

École Doctorale

Énergie Matériaux Sciences de la Terre et de l'Univers

Sujet de Thèse

sujet de thèse financé sur projet Région Centre Val-de-Loire. Début 1^{er} Octobre 2025 (candidature avant 15 mai 2025)

1. Informations administratives :

- Nom du Directeur de thèse : Mohammed Boussafir
- Unité d'accueil : UR 6293, Laboratoire GéoHydrosystèmes Continentaux (GÉHCO), Université de Tours.
- Email du Directeur de thèse : mohammed.boussafir@univ-tours.fr

2- Titre de la thèse :

Étude de la pollution en microplastiques et leurs produits de dégradation dans La Loire

3- Résumé

L'utilisation des polymères plastiques a généré d'énormes avantages pour la société mais malheureusement avec de nombreux impacts environnementaux. Troisième matériau le plus fabriqué au monde après le ciment et l'acier, la production a été exponentielle depuis les années 1950 passant de 1 million de tonne à 600 millions prévues pour l'année 2025 (PlasticsEurope, 2019 ; Lenzing Group, 2016). Cette omniprésence des polymères plastiques dans nos vies n'est pas sans conséquence puisqu'on considère que 81 % de cette production mondiale se retrouve en déchets dont une bonne partie disséminée dans les environnements continentaux et océaniques (Barnes et al., 2009). On les retrouve partout dans les sols, lacs et fleuves, jusque dans l'atmosphère et les neiges Alpines et polaires ou encore dans les zones les plus profondes des océans comme la fosse océanique des Mariannes (Bergmann et al., 2019 ; Peng et al., 2018). Les émissions des matières plastiques dans l'environnement est devenue de ce fait un important domaine de recherche ces dernières décennies particulièrement chez les communautés scientifiques s'intéressant à la contamination des milieux aquatiques. De très nombreuses études se sont intéressées en premier lieu à la dissémination des Microplastiques (MPs) dans les environnements aquatiques marins et à leurs impacts sur la vie marine. Des études plus récentes, notamment par des équipes françaises, montrent que cette pollution et ses impacts n'épargnent pas le géosystème fluvial considéré comme le principal vecteur vers les milieux marins. Des études et modèles de quantification des flux continentaux aux océans montrent qu'entre 10 et 20 millions de tonnes de plastiques seraient rejetés dans les océans chaque année (Lebreton et al., 2017 ; Schmidt et al., 2017). En reformulant la manière dont les flux de masse sont calculés à partir des observations du nombre de particules, Weiss et al. (2021) démontrent que ces flux massiques continentaux de plastiques ont été surestimés jusqu'à trois ordres de grandeur.

Dans les conditions environnementales, les objets plastiques de grande taille se dégradent en fragments de plus en plus petits. Les MPs sont définis comme étant des particules de plastique de taille inférieure à 5 mm (Moore, 2008 ; Arthur et al., 2009 ; Frias et al., 2010). Les MPs représentent plus de 90% de la pollution globale des plastiques dans les océans (UNEP & GRID-Arendal, 2016) avec une grande majorité provenant de sources terrestres. Actuellement, les fleuves et les rivières sont considérés comme les principales voies de transfert vers le milieu marin avec des apports évalués, selon les dernières estimations, de 6000 à 7000 tonnes de microplastiques par an (Weiss et al. 2021). Les principaux contributeurs des MPs aux systèmes fluviaux sont les effluents de stations d'épuration et les eaux de ruissellement, d'origine urbaine, agricole, industrielle, et des zones à fort taux de fréquentation humaine (secteurs touristiques). Les boues d'épuration sont aussi une source importante car elles contiennent généralement plus de MPs que les effluents et participent directement aux apports par ruissellement des zones agricoles. Bien que les cours d'eau puissent être considérées comme d'importantes voies de transfert des MPs, la communauté manque de données sur les écosystèmes fluviaux. Jusqu'à présent, seules quelques études ont été

réalisées (Dris et al., 2015a, Lebreton et al., 2017 ; Schmidt et al., 2017). Ce projet de thèse tentera d'apporter des données supplémentaires bien utiles pour améliorer les modèles prédictifs de transfert de cette pollution.

Tous les fleuves étudiés sont pollués par les MPs avec un flux total des fleuves mondiaux, obtenu par les mesures directes couplées à de la modélisation, de l'ordre de plusieurs milliards de particules MPs /an (Weiss et al. 2021). La quantité totale charriée par les cours d'eau est très corrélée aux débits et aux densités de population des bassins versants, avec notamment un apport 10 fois plus élevé lors des périodes de crues à cause d'une remobilisation des fractions qui s'accumuleraient sur les berges. Malheureusement, dans la plupart des études, les prélèvements ont été réalisés en périodes d'étiages à un instant précis et non sur plusieurs périodes de l'année et cela malgré quelques résultats qui montrent que l'apport annuel des microplastiques relève d'une dynamique saisonnière bien marquée (Constant et al., 2020 ; Faure et al., 2015 ; Lechner et al., 2014). Ces recherches à l'origine de ces différentes évaluations dans les fleuves ne prennent malheureusement pas en compte la saisonnalité et les périodes de crues et de ce fait la dynamique fluviale n'est pas souvent prise en compte. Ce projet de thèse va donc étudier de façon plus globale les flux de MPs dans un hydrosystème en considérant tous les facteurs de contrôle qui peuvent influencer le bilan total de cette contamination. La thèse prendra donc en compte la saisonnalité hydrologique en mettant l'accent sur les périodes de hautes eaux et la chronologie des crues en prenant en compte des profils de profondeurs et des profils transverses, afin d'établir un bilan de matière le plus proche possible de la réalité.

