l'appropriation des constats scientifiques menant à des leviers d'actions communes. Le *MOOC* est construit dans un souci d'apprentissage actif et de diversité des méthodes afin de favoriser les apprentissages profonds. Ces approches pédagogiques influencent plus positivement la rétention des connaissances, notamment dans le domaine des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STIM) (5). Ainsi, une multitude de mediums et d'activités ont été développés : (i) des capsules vidéo – entrevues, études de cas, expérimentations de laboratoire et recherches vulgarisées en 180 secondes ; (ii) des courts textes – explicatifs et études de cas ; (iii) des *quiz* – sondage, exercices pendant l'apprentissage et tests vérifiant les connaissances à la fin d'un thème. Le *MOOC* peut agir comme ressource et formation pour les étudiants et les enseignants. De plus, il est modulable, c'est-à-dire qu'il peut être repris dans son intégralité ou par segments selon les contextes.

2.2 Un portrait global et des réponses

Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais dans des zones urbaines (2). L'urbanisation doit être repensée et une gestion serrée de la ressource en eau est nécessaire. De l'approvisionnement des villes en eau potable au traitement des eaux usées, ce cours répond à plusieurs questions concernant la situation en climat changeant. Par exemple, quelle est l'importance du cycle de l'eau et comment est-il modifié en ville? Quel est le rôle de l'ingénierie dans la gestion de l'eau en situation de changements climatiques? Comment quantifier les impacts sur les précipitations, les sources d'eau potable, les réseaux et l'assainissement des eaux usées? Quels sont les contaminants et les situations à surveiller de près? Puis, en regard des défis à relever, quelles pistes de solutions peuvent être envisagées pour une gestion durable de l'eau en ville? Une vingtaine de professeurs, d'étudiants et de collaborateurs de PM partagent leurs connaissances sur ces questionnements. Le *MOOC* est structuré en un cours de cinq semaines et donne matière à :

- 1) Saisir l'importance de l'eau comme élément essentiel au développement des villes et comprendre comment son cycle peut être perturbé ;
- 2) Discuter des conséquences de l'activité humaine et des changements climatiques affectant les sources d'eau potable et sa production ;
- 3) Identifier les contaminants des eaux usées et comprendre les impacts de l'activité humaine dans l'assainissement ;
- 4) Analyser les effets de la crise climatique sur les événements extrêmes ;
- 5) Proposer des adaptations à nos modes de vie et à la pratique du génie pour des villes aquaresponsables.

Références :

(1) Richardson, K. et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science advances*, 2023, 9 (37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

(2) Nations Unies. (s.d.). <https://www.un.org/fr>

(3) Bureau du développement durable et sociétal (BDDS). (2020). Sondage pour les enseignants sur le développement durable dans les cours.

(4) Association étudiante de Polytechnique (AEP). (2020). Sondage sur la présence du développement durable dans la formation au baccalauréat à Polytechnique. <https://www.aep.polymtl.ca/rapports-1>

(5) Freeman, S. et al. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. PNAS, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>

Mots-Clés: Eaux, villes, changements climatiques, formation, sensibilisation

Modélisation hydraulique compartimentale d'une zone de rejet végétalisée de grande taille

Marie-Noëlle Pons*^{1,2}, Adetunji Ojediran*³, Nicolas Maurice⁴, and Nouceiba Adouani⁴

¹Laboratoire Réactions et Génie des Procédés – Université de Lorraine, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7274 / UPR3349 – France

²Université de Lorraine, CNRS, LRGP – Université de Lorraine, CRRS – France

³Université de Lorraine, CNRS, LRGP – Université de Lorraine, CNRS – France

⁴Université de Lorraine, CNRS – Université de Lorraine, CNRS – France

Résumé

Les zones de rejets végétalisées (ZRV) sont des solutions basées sur la nature permettant de parfaire le traitement d'eaux résiduaires urbaines traitées (EUT) et/ou de traiter des rejets urbains de temps de pluie (RUTP), tout en favorisant la biodiversité végétale et animale.

C'est dans ce cadre que le projet AZHUREV a été développé, à la sortie de la station d'épuration urbaine (STEU) du Grand-Reims. La ZRV est composée de trois bassins rectangulaires de 2 ha chacun, avec une végétation composée de plantes émergées, flottantes et submergées, suivant la saison. La ZRV est alimentée soit par des EUT (10% des EUT) soit par des RUTP (25% des RUTP). C'est une ZRV pilote qui est instrumentée. Des prélèvements y sont réalisés mensuellement.

La ZRV, mise en service en 2017, est susceptible d'être agrandie, ce qui nécessite de comprendre son fonctionnement hydraulique, qui dépend de son alimentation mais aussi compte tenu de la taille des bassins, de l'exposition de ces derniers au vent. Cette modélisation doit permettre d'affiner la notion de temps de séjour dans les bassins. Pour obtenir un outil facilement utilisable une approche compartimentale est employée.

Mots-Clés: conductivité, précipitation, recirculation, vent, végétation

*Intervenant

Décrypter les pratiques et usages de l'eau et des produits contenant des biocides

Julie Gobert*^{†1,2}, José-Frédéric Deroubaix*¹, and Adèle Bressy¹

¹Ecole nationale des Ponts et Chaussées – Ministère de l'écologie de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire – France

²Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains – Ecole des Ponts ParisTech – France

Résumé

Un ensemble de gestes quotidiens (ménage, hygiène personnelle...) nous induisent quotidiennement à utiliser des produits contenant des substances biocides, qui ont des effets sur le vivant par leur transfert dans les eaux usées (1). De fait les substances biocides (destinées à lutter contre les organismes vivants nuisibles à l'être humain ou à ses activités) sont omniprésentes dans l'habitat urbain. Elles sont utilisées comme conservateurs dans les produits du quotidien (cosmétiques, détergents, peintures, textiles), comme biocides dans les matériaux de construction, ou pour lutter contre les nuisibles (2). L'être humain est donc régulièrement exposé aux biocides dans son domicile, ce qui augmente le risque, entre autres, de sensibilisation, d'induction d'une résistance aux antibiotiques ou de cancers. D'autre part, ces biocides peuvent être rejetés dans l'environnement *via* les eaux usées ou le ruissellement, avec un impact sur les écosystèmes aquatiques et terrestres, entraînant une détérioration de la qualité des ressources.

Les projets interdisciplinaires (alliant chimie, géographie, sociologie, hydrologie) Biocid@home (ANR en lien avec l'ANSES et l'INERIS) et BiocidDust (en collaboration avec le CSTB) étudient la circulation des biocides dans l'environnement domestique (de leur lieu d'achat à leur rejet dans l'environnement intérieur, les eaux et milieux récepteurs). À ce titre, les chercheurs s'intéressent à l'impact tant sanitaire qu'environnemental des produits biocides, dont les risques sont encore peu étudiés et commencent à investiguer les différentes solutions possibles pour diminuer à la source, sur le lieu d'usage, et/ou en aval, les biocides ou leur transfert.

- Méthodologie

Le projet interdisciplinaire repose sur une approche méthodologique combinant des approches quantitatives (questionnaires), des prélèvements chez les individus de poussières (3) et d'eaux grises. La réflexion et les résultats ici exposés se sont particulièrement appuyés sur une méthodologie qualitative comprenant une revue de la littérature sur le sujet des biocides et des pratiques sociales qui se structurent autour de l'usage des produits contenant des biocides. Une série d'entretiens semi-directifs a été réalisée sur la ville de Bordeaux (4). Notre objectif était de comprendre les pratiques au regard des usages liés aux produits (comment et pourquoi les produits sont-ils choisis et utilisés), comment les individus les perçoivent (leurs perceptions des risques et des bénéfices qu'ils y associent) et quelles sont les marges de manœuvre possibles vers l'utilisation d'autres types de produits plus respectueux

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: julie.gobert@enpc.fr

de l'environnement (les gouvernements des conduites et les changements des pratiques). Il s'agissait de mieux appréhender les liens entre " culture de l'eau " (5) et pratiques sociales quotidiennes, essentiellement liées à l'hygiène et à la propreté. A été par ailleurs organisé un atelier collectif au sein d'un centre social pour recueillir la parole en groupe de personnes âgées sur les questions de l'usage des produits contenant des biocides dans leur quotidien et voir comment un certain nombre de connaissances sur la toxicité était appropriée et discutée.

- Circulations et usages des biocides au sein des espaces domestiques

L'usage des substances biocides dans l'espace domestique se réalise au travers d'un ensemble de produits couramment utilisés pour l'entretien de l'espace intérieur, l'hygiène personnelle, le soin des plantes et des animaux, les travaux intérieurs. Il est intéressant de comprendre comment ses produits sont utilisés (les pratiques associées) et la perception de la toxicité/du risque que peuvent ressentir les utilisateurs. L'enquête montre dans un premier temps que le choix des produits et les façons de les utiliser sont issus de la socialisation primaire : les individus héritent de leurs parents et de leur éducation des manières de penser le propre et de l'obtenir (6,7). La socialisation secondaire qui s'effectue au travers de l'offre commerciale à laquelle les individus sont exposés, les conseils des membres de la famille ou des proches, les recommandations de médecins, les messages des médias, des réseaux sociaux ou des campagnes publiques (8) joue un rôle non négligeable, fait de compromis incessants entre les croyances propres à l'individu, ses pratiques et celles des autres. Outre ces effets de transmission à l'échelle des individus, les représentations du sale et du propre à l'échelle des sociétés (9) et sur le temps long doivent être considérées (10).

L'" efficacité " est une catégorie évoquée par une majorité d'interviewés, pour rendre compte de leurs choix de produits d'entretien. Toutefois, elle n'est pas un facteur explicatif à elle seule, car elle est liée aux résultats attendus par les individus (odeur, brillance, blancheur). Les modes d'usages des produits procèdent de bricolages personnels pour entretenir leur logement et effacer toute trace de salissure ou toute contamination, dans lesquels interviennent la régularité d'utilisation, la quantité utilisée et l'effort à fournir. Les quantités sont employées en fonction des pièces de la maison, qui ne revêtent pas toutes les mêmes représentations du sale et de la salissure.

Si les perceptions des risques sanitaires et environnementaux sont divergentes en fonction des personnes et des produits utilisés, elles se rattachent souvent à des expériences négatives (11) vécues avec certains produits impliquant le corps, comme des allergies, des irritations et des intoxications. Des stratégies de mise à distance de certains produits, potentiellement dangereux, au travers de l'utilisation d'outils comme un balai essoreur ou de gants, un rangement spécifique ou une utilisation parcimonieuse traduisent également une appréhension d'une certaine toxicité pour des produits bien particuliers. En revanche, le risque environnemental est lui peu présent dans les discours des individus, sauf pour ceux ayant été conscientisés à la problématique environnementale et ayant amorcé une démarche de transition vers l'usage de produits considérés comme moins nocifs.

De manière plus générale, la perception et la représentation des micropolluants reste très limitée (12). La question des micropolluants est saisie à travers les familles de substances qui sont pour certaines médiatisées telles que les pesticides. Plus spécifiquement, les biocides sont peu connus des individus, même si ces substances sont présentes dans de nombreux produits qu'ils utilisent au quotidien pour assurer la propreté de leur espace domestique, leur hygiène, etc. (13). Il ressort de l'ensemble de ces enquêtes que le risque associé aux pollutions de l'air intérieur, aux micropolluants et aux biocides tend à être méconnu et minimisé (14).

D'où l'enjeu de travailler et évaluer l'efficacité des politiques mises en œuvre ou à mettre en œuvre pour limiter la diffusion des substances biocides en amont de leur utilisation, pendant leur utilisation ou après leur utilisation (15) dans la mesure où elles peuvent avoir un impact sur les traitements à mettre en œuvre pour gérer les eaux usées d'une part et plus globalement demander un accompagnement dans la représentation des utilisations de l'eau à l'intérieur du ménage (en qualité, notamment).

Mots-Clés: biocides, pratiques habitant.e.s, usages des produits, culture de l'eau

Session 2 : Procédés d'adsorption



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Echantillonneurs passifs à base d'hydrogels poreux de chitosane pour l'analyse de norovirus dans les eaux usées via une adsorption-désorption

Clément Gibeaux^{*1}, Laurent Duclaux¹, Laurence Reinert¹, Dominique Fontvieille², and Doriane Delafosse²

¹Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique – France

²Abiolab-Asposan – Abiolab-Asposan – France

Résumé

1. Contexte

Les norovirus humains constituent la première cause mondiale de gastroentérites aiguës chez l'Homme. L'objectif de cette étude est de concevoir un échantillonneur passif respectueux de l'environnement capable d'adsorber les virus des eaux usées et de consommation sur un matériau poreux pour ensuite les désorber et les quantifier par analyse de leur génome qui sont réalisées postérieurement par RT-qPCR.

2. Matériaux et caractérisations

Des adsorbants à base de chitosane (CS) ont été préparés par gélification de solutions acides de CS (2-3,5% mass.) dans une solution de NaOH : (i) des hydrogels (HCS) sous forme de billes (Φ : 2,3-3 mm ; SBET : 50-70 m².g⁻¹) et films (épaisseur contrôlée 0,5 à 2 mm, SBET : 7 m².g⁻¹) ; (ii) des billes obtenues par impression ionique avec Cu²⁺ (CS-I) (SBET : 4 m².g⁻¹) et (iii) des films composites chitosane/carbone mésoporeux de diamètres de pores moyens de 10 nm à 100 nm (1) (CS/C : SBET : 60-870 m².g⁻¹). L'observation des matériaux en microscopie électronique à balayage (Figure 1) a confirmé la distribution de taille de pore (Billes HCS : $\Phi_{\text{pores}} \sim 30-50$ nm) déterminée par la méthode Barrett-Joyner-Halenda (BJH)(2). Pour l'ensemble des HCS, la valeur du point de charge nulle mesurée par zétamétrie est de 7. Elle est de 4 pour les carbones mésoporeux.

3. Adsorption et désorption des norovirus murins dans les eaux

L'adsorption et la désorption de norovirus murins (" MNV ", virus non pathogène pour l'homme, utilisé en tant que modèle des norovirus humains, $\Phi \sim 35$ nm) a été étudiée en eau saline (NaCl 0,1 mol.L⁻¹), et avec l'eau usée de la sortie d'une station d'épuration. La désorption des MNV capturés sur les billes et films HCS et composites CS/C a été étudiée à l'aide de solutions de différentes forces ioniques (3) (NaCl 0,1-4 mol.L⁻¹), en fonction du pH (7-9), de la concentration en tensioactif (Tween20 0,005-0,5%), de la température (25-60°C), du temps (0,5-4 h) et de la masse d'adsorbant (0,1-1,0 g). La dégradation en fonction du temps des HCS dans la solution de désorption ainsi que leur évolution dans l'eau de stockage

*Intervenant

à 4°C et à 25°C a été évaluée à l'aide du Carbone Organique Total (COT).

Les cinétiques d'adsorption des MNV en eau saline (C0 : 108 ug.mL⁻¹, masse matériau sec 10 mg) font apparaître, des taux d'adsorption des MNV de ~ 85% sur les billes et films HCS, ~ 27% sur les CS-I et 50-70 % sur les composites CS/C après 2 h de temps de contact. Dans tous les cas, un plateau d'équilibre tend à se former après 6 h d'adsorption.

Dans les conditions optimales de désorption, jusqu'à 91% des MNV adsorbés sur les billes HCS sont récupérés après 2h. La méthode de désorption perd en performance avec l'augmentation de la quantité de matériaux utilisée lors de l'adsorption. Cette méthode possède une efficacité variable selon le type de matériau auquel elle est appliquée, comme pour les films HCS et composites CS/C (Tableau 1). En eau usée, 7 à 13% des MNV adsorbés (90% des MNV ajoutés) sur les billes HCS sont récupérés dans des conditions de désorption similaires, indiquant que la méthode est sensible à la composition des milieux.

4. Conclusion et perspectives

Les hydrogels poreux à base de chitosane possèdent des propriétés adéquates (tailles de pores, charge de surface, surface spécifique) pour l'adsorption des norovirus murins dans les eaux. Les hydrogels uniquement composés de chitosane, sous forme de billes et films sont plus efficaces pour la capture des MNV malgré une surface spécifique inférieure à celle des composites chitosane/carbone. En adaptant les paramètres physico-chimiques d'une solution pour favoriser la désorption des MNV adsorbés en eau saline, il est possible de récupérer une importante quantité de virus (> 60%) représentative de la quantité adsorbée sur le matériau. Les performances d'adsorption et de désorption sont moindres dans les matrices aqueuses complexes que représentent les eaux usées. L'application de nos matériaux et de nos protocoles à d'autres matrices (eau de consommation, notamment) est en cours. Le portage des études en laboratoire, dans les conditions réelles d'une station d'épuration sera effectué à l'aide d'un automate, construit à cet effet, dans lequel un volume d'eau défini est échantillonné et mis en contact pendant une période déterminée avec les matériaux d'échantillonnage. L'ensemble des éléments (matériaux, protocoles opératoires, automate) a pour objectif la mise au point d'une méthode d'échantillonnage passif opérationnelle.

