

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 642
Ecole doctorale Végétal, Animal, Aliment, Mer, Environnement
Spécialité : *Ecotoxicologie*

Par

Julie RÉTIF

Distribution des terres rares dans les réseaux trophiques des écosystèmes estuariens

Thèse présentée et soutenue à l'UFR des Sciences pharmaceutiques et biologiques, le 7 juin 2024
Unité de recherche : UR 2160 – ISOMer, Institut des Substances et Organismes de la Mer

Rapporteurs avant soutenance :

Béatrice BÉCHET Directrice de recherche HDR, Université Gustave Eiffel
Davide VIGNATI Chargé de recherche HDR, Université de Lorraine

Composition du Jury :

Président : (à préciser après la soutenance)

Examineurs : **Béatrice BÉCHET** Directrice de recherche HDR, Université Gustave Eiffel
Davide VIGNATI Chargé de recherche HDR, Université de Lorraine
Alexandra COYNEL Maître de conférences des universités, Université de Bordeaux

Dir. de thèse : **Laurence POIRIER** Professeur des universités HDR, Nantes Université
Co-dir. de thèse : **Aurore ZALOUK-VERGNOUX** Professeur des universités HDR, Nantes Université
Nicolas BRIANT Chargé de recherche, Ifremer

Invité :

Rémi MARSAC Chargé de recherche HDR, Institut de physique du globe de Paris

Titre : Distribution des terres rares dans les réseaux trophiques des écosystèmes estuariens

Mots clés : Terres rares, écosystèmes estuariens, bioaccumulation, transfert trophique, compartiments abiotiques, contamination anthropique

Résumé : L'intérêt croissant de la société pour les terres rares, rassemblant 17 éléments métalliques aux propriétés uniques, exploitées dans les secteurs industriels, agricoles et médicaux, entraîne une augmentation des rejets dans l'environnement conduisant à des enrichissements dans les milieux aquatiques, notamment dans les estuaires, milieux soumis à de fortes pressions anthropiques. L'objectif de cette thèse est d'étudier le devenir global des terres rares dans les écosystèmes estuariens à travers l'étude de deux estuaires français fortement industrialisés aux degrés de contamination différents : l'estuaire de la Loire et l'estuaire de la Seine. L'étude des compartiments abiotiques a permis de démontrer que les terres rares sont principalement accumulées dans les phases solides des systèmes aquatiques naturels. Néanmoins, la phase dissoute correspond au compartiment le plus impacté par les apports anthropiques, avec des enrichissements en gadolinium rapportés dans les deux estuaires. L'étude du biote, qui s'est portée sur un grand nombre d'espèces issues de 5 phyla

(algues, annélides, mollusques, crustacés et vertébrés) représentant les principaux niveaux d'un réseau trophique estuarien, a dévoilé une dilution trophique des terres rares au sein des deux estuaires. En effet, la bioaccumulation des terres rares est plus élevée dans les algues. Cependant, les enrichissements (notamment en gadolinium) sont plus importants chez les vertébrés. Les résultats ont démontré des concentrations totales en terres rares plus importantes dans l'estuaire de la Loire par rapport à celui de la Seine, probablement en raison d'un fond géogénique plus élevé. Par contre, la contamination anthropique en gadolinium plus importante dans l'estuaire de la Seine pourrait s'expliquer par la plus forte densité de population, impliquant un nombre plus important d'actes médicaux nécessitant des produits de contraste. Ainsi, l'estimation des transferts des compartiments abiotiques vers le biote et des transferts trophiques au sein du biote a permis de caractériser le devenir global des terres rares dans ces écosystèmes estuariens.

Title : Distribution of rare earth elements in the food webs of estuarine ecosystems

Keywords : Rare earth elements, estuarine ecosystems, bioaccumulation, trophic transfer, abiotic compartments, anthropogenic contamination

Abstract : The growing interest of society in rare earth elements, regrouping 17 metallic elements with unique properties and used in the industrial, agricultural and medical sectors, is leading to an increase of their release into the environment, resulting in enrichments in the aquatic environments, particularly in estuaries, environments subject to strong anthropogenic pressures. The objective of this work is to study the overall fate of rare earth elements in estuarine ecosystems through the study of two highly industrialized French estuaries showing different levels of contamination: the Loire estuary and the Seine estuary. The study of abiotic compartments demonstrated rare earth elements are mainly accumulated in the solid phases of natural aquatic systems. However, the dissolved phase corresponds to the most impacted compartment by anthropogenic inputs with gadolinium enrichments reported in the two estuaries. The study of the biota, focusing on a large number of species from 5 phyla

(algae, annelids, mollusks, crustaceans and vertebrates) representing the main levels of an estuarine food web, revealed a trophic dilution of rare earth elements within the two estuaries. Indeed, the bioaccumulation of rare earth elements is higher in algae. However, the enrichments (including gadolinium) are greater in vertebrates. These results demonstrated higher total rare earth element concentrations in the Loire estuary compared to the Seine estuary, probably due to a higher geogenic background. On the other hand, the higher anthropogenic gadolinium contamination in the Seine estuary could be explained by the higher population density, implying a higher number of medical procedures requiring contrast agents. Thus, the estimation of transfers from abiotic compartments to the biota and trophic transfers within the biota allowed to characterize the overall fate of rare earth elements in these estuarine ecosystems.