En conclusion, les travaux de ce sujet de thèse s'intéressera donc à l'étude de la pollution par les MPs mais aussi à leurs produits de dégradation dans la Loire. L'objectif principal de ce projet de thèse est de faire un bilan de l'état de contamination par les MPs du Géohydrosystème Loire dans son ensemble. Dans un premier temps, il s'agit de caractériser et quantifier les principaux polymères présents dans la Loire à l'état de MPs, puis d'évaluer la quantité de molécules polluantes (Hydrocarbures, Phtalates, produits chlorés, composés polybromés...) potentiellement produites par leur dégradation voire de leur production de gaz à effet de serre. Cette étape d'évaluation de l'étendu de la pollution moléculaire a nécessité au préalable une expérimentation au laboratoire de l'effet de ces dégradations combinant la photolyse et l'hydrolyse dans la production de molécules polluantes. Les résultats des travaux en cours sur la modélisation mécaniste de la dégradation environnementale des MPs (thèse en cours de finalisation au laboratoire GÉHCO à Tours) alimenteront ce deuxième objectif de la thèse. Les conditions réactionnelles appliquées simulent les conditions de dégradation rencontrées lors du transport des matières plastiques dans les cours d'eau permettant d'évaluer leur conséquence sur la contamination du milieu d'un point de vue moléculaire dans la phase dissoute.

Cette thèse nécessitera un volet important de terrain, de l'expérimentation ainsi que de l'analyse organique au laboratoire. Il fera appel à la pétrographie organique (reconnaissance et quantification) des MPs sous excitation UV et des méthodes analytiques en géochimie organique. La géochimie organique pour laquelle notre partenaire ISTO dispose de l'une des plateformes la plus complète en Europe permettra l'analyse des composés moléculaires produits par la dégradation environnementale des MPs. D'autres analyses en chimie et physique des matériaux sont également prévues. Il s'agit des méthodes les plus utilisées dans l'analyse des polymères plastiques actuellement comme la thermogravimétrie IR, l'analyse microIR et la spectrométrie Raman.

Compétences requises

La-le candidat.e devra être titulaire au démarrage de la thèse d'un diplôme de Master 2 ou équivalent en Géosciences & Environnement ou en chimie organique avec si possible des compétences en analyse organique. Le.la candidat.e devra présenter un intérêt pour les questions environnementales appliquées aux hydrosystèmes notamment fluviales, une bonne aptitude pour les travaux sur le terrain et des capacités rédactionnelles, d'expression

(maîtrise de l'anglais correspondant à un niveau B2) et de synthèse. Rigueur, capacités d'initiative, aptitude au travail en équipe et en autonomie sont également souhaités.

Modalités de candidature :

Envoyer un CV détaillé avec des personnes référentes, relevés de notes Licence, M1 et semestre 1 du M2 et une lettre de motivation avant le 30 avril 2025. La candidature est ouverte aux personnes déjà titulaires d'un M2 ou en cours de finalisation.

Contact : Les candidats peuvent envoyer leurs candidatures à :

Mohammed Boussafir : mohammed.boussafir@univ-tours.fr ; Tel 06 88 04 79 06

English Version

Microplastic Pollution and Their Degradation Products in the Loire River

The use of plastic polymers has brought significant benefits to society but, unfortunately, has also caused numerous environmental impacts. As the third most produced material worldwide after cement and steel, plastic production has grown exponentially since the 1950s, increasing from 1 million tons to an estimated 600 million tons by 2025 (PlasticsEurope, 2019; Lenzing Group, 2016). This omnipresence of plastic polymers in our daily lives is not without consequence, as 81% of global production ends up as waste, with a significant portion dispersed across terrestrial and marine environments (Barnes et al., 2009). Plastics are now found everywhere from soils, lakes, and rivers to the atmosphere, Alpine and polar snow, and even the deepest ocean trenches such as the Mariana Trench (Bergmann et al., 2019; Peng et al., 2018). As a result, plastic emissions into the environment have become a major research focus in recent decades, particularly within scientific communities studying aquatic contamination.

