



**ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement**  
**Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2019-2020**

### 1. Modalités d'encadrement

Unité(s) de recherche au sein de laquelle le doctorat est réalisé : **Metis, UMR 7619, SU CNRS EPHE, UMR METIS 7619**  
Boite 105 Tour 56, Etage 3, couloir 46/56, 4 place Jussieu 75005 Paris

Directeur de l'unité : [**Mouchel Jean-Marie, PU**]

Directeur(s)\* de thèse (HDR ou équivalent) : [**Garnier, Josette, DR1 CNRS, Metis**]

Co-directeur\* de thèse (HDR ou équivalent) : [**nom, prénom, fonction, unité de rattachement**]

Co-encadrant (non HDR) : [**Thieu, Vincent, MDC, Metis**]

Responsabilités spécifiques de chaque encadrant : [**champ libre**]

*Josette Garnier : Fonctionnement biogéochimique des bassins versant, élaboration d'indicateurs et scénarios avec le modèle Riverstrahler*

*Vincent Thieu : Modélisation biogéochimique des hydrosystèmes, base de données sur les bassins versant et les pressions anthropiques*

**\* Si un seul directeur de thèse est déclaré, il endosse 100% de la responsabilité de la thèse au regard de l'ED. Si 2 directeurs sont déclarés, ils partagent cette responsabilité à 50%. Le taux de responsabilité maximal est fixé à 300%. Les co-encadrants n'entrent pas dans le décompte, quel que soit leur rôle effectif**

### 2. Titre **Title** :

*Les continuums aquatiques des bassins fluviaux français : modélisation et scénarios*

*The aquatic continuums of the French river basins: modeling and scenarios*

### 3. Adresse courriel du contact scientifique :

[josette.garnier@upmc.fr](mailto:josette.garnier@upmc.fr)

[vincent.thieu@upmc.fr](mailto:vincent.thieu@upmc.fr)

### 4. Description du projet de thèse [champ libre 1 page max].

*(For english version please refer to 4bis. at the end of the document)*

Il apparaît aujourd'hui clairement que la gestion des ressources en eaux doit se concevoir à l'échelle décisionnelle de territoires entiers, seule échelle capable d'intégrer l'ensemble des processus qui affectent la qualité de l'eau tout au long de son cheminement depuis les sols agricoles, forestiers ou urbains, jusqu'aux zones littorales, en passant par les aquifères, les cours d'eau et leurs annexes hydrauliques.

En ce qui concerne les macronutriments (N, P, C, Si), impliqués dans les problématiques (i) de contamination directe des eaux souterraines et de surface destinées à la production d'eau potable, (ii) de perte de biodiversité aquatique, (iii) d'eutrophisation et (iv) d'émission de gaz à effet de serre, nous avons développé des outils génériques (GRAFS et RIVERSTRAHLER), applicables à plusieurs échelles pour la modélisation des flux d'eau ainsi que des différents processus impliqués dans le transport, la réactivité et la rétention de ces nutriments d'amont en aval des hydrosystèmes, des ruisseaux de têtes de bassin aux grands axes canalisés, en incluant les milieux stagnants (réservoirs et lacs), les discontinuités hydromorphologiques et biogéochimiques, ainsi que les interfaces estuariennes (avec l'application du modèle C-GEMS)

Si le bassin de la Seine, sur lequel le programme PIREN-Seine et la ZA Seine travaillent depuis 3 décennies, est considéré comme un territoire pilote à l'égard du développement de tels outils opérationnels, il s'agit au cours de cette thèse d'étendre le domaine d'application de ces outils à l'échelle nationale, afin de proposer une suite de modèles robuste, cohérente avec l'emprise spatiale des prospectives à long terme sur la gestion des ressources en eaux.