Mots-Clés: chitosane, hydrogel, norovirus, adsorption, désorption, échantillonneur passif

Adsorption de micropolluants organiques en réacteurs à lit fluidisé

Davin SANG^a, Tran le Kan DANG^{ab}, Sylvain GIRAUDET^a, Dominique WOLBERT^a, Jean-Yves GAUBERT^b, Nicolas CIMETIERE^a

^a*Univ Rennes, ENSCR, CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes) – UMR 6226, Rennes.*

^b*Eau du Bassin Rennais – Société Publique Locale*

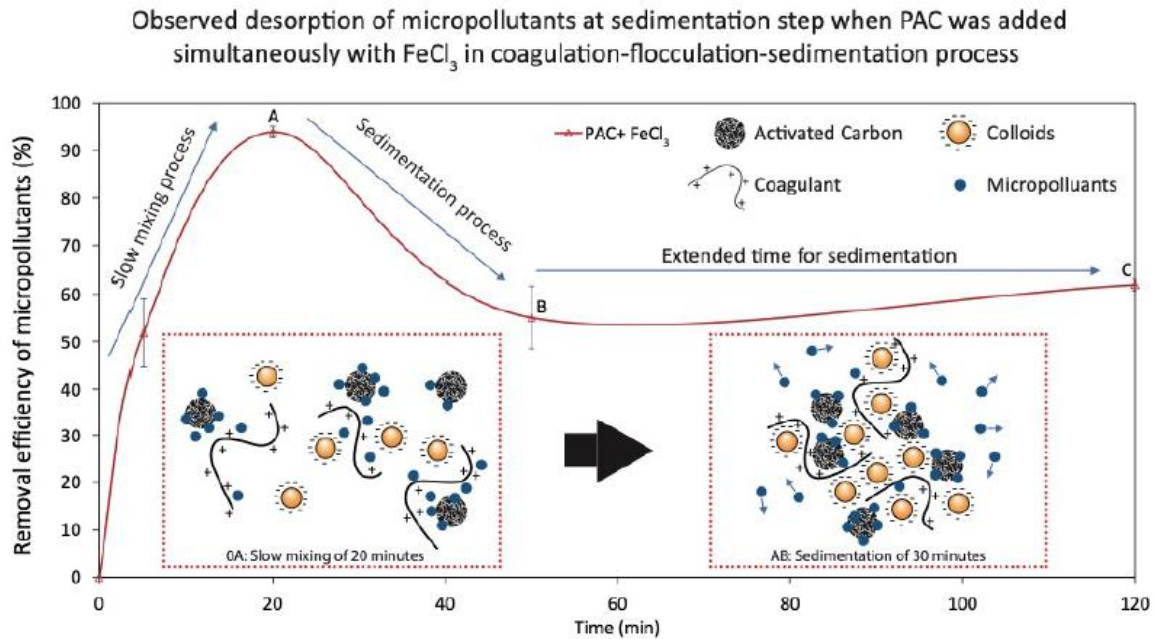
Mots-clés : Adsorption-désorption, coagulation-floculation, Micropolluants organiques, UPLC-MS/MS, lit fluidisé pulsé.

La présence de micropolluants organiques et plus particulièrement les résidus de pesticides présente un défi majeur pour la production de l'eau potable. Lorsque que les ressources sont vulnérables et/ou impactées par les micropolluants, des procédés sont généralement mis en œuvre pour atteindre les critères de potabilisation. Néanmoins, face à l'utilisation de micropolluants toujours plus polaires ou à la prise en compte des métabolites de pesticides les procédés de traitement conventionnel sont parfois insuffisants pour atteindre ces objectifs de qualité. Pour cette raison, lorsque les ressources en eaux sont jugées vulnérables aux micropolluants, ce qui est le cas de la majorité des eaux de surface, les filières de potabilisation mettent en œuvre une stratégie dite « multi-barrière » qui consiste à associer plusieurs étapes (ozonation, adsorption, traitement membranaire) en plus de l'étape de clarification afin de produire une eau de bonne qualité chimique et microbiologique malgré des fluctuations de la qualité des ressources. Parmi ces traitements, l'adsorption est un processus particulièrement efficace pour éliminer les micropolluants organiques (dont les pesticides) en raison de sa mise en œuvre relativement simple, de son faible coût et sa capacité à agir sur un large spectre de composés. Le couplage de l'adsorption par charbon actif en poudre (CAP) avec le traitement conventionnel de coagulation-floculation-sédimentation est un bon choix pour traiter la pollution de micropolluants organiques (MPO). Ce couplage permet d'éliminer les MPOs de façon économique et pratique en modifiant peu le traitement conventionnel déjà mis en place sans avoir besoin de construire de nouvelles infrastructures. D'autre part le couplage permet de moduler facilement la quantité de CAP mis en œuvre dans les ouvrages afin de faire face à des pics de pollutions ponctuelles ou des dynamiques de qualité de l'eau fluctuantes selon la météo.

Tout d'abord une méthode (SPE en ligne-UPLC-MS/MS) permettant de quantifier 15 MPO a été développée, validée et appliquée pour établir un état des lieux des différentes ressources et des eaux en cours de traitement dans différentes usines de production d'eaux potables du Bassin Rennais. Cette méthode a également été mobilisée pour le suivi des MPO lors des expériences à l'échelle du laboratoire (Jar-test).

Différents paramètres tels que la dose de coagulant et de CAP, le pH, le temps de contact et la nature/teneur en matière organique naturelle (MON) ont été expérimentés. Les résultats ont montré que l'utilisation d'un coagulant avec le CAP réduisait l'efficacité d'adsorption de l'OMP par rapport au CAP seul. L'augmentation de la dose de CAP et l'augmentation du temps de contact améliore l'efficacité d'élimination des micropolluants. À l'inverse, une forte concentration de MON affecte et entre en compétition avec l'adsorption des micropolluants. Cette étude a mis en évidence, pour la première fois, un phénomène inattendu affectant significativement l'efficacité globale : les MPO adsorbés lors de l'étape de mélange lent de coagulation-floculation sont partiellement désorbés lors de l'étape de sédimentation. La désorption observée a parfois été de plus de 30 % par rapport à l'efficacité globale d'élimination des MPO. Les

paramètres qui affectent cette perte d'efficacité sont le pH, le temps de contact, la concentration de NOM, le CAP et le dosage de FeCl_3 .



A l'issue de ces travaux réalisés à l'échelle du laboratoire, un pilote de lit fluidisé pulsé d'une capacité de traitement 5 L/h a été conçu et réalisé afin d'étudier les phénomènes d'adsorption-désorption en condition dynamique et de se rapprocher des conditions mise en œuvre dans les usines de production d'EDCH. La mise en route du pilote a été vérifiée par une expérience témoin avec l'EDCH puis suivie avec l'eau alimentant un des réacteurs Pulsazur[®] exploité par Eau du Bassin Rennais. Le pilote a montré sa performance pour l'élimination des MPO avec le taux d'élimination >97% pour tous les MPO après 10 jours, y compris pour les métabolites qui sont plus réfractaires. L'élimination des MPO dès le premier jour de fonctionnement du pilote (ce qui correspond à la phase d'agitation des essais Jar-test) est plus efficace par rapport à celle de la phase d'agitation du Jar-test. L'efficacité du pilote a aussi été montrée pour l'élimination de la turbidité à 95%. Les MON, notamment des MON avec une grande aromaticité, sont également retenues avec une élimination de 70% du COT et 61% de l'absorbance UV_{254} . En parallèle de ces essais à l'échelle pilote et en se basant sur les expériences à l'échelle du laboratoire, des ajustements (dose de CAP et de FeCl_3) ont été réalisés à l'échelle de l'usine. Les observations réalisées sur une usine d'Eau du bassin rennais corroborent les résultats obtenus à l'échelle du laboratoire et montrent qu'il est possible de réaliser une économie substantielle en adaptant les doses de réactifs.

Adaptation des filières de traitement d'eau potable à base de charbon actif face aux problématiques de métabolites de pesticides

Alexis Martin^{*†1}, Guillaume Couturier¹, Bénédicte Gerber², Gregory Boirame², Céline Durand², Patrick Candido¹, Jean Baron¹, and Laurent Moulin¹

¹Eau de Paris, DRDQE, RD laboratory, 33 Avenue Jean Jaurès, 94200, Ivry-Sur-Seine, France – Eau de Paris, eau de paris – France

²Eau de Paris, DIREP, 19 Rue Neuve Tolbiac, 75013, Paris, France – eau de paris – France

Résumé

1.Introduction

Le charbon actif est utilisé depuis l'antiquité pour la purification de l'eau et massivement pour la production d'eau potable depuis la fin du XXIème siècle mais son usage a évolué au fil des décennies (Bansal et al., 1988). C'est un adsorbant à large spectre reconnu pour sa capacité à fixer une grande fraction de molécules organiques à sa surface notamment les plus hydrophobes. Historiquement mis en place pour l'amélioration de critères organoleptiques de l'eau (des mauvais goûts et odeurs), la sécurisation vis-à-vis des pollutions aux hydrocarbures et la réduction des précurseurs de THM (issue d'une partie de la MON), son utilisation a été accrue dès les premières détections de pesticides pour atteindre une conformité avec la limite réglementaire de 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ (décret 2001-1220 du 20 décembre 2001).

Depuis les premières détections de l'atrazine dans les eaux brutes, puis de ses produits de dégradation (DEA, DEDIA, DIA, ...), le nombre de molécules retrouvées est en constante évolution (HAP, PCB, résidus médicamenteux, métabolites de type ESA du métolachlore, mézazachlore et les métabolites de la chloridazone etc...) en lien avec l'amélioration continue des capacités à détecter des molécules de plus en plus polaires. Les performances d'un procédé de traitement à base de charbon actif sont complexes à anticiper et dépendent de nombreux paramètres dont les propriétés physico-chimiques du micropolluant organique à adsorber (solubilité, polarité, poids moléculaire, hydrophobicité ...), les caractéristiques de l'eau (pH, phénomènes de compétition avec la MON ...), le procédé de mise en œuvre (temps de contact, type de réacteur, adjuvants ...) et des caractéristiques du charbon actif (granulométrie, origine et nature des matières premières, matériau, mode d'activation, réactivation ...).

Pour une mise en œuvre de charbon actif sous sa forme la plus répandue (charbon en grain en lit fixe), les problématiques émergentes se traduisent par des percées de ces nouveaux micropolluants de plus en plus précoces réduisant la durée d'utilisation de celui-ci. Les paramètres d'exploitation modifiables lors d'une filtration en lit fixe (temps de contact, nature du CAG, granulométrie) sont souvent limités par les caractéristiques des ouvrages et des contraintes

*Intervenant

†Auteur correspondant: alexis.martin@eaudeparis.fr

de production en volume. L'adaptation aux problématiques successives nécessite un changement de la fréquence de renouvellement du média à l'échelle industrielle et une stratégie renforcée de réactivation. L'autre forme de mise en œuvre du charbon actif sous forme de poudre avec une étape de clarification est plus réactive et l'efficacité est modulable avec la quantité injectée. En revanche, plusieurs facteurs sont limitants comme la quantité de boues générée, le coût et l'impossibilité de réemployer le CAP mis en œuvre dans la même filière.

Plusieurs nouvelles technologies à base de charbon actif cherchent à pallier les inconvénients de ces deux modes de mis en œuvre traditionnels. Les procédés avec lit fluidisé de charbon actif sous forme de micro-grain (CA μ G) peuvent être une alternative intéressante du fait de la possibilité de renouveler le charbon en continu et de le réactiver pour minimiser l'impact environnemental.

2. Matériels et méthodes

Dans le contexte de la détection de métabolites du chlorothalonil dans l'eau potable (R471811, R417888 ...) (Kiefer et al., 2019, 2020 ; ANSES, 2023). Eau de Paris a initié depuis 2021, des expérimentations en laboratoire et un état des lieux sur les performances des procédés de traitement existants sur ces 5 usines de traitement (CAP en décanteur, CAP couplé à l'ultrafiltration et une comparaison de performances de 3 références de CAG en lit fixe sur une eau de surface et une eau souterraine).

3. Résultats

La capacité d'adsorption du CAP pour le R471811 est très faible en comparaison d'autres métabolites de pesticides (environ 15 fois moins que pour l'atrazine par exemple) et du même ordre de grandeur que pour la famille des métabolites ESA (" Ethane Sulfonic Acid ") comme le métolachlore, flufénacet, ... Des études en laboratoire font apparaître de légères différences entre plusieurs références commerciales de CAP et suggère un impact du dosage de coagulant est mis en évidence comme dans d'autres études récentes (Sang et al., 2022). A l'échelle industrielle, une différence de performance notable de capacité a été mise en évidence entre les filières de traitement d'eaux souterraines (jusqu'à 40 ng/mg CAP) et d'eau de surface (< 10 ng/mg CAP) en lien avec la forte compétition de la MON. Le pilotage de certains procédés, notamment le couplage CAP et UF (Cristal[®], Opaline[®]) peut être basé sur l'élimination du paramètre UV254nm qui évolue en corrélation avec l'abattement du R471811.

Pour la mise en œuvre sous forme de CAG, des percées à 10% de la concentration d'alimentation sont observées très rapidement et toujours inférieures à 20 000 VLT (Volume de Lit Traité) soit environ 4 mois d'exploitation (cas le plus favorable observé). La différence de composition de l'eau se traduit par des volumes de percée qui peuvent être réduits d'un facteur compris entre 2 et 5 selon la référence de CAG choisie et systématiquement inférieurs à 10 000 BV en eau de surface (environ 2 mois d'exploitation). La concentration d'alimentation des filtres n'affecte pas les performances sur des courbes de percées normalisées.

4. Conclusions et perspectives

Les premiers constats opérationnels font état d'une très grande difficulté de traitement du métabolite du chlorothalonil R471811 sur les filières de traitement et plus particulièrement sur celles d'eau de surface utilisant du charbon actif en raison d'une forte compétition de la MON. La mise en œuvre sous format de CAG en lit fixe atteint très rapidement des limites opérationnelles en termes de fréquence de renouvellement nécessaire pour gérer de fortes concentrations. La compréhension des mécanismes de sorption sur le charbon actif dans des installations industrielles actuelles (interaction MON, FeCl₃, polymère ...) est un élément clé pour ajuster les traitements mis en œuvre quand cela est possible et préparer au mieux les solutions alternatives de demain. En parallèle, des essais sur un pilote avec lit fluidisé de CA μ G sont menés pour chercher à lever les limitations actuelles du charbon et les traitements membranaires avancés sont étudiés.

Mots-Clés: charbon actif, eau potable, métabolites, pesticides, chlorothalonil

Session 3 : Techniques alternatives et innovantes



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Development and optimisation of a pulsed light treatment for viticultural wastewater using HPLC-MS/MS and toxicity assessment approaches

François Clavero ^{1, @}, Céline Franc ^{1, @}, Gilles De Revel ^{1, @}, Christelle Clérandeau ^{2, @}, Laure Sandoval ^{3, @}, Fanny Meytraud ^{3, @}, Jérôme Cachot ^{2, @}, Remy Ghidossi ^{1, @}

¹ : Unité de Recherche Œnologie [Villenave d'Ornon] Université de Bordeaux, Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV), Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

² : Environnements et Paléoenvironnements OCéaniques

³ : Sanodev, Coupole d'Ester, 1 Av. d'Ester, 87280 Limoges

Résumé

- Introduction

Pesticides are used to protect crops against bio-aggressors (diseases, insect pests and weeds). This is directly linked to an important production of viticultural wastewater. Each year, the cleaning of the sprayers generates a volume of effluent ranging from 400,000 to 900,000 m³ contaminated with pesticides. Over the last few decades, interest in physical techniques to degrade phytosanitary products such as cold plasma, photocatalysis, photodecomposition processes have grown. Recently photodecomposition processes proved an effectiveness to degrade toxic compounds. Pulsed light (PL) is a non-thermal technology based on the accumulation of high discharge voltage in a capacitor where the stored electrical energy is delivered as intermittent short pulses through a light source filled with xenon gas. PL relies on a wide wavelength range from 200 to 1000 nm. However, research focusing on the degradation of phytosanitary products by PL (1) or UV-C (2) was carried out on few pesticides. Moreover, these experiments did not study toxicity through *in-vivo* biotoxicity assay. Therefore, the aim of this work was to investigate the PL technology as a new process for the degradation of pesticides. Twenty pesticides were chosen according to their relevance in viticulture.

