



Action R1.2.3

Ecotoxicité des microplastiques, pneus et polluants associés

Contacts :

Laure Garrigue-Antar : (laure.garrigue-antar@u-pec.fr)

CONTEXTE

Treize millions de tonnes de plastiques de toutes tailles arrivent chaque année dans les océans et les rivières. Le relargage des déchets plastiques de petites tailles (micro- (MP) et nanoplastiques (NP)) et leur **impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement** sont devenus récemment un problème majeur. Ces contaminants sont des sources et des réservoirs de micropolluants dans l'environnement, libérant des additifs présents dans leur formulation, et une variété d'autres polluants (éléments traces métalliques, polluants organiques persistants, etc.). Ils peuvent aussi servir de supports pour des biofilms microbiens et les organismes pathogènes. Provenant de la dégradation des MP (photodégradation, biodégradation, dégradations mécanique et chimique) ou relargués directement de sources domestiques/industrielles, les NP demeurent à ce jour mal connus du fait du défi analytique posé par leur détection. En raison de leur très petite taille ($< 1 \mu\text{m}$), ils ont la capacité à passer les barrières physiologiques, et pourraient donc occasionner des dommages biologiques plus importants que les MP. De plus, il est suspecté que les NP passent sans être retenus au travers des stations d'épuration, contrairement à leurs homologues de plus grande taille. Dans ce cadre, le projet ANR AOPNANOP (coord. ICPEES Univ. de Strasbourg) s'intéresse à des technologies capables de réduire/éliminer les NP par des procédés d'oxydation avancée (AOP) réalisés par les différents partenaires (ICPEES Univ. de Strasbourg ; ICCF, Univ. de Clermont-Auvergne ; IPREM, Univ. de Pau et Pays de l'Adour). Cependant, le rendement des AOP n'atteint que très rarement 100 % d'efficacité. Par conséquent, des **produits de transformation intermédiaires** peuvent apparaître, dont l'identité et la toxicité demeurent encore méconnues. La contamination massive de notre environnement par les MP et NP démontre clairement que des études sont nécessaires (i) pour évaluer les impacts de ces polluants émergents préoccupants non seulement sur la santé humaine mais aussi sur celle des écosystèmes suivant une approche OneHealth et (ii) pour examiner non seulement l'efficacité des AOP, mais également la toxicité des produits intermédiaires générés, afin d'assurer une décontamination environnementale sûre et efficace.

OBJECTIFS

L'objectif principal de nos travaux vise à explorer les **impacts des NP/MP et des substances qui leur sont associées** sur les écosystèmes aquatiques dulcicoles, dans des modèles représentant différents niveaux trophiques (micro-crustacé *Daphnia magna* (consommateur primaire) et algues vertes *Chlamydomonas reinhardtii* et *Raphidocelis subcapitata* (producteurs primaires)), que nous avons développés dans la phase 5 d'OPUR. Les substances polluantes peuvent engendrer des effets variés sur la croissance, la santé, la reproduction, le comportement, ou encore la survie des organismes. Ces impacts peuvent se répercuter sur différents niveaux d'intégration allant de l'individu jusqu'à un déséquilibre des populations, des communautés ou bien même de l'écosystème.

MÉTHODOLOGIE

Suite aux expositions des **daphnies** dans différentes conditions, la mortalité à 48 h sera étudiée (test normé OCDE). Le stress comportemental lumière-obscurité sera effectué à 72 h à l'aide de la ZebraBox (ViewPoint) de la plateforme PRAMMICS de l'OSU EFLUVE. Dans ce test intégratif, le stress induit est évalué par la distance parcourue par la daphnie, pour mesurer les impacts des substances toxiques sur la mobilité et le développement, mais aussi la neurotoxicité. La toxicité et les mécanismes sous-jacents seront caractérisés par des études protéomiques et RTqPCR pour étudier l'expression des gènes biomarqueurs de stress (stress oxydant, neurotoxicité, cardiotoxicité, perturbation endocrinienne, enzymes de détoxification, etc.).