Many studies have primarily investigated the spread of microplastics (MPs) in marine environments and their impact on marine life. More recent research, notably by French teams, has revealed that this pollution and its consequences also affect fluvial geosystems, which serve as the primary pathways transporting plastic waste to marine environments. Quantification models estimate that between 10 and 20 million tons of plastic are released into the oceans annually (Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017). However, by reconsidering how mass fluxes are calculated based on particle observations, Weiss et al. (2021) have shown that these mass flux estimates have been overestimated by up to three orders of magnitude.

Under environmental conditions, large plastic objects degrade into increasingly smaller fragments. MPs are defined as plastic particles measuring less than 5 mm in size (Moore, 2008; Arthur et al., 2009; Frias et al., 2010). MPs account for more than 90% of the total plastic pollution in the oceans (UNEP & GRID-Arendal, 2016), with most originating from terrestrial sources. Currently, rivers are considered the main transport pathways to marine environments, with estimated annual inputs ranging from 6,000 to 7,000 tons of MPs (Weiss et al., 2021). The main contributors of MPs to fluvial systems are wastewater treatment plant effluents and runoff waters from urban, agricultural, and industrial sources, as well as areas with high human activity, such as tourist regions. Sewage sludge is also a significant source, as it contains higher MP concentrations than effluents and directly contributes to runoff in agricultural areas.

Although rivers play a key role in transporting MPs, there remains a lack of data on fluvial ecosystems. To date, only a few studies have been conducted on this topic (Dris et al., 2015a; Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017). This PhD project aims to provide essential data to improve predictive models for the transfer of MP pollution. All studied rivers have been found to be polluted with MPs, with global river flux estimates, based on direct measurements combined with modeling, reaching billions of MP particles per year (Weiss et al., 2021). The total quantity transported by rivers is strongly correlated with water flow rates and population densities within watersheds, with MP inputs increasing tenfold during flood periods due to the remobilization of particles accumulated along riverbanks.

Unfortunately, most studies have only collected samples during low-flow periods at specific moments rather than over multiple seasons. However, some findings suggest that annual MP inputs exhibit a distinct seasonal pattern (Constant et al., 2020; Faure et al., 2015; Lechner et al., 2014). Current research on river MP pollution has often overlooked seasonality and flood events, resulting in an incomplete understanding of fluvial dynamics.

PhD Research Objectives

This PhD project will take a comprehensive approach to studying MP fluxes in a hydrosystem by considering all controlling factors that influence total contamination levels. The research will incorporate hydrological seasonality, with a focus on high-water periods and flood chronology, as well as depth and transverse profiling, to establish a material balance as close to reality as possible.

Ultimately, this PhD research will investigate MP pollution and its degradation products in the Loire River. The primary objective is to assess the contamination status of the Loire's geo-hydrosystem as a whole. First, the project aims to characterize and quantify the main plastic polymers present in the Loire in the form of MPs. It will then evaluate the quantity of pollutant molecules (such as hydrocarbons, phthalates, chlorinated compounds, and polybrominated substances) potentially produced by MP degradation, as well as their contribution to greenhouse gas emissions. This molecular pollution assessment requires prior laboratory experiments to simulate degradation processes combining photolysis and hydrolysis and to analyze the production of pollutant molecules. The ongoing mechanistic modeling of MP environmental degradation (a PhD project nearing completion at the GéHCO laboratory in Tours) will contribute to this secondary objective. The experimental conditions applied will simulate the degradation scenarios encountered during the transport of plastic materials in rivers, allowing an evaluation of their molecular-level environmental impact in the dissolved phase.

Research Methods and Required Expertise

This PhD research will involve extensive fieldwork, experimental studies, and organic analysis in the laboratory. It will utilize organic petrography techniques (UV excitation for MP identification and quantification) and analytical methods in organic geochemistry. Our research partner, ISTO, hosts one of the most advanced organic geochemistry platforms in Europe, which will be used to analyze molecular compounds generated by MP environmental degradation. Additional materials chemistry and physics analyses are also planned, employing widely used techniques for plastic polymer analysis, such as infrared thermogravimetry, micro-IR analysis, and Raman spectroscopy.

Required Skills

Candidates must hold a Master's degree (or equivalent) in Geosciences & Environment or Organic Chemistry at the start of the PhD program, preferably with experience in organic analysis. Applicants should demonstrate a strong interest in environmental research related to hydrosystems, particularly fluvial environments. They should also possess good fieldwork skills, as well as strong writing, communication (B2 level in English), and analytical synthesis abilities. Additionally, the candidate should exhibit rigor, initiative, teamwork capabilities, and the ability to work independently.

How to apply:

Send a detailed CV with references, letter of motivation and proof of last How to apply:
Send a detailed CV with references, Bachelor's, M1 and M2 semester 1 transcripts and a covering letter by mai 15, 2025. Applications are open to those who already hold an M2 degree or are in the process of completing one.

Contact:

Candidates may send their applications to :

Mohammed Boussafir : mohammed.boussafir@univ-tours.fr , Phone number 06 88 04 79 06.