- Results and discussion

2.1 Untargeted analysis by HPLC-MS/MS

The LP Box (Sanodev, Limoges, France) was used for pulsed light treatments. The total fluence H was determined by the number of flashes multiplied by the fluence per flash at a given voltage for each sample. In order to determine the impact of PL on pesticides, untargeted analyses were performed in scan mode (m/z 50 to 2000) by high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (HPLC/MS-MS, Agilent Technologies). Each pesticide was prepared in aqueous solution at a concentration of 10 mg/L, such a high concentration was chosen to ensure to observe sufficient abundances for the degradation product signals. Increased pulsed light treatments were applied. This study showed that PL was able to degrade the 20 pesticides chosen. Moreover, the formation of 75 metabolites was observed and 57 structural hypotheses were proposed using the mass-to-charge ratios (m/z) of the molecules, the isotopic distribution of the halogenated compounds as well as observations from the literature. Finally, an analytical method was created for relative quantification of the 74 photoproducts observed and absolute quantification of their 20 parent compounds.

2.2 Optimisation of PL degradation

In order to optimize the degradation of each pesticide, an experiment on a cocktail solution of the 20 compounds at a concentration of 300 $\mu\text{g/L}$ was performed at three different

voltages with increasing total fluence. These experiments showed that PL is able to degrade every compound at every voltage, which demonstrates that the wide range of wavelength (between 200 nm and 1000 nm) that PL can emit is able to interact with various compounds. However, differences of efficiency are observable between voltages. Indeed, the degradation of each compound is significantly more important as the voltage increases. The degradation constant, k , enabled to classify compounds from the most sensitive to the least sensitive one. This sensitivity seems to be family dependent. Concerning the degradation products, the evolution of the area of 74 compounds measured by HPLC-MS/MS was studied using a clustering method, with a machine learning methodology. In this experiment, the trends in the areas of the degradation products as a function of fluence and voltage were used to categorize the different compounds into 4 groups: compounds forming quickly and not degrading, compounds forming slowly and not degrading, compounds forming quickly and degrading slowly, compounds forming quickly and degrading rapidly. These results showed that PL seems to be able to degrade pesticides and their photoproducts as the fluence and the voltage increase, the modality with the higher voltage was selected for the following experiments.

2.3 Toxicity assessments

Next, a pesticide cocktail solution of 18 compounds ($300\mu\text{g/L}$ of each) was treated with the higher voltage, and four increasing fluences. Toxicity assessments were performed with Microtox® tests according to the NF EF ISO 11348. The results of these experiments showed that the inhibition curves for the different treatments fall down as fluency increases. That indicates a gradual reduction in toxicity for the bacteria *Aliivibrio fischeri* over the course of the PL treatment. This result is supported by EC10 (efficacy concentrations 10%) values which increase progressively with the treatments. This reduction in toxicity was significantly greater between the untreated sample (UT) and the sample with the highest level of treatment. The toxicity was divided by 10, with EC 10 mean value respectively equal to 7.1% and 84.3% for the UT and the higher fluence tested. This result demonstrates that the reduction of the concentrations of each pesticide enabled by PL treatment is accompanied by a gradual reduction in toxicity for *A. fischeri*.

- Conclusion

This study has demonstrated the effectiveness of PL to degrade pesticides and their photoproducts which concomitantly reduced the toxicity of a cocktail of pesticides for *A. fischeri*. However, this study needs to be continued by working on real and complex viticultural effluents and not only on artificially doped aqueous solutions. It will also be necessary evaluate the toxicity on aquatic organisms from different trophic levels in order to validate the initial results obtained on *A. fischeri*.

- References

- (1) Baranda, A. B.; Barranco, A.; de Marañón, I. M. Fast Atrazine Photodegradation in Water by Pulsed Light Technology. *Water Research* **2012**, *46* (3), 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.0>
- (2) Lassalle, Y.; Kinani, A.; Rifai, A.; Souissi, Y.; Clavaguera, C.; Bourcier, S.; Jaber, F.; Bouchonnet, S. UV-Visible Degradation of Boscalid - Structural Characterization of Photoproducts and Potential Toxicity Using *in Silico* Tests: UV-Visible Degradation of Boscalid. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2014**, *28* (10), 1153–1163. <https://doi.org/10.1002/rcm.6880>.

Mots-Clés: Pulsed light, degradation, pesticides, photoproducts, toxicity

Phytoremédiation de résidus miniers sous climat sahélien au Burkina Faso : évaluation des potentialités d' *Andropogon gayanus*

Rose Yamma ^{1, @} , Martine Diallo/kone ^{2, @} , Arsène H Yonli ^{3, @} , Adrien Wanko Ngnien ^{4, @}

1 : Rose YAMMA

2 : Martine DIALLO KONE

3 : YONLI Arsène

4 : WANKO NGNIEN Adrien

Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg

L'Exploitation Minière Artisanale (EMA) et semi-mécanisée connaît un regain au Burkina Faso avec son corollaire de pollution des sols et des eaux. La pollution chimique des sols et des ressources en eau par les micropolluants issus de l'exploitation minière constitue une grande menace pour les pays en développement en raison d'absence de traitement des déchets. L'utilisation anarchique des produits chimiques prohibés tels que Zn, Hg, CN et les acides pour l'extraction du minerai engendre une diffusion d'éléments potentiellement toxiques (EPT) à travers les rejets de boues issues du traitement dans le milieu récepteur favorisant ainsi leur mobilisation et leur dispersion dans l'environnement (Bohbot, 2018). En effet, le processus de l'EMA génère d'énormes résidus miniers en fin de traitement qui sont généralement entreposés sous forme de barrage dans l'environnement. Les dépôts de ces résidus contiennent des minéraux sulfurés qui induisent la formation de drainage acide, d'autres produits chimiques et de l'eau de traitement (Schoenberger, 2016).

Le dépôt de ces résidus à des impacts instantanés sur l'écosystème d'une part mais, d'autre part est responsable de contamination du sol et des ressources en eau par des EPT, tels que le mercure, le fer, l'arsenic, et le Zn (Fanna et al., 2018).

Pour limiter les impacts néfastes des résidus miniers sur l'environnement, cette étude se propose de tester les potentialités d' *Andropogon gayanus* plante indigène à accumuler le fer (Fe), l'Arsenic (As), le mercure (Hg) et le zinc (Zn) en situation contrôlée sous climat sahélien. Les résidus miniers utilisés sont issus du site de traitement artisanal de l'or de la commune rurale de Nimbrogro dans la région du Centre Sud du Burkina Faso.

Les résidus miniers et le minerai non traité ont été ramenés du site au laboratoire pour l'expérimentation. L'efficacité phytoremédiatrice d'*Andropogon gayanus* a été étudiée dans des pots de 30l contenant des résidus miniers ou des sols non pollués servant de témoin sur une période de 9 mois en présence de trois modalités : Tn - sol non pollué planté ; To - résidus miniers non plantés et Tp – résidus miniers plantés. Les résidus miniers étant dépourvus d'éléments substantiels pour les plantes, les pots sont trimestriellement amendés au compost afin d'apporter les nutriments nécessaires pour la survie et le développement de la plante.

L'étude a été conduite sous une serre et le taux de survie, l'accumulation des micropolluants et la croissance de *Andropogon gayanus* dans les résidus miniers ont été déterminés.

Les résultats ont montré un potentiel de *Andropogon gayanus* à accumuler le Fe, l'As, le Hg et le Zn. L'analyse des biomasses révèle que *Andropogon gayanus* accumule 3 et 2 fois plus de Fe et de Zn dans les biomasses racinaires que celles des feuilles. Les plantes cultivées dans les résidus miniers ont exporté des quantités de Fe et Zn significativement élevées. Tandis que, l'accumulation du Hg et de l'As est peu significative.

Les résultats du fractionnement des micropolluants étudiés selon la méthode BCR dans les résidus miniers montre une faible teneur de la fraction échangeable et acido-soluble du Fe (5,07mg/l) par conséquent moins disponible pour les réactions d'échange. Alors qu'il est fortement lié aux carbonates (48mg/l) et faiblement associé à des minéraux oxydes tels que l'oxyde de fer ou l'hydroxyde de fer (1, 33mg/l). La forme résiduelle est la plus importante (environ 32,45% du total).

Les résultats indiquent également que les fractions réductibles et résiduelles du Zn prédominent respectivement à 2,70mg/l et 2,33mg/l. Cependant, le Hg et l'As sont faiblement présentes. Le taux de survie, de croissance significative et de bioaccumulation du Fe, Zn, Hg et As, révèle que *Andropogon gayanus* pourrait être considéré comme une alternative prometteuse pour la phytoremédiation des résidus miniers.

Evaluation de biofloculants en terme d'efficacité et de cinétique sur une suspension argileuse

Océane Schwing*¹

¹Eau Environnement Limoges – Institut Matériaux Procédés Environnement Ouvrages – France

Résumé

1. Introduction

Les coagulants conventionnels (métalliques ou polymères synthétiques) utilisés dans les procédés de traitement des eaux et le conditionnement des boues par coagulation-floculation, sont de plus en plus remis en question à cause de leurs impacts sanitaires et environnementaux (1-3). Les polymères de synthèse, souvent à base de pétrole, sont issus d'une chimie polluante et peuvent contenir des monomères nocifs comme l'acrylamide, considéré comme potentiellement cancérigène et neurotoxique (3). Parmi les coagulants métalliques, un des plus couramment utilisés est le sulfate d'aluminium or, des études récentes soupçonnent un lien entre la présence d'aluminium et la maladie d'Alzheimer (1-3). Pour éviter les inconvénients des coagulants conventionnels et limiter leurs impacts, les recherches se tournent vers des composés organiques naturels et biodégradables, respectueux de la santé et de l'environnement (1, 2). Ces coagulants connus sous le nom de biocoagulants – biofloculants sont des polymères naturels tels que des polysaccharides *e.g.* amidon, chitine ou des composés phénoliques provenant de sources végétales, fongiques ou animales voir de microorganismes (2). Le potentiel de différents biocoagulants - biofloculants a déjà été mis en évidence lors de nombreuses études. A titre d'exemples, Frantz *et al.* (2020) (4) ont démontré que l'ajout de déchets de carapace de crevettes (200 mg/L pH 6) pour traiter des eaux de surface permettait de réduire la turbidité de 95 %. De nombreuses espèces végétales ont également été étudiées : l'*Aloe vera* (87 % de réduction de la turbidité à 0,1 mL/L de mucilage à pH 7 sur une eau de surface) (5) ; le riz -*Oryza sativa*- (64 % d'élimination de la turbidité à 19,41 mg/L d'amidon à pH 6,5 sur un effluent textile) (6) ; le margousier -*Azadirachta indica*- (83 % d'abattement à 0,3 mg/L de feuilles à pH 7,5 sur un effluent d'aquaculture) (7).

2. Matériel et méthodes

Ce travail se concentre sur la recherche de nouvelles biomolécules comme substituts aux biofloculants - biocoagulants classiquement utilisés à l'heure actuelle, en utilisant des déchets verts ou des sous-produits agricoles, dans un objectif d'économie circulaire. Pour ce faire, huit biomasses ont été sélectionnés et leurs propriétés floculantes ont été étudiées. Un criblage a été réalisé pour évaluer les effets de dose et de pH par des Jar-tests sur une eau synthétique (suspension colloïdale argileuse). L'efficacité de la coagulation et de la floculation est évaluée en mesurant l'abattement de la turbidité mais également la cinétique de sédimentation via un Turbiscan Lab (Formulaction).

3. Principaux résultats

*Intervenant

Ces expériences ont permis d'identifier trois biomasses actives comme biofloculant avec une réduction de la turbidité allant de 41 % à 63 % (à pH 5 - dose de 50 à 100 mg/L). Ces résultats sont prometteurs car leurs performances sont comparables à celles du sulfate d'aluminium (utilisé comme coagulant de référence : 76 % à pH 7 - 150 mg/L).

Des extractions ont ensuite été réalisées sur ces biomasses avec pour objectif de concentrer la fraction active et de vérifier les propriétés floculantes de cette fraction. Des protéines ont été extraites de la biomasse présentant la meilleure réduction de la turbidité. L'utilisation de ces protéines en tant que biofloculant a permis d'atteindre un pourcentage d'abattement similaire à celui obtenu avec la biomasse brute : 64 % et 63 % à pH 5 et pH 7 (1 mg/L). Si l'extraction n'a pas amélioré l'abattement de la turbidité, elle permet de travailler à un pH plus neutre et de diminuer la dose utile de biocoagulant. De plus, les vitesses et les cinétiques de décantation de la biomasse brute et de la biomasse extraite ont été déterminées. Elles étaient comprises entre les deux témoins avec des vitesses de $2,55 \cdot 10^{-4}$ et $2,62 \cdot 10^{-4}$ respectivement. Les protéines extraites permettaient ainsi une légère augmentation de la cinétique, se rapprochant de celle du coagulant de référence, le sulfate d'aluminium. Ces résultats présentent ainsi le potentiel en tant que biocoagulant - biofloculant de ces biomasses végétales et sous-produits agricoles et leur efficacité en terme de réduction de la turbidité.

Mots-Clés: biocoagulant, biofloculant, traitement de l'eau, valorisation de biomasse

Traitement des phosphates et des nitrates des eaux usées à l'aide réacteurs garnis de matériau à base de fer à valence zéro

Edgar Godet*¹, Pauline Lanet¹, Michel Baudu², and Veronique Deluchat²

¹Eau Environnement Limoges – Laboratoire PEIRENE, EA 7500, site IUT, Université de Limoges – France

²Eau Environnement Limoges – Institut Matériaux Procédés Environnement Ouvrages, Laboratoire PEIRENE, EA 7500, site IUT, Université de Limoges – France

Résumé

Les techniques disponibles pour traiter les eaux usées dans les STEU de faible capacité ne permettent pas une élimination efficace des NO₃⁻ et des PO₄³⁻. Les eaux rejetées peuvent alors contribuer à l'eutrophisation des milieux récepteurs. L'utilisation de réacteurs mettant en œuvre du ZVI, en tant que traitement tertiaire, a montré que de tels procédés permettaient de répondre à cette problématique, tout en présentant une maintenance, des coûts d'investissement et de fonctionnement réduits, et donc adaptés au contexte des STEU de moins de 2000 EH. Cependant, le nombre et la complexité des réactions physiques, chimiques et biologiques susceptibles de se développer dans ces systèmes nécessitent un approfondissement dans la compréhension des mécanismes afin de pouvoir optimiser leur fonctionnement. C'est particulièrement le cas pour le traitement des NO₃⁻, dont la réduction peut être réalisée par voie chimique ou biologique. La réduction chimique des NO₃⁻ par le fer produisant majoritairement des NH₄⁺, il faut combiner le fer à d'autres éléments (Cu, Pd, ...) pour produire préférentiellement du N₂. Les supports garnis de fer peuvent favoriser le développement de biomasses dénitrifiantes spécifiques.

Mots-Clés: eau usée, phosphates, fer à valence zéro (ZVI), STEU de faible capacité, eutrophisation

*Intervenant

Session 4 : Nouvelles méthodes d'analyse et de suivi



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Diagnostic pluridisciplinaire de la qualité des eaux de la Loire au niveau d'Orléans Métropole

Marion-Justine Capdeville*^{†1}, Antoine Lerat-Hardy^{1,2}, Karyn Le Menach², Guillaume Jubeaux³, Nathalie Tapie², Sylvie Augagneur², Patrick Pardon², Alexandra Coynel², Hélène Budzinski², Emmanuelle Oppeneau¹, Cédric Morio⁴, and Damien Granger⁵

¹LE LYRE – SUEZ – France

²Environnements et Paléoenvironnements OCéaniques – Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Université Sciences et Technologies - Bordeaux 1, Institut National des Sciences de l'Univers, Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole Pratique des Hautes Etudes – France

³BIOMAE – CARSO – France

⁴Orléans Métropole – Orléans Métropole – France

⁵SERA – SUEZ ENVIRONNEMENT (FRANCE) – France

Résumé

L'objectif du projet de recherche pluridisciplinaire AROME était de croiser différentes approches scientifiques pour évaluer la présence et l'impact d'un large nombre de micropolluants (résidus pharmaceutiques, pesticides et métabolites de pesticides, PFAS, biocides, métaux lourds et émergents) dans la Loire au niveau d'Orléans Métropole afin d'étudier l'influence d'une métropole de taille moyenne sur l'un des principaux fleuves français. Les analyses chimiques ciblées de micropolluants organiques et métalliques ont été complétées par des mesures de bioaccumulation (métaux, HAP, PCB, PFOS, quelques pesticides insecticides) dans des gammars et un test d'écotoxicité général (test d'alimentation). Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées entre juin 2022 et février 2023 lors d'un épisode d'étiage sévère et prolongé du fleuve, préfigurant les conditions dans lesquelles ce type d'étude pourrait être conduit dans les années à venir avec le changement climatique.

