

## Offre de thèse 2020-2023

### Écotoxicité des mélanges : application au cas d'un effluent issu d'un traitement biocide

#### Contexte

La monochloramine (MCA) est le traitement biocide actuellement considéré comme la meilleure technique disponible pour la désinfection des circuits de refroidissement des centrales nucléaires. Cette technique est actuellement mise en œuvre sur plusieurs centres de production d'électricité d'EDF. Dans l'effluent global, au contact de la matière organique, des sous-produits de dégradation (SPD) de la MCA sont susceptibles de se former<sup>1</sup>. La caractérisation chimique de ces SPD est complexe, tout comme l'évaluation des risques environnementaux associés à une exposition aux SPD, puisqu'ils peuvent interagir entre eux et présenter une écotoxicité spécifique liée au mélange de ces composés. Compte-tenu de la multiplicité des SPD existants et des multiples mélanges potentiels, impossibles à tester dans leur intégralité, il est aujourd'hui nécessaire de développer des stratégies et de proposer des approches innovantes pour tenir compte des effets combinés des substances sur l'environnement. Actuellement, la réglementation recommande d'adopter une approche conservatrice pour prédire l'effet écotoxique des substances en mélange, supposant une additivité des effets des différents constituants du mélange (des effets liés au mélange peuvent être attendus même si toutes les substances constituant le mélange sont présentes à des concentrations inférieures au niveau « zéro effet »), ce qui implique d'émettre l'hypothèse que les différentes substances agissent selon un même mode d'action (MoA), et sur une même cible<sup>2</sup>. Toutefois, il est très vraisemblable que des substances ne partagent pas les mêmes modes d'action toxiques. Des alternatives à l'hypothèse d'additivité des effets existent. Par exemple, l'approche dite d'indépendance d'action se base sur l'hypothèse que les substances présentes à une concentration inférieure à leur seuil d'effet ne participent pas à l'effet global (approche moins conservatrice). Des effets synergiques peuvent également être observés. Ainsi, les modèles de prédiction de l'effet écotoxique des mélanges peuvent aboutir à des résultats très différents selon l'une ou l'autre hypothèse de travail<sup>3</sup>, il est donc indispensable d'avoir une bonne connaissance des MoA et des interactions potentielles entre les constituants d'un mélange.

#### Objectifs et méthodologie

**Dans ce contexte réglementaire et industriel, ce travail de thèse vise à étudier l'écotoxicité d'un mélange constitué de sous-produits de dégradation d'un effluent monochloraminé.**

Pour étudier l'écotoxicité des mélanges, deux approches complémentaires sont envisagées :

(i) l'approche « substance par substance » et (ii) l'approche « effluent global ».

- (i) L'approche « substance par substance » vise dans un premier temps à étudier l'effet toxique de SPD seuls en conditions contrôlées de laboratoire (cinq SPD majoritaires de l'effluent), via la mise en place de tests de toxicité chronique sur algues. Dans un second temps, il s'agira d'étudier les interactions entre ces SPD en mélange, d'identifier leur mode d'action, et de fournir un argumentaire scientifique sur les options de modélisation envisageables pour prédire l'effet global d'un mélange complexe. Dans le but de mieux caractériser les modes d'actions toxique des SPD de MCA, la mesure de différents biomarqueurs sont envisagés en complément de la croissance algale, notamment via des mesures en cytométrie de flux (flambée oxydative, mortalité cellulaire, peroxydation lipidique). Pour cela, un développement méthodologique sera nécessaire afin d'optimiser les mesures aux conditions des tests de croissance algale.

- (ii) L'approche « effluent global » vise à évaluer la représentativité des tests utilisés en laboratoire dans l'approche « substance par substance » et à confronter les prédictions des modèles calibrés en laboratoire sur un effluent complexe, réel. Pour ce cela, le/la doctorant(e) mènera des expériences sur une boucle d'essai (pilote de circuit de refroidissement réduite à l'échelle 1/145 000<sup>ème</sup>) afin de reproduire un effluent réel semi-contrôlé, et permettre une évaluation plus réaliste d'un point de vue environnemental.

*In fine*, ce projet de thèse devrait contribuer à fournir des informations pertinentes pour la définition d'une stratégie de biosurveillance de rejets industriels monochloraminés.

#### Mots-clés

Ecotoxicologie ; Effet mélange ; Algue ; Biomarqueur ; Modélisation ; Sous-produits de dégradation ; Cytométrie en flux.

#### Modalités

La thèse sera une thèse CIFRE financée par Electricité de France (EDF) et l'ARNT, et sera réalisée en partenariat avec l'Institut national de l'environnement industriel et des risques ([Ineris](http://ineris.fr)).

Durant la thèse, le/la candidat(e) partagera son temps entre les deux structures : une première moitié à l'Ineris, au sein de la direction « milieux et impacts sur le vivant », pour réaliser les tests algues et la mesure des biomarqueurs associés ; la seconde moitié à [EDF R&D](http://edf.fr), au sein du LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement), pour la modélisation, les essais sur boucle et la rédaction de la thèse.

La rémunération prévue est d'environ 2600 euros bruts.

#### Profil recherché

Diplômé(e) d'un Master 2 en écotoxicologie ou toxicologie environnementale, le ou la candidat(e) doit montrer un intérêt pour l'écotoxicologie, les études en laboratoire, la modélisation, et avoir une bonne aptitude à la rédaction en français comme en anglais. Une expérience de la culture des algues, des techniques en cytométrie de flux et/ou de modélisation mécanistique serait un plus.

#### Contacts

Les candidatures devront être adressées à Philippe Ciffroy ([philippe.ciffroy@edf.fr](mailto:philippe.ciffroy@edf.fr)), Anne Bado-Nilles ([Anne.BADO-NILLES@ineris.fr](mailto:Anne.BADO-NILLES@ineris.fr)), Nastassia Urien ([nastassia.urien@edf.fr](mailto:nastassia.urien@edf.fr)) et Pascal Pandard ([pascal.pandard@ineris.fr](mailto:pascal.pandard@ineris.fr))

Le dossier de candidature doit comporter les documents suivants : CV, lettre de motivation et lettre de recommandation d'une personne référente (précédent stage, enseignant, etc.). **Candidature dès que possible pour un début de thèse prévu fin 2020.**

#### Références bibliographiques

1. Kinani A, Kinani S, Richard B, Lorthioy M, Bouchonnet S. Formation and determination of organohalogen by-products in water – Part I. Discussing the parameters influencing the formation of organohalogen by-products and the relevance of estimating their concentration using the AOX (adsorbable organic halide) method. *TrAC Trends Anal Chem.* 2016;85:273-280. doi:10.1016/j.trac.2016.06.008
2. EFSA Scientific Committee. Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. 2019;17(3):5634. doi:10.2903/j.efsa.2019.5634
3. Backhaus T, Altenburger R, Arrhenius Å, et al. The BEAM-project: prediction and assessment of mixture toxicities in the aquatic environment. *Cont Shelf Res.* 2003;23(17-19):1757-1769. doi:10.1016/j.csr.2003.06.002