Chez les **microalgues**, l'inhibition de croissance sera étudiée, suite à des expositions aux contaminants sur 72 h, ainsi que l'activité photosynthétique (fluorimétrie) et la biosynthèse des pigments (spectrophométrie UV/visible).

Ces méthodes seront également appliquées dans l'action 1.3.3.

Ces travaux s'articuleront selon deux axes :

i) Caractériser la toxicité d'échantillons de NP soumis aux AOP dans les modèles de daphnie et d'algues (projet ANR AOPNANOP)

Les NP modèles (polystyrène et polyéthylène), produits dans le cadre du projet ANR, seront soumis à une sélection représentative des principaux AOP homogènes (Fenton, photo-Fenton) et hétérogènes (photocatalyse par TiO₂) et leur efficacité évaluée par les laboratoires partenaires en termes d'abattement. Les AOP génèrent des espèces hautement oxydantes comme des radicaux hydroxyles (°OH) en conditions modérées, pour la destruction et la minéralisation des polluants ciblés. Sur les deux procédés les plus efficaces en termes de dégradation des NP, leur cinétique de dégradation sera suivie par les partenaires, et les échantillons collectés aux différents pas de temps permettront d'étudier dans nos modèles l'évolution du risque écotoxique au cours de ces traitements. La toxicité de ces échantillons sera évaluée avant et après traitement à l'aide des bioessais développés au laboratoire.

Ces tests permettront d'évaluer les risques potentiels liés à l'utilisation de ces AOP avant leur éventuel déploiement à plus grande échelle.

ii) Contribuer, dans un contexte plus large, à la caractérisation du risque écotoxicologique posé par des mélanges complexes de MP, NP et de contaminants émergents (actions 1.2.3, 1.2.2)

Les interactions entre les MP/NP et ces polluants sont encore très peu étudiées. Dans ce contexte, une étude interdisciplinaire sera menée par l'axe « *entité nouvelles : plastiques* » sur des échantillons provenant de différents niveaux du continuum terre-mer (zones urbaines, eaux de ruissellement de voirie, stations d'épuration, cours d'eau). Elle s'appuiera sur une stratégie encore peu utilisée couplant des techniques analytiques de pointe comme les méthodes de screening non ciblé et l'évaluation du risque écotoxicologique pour caractériser ces échantillons environnementaux complexes (Sandré et al., 2022). L'impact des composés adsorbés sur les MP (seuls ou en mélange) et celui d'additifs utilisés dans leur fabrication, préalablement identifiés par screening non ciblé dans l'action 1.2.2, sera évalué dans nos deux modèles d'étude. Les mécanismes moléculaires sous-jacents de la potentielle toxicité observée seront approfondis par des analyses protéomiques et génétiques. Ces approches combinées permettront non seulement d'obtenir une vision plus réaliste des cocktails de contaminants présents dans l'environnement mais aussi de révéler de nouveaux polluants et produits de transformation, dont les risques écotoxicologiques n'ont pas été anticipés.

RÉSULTATS ATTENDUS ET RETOMBÉES

Grâce à une approche rassemblant des champs disciplinaires complémentaires (biologie, biochimie, chimie, génie des procédés), en liaison avec le monde socio-économique (acteurs de l'eau), nos résultats permettront le développement d'une méthodologie globale couplant des **approches EcoHealth et OneHealth**, nécessaires à une meilleure compréhension du transfert des contaminants dans les milieux aquatiques et donc, *in fine*, contribueront à la maîtrise de ce transfert. Les modèles aquatiques daphnie et algues, à la base de la chaîne trophique, permettront, par le déploiement d'une approche innovante, d'obtenir une vision des impacts potentiels des micro- et nanoplastiques eux-mêmes, mais également de leurs contaminants chimiques (additifs intentionnels et non-intentionnels) sur l'écosystème aquatique. Ces travaux devraient aussi permettre de guider le choix de l'AOP le plus performant en termes d'innocuité et de dégradation des nanoplastiques sur des échantillons réels, en faveur d'un assainissement durable des pollutions causées par ces polluants environnementaux émergents.