Les analyses chimiques ont mis en évidence la présence de micropolluants historiques (ex. cuivre, zinc, carbamazépine, paracétamol, métolachlore, AMPA, etc.) et émergents (ex. gadolinium, métabolite R471811 du chlorothalonil, certains PFAS, etc.) dans la Loire. Certains d'entre eux, provenant de l'amont du bassin versant, ont été quantifiés dès le premier point d'échantillonnage. Le test d'écotoxicité a montré un impact négatif sur les gammars dès le premier point d'échantillonnage après un rejet de STEU. En revanche, les concentrations globales en micropolluants et l'impact sur les gammars se sont révélés plus faibles à l'aval qu'à l'amont de la métropole en dépit des rejets des 4 principales STEU de l'agglomération. Ces résultats peuvent s'expliquer par un effet de dilution en lien avec la résurgence d'une eau de nappe à l'aval d'Orléans, peu avant la confluence du Loiret et de la Loire, probablement perceptible en raison de l'étiage sévère du fleuve. Les variations de la température de l'eau, le changement du profil de contamination (dilution des concentrations de certains micropolluants typiques des rejets urbains tels que l'oxazépam et le gadolinium et à l'inverse augmentation des concentrations de certains micropolluants généralement

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: marion-justine.capdeville@suez.com

retrouvés dans les nappes souterraines tels que l'atrazine, ses métabolites et le strontium) et la modification des effets sur les gammars sont venus étayer cette hypothèse. Cette étude a ainsi confirmé l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire et encourage à combiner les approches chimiques et biologiques pour une meilleure interprétation des résultats dans les études futures.

Mots-Clés: chimie analytique, écotoxicologie, micropolluants, qualité des eaux, assainissement

Mise en place d'une méthode de criblage quantitatif de contaminants organiques par LC-Q-TOF dans les eaux et approche semi-quantitative.

Eloi Marilleau^{*†1,2}, Yvan Gru², Ronan Colin², and Nicolas Cimetiere¹

¹Institut des Sciences Chimiques de Rennes – Université de Rennes, Institut National des Sciences Appliquées - Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, Institut de Chimie - CNRS Chimie, Centre National de la Recherche Scientifique – France

²Inovalys – Sans tutelles – France

Résumé

Résumé

La qualité des eaux douces (souterraines, superficielles et traitées) est un enjeu sociétal majeur à l'échelle nationale et européenne. Les acteurs publics et privés sont engagés pour maintenir des niveaux de qualité conformes aux valeurs réglementaires pour des listes de contaminants organiques définis dans le cadre du contrôle sanitaire et de la surveillance environnementale (1)(2)(3). Ces listes peuvent notamment être amenées à évoluer avec la mise en évidence de nouvelles substances (principes actifs, métabolites) ou de nouvelles informations de toxicité. Il est donc primordial de pouvoir apporter des réponses sur l'identité et la concentration de ces substances afin d'évaluer l'état de contamination de l'environnement.

Ce travail présente la mise en place d'une méthode de screening de contaminants organiques dans les eaux brutes et les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH). Elle repose sur la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (LC-HRMS) avec l'utilisation d'un LC-Q-TOF (Elute UHPLC – Impact II, Bruker). Les analyses sont réalisées en mode d'acquisition " Data Independent Analysis " ou DIA suivi d'une interrogation de bases de données fournisseur, associées à la méthode. Ces dernières contiennent les informations de temps de rétention (tR), MS et MS/MS pour plus de 1040 entrées dont 1/10ème ont pu être ajoutées en interne à Inovalys grâce aux standards analytiques disponibles. A ce jour, plus de 540 étalons sont à disposition au laboratoire permettant leur quantification. L'objectif est d'être capable d'identifier, en deux acquisitions (ionisation positive et négative) réalisables sur un seul échantillon, un maximum de polluants avec pour principales cibles les pesticides et leurs métabolites, les produits pharmaceutiques (médicaments vétérinaires et humains) et des polluants d'intérêt émergent (Per-et polyfluoroalkyles).

Afin de caractériser les performances de la méthode, les limites de détection et de quantification ont pu être déterminées pour les molécules disponibles. De plus, des essais interlaboratoires ainsi que des essais sur des eaux de surface ont été réalisés afin de voir l'applicabilité de la méthode sur des échantillons réels et d'évaluer tous les critères permettant d'assurer

*Intervenant

†Auteur correspondant: eloi.marilleau@eleves.ensc-rennes.fr

l'identité d'une molécule. Les résultats obtenus sont prometteurs avec, pour chaque essai, plus de 80 % des molécules attendues détectées et quantifiées ; les 20 % restantes sont principalement analysables en GC-MSMS. La recherche dans des bases de données a également permis d'identifier de nouvelles molécules non analysées au laboratoire par des techniques de routine (LC/GC-Triple Quadripôle).

L'absence de certains standards (indisponibilité, coûts élevés) pose la question des niveaux de confiance attribués pour l'identification des composés ainsi que leur semi-quantification, dont le principe est d'estimer la concentration du composé sur la base de son intensité de signal et de ses propriétés, sans utiliser l'étalon de référence associé (4). Des premiers essais de semi-quantification, sur la base de méthodologies existantes (4)(5), ont été réalisés sur les essais interlaboratoires. Par ailleurs, le développement de nouveaux modèles de détermination d'un potentiel d'ionisation est envisagé avec pour référence les étalons analytiques disponibles.

Références :

- (1) Directive 2000/60/CE, Journal Officiel des Communautés européennes, 2000, 73 p
- (2) Avis du 19 octobre 2019, Journal Officiel de la République Française, 2019, texte 115
- (3) Arrêté du 30 décembre 2022, Journal Officiel de la République Française, 2022, texte 170
- (4) A.Krueve, Rapid Commun Mass Spectrom, 2019, 33, 54-63
- (5) L. Malm, E. Palm, A. Souihi, M. Plassmann, J. Liigand, A. Krueve, Molecules, 2021, 26, 3524

Mots-Clés: Spectrométrie de masse haute résolution, Eaux douces, Criblage quantitatif, Contaminants organiques, Semi quantification

Enhanced membrane-based process for sensitive and highly efficient virus quantification, surveillance, and sequencing in large volumes of wastewater

Ghina El Soufi^{*1,2,3,4}, Léo Di Jorio^{1,3}, Zuzana Gerber⁵, Nicolas Cluzel⁶, Jeanne Van Assche^{1,3}, Damien Delafoy⁵, Robert Olaso⁵, Christian Daviaud⁵, Thomas Loustau^{1,3}, Christian Schwartz^{1,3}, Dominique Trebouet², Olivier Hernalsteens⁷, Vincent Marechal^{8,9}, Stéphanie Raffestin^{4,10}, Dominique Rousset^{4,10}, Carine Van Lint⁷, Jean-François Deleuze⁵, Mickael Boni^{4,11}, Olivier Rohr^{†1,3,4}, Maud Villain-Gambier², and Clémentine Wallet^{1,3,4}

¹Université de Strasbourg, UPR CNRS 9002 ARN – F-67300 Schiltigheim – France

²Université de Strasbourg, CNRS, IPHC, UMR 7178 – F-67000 Strasbourg – France

³Université de Strasbourg, IUT Louis Pasteur – F-67300 Schiltigheim – France

⁴Obépine consortium – Paris – France

⁵CEA, Centre National de Recherche en Génomique Humaine, Université Paris-Saclay – 91057 Evry – France

⁶Sorbonne Université, Maison des Modélisations Ingénieries et Technologies (SUMMIT) – 75005 Paris – France

⁷Service of Molecular Virology, Department of Molecular Biology (DBM), Université Libre de Bruxelles (ULB), Gosselies 6041 – Belgique

⁸Sorbonne Université, INSERM, Centre de Recherche Saint-Antoine – 75012, Paris – France

⁹Obépine consortium – Paris – France

¹⁰Institut Pasteur de la Guyane, 97300 Cayenne – Guyane française

¹¹French Armed Forces Biomedical Research Institute – 91220 Brétigny-sur-Orge – France

Résumé

Wastewater-based epidemiology is a rapidly evolving field, offering distinct advantages over patient-centered methods, such as enhanced cost-effectiveness, anonymity, and the ability to detect asymptomatic infections. Despite these benefits, certain technical challenges persist, notably low sensitivity in the quantification and sequencing of viral genomes in wastewater. This is particularly evident during periods of diminished viral circulation or increased rainfall. In this study, we present a cost-effective and widely applicable method tailored for routine SARS-CoV-2 monitoring in wastewater (C method). Additionally, we introduce a novel approach, the membrane-based concentration (MBC) method, designed to concentrate viruses in 500 mL of raw wastewater. Our developed MBC method demonstrates a significant enhancement in sensitivity, enabling precise quantification of SARS-CoV-2 even at extremely low concentrations. Furthermore, both the C and MBC methods render wastewater samples compatible with SARS-CoV-2 sequencing, and the quality of

*Intervenant

†Auteur correspondant: olivier.rohr@unistra.fr

the obtained sequences correlates directly with the viral genome concentration. The MBC method emerges as an efficient, sensitive, repeatable, and scalable approach for both quantifying and sequencing SARS-CoV-2 in wastewater. This marks a notable advancement in the field, addressing critical challenges and paving the way for improved wastewater-based epidemiological surveillance.

Mots-Clés: Wastewater, based epidemiology, SARS, CoV, 2 monitoring, SARS, CoV, 2 sequencing, Low, cost method, High sensitive method

Apport d'un Modèle Prédicatif dans l'optimisation des performances d'une STEP

Pierre Rousseau^{*†1} and Louis Larsen^{‡1}

¹VEOLIA – Danemark

Résumé

Les opérations traditionnelles des STEP sont confrontées à des exigences croissantes et en constante évolution, notamment une réglementation plus stricte sur les effluents (pour une meilleure protection de l'environnement et/ou pour améliorer la réutilisation des effluents), l'augmentation des coûts opérationnels (due par exemple au prix de l'énergie et des consommables) et la demande de réduction de l'empreinte carbone de l'usine (par exemple en réduisant les émissions strictes de gaz à effet de serre - GES). Dans ce contexte, l'utilisation de technologies numériques, y compris des stratégies de contrôle avancées, peut améliorer les performances des STEP avec des investissements limités dans l'infrastructure. Stentoft et al. (2021) (1) ont illustré le potentiel d'une approche de contrôle prédictif par modèle (MPC), qui a utilisé un modèle ASM (Activated Sludge Model) simplifié décrivant l'élimination de l'azote pour faire fonctionner les STEP en fonction de différents objectifs de performance. Dans cette étude, le MPC a contrôlé l'aération des STEP pour optimiser les processus de nitrification/dénitrification sur 7 usines différentes en fonction des différentes exigences en matière d'effluents et de la fluctuation des prix de l'électricité. L'évaluation des performances du MPC a été réalisée sur un modèle simplifié de STEP pendant un nombre limité de jours. Nous présentons ici :

- i) des exemples qualitatifs d'évaluation des performances du MPC par le biais d'une analyse de scénario utilisant un jumeau numérique basé sur une installation réelle ;
- ii) les résultats du MPC fonctionnant en grandeur réelle sur une petite usine (10.000 EqH) avec une boue activée à recirculation, pendant une période de plus de 24 mois. Cette étude rassemble l'expérience tirée de ces évaluations à long terme et décrit les développements futurs de cette stratégie de contrôle.

Les simulations montrent qu'il est possible de déplacer la consommation d'électricité des équipements d'aération des STEP vers des périodes où les coûts de l'électricité sont moins élevés, ce qui permet de réduire les coûts d'exploitation de 9 à 30 % (1, Stentoft et al. 2021). L'importante variation est due à de grandes différences dans les variations des prix de l'électricité, mais aussi à des différences dans les bases de référence réelles pour la comparaison. En outre, les simulations montrent que les exigences en matière d'effluents sont satisfaites à la fois dans les scénarios de référence et avec la stratégie MPC.

Sept usines ont été exploitées avec le MPC, la période d'exploitation la plus longue étant

*Intervenant

†Auteur correspondant: pierre.rousseau2@veolia.com

‡Auteur correspondant: louis.larsen@veolia.com

d'environ 24 mois (sur l'usine de traitement des eaux usées de Nørre Snede au Danemark). On constate que les exigences en matière d'effluents sont satisfaites 97 % du temps et que la stratégie est donc considérée comme sûre. Les périodes où il n'a pas été possible de satisfaire la limite en NH_4 correspondent à une période d'inhibition de la biomasse nitrifiante par un polluant toxique et des périodes d'arrivée d'eaux pluviales. Il est à noter que l'usine n'était pas non plus en mesure de respecter les limites d'effluents pendant ces types d'événements avec la stratégie de contrôle précédente.

Références :

(1) Stentoft et al. 2021

Mots-Clés: Optimisation, modèle prédictif, performance, STEP.

Session 5 : Procédés d'oxydation



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Produits de transformation de la carbamazépine générés par des procédés d'oxydation - modélisation cinétique.

Jeanne Trognon^{*†1}, Claire Albasi¹, and Jean-Marc Choubert²

¹Laboratoire de Génie Chimique – Université Toulouse III - Paul Sabatier, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National Polytechnique (Toulouse), Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5503 – France

²Réduire, valoriser, réutiliser les ressources des eaux résiduaires – Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – France

Résumé

1. Contexte

La carbamazépine (CBZ) est un médicament anticonvulsif utilisé dans le traitement de l'épilepsie, des troubles bipolaires et de la névralgie du trijumeau. Ce médicament est l'un des plus détectés dans les rejets domestiques et hospitaliers, et dans les eaux de surface, même éloignées de l'activité humaine(1). La CBZ traverse les stations d'épuration conventionnelles (abattement < 25%). D'autre part, elle est connue pour sa toxicité sur les organismes aquatiques (algues vertes, daphnies, poissons(2)). Les procédés de traitement oxydatifs sont une solution technologique pour réduire les rejets en CBZ vers l'environnement(3). Cependant, ils conduisent à de nombreux produits de transformation (PTs) aux propriétés et structures variées, mais encore mal identifiées, avec une multitude de voies réactionnelles impliquées(4). Par conséquent, le comportement des PTs est mal connu et les maîtriser est une action complexe. Grâce aux progrès réalisés pour la quantification des MPs, les prédictions des modèles numériques peuvent être utilisées pour l'évaluation des risques et la conception des procédés(5). La modélisation de ces procédés oxydatifs est actuellement en pleine évolution pour, à terme, prédire l'apparition de PTs et leurs concentrations. Ce travail vise à améliorer les connaissances sur la nature et la dynamique de la CBZ et ses PTs. L'objectif est d'identifier et de modéliser les voies de transformation de la CBZ dans divers procédés d'oxydation et d'améliorer les connaissances sur ses PTs.

2. Matériel et méthode

Ce projet est basé sur :

- une étude approfondie de la littérature de plus de 80 articles publiés entre 2000 et 2022 (concentrations, abattement, PTs), traités avec les logiciels RStudio et Gephi ;

- Le développement d'un modèle numérique développé sous Python, basé sur un bilan matière

*Intervenant

†Auteur correspondant: jeanne.trognon@toulouse-inp.fr

et des cinétiques de formation et dégradation, afin de prévoir les concentrations en PTs à partir des concentrations en CBZ mesurées et des conditions de fonctionnement. Le calage des paramètres a été réalisé à l'aide de 4 jeux de données (Tableau 1), publiés dans la littérature (photocatalyse au TiO₂, UV-Cl, et UV-H₂O₂).

3. Résultats et discussion

Plus de 100 PTs issus de la dégradation de la CBZ ont été identifiés. Ils ont des propriétés chimiques très différentes (poids moléculaire, pKa, LogD), ce qui entraîne des mécanismes de résistance à la dégradation spécifiques à chacun. À partir des données de la littérature, nous avons construit un réseau de réactions possibles. Certaines étaient communes à tous les procédés étudiés, les PT primaires qui en résultent sont considérés par conséquent de première importance. En outre, les résultats soulignent la pertinence de l'étude des PTs intermédiaires tels que l'acridine et l'acridone. En effet, la grande diversité de ces PTs ainsi que la multiplicité des réactions impliquées rendent difficile leur suivi dans le cycle de l'eau et les TP d'intérêt doivent être ciblés. De plus, la plupart des PTs issus du CBZ présentent une toxicité significative sur les organismes aquatiques soulignant l'importance d'améliorer nos connaissances sur ce micropolluant et ses TP. Concernant le modèle numérique de prévision des concentrations en PTs, nous avons conçu un modèle réactionnel unique, à priori indépendant du procédé d'oxydation, impliquant 11 PTs. Nous avons obtenu une bonne adéquation des concentrations simulées par le modèle de dégradation du CBZ avec les concentrations mesurées ($R^2 > 85\%$). La qualité des simulations varie selon les PTs ($14 < R^2 < 98\%$), très probablement en raison de la diversité des mécanismes réactionnels impliqués dans leur formation et des différences de conditions expérimentales des jeux de données disponibles. Enfin, une analyse de sensibilité a révélé certains PTs primaires clés pour la qualité du modèle : EP-CBZ, 9CHO-CBZ, 2OH-CBZ and 10OH-CBZ. Pour poursuivre le développement du modèle il est indispensable de générer des données de concentrations en PTs dans divers procédés de traitement de l'eau, ce qui reste un défi en raison du manque d'étalons internes commerciaux. Des données expérimentales sont actuellement en cours d'acquisition et pourraient être disponibles en octobre.

