

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 642

Ecole doctorale Végétal, Animal, Aliment, Mer, Environnement

Spécialité : Bioanalyses, chimie analytique et environnementale

Par

Ninon SERRE

Unravelling the complexity of per- and polyfluoroalkyl substances contamination in marine organisms: occurrence and transfers

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 17 décembre 2025

Unités de recherche : Unité Contamination Chimique des Ecosystèmes marins (CCEM - Ifremer) et Institut Des Substances et Organismes de la Mer (ISOMER)

Rapporteurs avant soutenance :

Xavier DAUCHY	Ingénieur de recherche
Magali HOUDE	Senior scientist, Université du Québec à Montréal

Composition du Jury :

Président :		
Examineurs :	Xavier DAUCHY Gauthier EPPE Magali HOUDE Pierre LABADIE	Ingénieur de recherche Full professor, Université de Liège Senior scientist, Université du Québec à Montréal Directeur de recherche CNRS, Université de Bordeaux
Dir. de thèse :	Aurore ZALOUK-VERGNOUX	Professeure des universités, Nantes Université
Co-enc. de thèse :	Yann AMINOT	Cadre de recherche, Ifremer

Title : Unravelling the complexity of per- and polyfluoroalkyl substances contamination in marine organisms: occurrence and transfers

Keywords: PFAS, suspect screening, marine organisms

Abstract: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of organofluorine chemicals. Currently, thousands of structurally distinct compounds may contribute to PFAS environmental contamination, the majority of which remain poorly characterized. Since certain PFAS are widely persistent and mobile in aquatic media, the oceans represent a major sink for contamination, and marine ecosystems are key to understanding PFAS contamination. This PhD work aimed to comprehensively assess this contamination in marine organisms along the French coastline. To this end, analytical developments were conducted for the analysis of PFAS at trace levels in complex matrices, leading to a method combining suspect screening using LC-HRMS and a semi-quantitative approach based on similarity. Suspect screening was initially applied to the analysis of mussels and oysters from 23 sites along the French coasts. Overall, 79 PFAS belonging to 29 classes were detected, including 15 classes reported for the first time in marine biota, and contamination hotspots linked to

industrial and estuarine pressures were revealed. Finally, a focus on two food webs (European sea bass and common sole) from the Seine Estuary allowed the assessment of trophic dynamics of 96 PFAS, suggesting biodilution of long-head precursors (e.g., X:2 FTABs) and biomagnification of end-products (PFAAs) and short-head precursors (e.g., FASAs). Habitat-dependent contamination patterns were also highlighted for the first time, with benthic species showing higher levels of long-head precursors than pelagic species. Beyond environmental concerns, these results also raised questions about human health, since most of the species studied can be consumed. Notably, the total concentrations of all PFAS detected were up to 75 times higher (in blue mussels) than those of PFAS for which regulatory limits have been set by the European Commission. Overall, this work calls for a more comprehensive assessment of PFAS contamination and offers information and tools to guide and support future monitoring, risk assessment and regulations.

Titre : Contamination des organismes marins par les substances per- et polyfluoroalkylées : caractérisation large spectre, occurrence et transferts

Mots clés : PFAS, spectrométrie de masse haute résolution, organismes marins

Résumé : Les substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS) constituent une grande famille de composés organofluorés. Des milliers d'entre eux restent peu documentés, et sont pourtant susceptibles de contribuer à la contamination environnementale. Du fait de la persistance et mobilité de certains PFAS en milieux aquatiques, les océans représentent un puits majeur de contamination, rendant l'étude des écosystèmes marins essentielle. Cette thèse vise à caractériser la contamination des organismes marins par les PFAS le long du littoral français, en développant des outils analytiques adaptés à l'analyse non-ciblée de traces en matrices complexes. Le criblage suspect dans des moules et huîtres provenant de 23 sites répartis sur les côtes françaises a permis de détecter 79 PFAS appartenant à 29 classes, dont 15 jamais rapportées auparavant dans le biote marin. Des points chauds de contamination liés aux pressions industrielles et estuariennes ont également été révélés. Le développement d'une méthode de semi-quantification a permis une évaluation plus

précise des niveaux de contamination et des dynamiques trophiques. Notamment, l'étude de deux réseaux trophiques (sole commune et bar européen) de l'estuaire de la Seine a révélé la présence de 96 PFAS, certains biodilués (précurseurs à longues têtes, tels que les X:2 FTABs) et d'autres bioamplifiés (produits finaux et précurseurs à courtes têtes, tels que les PFAAs et FASAs). Des différences liées à l'habitat ont été observées pour la première fois, les espèces benthiques présentant des niveaux plus élevés de précurseurs à longues têtes que les espèces pélagiques. Ces résultats soulèvent des enjeux à la fois environnementaux et sanitaires, puisque la majorité des espèces étudiées sont consommées par l'Homme, et que les concentrations totales en PFAS atteignaient jusqu'à 75 fois celles des PFAS réglementés par la Commission européenne. Dans l'ensemble, ce travail fournit des données et outils pour orienter la surveillance, l'évaluation des risques et les réglementations futures concernant les PFAS.