Références :

- (1) Wilkinson J. L., Boxall A. B. A., Kolpin D. W., Leung K. M. Y. et al. (+100) Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *PNAS*, 2022(119).
- (2) United State Environmental Protection Agency, ECOSAR Predictive Model, Last updated on August 8, 2022.
- (3) Mathon B., Coquery M., Miege C., Penru Y. and Jean-Marc Choubert J. M. Removal efficiencies and kinetic rate constants of xenobiotics by ozonation in tertiary treatment. *Water Science and Technology*, 2017 (75.12), 2727-2746.
- (4) Bonnot K., Benoit P., Mamy L., and Patureau D. Transformation of PPCPs in the environment: Review of knowledge and classification of pathways according to parent molecule structures. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2022.
- (5) Delli Compagni R., Gabrielli M., Polesel F., Turolla A., Trapp S., Vezzaro L., and Antonelli M. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*, Chapter six: Modeling tools for risk management in reclaimed wastewater reuse systems: Focus on contaminants of emerging concern (CECs), 2020.
- (6) Jelic A., Michael I., Achilleos A., Hapeshi E., Lambropoulou D., Perez S., Petrovic M., Fatta-Kassinos D. and Barcelo D. Transformation products and reaction pathways of carbamazepine during photocatalytic and sonophotocatalytic treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, 177-186
- (7) Suara M. A. and Bezares-Cruz J. C. Synergistic effect of nitrate on UV-chlorine pho-

tochemical degradation of carbamazepine. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022.

(8) Pan Y., Cheng S., Yang X., Ren J., Fang J., Shang C., Song W., Lian L., Zhang X. UV/chlorine treatment of carbamazepine: Transformation products and their formation kinetics. *Water Research*, 2017(116), 254-265.

(9) Lu G. and Hu J. Effect of alpha-hydroxy acids on transformation products formation and degradation mechanisms of carbamazepine by UV/H₂O₂ process. *Science of the Total Environment*, 2019(689), 70–78.

Mots-Clés: modélisation, produits de transformation, procédés d'oxydation avancés, carbamazépine

Ozonation et photodégradation de la carbamazépine et de l'aténolol : étude quantitative des produits de transformation

Aurélien Trivella^{*1}, Patrick Mazellier¹, Marwa Brahim¹, Karyn Le Menach²,
Marie-Hélène Dévier¹, Ian Vedeau³, and Hélène Budzinski²

¹L'équipe de Physico - Toxico Chimie de l'environnement – IUT de Bordeaux-Université de Bordeaux – France

²L'équipe de Physico - Toxico Chimie de l'environnement – Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

³L'équipe de Physico - Toxico Chimie de l'environnement – Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

Résumé

Les eaux usées sont des sources importantes avérées des micropolluants (MP) vers le milieu aquatique en lien avec la consommation des produits manufacturés. Dans le contexte général de promotion des démarches de protection de la qualité des ressources aquatiques, l'application de la directive-cadre sur l'eau, adoptée en Europe en octobre 2000 (2000/60/CE) (1), a permis de renforcer la réglementation sur le traitement des eaux usées. Bien que l'on sache que les contaminants organiques subissent des transformations dans les stations de traitement des eaux usées (STEU) (2, 3) et après leur rejet dans les compartiments aquatiques (4), très peu d'études ont été consacrées aux produits de transformation (PT) (5-7). Ainsi, il semble essentiel d'aborder la question des PT afin d'en élucider l'occurrence, la formation et le devenir tout au long du système de collecte des eaux usées jusqu'à leur entrée potentielle dans le milieu aquatique via les effluents des STEU. Les objectifs principaux de ce travail étaient d'obtenir des données sur les cinétiques de dégradation de la carbamazépine et de l'aténolol dans une eau usée (EU) sous irradiation à 254 nm et ozonation ainsi que de quantifier leurs PT disponibles au laboratoire à différents taux de conversion des composés parents. Ces travaux prennent place dans le cadre de l'ANR TRANSPRO et sont réalisés en collaboration avec l'unité de recherche REVERSAAL du Centre INRAE Lyon-Grenoble Auvergne Rhône Alpes et le Laboratoire de Génie Chimique de l'Université de Toulouse.

Mots-Clés: contaminants émergents, oxydation, produits de transformation, traitement des eaux

*Intervenant

Oxydation des micropolluants pharmaceutiques par l'acide performique seul et en couplage (UV-C/PFA et ozone/PFA)

Christelle Nabintu Kajoka^{*1}, Julien Le Roux^{†1}, Marcos Oliveira², Barbara Giroud³, Emmanuelle Vulliet³, Ghassan Chebbo¹, Johnny Gasperi⁴, and Stephan Brosillon⁵

¹Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) – École des Ponts ParisTech (ENPC), Université Paris-Est Créteil (UPEC) – France

²Direction Innovation – SIAAP-Service Public de l'Assainissement Francilien – France

³Institut des Sciences Analytiques – Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon, Institut de Chimie - CNRS Chimie, Centre National de la Recherche Scientifique – France

⁴Eau et Environnement – Université Gustave Eiffel – France

⁵Institut Européen des membranes – Institut de Chimie - CNRS Chimie, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Montpellier, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier – France

Résumé

La désinfection des eaux résiduaires urbaines (ERU) avant leur rejet dans l'environnement, ainsi que l'élimination des micropolluants organiques qu'elles contiennent, deviennent de plus en plus nécessaire pour préserver la qualité microbiologique, chimique et sanitaire de l'eau. L'interaction entre les oxydants chimiques (par exemple, le chlore, l'ozone) et les composants des ERU peut parfois conduire à la formation de sous-produits de désinfection (SPD) toxiques. Afin de limiter la formation et l'impact de ces SPD toxiques lors de la désinfection des rejets d'ERU, différents oxydants alternatifs tels que l'acide performique (PFA) ont émergé au cours de la dernière décennie.

Le PFA est un désinfectant (oxydant) émergent utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes présents dans les effluents traités d'ERU. Plusieurs installations industrielles ont été construites récemment en Europe (comme à Biarritz en France, en Italie et en Finlande, (1)), mais peu d'informations existent sur la réactivité du PFA avec les micropolluants présents dans les ERU. Une première étude réalisée à l'échelle laboratoire a mis en évidence la faible réactivité du PFA (2). Cette étude a mis en évidence la nécessité d'activer des réactions secondaire pour former un procédé d'oxydation avancé et améliorer son efficacité vis-à-vis d'un grand nombre de micropolluants.

Ce travail explore donc l'utilisation de la photolyse UV-C et de l'ozone pour activer le PFA, formant ainsi un procédé d'oxydation avancée. Afin de mieux comprendre l'impact de ces procédés d'oxydation avancée (UV-C/PFA et ozone/PFA), cette étude a examiné la dégradation de 32 micropolluants pharmaceutiques dopés dans l'ERU. La sélection de ces micropolluants pharmaceutiques s'est basée sur leur présence fréquente dans les ERU de la

*Intervenant

†Auteur correspondant: julien.le-roux@u-pec.fr

région parisienne, ainsi que sur leurs propriétés physico-chimiques distinctes.

Les résultats indiquent que les composés les plus polaires et hydrophiles (groupes 1a et 1b, Figure 1) sont plus facilement éliminés par le PFA (Figure 2), avec des abattements > 70% pour neuf molécules (ranitidine, clindamycine, céphalexine, amoxicilline, tétracycline, ciprofloxacine, roxithromycine, sulfadiazine et furosémide), indépendamment de la concentration de PFA. Ces résultats établissent donc un lien entre la réactivité du PFA et les propriétés physico-chimiques de ces composés. Dans l'ensemble, l'UV-C/PFA semble plus efficace que le PFA seul et l'ozone/PFA en termes d'abattement des micropolluants pharmaceutiques.

Deux N-oxydes (amisulpride N-oxyde et Venlafaxine N-oxyde), des produits de transformation connus pour être générés par le PFA et l'ozone, ainsi que deux autres produits de transformation (4-hydroxyphénylacétamide et acridine), ont été suivis et quantifiés au cours de cette étude. Les résultats révèlent globalement que les deux N-oxydes sont davantage produits par l'ozone/PFA (en corrélation avec les forts abattements observés de leurs molécules mères), tandis que les deux autres produits de transformation sont principalement générés par l'UV-C/PFA, même si les deux molécules mères ne sont pas très photodégradables.

En adoptant une approche globale et non ciblée en spectrométrie de masse haute résolution, permettant de prendre en compte la diversité de produits de transformation générés par les différents types de procédés d'oxydation, nous observons une tendance globale similaire pour tous les procédés en termes de composés persistants, éliminés et formés. Des analyses plus approfondies de ces données sont en cours pour identifier les différents mécanismes de réaction associés à chaque procédé.

Références :

- (1) P. Ragazzo et al., " Wastewater disinfection: long-term laboratory and full-scale studies on performic acid in comparison with peracetic acid and chlorine ", Water Research, vol. 184, p. 116169, oct. 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.116169.
- (2) C. Nabintu Kajoka et al., " Reactivity of Performic Acid with Organic and Inorganic Compounds: From Oxidation Kinetics to Reaction Pathways ", ACS EST Water, août 2023, doi: 10.1021/acsestwater.3c00279.

Mots-Clés: traitement tertiaire, peracide, produits de transformation, eau résiduaire urbaine

Session 6 : Procédés membranaires



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Elimination des micropolluants dans les STEU urbaines – Essai pilote : Traitement par nanofiltration sur fibres creuses et procédé d’oxydation avancé (UV+H₂O₂)

Remi Duvillard*¹

¹NX Filtration – Pays-Bas

Résumé

1. Contexte et Protocole expérimental

1.1 Contexte

L'étude porte sur l'élimination des micropolluants des effluents de la Station de Traitement des Eaux Usées (STEU) urbaine d'Asten, aux Pays-Bas, via l'utilisation d'une nanofiltration sur fibres creuses (HFNF) combinée à une oxydation avancée (UV+H₂O₂). Cette élimination est cruciale pour protéger les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau, ainsi que pour la réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Des essais pilotes menés par NX Filtration à Asten ont démontré l'efficacité de cette combinaison tout en évaluant les performances hydrauliques et énergétiques du procédé.

Figure 1 – Schéma simplifié du procédé de traitement tertiaire / quaternaire des effluents en sortie STEU urbaine

1.2 Procédé étudié

La filière étudiée, conçue pour traiter les effluents du clarificateur de la STEU, comprend une membrane de nanofiltration sur fibres creuses (dNF80) suivie d'un procédé d'oxydation avancée (UV+H₂O₂) (Figure 1). L'unité pilote a été développée par NX Filtration. Les fibres creuses de nanofiltration dNF80, en polyéther sulfone (PES), ont une taille de pore de 800 Daltons et utilisent un mode de filtration tangentiel de l'intérieur vers l'extérieur (Inside-out). Elles sont tolérantes au chlore et peuvent traiter des eaux chargées en matières en suspension et en matières organiques sans colmatage excessif. La nanofiltration sur fibres creuses fonctionne à une faible pression d'eau d'entrée (4-6 bar) et est entièrement automatisée, alternant le sens de filtration, utilisant des nettoyages hydrauliques et chimiques réguliers. L'objectif de cette étape membranaire est de retenir une partie des micropolluants tout en produisant une eau avec une excellente transmittance, permettant au processus d'oxydation avancée de fonctionner à une consommation énergétique très faible pour éliminer le reste des micropolluants.

1.3 Protocol expérimental

Lors de ces essais, les membranes dNF80 ont été testées avec des paramètres opérationnels

*Intervenant

fixes (vitesse tangentielle = 0,5 m/s ; rendement = 80% ; Flux = 25 lmh ; durée de filtration = 1 heure ; intervalle des nettoyages chimiques = 36-72 heures). La puissance des lampes UV ainsi que le dosage du peroxyde d'hydrogène ont été déterminés pendant les essais pour atteindre un taux d'abattement d'un minimum de 70%, sur la somme des concentrations de 19 micropolluants listés par le ministère néerlandais. Une attention particulière a été portée aux consommations énergétiques, hydrauliques et en réactifs.

2. Résultats expérimentaux

Le couplage du procédé HFNF avec celui d'UV/H₂O₂ démontre une performance constante et stable, même en présence d'événements de turbidité élevée, et permet une élimination remarquable des micropolluants organiques (MPOs) supérieure à 90 % (Figure 2). L'étape membranaire fonctionne à un rendement de 80%, avec une dose UV-C de 5000 J.m⁻² et un taux de 20 mg.L⁻¹ d'H₂O₂, la membrane HFNF parvient à réduire efficacement six types d'OMP à des niveaux indétectables. L'action de l'UV/H₂O₂ réduit les concentrations de la totalité des MPOs en dessous des limites de détection, soulignant ainsi l'efficacité synergique des deux étapes de traitement dans le processus d'élimination des MPOs.

Figure 2 – Élimination des OMP de dNF80@ 80% de rendement + AOP @5000 J/m² et 20 mg/L H₂O₂

L'étude économique et environnementale révèle une consommation énergétique du couplage HFNF + UV/H₂O₂ de l'ordre de 0.29 kWh/m³ ainsi que d'une émission de CO₂ de 0.24-0,28 kg CO₂-eq/m³ d'eau traitée. Ces résultats expérimentaux menés sur des essais longue durée et à l'échelle industrielle démontre que le couplage les membranes HFNF couplées au POA peut offrir à la fois une élimination efficace des micropolluants pour le traitement tertiaire/quaternaire des eaux usées et une solution durable pour l'environnement.

Références :

(1) S. Yaltur, M. Cuartucci, J. Gude, WTCO, 2024, BREAKTHROUGH HOLLOW FIBER NANOFILTRATION COMBINED WITH AOP FOR AFFORDABLE MICRO-POLLUTANT REMOVAL.

Mots-Clés: micropolluants, STEU, membranes, nanofiltration, UV+H₂O₂

Réutilisation d'eaux de process d'industrie agroalimentaire : qualification de filière

Mathilde Besson^{*†1}, Fanny Allayaud², Elise Blanchet², and Xavier Lefebvre¹

¹CRITT Génie des Procédés Technologies Environnementales – Institut National des Sciences Appliquées - Toulouse, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National Polytechnique (Toulouse), Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – France

²CRITT Bio-Industrie – Institut National des Sciences Appliquées - Toulouse – France

Résumé

1. Le Projet Zeus

Le projet Zeus (Zero liquid discharge, water rEUSE) a pour ambition de démontrer via une installation à échelle industrielle la faisabilité de traiter et réutiliser des eaux de procédés agroalimentaires pour un usage interne. Deux démonstrateurs basés sur des technologies membranaires sont mis en service sur le site de production de Sirops de la société Monin à Bourges. Le premier (Régécycle) traite les eaux de régénération des saumures d'adoucesseur et le second (R-Oasys) traite l'ensemble des eaux de nettoyage des cuves de fabrication de sirops. R-Oasys est composé d'une étape de microfiltration tangentielle (MFT) pour éliminer les macromolécules et ainsi protéger les membranes de l'étape de nanofiltration (NF). Une étape d'osmose inverse et de désinfection vient compléter le traitement. Cette démonstration a nécessité plusieurs années d'études et d'essais afin de valider la filière, le dimensionnement et les qualités d'eaux à réutiliser en sortie de process. Afin de multiplier les projets de réutilisation d'eau, il est nécessaire de simplifier les phases amonts et d'obtenir plus rapidement des évaluations technico-économiques des nouveaux projets.

Cette communication a pour objectif de partager la méthode de réplification de la solution R-Oasys développée dans le cadre du projet. Elle combine une méthode expérimentale de qualification de l'effluent vis-à-vis des traitements membranaires et un modèle numérique prédictif pour estimer le dimensionnement des installations et les qualités des perméats et des concentrats.

2. Développement d'une méthode de qualification de la filière

Cette méthode a été développée uniquement avec des effluents contenant majoritairement des sucres (entre 1,9 et 7 g/L) et des sels (conductivité de 500 à 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ces effluents sont issus de l'industrie de la boisson et de la préparation de produits issus de fruits. La méthode se base sur 6 échantillons de 5 entreprises différentes.

La méthode a été standardisée afin de pouvoir comparer les effluents entre eux. Les cinq étapes expérimentales présentées ci-dessous nécessitent 30 L d'effluents et une quarantaine d'heures :

*Intervenant

†Auteur correspondant: mbesson@insa-toulouse.fr

- Caractérisation des effluents avec des mesures agrégatives (pH, conductivité, turbidité, DCO totale, Brix, MES) et des mesures des différents sucres, sels et acides organiques (mesuré par HPLC et chromatographie ionique).
- Mesure du pouvoir colmatant par une cellule de filtration miniature (FlowerSep). Cette mesure permet de vérifier la nécessité de placer une microfiltration tangentielle (MFT) en tête. A noter que l'ensemble des effluents testé se sont révélés être fortement colmatant sans pouvoir identifier une molécule responsable. Les épaississants (xanthane, carraghénanes) ainsi que les pectines de fruits, les fibres de lin, les agents troublants (gomme arabique) sont cependant suspectés.
- Définition des conditions opératoires de la MFT (pression et vitesse) sur un module de laboratoire.
- Essai de production (batch) sur un pilote de laboratoire MFT (membrane tubulaire céramique) pour identifier les flux selon les facteurs de concentration volumique (FCV) et les qualités de perméat et de rétentat.
- Essai de production (batch) sur un pilote de nanofiltration (membrane organique " Zeus ") avec le perméat de MFT comme entrée pour caractériser les flux en fonction du FCV et la qualité du perméat et du rétentat.

3. Développement et utilisation d'un modèle prédictif

Les données expérimentales ont été utilisées pour créer un modèle de chaque opération unitaire. Pour la MFT, l'ensemble des essais sauf un (Ent. B) ont montré un comportement identique du flux de perméat en fonction du FCV (Figure 1A) quel que soit les concentrations en DCO ou la turbidité. La mesure du pouvoir colmatant par flowersep permet de discriminer l'effluent Ent. B avec une valeur de 109 s/m³/m³ bien inférieure aux autres (1011 s/m³/m³). L'ordre de grandeur de 1011 s/m³/m³ a été conservé comme seuil de validité du modèle. Dans le cas où le pouvoir colmatant est différent, des essais sont nécessaires pour qualifier les flux de perméat de la MFT.

La nanofiltration est modélisée grâce à la relation empirique entre la perméabilité et la différence de pression osmotique entre le concentrat et le perméat. Le calcul des pressions osmotiques (relation de Van't Hoff) dépend des rétentions de la membrane pour chaque molécule (mesurées). La réponse du modèle prédictif représentative de l'ensemble des données expérimentales est très satisfaisante (figure 1B). Ce modèle permet également de prédire les concentrations dans le perméat et le rétentat.

Figure 1 : Comparaison modèle et expériences sur la MFT (A) et la nanofiltration (B)

Cette méthode constitue un outil prédictif pertinent pour évaluer des projets de recyclage d'eaux industrielles adressés aux entreprises de l'industrie agro-alimentaire, pour des effluents contenant du sucres majoritairement et des sels. Cet outil permet d'analyser des scénarios en prenant en compte les caractéristiques propres à chaque effluent, le taux de recyclage et la qualité d'eau recyclée visés, ainsi que les effets long terme d'un recyclage d'eau sur la qualité d'eau à traiter. Cette analyse est faite à travers des réponses de pré-dimensionnement et de consommation énergétique. A terme, elle sera également associée à une évaluation environnementale.

Mots-Clés: réutilisation d'eau, industrie agroalimentaire, système membranaire, modèle prédictif

Production d'eau potable par traitement unique : nanofiltration à fibres creuses Retour d'expérience

Philippe Sauvignet*^{1,2}

¹Veolia Technical and Performance Department – Veolia Technical and Performance Department – France

²Veolia Environnement (FRANCE) – Veolia Technical and Performance Department – France

Résumé

La plupart des filières de potabilisation classiques ont du mal à s'adapter au changement climatique qui s'accompagne d'une dégradation de la qualité des eaux de surface : augmentation de la matière organique, de la turbidité, des matières en suspension, mais également une présence plus importante de métabolites de pesticides et PFAS dont les concentrations sont de plus en plus réglementées. Les objectifs de qualité d'eau sont de plus en plus difficile à atteindre avec des filières conventionnelles ayant des coûts d'exploitation de plus en plus élevés. S'accompagne à cela une demande croissante des consommateurs pour des filières de traitement moins chimiques. Toutes ces raisons exercent une pression constante poussant à l'évolution des infrastructures vers des technologies moins consommatrices en réactifs, mais tout aussi efficaces sur la réduction des micropolluants en particulier. Afin de répondre à cette problématique, des essais ont été réalisés par Veolia avec de la nanofiltration à fibres creuses (figure 1) en comparaison d'une usine d'eau potable existante composée d'un clarificateur-floculateur, d'adsorption sur charbon actif, filtre à sable et ultrafiltration. Ces essais ont eu pour but de démontrer la pertinence de cette nouvelle technologie en démontrant qu'il est possible d'obtenir une qualité d'eau produite identique, voire meilleure tout en conservant le même rendement hydraulique que celui de l'usine.

Mots-Clés: Nanofiltration fibre creuse eau potable

*Intervenant

Réduction des micropolluants par OIBP Retour d'expérience essais Saint-Fraimbault

Lola Cruz*¹, Diego Carrasco Torecilla², and Christophe Sabourdy*¹

¹OTV – OTV France – France

²Sidem – Sidem – France

Résumé

Avec l'émergence de nouveaux moyens analytiques, certaines molécules toxiques sont maintenant détectées dans les eaux potables et leur concentration devient donc réglementée. C'est le cas notamment des PFAS - où la directive du 16 décembre 2020 fixe une concentration maximale de 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ pour la somme des 20 PFAS - ou du Chlorothalonil R471811 dont la concentration ne doit pas excéder 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$. Du fait de ces normes plus restrictives, certaines usines de potabilisation n'arrivent plus à produire une eau conforme sur ces paramètres. Une solution est d'ajouter un traitement complémentaire permettant la réduction de ces micropolluants. C'est le cas du procédé d'osmose inverse basse pression BARRELTM, proposé par SIDEM. Cette présentation aura pour but de détailler les essais conjoints réalisés par SIDEM et OTV pour mettre en évidence la pertinence de l'utilisation du BARRELTM pour la réduction des micropolluants en s'appuyant sur les performances de traitement, la consommation énergétique, la consommation en réactifs, les coûts de maintenance ainsi que la capacité d'exploitation.

Mots-Clés: osmose inverse basse pression, micropolluant, eau potable, PFAS, métabolites de pesticides

*Intervenant

Session 7 : Analyse et traitements biologiques



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Optimisation des performances épuratoires des lits de séchage plantés pour la gestion des boues de vidange dans le delta de l'Ouémé (Bénin)

Jérôme Labanowski ^{1,*,@}, Baruc Kpèhouénoou Goussanou ^{2,*,@}, Martin Pépin Aina ^{2,*,@}, Leslie Mondamert ^{3,*,@}

1 : UMR 7285 IC2MP

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université de Poitiers

Bât B27 - TSA 51106 Université de Poitiers 4, rue Michel Brunet 86073 POITIERS CEDEX 9 - France

2 : Université d'Abomey-Calavi

3 : UMR 7285 IC2MP

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université de Poitiers

* : Auteur correspondant

Contexte : La gestion des boues de vidange représente un enjeu sanitaire et environnemental majeur dans les pays en développement, particulièrement dans les zones à faible revenu où l'infrastructure de traitement est insuffisante. Les lits de séchage plantés (LSP) se sont révélés depuis quelques années comme une solution prometteuse pour traiter ces boues, en combinant épuration et valorisation. Cette recherche vise à déterminer les conditions d'optimisation des performances épuratoires des LSP dans le delta de l'Ouémé, en explorant l'influence de divers macrophytes et la diversité microbienne associée.

Méthodologie : Une caractérisation exhaustive des boues de vidange a été effectuée, suivie d'une évaluation des performances de trois espèces de macrophytes dans des LSP expérimentaux. Le dispositif expérimental, composé de cubitanks de 1 m³ avec différentes couches de sable et de gravier, a permis de simuler les conditions des LSP et de tester l'efficacité des espèces végétales *Panicum maximum*, *Echinochloa pyramidalis* et *Typha domingensis* en triplicat, avec des unités témoins non plantées en parallèle. Un suivi hebdomadaire sur six mois a permis d'évaluer les taux d'élimination des polluants majeurs et l'évolution de la diversité microbienne par des méthodes de séquençage génétique avancées.

Principaux résultats : L'étude a révélé de bonnes performances des LSP, avec *P. maximum* et *E. pyramidalis* affichant les meilleurs taux d'abattement pour plusieurs polluants (Salinité : 97,9%, PO₄³⁻ : 97,7%, Pt: 98,1%, NH₄⁺: 98,7, NO₃⁻: 98,7%, NTK: 99,5%, MES: 99,9%, DCO: 99,9%). Les lits plantés de *P. maximum* (nb. une espèce qui n'avait encore jamais été testé pour le traitement de boues de vidange) ont attiré l'attention par leur capacité à réduire significativement la conductivité électrique de 13 mS/cm à 2,25 mS/cm, soulignant l'efficacité de cette plante dans la gestion de la salinité en comparaison de *E. pyramidalis* (4,73 mS/cm) et *Typha domingensis* (4,68 mS/cm). En ce qui concerne les métaux lourds, une diminution significative des concentrations a été notée, passant d'ordres de grandeurs du mg/L dans la boue brute à du ng/L dans les effluents traités, impliquant donc des taux de réductions supérieure à 99% pour Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Cd et Pb. Ces performances indiquent l'aptitude des LSP à réduire la concentration des métaux lourds à des niveaux compatibles avec une réutilisation agricole plus sûre. L'étude de la diversité microbienne a mis en évidence des variations des indices de Shannon allant de 3,53 dans le percolat des LSP non plantés à 7,63 dans les biosolides avec *E. pyramidalis*. Ce constat suggère une biodiversité plus riche dans les biosolides, particulièrement avec *E. pyramidalis*. Toutefois, le biosolid de *Panicum maximum*, malgré une diversité microbienne plus faible, a montré une efficacité supérieure dans la gestion de la salinité, suggérant une adaptation spécifique des communautés microbiennes à ces conditions.

Les résultats de cette étude soulignent l'efficacité des LSP, en particulier ceux plantés avec *P. maximum*, dans le traitement des boues de vidange, démontrant une capacité exceptionnelle à gérer la salinité et à abattre les nutriments et métaux lourds. La diversité microbienne plus faible observée dans les biosolides de *Panicum maximum* n'affecte pas négativement les performances épuratoires, suggérant que des communautés microbiennes spécialisées peuvent jouer un rôle clé dans l'efficacité de ces systèmes. Ces découvertes mettent en lumière l'importance de la sélection des espèces de plantes dans la conception des LSP pour améliorer le traitement des boues de vidange, avec un potentiel significatif pour les applications dans des contextes similaires.

Mots-Clés: Lits de séchage plantés, gestion des boues de vidange, macrophytes, diversité microbi-enne, traitement des eaux usées, *Panicum maximum*, *Echinochloa pyramidalis*

Surveillance de la résistance aux antimicrobiens dans les eaux usées sur une île des Caraïbes impactée par le tourisme

Mélanie Pimenta*¹, Christophe Dagot¹, and Marie-Cécile Ploy¹

¹Anti-infectieux : supports moléculaires des résistances et innovations thérapeutiques – Centre de Recherche Inserm – France

Résumé

1. Introduction

La résistance aux antimicrobiens (RAM) est un problème de santé publique majeur à l'échelle mondiale (1). Les voyages internationaux contribuent à la dissémination de la RAM (2). Ils constituent un facteur de risque pour l'acquisition de bactéries résistantes aux antibiotiques (BRA) et de gènes de résistance aux antibiotiques (GRA). En effet, des BRA ont été trouvées sur tous les continents, mais la fréquence des souches résistantes varie en fonction de la localisation géographique (3). Il est notamment bien établi que les GRA, tels que les gènes *bla*CTX-M ou les gènes codant pour des carbapénémases, se sont répandus dans le monde entier par l'intermédiaire des voyageurs (4,5).

La surveillance de la résistance aux antimicrobiens par l'analyse des eaux usées constitue une méthode rapide et économique pour contrôler la transmission des agents pathogènes (6). En effet, les eaux usées urbaines reflètent en partie les caractéristiques du microbiote intestinal humain, influençant ainsi la composition du résistome dans ces effluents (7). Par conséquent, la surveillance des eaux usées apparaît comme une approche essentielle, dans laquelle des biomarqueurs d'intérêt sont évalués en collectant des échantillons d'eaux usées, en particulier les influents reçus dans les stations de traitement des eaux usées (STEU), fournissant ainsi des informations sur la santé de la communauté. La surveillance des eaux usées a été largement utilisée pendant la pandémie de COVID-19 pour surveiller la circulation du virus SARS-CoV-2 dans les communautés, et elle est maintenant utilisée pour surveiller les bactéries et la RAM (8-10). Il a également été suggéré que la dynamique d'acquisition de la RAM pouvait être suivie par les vols intercontinentaux (6).

Mais aucune étude ne s'est concentrée spécifiquement sur l'impact des activités touristiques dans une zone géographique spécifique. Cette étude visait donc à évaluer la propagation de la RAM sur une île française des Caraïbes, la Guadeloupe, impactée par le tourisme grâce à l'analyse du résistome, du microbiome et de l'exposome.

2. Approche expérimentale

Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées en Guadeloupe, une première en saison sèche en janvier 2022 et la deuxième en saison humide en juillet 2022 pendant trois semaines

*Intervenant

consécutives. Les prélèvements ont été réalisés dans le contenu des toilettes d'avions (AT), provenant principalement de France métropolitaine, à raison de 5 avions par semaine pendant 3 semaines dans chaque campagne. Des échantillons ont également été collectés au niveau de deux villes ayant des activités touristiques différentes : la ville du Lamentin, rurale et peu touristique, et la ville du Gosier, une des destinations touristiques les plus importantes de Guadeloupe. Des échantillons ont été collectés en entrée de la STEU du Lamentin (LT) recevant uniquement des eaux usées urbaines, au niveau du poste de refoulement du Gosier (PSH) recevant les eaux usées des hôtels et en entrée de la STEU du Gosier (HT) recevant les eaux de ce PSH.

Sur ces échantillons l'analyse de l'exposome, défini comme les composés présents dans l'environnement auxquels sont exposées les bactéries et pouvant avoir une influence sur la RAM et sa dissémination, a été réalisée. L'analyse du microbiome par séquençage du gène codant l'ARNr 16S et du résistome par Fluidigm PCR ont aussi été effectuées.

3. Résultats

Les données ont montré une abondance relative et des signatures distinctes des résistomes et microbiomes, principalement entre les échantillons des toilettes d'avions et les autres sites. Les gènes de résistance à la tétracycline, en particulier *tetM*, contribuaient majoritairement au résistome des échantillons provenant des toilettes d'avions. Des gènes d'intérêt clinique (*bla*NDM, *bla*KPC et *mcr-1*) n'ont pas été trouvés dans les échantillons de toilettes d'avions alors qu'ils étaient présents dans les autres sites échantillonnés, ne semblant donc pas être importé par les passagers des avions.

Globalement, nous n'avons pas observé de changement perceptible dans la résistance sur cette île, dans l'apport transatlantique de GRA ou de BRA associées aux passagers. Cela peut être lié aux contraintes spatiales de l'étude et à la faible diversité entre la population de la France métropolitaine et celle de la Guadeloupe. Nos résultats révèlent que l'analyse seule des toilettes des avions pourrait ne pas être suffisante pour une surveillance efficace de la propagation de la RAM par les voyages et que les lieux de rassemblement, tels que les hôtels, peuvent fournir une meilleure image de la dynamique de transmission de la RAM par les voyageurs.

Mots-Clés: Résistance aux antibiotiques, eaux usées, surveillance, Guadeloupe, tourisme

Suivi des communautés bactériennes d'un réseau de distribution d'eau potable et influence des paramètres de distribution

Océane Nicolitch^{*†1}, Sophie Courtois², Carina Carvalhais Sanches², Cécile Darchy², Philippe Piriou³, Catherine Giorni⁴, Jean-François Loret¹, Samuel Robert¹, Patrick Chevalier⁵, and Karl Glucina⁵

¹Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement [Suez] – SUEZ – France

²Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement [Suez] – SUEZ – France

³Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement [Suez] – SUEZ – France

⁴Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement [Suez] – SUEZ – France

⁵Suez Eau France – SUEZ – France

Résumé

1. Introduction

Alors que la chloration est la méthode la plus couramment utilisée pour maintenir la qualité microbiologique de l'eau dans les systèmes de distribution d'eau potable, un nombre croissant de pays Européens se tournent vers des méthodes alternatives. En effet, la dégradation des propriétés organoleptiques de l'eau, associée à la génération de sous-produits de désinfection cancérigènes représentent respectivement une cause de non-satisfaction de l'eau potable et un enjeu de santé publique. Si les dynamiques microbiennes dans les réseaux chlorés ont déjà été explorées, il est impératif de mieux comprendre celles des réseaux non chlorés afin d'assurer la biostabilité de l'eau potable et de prévenir toute résurgence de pathogènes (1), (2).

Les microorganismes étant très sensibles à leurs conditions environnementales, évaluer l'impact du chlore dans les réseaux de distribution d'eau potable reste complexe. En effet, de nombreux facteurs confondant jouent un rôle fondamental dans la structuration des communautés microbiennes, tels que les profils saisonniers de température, la composition en nutriments de la ressource en eau et les matériaux composant les canalisations (3). Par ailleurs, la plupart des microorganismes de l'eau sont présents sous forme de biofilms colonisant les surfaces intérieures des canalisations du réseau. Ces biofilms présentent une résistance accrue aux changements environnementaux et peuvent subsister pendant de longues périodes. Ils peuvent également servir de réservoir à des pathogènes opportunistes, demeurant indétectables dans l'eau potable, avant de contaminer à nouveau la source (4).

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet des paramètres de distribution dont la déchloration sur la stabilité des communautés microbiennes de l'eau et des biofilms en réseau de distribution, en fonction des saisons.

*Intervenant

†Auteur correspondant: oceane.nicolitch@suez.com

2. Matériels et méthodes

Pendant 24 mois, un réseau de distribution d'eau potable a été scindé en deux zones distinctes : une zone entièrement déchlorée grâce à l'utilisation d'un filtre à charbon actif et une zone miroir traitée à une concentration de 0,40 mg/L de chlore libre en sortie d'usine. Cet essai a permis de se placer en conditions idéales pour limiter les facteurs confondants puisque les points d'échantillonnage étaient situés dans la même zone géographique, sur une même période d'échantillonnage, l'eau provenait d'une même ressource d'eau de surface et d'une même usine de traitement.

Sur chaque zone d'étude, des pièges à biofilm ont été installés sur deux points de prélèvement afin de couvrir des temps de séjour similaires : un à la sortie de l'usine ou juste après l'unité de déchloration et l'autre à environ 50h de temps de séjour sur le réseau. Au total, 63 échantillons d'eau et de biofilms ont été prélevés aux mêmes endroits sur les deux zones miroir en couvrant plusieurs saisons. La composition et la diversité des communautés microbiennes des eaux et des biofilms ont été caractérisées par séquençage Illumina du gène d'ARNr 16S. Les pathogènes opportunistes les plus communément retrouvés en eau potable ont également été quantifiés par PCR quantitative, tels que *Aeromonas spp.*, *Legionella spp.*, *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium spp.*, *Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis* et *Pseudomonas aeruginosa*.

3. Résultats

Les résultats de cette étude ont démontré une restructuration importante des communautés microbiennes des réseaux de distribution à la suite de la déchloration. La diversité microbienne était significativement réduite dans l'eau et les biofilms formés en absence d'un résiduel de chlore, notamment en raison de l'émergence de genres pionniers dans la colonisation des biofilms, tels que *Variovorax* ou *Polaromonas*. En revanche, le réseau chloré était caractérisé par une diversité microbienne plus élevée à cause d'une plus forte proportion d'espèces rares.

Selon les points d'échantillonnage, les bactéries planctoniques présentes dans les échantillons appartiennent aux mêmes groupes taxonomiques que les bactéries du biofilm mais avec des abondances relatives différentes. La composition bactérienne globale était principalement influencée par la présence ou absence de chlore, mais d'autres facteurs comme le type d'échantillon (biofilm/eau), le temps de séjour et la saison ont également été identifiés comme facteurs structurants. Les *Proteobacteria* (Alpha- et Gamma-) ont été identifiés comme phylum dominant sur la plupart des échantillons. Leur proportion était cependant plus faible dans le réseau chloré, avec une émergence de plusieurs autres phyla tels que les *Firmicutes*, *Cyanobacteria* ou *Bacteroidota*. Dans le réseau chloré, les genres bactériens résistants aux conditions de stress étaient plus abondants, tels que *Sphingopyxis*, de même que ceux potentiellement impliqués dans la résistance aux biocides/antibiotiques (*Brevundimonas*) ou contenant potentiellement des espèces pathogènes tels que *Legionella*. Cependant aucune espèce pathogène n'a été détectée par PCR quantitative dans les échantillons d'eau (limite de détection des analyses de 200 copies génome/L) quelle que soit la condition de distribution considérée.

4. Conclusion

La stabilité biologique de l'eau potable pouvant être définie par l'absence de changement des concentrations et compositions des communautés microbiennes durant son transport jusqu'au robinet du consommateur (5), ces résultats montrent que l'utilisation de nouveaux outils basés sur le séquençage à haut débit permet d'évaluer l'impact des conditions de distribution sur la qualité et la stabilité microbiologique de l'eau.

Références :

(1) Y. Perrin, D. Bouchon, V. Delafont, L. Moulin, and Y. Héchar, Water Research, 2019, vol. 149, p. 375–385.

- (2) A. Ren, M. Yao, J. Fang, Jiaxing, Z. Dai, X. Li, W. van der Meer, G. Medema, JB. Rose and G. Liu, *Environment International*, 2024, vol. 185, p. 108538.
- (3) S. Potgieter, A. Pinto, M. Sigudu, H. du Preez, E. Ncube, and S. Venter, *Water Research*, 2021, vol. 139, p. 406–419.
- (4) T. Rosenqvist, M. Danielsson, C. Schleich, J. Ahlinder, B. Brindefalk, K. Pullerits, I. Dacklin, EN. Salomonsson, D. Sundell, M. Forsman, A. Keucken, P. Rådström and CJ. Paul, *Clean water*, 2023, vol. 41, p. 1-12.
- (5) E. I. Prest, F. Hammes, M. C. M. van Loosdrecht, and J. S. Vrouwenvelder, *Frontiers in Microbiology*, 2016, vol. 7, p. 1–24.

Mots-Clés: métagénomique, eau potable, biofilm, eau sans chlore, pathogènes opportunistes

Screening of enzymatic activities for the bioremediation of antibiotic pollution

Giulia Panzironi^{*1,2}, Karima Staita^{2,3}, Imen Akrou^{2,3}, Julien Lambert², Annick Doan², Emmanuel Bertrand¹, Anne Lomascolo², Carmelinda Savino⁴, Tahar Mechichi³, Jean-Henry Ferrasse¹, Eric Record², Cristian Barca¹, and Giuliano Sciara^{†2}

¹Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7340 / UMR6181, Ecole Centrale de Marseille, Aix Marseille Université, Centre National de la Recherche Scientifique – France

²Biodiversité et Biotechnologie Fongiques – Aix Marseille Université, Ecole Centrale de Marseille, Institut National de Recherche pour l’Agriculture, l’Alimentation et l’Environnement – France

³École Nationale d’Ingénieurs de Sfax — National School of Engineers of Sfax – Tunisie

⁴CNR Istituto di Biologia e Patologia Molecolari [Roma] – Italie

Résumé

1. Antibiotic pollution: a major threat to environment and health

Antibiotics (ABs) are widely used to treat humans and animals, being one of the most prescribed group of pharmaceutical products worldwide (1). Their global consumption is estimated to increase by 67% by 2030 (2). In addition to their therapeutic use in human medicine, ABs are extensively employed for the treatment and prevention of animal diseases in aquaculture and livestock farming, indeed almost 80 % of all ABs sold in the United States are used in animal husbandry and aquaculture (3). The mechanisms of AB release as pollutants into the environment are diverse: they can reach soils and water reservoirs, through agricultural and farming activities, irrigation with reclaimed wastewater or fertilizers from manure (4). Indeed, manure from livestock can contain 30-90% of the AB assumed from animals, excreted in its unchanged molecular form in faeces and urine (3). ABs rank as the second most prevalent category of pharmaceuticals detected in wastewater globally and the causes of their entering aquatic systems is the discharge of effluents from households, hospitals, and pharmaceutical factories(5). To date, ABs are not completely treated in wastewater treatment plants (1). Due to their low biodegradability, ABs released into the environment accumulate in environmental matrices and even at low concentrations they have harmful effects, as the biodiversity of indigenous microbial communities is negatively affected. More importantly, bacteria from these communities can develop AB resistance genes that can in turn be acquired by other microorganisms, up to animal and human pathogens. The World Health Organisation (WHO) classifies AB resistance as one of the greatest threats to human health in the 21st century, expected to lead to increased mortality and up to 10 million annual deaths by 2050 (6). Therefore, it is necessary to find a way to degrade ABs before they are released into the environment.

2. Systematic screening of laccase-mediated transformation of antibiotics

Biological processes using enzymes as biocatalysts are promising for the treatment of AB

*Intervenant

†Auteur correspondant: giuliano.sciara@inrae.fr

pollution, as they replace hazardous synthetic chemical catalysts, they operate under mild process conditions and the specificity of enzymes towards their substrate minimises the occurrence of unwanted side reactions and toxic products (7). Studies at the laboratory scale show the effectiveness of using fungi and enzymes for the bioremediation of antibiotics (8,7), nevertheless, the development of biocatalysts for bioremediation of AB pollution is still in its infancy. Central to our approach is the utilization of enzymes, particularly fungal laccases with high redox potential and low substrate specificity. Their ability to use atmospheric oxygen as the electron acceptor and the greater ability to be produced by fungi than bacteria and yeasts make them a promising option for bioremediation (9). Within the frame of the EU-PRIMA project "FUNZYbio", our aim is to study the feasibility of AB depletion by laccases and other enzymes to select one or more enzymes able to transform ABs in products with a reduced antimicrobial activity. This project is part of the PRIMA Programme supported by the European Union.

In this study, a systematic screening is conducted to evaluate the efficacy of ten laccases, both purified and from the supernatant of fungal cultures, in the transformation of nine different classes of ABs. We have set up an original protocol to quickly determine, in a high-throughput format, the transformation of AB molecules as the result of a biocatalysed reaction. For ABs that possess a UV-Vis spectrum, we were able to measure spectral changes, through spectrophotometric measurements in which the AB is the chromophore, as shown in Figure 1.

For chosen ABs, including those lacking UV-Vis features, AB transformation is assessed instead by more classical techniques, such as high-performance liquid chromatography (HPLC), eventually coupled to mass spectroscopy. Finally, we assessed the residual antimicrobial activity of biotransformed ABs, measuring bacterial mortality. To achieve this, we developed original antibiogram assays that allow us to screen up to 16 conditions in parallel, with an important gain in experimental time and used reagents. Our results are the prerequisite to identify efficient enzymes for AB bioremediation. They also suggest that the AB laccase-dependent transformations reported to date might often depend on contaminants contained in microbial supernatants or in commercial enzyme formulations, rather than on enzymatic activity only. These conclusions highlight the importance to keep a critical view on experimental approaches and on literature reports, to carefully discriminate between enzymatic activities and the effect of mediators and other promoters, present as enzyme contaminants. This knowledge is key to assess the real potential of enzyme technologies for bioremediation, and to pave the way to the successful design of AB-degrading reactors, while suggesting that the use of laccase mediators should in general be taken into consideration.

Mots-Clés: Antibiotics, Laccases, Antimicrobial activity, Enzymatic treatment, Biocatalysts

**Guide CEFACOR - Circuits de refroidissement semi-ouverts -
Prévention de la corrosion, de l'entartrage et des développements bactériens
par le suivi du pouvoir entartrant/encrassant d'un circuit en fonction de
l'économie d'eau**

T. LOURTEAU¹, J. LÉDION^{1,2}

*¹ Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris
11 rue Pierre et Marie Curie; 75005 PARIS*

*^{1,2} Cefracor
28, rue Saint-Dominique; 75007 PARIS*

Auteur correspondant : tony.lourteau@chimieparistech.psl.eu

Mots-clés : entartrage, suivi, circuit, eau, guide.

1. Résumé

La problématique des dépôts dus aux eaux (tartre, corrosion, biofilm, ...) représente un enjeu sociétal. Ils diminuent la durée de vie des installations, ce qui accroît le coût d'entretien. Ils peuvent également accroître la consommation énergétique et augmenter le risque sanitaire (développement de biofilm, ...).

Divers fournisseurs de traitement (Odyssee Environnement, BWT, Kurita, ...) proposent des solutions, pouvant être moins impactantes, que ce soit en termes de qualité des rejets, de présence de composés indésirables ou de consommation d'eau. La tension hydrique actuelle et à venir, impose une réduction massive de la consommation en eau, quel que soit le domaine (industriel, public, agriculture, ...).

Or, si le volume d'eau perdue (évaporation, purge, fuite) d'un site industriel est réduit, le facteur de concentration de l'eau utilisée croît. Cela peut amener à une augmentation du risque de corrosion et du risque d'encrassement (biofilm, entartrage, dépôts de boue, ...). Pour prévenir cela, le Guide du CEFACOR préconise l'emploi d'un système de mesure en continu (microbalance à quartz) ou à minima de tubes pré-entartrés permettant des mesures ponctuelles de l'état du réseau d'eau.

Pour illustrer cela, nous nous appuyerons sur des essais réalisés en laboratoire ainsi que sur des essais effectués en pilot semi-industriel. Ainsi, nous avons évalué l'intérêt de la microbalance à quartz en ajustant différents paramètres de l'eau (sursaturation, origine, minéralisation). Tant qu'aux tubes pré-entartrés, une étude en laboratoire suivi d'une étude sur un pilot semi-industriel d'un distributeur d'eau potable, ont pu être réalisés. Les eaux utilisées étaient une eau distribuée ainsi que des rejets de concentrats d'osmose inverse. Les tubes pré-entartrés ont permis d'évaluer différentes typologies de traitement (traitement pétrochimiques et verts, traitement chimique et physiques, ...).

Session 8 : Ressources en eau



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Characterization of Pyrogenic Dissolved Organic Matter Produced from Plants and Soil by UV/Fluorescence

Jingyi Zeng ^{1,*}, Kathleen Murphy ^{2,3}, Jean-Philippe Croue ⁴

1 : Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers [UMR 7285]

Université de Poitiers = University of Poitiers, Institut National des Sciences de l'Univers, Institut de Chimie - CNRS Chimie, Centre National de la Recherche Scientifique

2 : Division of Water Resources Engineering, Lund University, 223-63 Lund, Sweden

3 : Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology, 412-96 Gothenburg

4 : Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers [UMR 7285]

Université de Poitiers = University of Poitiers, Institut National des Sciences de l'Univers, Institut de Chimie - CNRS Chimie, Centre National de la Recherche Scientifique

* : Auteur correspondant

Résumé

Abstract

Forest watersheds are a principal water source contributed more than one-thirds of drinking water supply around the world (1). However, the frequent wildfires modify the forest water quality and increase the burden on drinking water production to treat polluted natural water. Water quality consequences in burned watersheds are varied by wildfire behavior (2) (e.g., severity, intensity), and physical and hydrologic components of watersheds (3). High-severity wildfires burn most vegetation and soil organic layers, and significantly affect the runoff response and alter watershed processes; while low-severity wildfires combust only few overstory plants and minimally change watershed conditions (3, 4). Whatever the burn severity, combustion residues (i.e., ashes) are produced and their composition is related to burned severity and fuel material type. Significant amounts of soluble mineral and organic compounds from ashes (e.g., nutrients, heavy metals and dissolved organic matter (DOM)) (5) are delivered to watersheds after fires. In particular, changes in the quantity and composition of DOM can influence water treatment performance and eventually poses public health risks through the formation of disinfection by-products in potable water. Therefore, fuel materials and burn severity both impact the composition and concentration of DOM in the burned watersheds.

In this study, the influence of combustion temperature and vegetation types during prescribe burns on the quality of ash-water extracts were investigated. We burned different types of vegetation branches containing tall trees (oak (*quercus petraea*) and pine (*pinus maritima*)) and short bushes (heather (*erica scoparia*), fern (*pteridium aquilinum*) and gorse (*ulex minor*)) under different burning temperatures (unburned, 250, 550, and 800 °C) in two furnaces (Muffle and Tube furnace), and leached the ashes with ultrapure water to simulate the burned severity and runoff impacts after real forest fires. The recovered waters from unburnt and burnt vegetations were filtered through 0.7 mm glass fiber membrane and subjected to a series of analyses (e.g., DOC, anions, pH, conductivity, UV absorbance at 254 nm). Meanwhile, using UV/Fluorescence to preliminarily characterize the optical properties of DOM.

The mass loss of vegetations under high temperature (≥ 550 °C) were higher than low temperature. There were differences in mass loss percentage between different vegetations under the same temperature as dwarf bushes have thinner branches and more leaves than trees, making them easier to burn. The DOC yield of water extracts decreased after combustion except for pine and oak burned at 250 °C, since only their surfaces were burned and organic carbon was increased. With increasing combustion temperature, the pH of pine and oak ash leachates decreased and then increased because the main component of ash was organic carbon leading to decreasing the pH value at low temperature of combustion (< 450 °C) (6, 7); other ash-water extracts had a similar frequency of pH increase after burning as

more organic carbon converted to inorganic ions which elevated the pH. Conductivity and concentration of major anions increased after fires, indicating that fires facilitated organics transfer to inorganic ions from the vegetations. What's Interestingly that SUVA of gorse ash leachates was increased after combustion compared to the other vegetation leachates. Additionally, PARAFAC modeling was performed on Fluorescence Excitation Emission Matrix (FEEM) data using MATLAB (8) to characterize the DOM of all leachates, and each component model was identified by matching the fluorescence spectra of components from previous studies in the OpenFluor database (9). Humic-like, fulvic-like, and protein-like substances were occurred in both unburned vegetations and ashes leachates, while salicylic acid was only appeared in extracts from burned plants. Comparison of the relative abundance of the 9 fluorophores of the produced leachates will be discussed.

Our study indicates prescribed fire with a range of burn severity reduce biomass and alter the characteristics of DOM, which is relevant to the formation of DBPs in drinking water sources.

Références :

- (1) H. Uzun, R. A. Dahlgren, C. Olivares, et al. Two years of post-wildfire impacts on dissolved organic matter, nitrogen, and precursors of disinfection by-products in California stream waters (J). *Water Research*, 2020, 181: 115891.
- (2) S. J. Fischer, T. S. Fegel, P. J. Wilkerson, et al. Fluorescence and Absorbance Indices for Dissolved Organic Matter from Wildfire Ash and Burned Watersheds (J). *ACS ES&T Water*, 2023, 3(8): 2199-2209.
- (3) A. K. Hohner, C. C. Rhoades, P. Wilkerson, et al. Wildfires Alter Forest Watersheds and Threaten Drinking Water Quality (J). *Accounts of Chemical Research*, 2019, 52(5): 1234-1244.
- (4) J. E. Keeley. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage (J). *International Journal of Wildland Fire*, 2009, 18(1): 116-126.
- (5) H. Chen, M. S. Ersan, N. Tolic, et al. Chemical characterization of dissolved organic matter as disinfection byproduct precursors by UV/fluorescence and ESI FT-ICR MS after smoldering combustion of leaf needles and woody trunks of pine (*Pinus jeffreyi*) (J). *Water Research*, 2022, 209: 117962.
- (6) O. D. Raelison, R. Valenca, A. Lee, et al. Wildfire impacts on surface water quality parameters: Cause of data variability and reporting needs (J). *Environmental Pollution*, 2023, 317: 120713.
- (7) M. B. Bodí, D. A. Martin, V. N. Balfour, et al. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects (J). *Earth-Science Reviews*, 2014, 130: 103-127.
- (8) K. R. Murphy, C. A. Stedmon, D. Graeber, et al. Fluorescence spectroscopy and multiway techniques. PARAFAC (J). *Analytical Methods*, 2013, 5(23): 6557-6566.
- (9) K. R. Murphy, C. A. Stedmon, P. Wenig, et al. OpenFluor– an online spectral library of auto-fluorescence by organic compounds in the environment (J). *Analytical Methods*, 2014, 6(3): 658-661.

Mots-Clés: Wildfire, Water Quality, UV Absorbance, Fluorescence, Dissolved Organic Matter

Impact of Ionic Strength and Natural Organic Matter on the Deposition Behavior of Polystyrene Nanoplastics: A QCM-D Study

Yutong Zhang^{*1,2}, Jean-Philippe Croue³, Leonard Gutierrez⁴, and Marc Benedetti⁵

¹Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers – Université de Poitiers, Institut National des Sciences de l'Univers, Institut de Chimie du CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Chimie du CNRS : UMR7285, Université de Poitiers : UMR7285, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7285, Institut National des Sciences de l'Univers : UMR7285 – France

²Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) – CNRS : UMR7154 – France

³Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers – UMR7262 CNRS Université de Poitiers – France

⁴Particle and Interfacial Technology group (PaInT) – Belgique

⁵Institut de physique du globe de Paris – Institut Pasteur, Université Paris Cité, Unité Bioinformatique Evolutive, Paris – France

Résumé

Polystyrene nanoparticles (PS NPs) are synthetic polymer particles used extensively in research and industrial applications, known for their persistence in the environment and potential ecological impacts. Quartz Crystal Microbalance with Dissipation monitoring (QCM-D) is an advanced analytical tool that quantifies the mass and mechanical properties of molecular layers on surfaces, enabling detailed investigation of surface interactions, adsorption processes, and film characteristics at the nanoscale. In this study, the interactions between PS NPs and natural organic matter (NOM) and silica surfaces were investigated using QCM-D. This study examined the nanoscale interactions of PS NPs with various salt types (NaCl, CaCl₂, MgCl₂) and ionic strengths (IS), as well as with different types of NOM. It was found that high concentrations of PS NPs could significantly deposit on silica surfaces in electrolyte solutions of high ionic strength. However, noticeable deposition of PS NPs was observed on NOM-coated surfaces as well. Different types of NOM deposited on positively charged PLL surfaces formed adsorbed layers with varying viscoelastic properties; humic substance NOM resulted in inelastic adsorbed layers, while biopolymer NOM formed more viscoelastic and softer layers. At the same total organic carbon (TOC) concentration, biop NOM with higher molecular weight rapidly achieved monolayer adsorption saturation with greater adsorption capacity, whereas humic substance NOM with lower molecular weight required longer to reach adsorption saturation on silica chip surfaces and had lower adsorption capacity. According to DLVO theory, the presence of functional groups and the increase in IS led to greater deposition of PS NPs on NOM-coated surfaces, with deposition occurring at specific IS concentrations. Additionally, the deposition of PS NPs was irreversible on both silica and NOM-coated surfaces. Overall, the higher deposition of NPs on NOM-coated surfaces suggests that the fate and migration rate of NPs in the environment will largely depend on their interactions with NOM.

*Intervenant

Mots-Clés: Nanoplastics, deposition kinetics, natural organic matter, ionic strengths, QCM, D

Présentation du projet BIOCAIRE : Biosurveillance pour la caractérisation de l'impact des rejets

Valentin Dupraz*¹

¹Régie de l'Eau Bordeaux Métropole – Régie de L'Eau Bordeaux Métropole – France

Résumé

1. Contexte

Le projet BIOCAIRE(1) vise à proposer de nouvelles stratégies basées sur des outils biologiques afin de surmonter les limitations actuelles des méthodes de surveillance de la qualité chimiques des milieux aquatiques, conformément à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE ; 200/60/CE). Les approches conventionnelles de surveillance basées sur un nombre limité de substances présentent des lacunes pour évaluer précisément la contamination et la toxicité chimique des eaux. Contrairement aux méthodes analytiques classiques qui ciblent des substances spécifiques, les méthodes écotoxicologiques intègrent toutes les substances actives biodisponibles dans un échantillon, fournissant des informations sur la toxicité potentielle globale du mélange. Ces méthodes répondent aux besoins de la DCE en introduisant la surveillance "autre que substance par substance". Cependant, l'utilisation de ces méthodes biologiques pour la surveillance chimique des milieux aquatiques pose plusieurs défis. Il est nécessaire de déterminer quel ensemble de bioessais serait optimal pour détecter et quantifier les polluants chimiques et leur toxicité potentielle, en tenant compte des contextes d'application. De plus, comment intégrer les informations biologiques avec les analyses chimiques existantes pour identifier les principales causes de toxicité ? L'implémentation de ces méthodes doit garantir la fiabilité et la reproductibilité des données, tout en assurant leur faisabilité technico-économique.

2. Objectifs

Le projet BIOCAIRE vise à évaluer l'efficacité de méthodes écotoxicologiques (bioessais *in vitro*, *in vivo ex situ* et *in situ*) et chimiques (extraction, analyses chimiques ciblées/non-ciblées) complémentaires pour caractériser l'impact de deux rejets aqueux sur le milieu récepteur : les eaux pluviales de l'exutoire du collecteur de la rocade Nord de Bordeaux dans la Jalle du Sable et les eaux usées traitées de la station de traitement des eaux usées (STEU) de La Chapelle-Saint-Mesmin dans la Loire à Orléans. Ce projet se décline en trois étapes, résumées sur la Figure 1, qui visent à : (i) définir une méthodologie commune ; (ii) déployer un large panel de bioessais complété par des analyses chimiques pour éprouver la méthodologie et définir une batterie de bioessais optimisée ; (iii) appliquer la batterie optimisée à la caractérisation de l'impact des deux rejets suivis sur leur milieu récepteur dans un contexte opérationnel. Les bioessais qui seront mis en œuvre viseront à évaluer d'une part l'écotoxicité générale (croissance, reproduction, mortalité) sur différents niveaux trophiques (algues, invertébrés aquatiques, poissons), et d'autre part l'écotoxicité des modes d'actions spécifiques ciblant l'inhibition de la photosynthèse, la perturbation de l'activité endocrine et

*Intervenant

métabolique et la génotoxicité. Ces bioessais seront déployés selon une approche graduée et seront complétés par des analyses chimiques ciblées et non-ciblées. La dernière étape aura également pour finalité la proposition d'une grille d'interprétation opérationnelle, proposant des actions de gestion pertinentes selon les données acquises par les bioessais et les analyses chimiques, ainsi que d'une liste de recommandations pour l'application des outils de biosurveillance à destination des gestionnaires et opérateurs de l'eau.

Figure 1 : résumé graphique du contexte ainsi que des grandes étapes du projet BIOCAIRE.

3. Résultats attendus et impact potentiel

Le projet BIOCAIRE représente la première étude de cette envergure visant à éprouver les outils de biosurveillance dans un contexte opérationnel. Par conséquent, il vise à répondre à des enjeux techniques et méthodologiques importants afin d'acquérir l'expérience nécessaire à l'élaboration d'un ensemble de recommandations pour le déploiement des outils de biosurveillance à plus large échelle. Pour le mener à bien et répondre aux questions innovantes qu'il soulève, un consortium d'experts académiques, institutionnels et privés spécialisés dans l'analyse de l'impact des pollutions sur les matrices aqueuses a été constitué. Son expertise, notamment la participation au GT Bioessai (1) sur lequel s'appuie le présent appel à projet, ainsi que son expérience dans de nombreux projets de recherche seront des atouts essentiels pour répondre aux questions novatrices du projet. Les données acquises renforceront d'une part la validité et l'efficacité des outils biologiques testés, favorisant leur déploiement à plus grande échelle et d'autre part la capacité opérationnelle de la biosurveillance. En conséquence, le projet BIOCAIRE s'inscrit dans une initiative établie visant à intégrer les outils de biosurveillance dans le cadre réglementaire de la DCE, et servira donc à appuyer cette position.

Références :

(1) Manier, N., Ait-Aissa, S., Pandard, P., 2023. Inventaire et évaluation des méthodes biologiques issues de l'écotoxicologie en vue de leur utilisation dans le cadre de la DCE – Rapport AQUAREF 2021 66.

(1) Projet lauréat de l'appel à projet " Démonstrateurs d'outils issus de l'écotoxicologie pour le suivi et l'évaluation de la qualité des rejets et des milieux aquatiques vis-à-vis de leur contamination par des substances chimiques " financé à 61% par l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

Mots-Clés: biosurveillance, rejets aqueux, impacts, milieu récepteur, opérationnel

Session 9 : Le numérique au service de l'eau



GRUTTEE 2024

15^E CONGRÈS INTERNATIONAL

22-24 MAI 2024 HAUT CARRÉ DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



université
de BORDEAUX

EPOC

affinisep



AOTEN 1970



Etude sur la valorisation des données de l'eau potable

Louise Poupenny*¹

¹Poupenny – HYDREOS – France

Résumé

HYDREOS, le pôle de la filière de l'eau dans le Grand Est, a publié en 2023 une étude s'intéressant à la façon dont les données collectées pour l'eau potable étaient valorisées par les collectivités.

La réalisation de cette étude a été encouragée par la croissance de l'usage des nouvelles technologies et des innovations dans le domaine de l'eau qui entraîne une multiplication des données à disposition. Cette initiative fait également suite au besoin d'information exprimé par des adhérents, participants au groupe de travail " eau et numérique " .

L'étude présente le résultat de recherches scientifiques et techniques sur les pratiques de gestion de cinq types de données : données sur la qualité de l'eau potable, données pour la gestion patrimoniale, données pour la recherche de fuites, données de comptage et données clients.

Elle comprend également un état de l'art illustrant des cas d'usages pour la valorisation des données de l'eau potable au niveau mondial dont la description de 5 projets de préparation de la donnée, 18 projets d'analyse de la donnée, 37 solutions pour la gestion de la donnée. Aussi, 29 collectivités réparties sur le territoire français ont partagé leur retour d'expérience sur leurs pratiques de gestion des données.

Mots-Clés: valorisation des données, eau potable, innovation, gestion intelligente des réseaux

*Intervenant

Outils statistiques et d'apprentissage automatique pour la prédiction de la décantabilité des boues activées.

François Guichard¹, Madiha Nadri-Wolf², Rachid Ouaret³, and Antonin Azais^{*†1}

¹Réduire, valoriser, réutiliser les ressources des eaux résiduaires – Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – France

²Laboratoire d'automatique, de génie des procédés et de génie pharmaceutique – Université Claude Bernard Lyon 1, École supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon, Centre National de la Recherche Scientifique – France

³Laboratoire de Génie Chimique – Université Toulouse III - Paul Sabatier, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National Polytechnique (Toulouse), Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5503 – France

Résumé

La qualité de l'effluent d'une station d'épuration (STEPS) est la résultante de divers mécanismes interdépendants dont l'aptitude à la floculation et la décantabilité des boues qui peuvent s'avérer limitantes. Les performances de décantation des boues sont évaluées par des paramètres empiriques tels que les indices de volume de boue (noté IVB en mL/g) ou filamenteux. La fréquence de détermination de ces grandeurs est dépendant de l'exploitation, un suivi régulier dans le temps est rarement possible à l'exception des STEPs de grande capacité. Il nous a paru utile de mobiliser les sciences de la donnée, des statistiques et de l'automatisme pour dessiner les contours d'une méthodologie de prédiction par apprentissage automatique de ses grandeurs jusqu'ici inaccessibles en peu de temps.

Mots-Clés: Décantabilité, Séries temporelles, Machine Learning, Réseaux de neurones

*Intervenant

†Auteur correspondant: antonin.azais@inrae.fr

Cinétique de chlorations d'eaux usées et prédiction des sous-produits : approche Machine Learning par LASSO

Mounir Ayadi ^{1,*,@}, Hervé Gallard ^{1,*,@}, Florence Berne ^{1,*,@}

¹ : Eaux, Géochimie organique, Santé [E1 – IC2MP équipe 1]
Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers [UMR 7285]

* : Auteur correspondant

Résumé

Un modèle PARAFAC à 6 composants a été établi pour caractériser la MON. Ces composants sont utilisés comme paramètres prédictifs de la réactivité de la MON avec le chlore comme précurseurs de sous-produits. Un algorithme de Machine Learning par approche LASSO a été développé en utilisant ces composants. Les tests de validation ont montré de meilleures performances prédictives du modèle en utilisant les composants PARAFAC comparé au SUVA. Une comparaison du LASSO avec un modèle plus simpliste, la Régression Linéaire Multiple (MLR), montre que ce dernier tend à sur-modéliser mais a plus de difficulté à prédire des données nouvelles. En comparaison, le modèle LASSO offre une bonne robustesse aux données sur lesquelles il n'a pas été entraîné. Ces caractéristiques sont négligeables pour des modèles avec peu de paramètres prédictifs (SUVA), mais prononcés pour un nombre de paramètres prédictifs est élevés (6 composants PARAFAC). Cet algorithme pourra être généralisé à d'autres prédictions, tel que les AOX, ou la dose optimale de chlore pour une matrice donnée.

Mots-Clés: Chloration eaux usées, Sous, Produits désinfection, PARAFAC, Fluorescence, Machine Learning.