Le modèle RIVERSTRAHLER calcule les *transferts* de carbone, de l'azote, du phosphore et de la silice dans les réseaux hydrographiques compte tenu des apports diffus issus des aquifères et des eaux de surface, des apports ponctuels des eaux usées urbaines, et des *transformations* qui ont lieu dans le réseau hydrographique proprement dit (dans la colonne d'eau et à l'interface avec le sédiment benthique). Il offre la possibilité d'un calcul saisonnalisé des concentrations, des apports et des processus liés aux éléments C, N, P et Si dans tout continuum aquatique avec une résolution kilométrique, en situation actuelle ou passée (Garnier et al. 2018; Billen et al. 2018), comme dans divers scénarios futurs possibles. Le modèle fournit ainsi les flux de nutriments à l'exutoire des bassins versants et contribuant à l'eutrophisation des masses d'eau littorales et marines. Ils ont souvent été utilisés comme donnée d'entrée pour des modèles d'eutrophisation marine côtière (Cugier et al. 2005; Passy et al. 2013, 2016; Demits et al. 2018) et a récemment fait l'objet d'un couplage avec le modèle estuarien C-GEMS (Laruelle et al. 2019).

L'approche GRAFS<sup>2</sup> est une méthode formalisée de calcul des flux d'azote, de phosphore et de carbone dans les systèmes agri-alimentaires territoriaux (Billen et al., 2014 ; Le Noë et al. 2017) et qui permet de faire le lien entre la structure de ces systèmes et la pollution diffuse qu'ils génèrent, y compris dans le cas de scénarios alternatifs. Les apports diffus issus de GRAFS servent de données d'entrée au modèle de biogéochimie aquatique RIVERSTRAHLER.

Cette chaîne de modélisation, opérationnelle pour le bassin de la Seine, sera donc étendue et éprouvée à l'ensemble des continuums hydrologiques nationaux métropolitains.

Il s'agit de généraliser l'approche de modélisation intégrée dans les trois années des travaux de la thèse de doctorat. En particulier, le couplage GRAFS-RIVERSTRAHLER impliquera :

- de caractériser les flux hydriques souterrains et superficiels pour la période actuelle 2000-2020 et d'intégrer les projections faites à l'horizon 2050 et 2100 par le 5<sup>ème</sup> exercice du GIEC. Plusieurs scénarios d'émissions dont les variables climatiques sont d'ores et déjà désagrégées à l'échelle nationale (réalisation CERFACS sur grille SAFRAN) seront mobilisés.
- d'évaluer de façon prospective les systèmes agri-alimentaires désirables, leurs potentiels et leurs complémentarités à l'échelle du territoire national, à travers divers scénarios. Il s'agit d'explorer la transition écologique de la nation, avec une tendance globale à la diversification des exploitations et des types de production (augmentation significative - 40% de la SAU- en agriculture biologique en 2050, impliquant une augmentation de la proportion de légumineuses fourragères et protéagineux)
- d'effectuer une évaluation environnementale sur l'ensemble de la façade littorale nationale pour la période actuelle et future en croisant les conditions hydrologiques sous changement climatique et des agricultures alternatives, en (i) quantifiant les flux de nutriments et leur pouvoir eutrophisant (ii) évaluant les émissions de gaz à effet de serre.

## 5. Compétences et connaissances requises [champ libre 1/2 page max.]

(For english version please refer to 5bis. at the end of the document)

Le.la candidat.e devra avoir une formation en sciences de l'environnement, en biogéochimie et hydroécologie. Une bonne connaissance de la planification environnementale/agricole passée ainsi que des grandes questions d'avenir actuellement débattues pour une meilleure gestion de la ressources en eaux en France et en Europe serait souhaitable.

Il.elle aura des aptitudes à la modélisation, des connaissances en statistiques et analyses de bases de données. Des compétences en programmation, idéalement Python seront appréciées.

Le.la candidat.e aura des dispositions pour travailler seul et en équipe et avoir le goût de l'initiative. La capacité à exposer ses travaux tant à l'écrit qu'à l'oral est requise. Un bon niveau en anglais, écrit et oral est également nécessaire.

## 6. Conditions matérielles de réalisation du projet de recherche

Financement spécifiques obtenus pour le projet : [**Oui/Non**], si oui lesquels ? [**Projet PIREN-Seine**]

Financement des missions nécessaires pour la réalisation du projet : [**Oui/Non**], si oui lesquels et pour quelles missions ? [ **(i) colloques et (ii) publications d'articles**]

]

Accès à des bases de données spécifiques : [**Oui/Non**], si oui lesquelles ? [**bases de données nationales ou Européenne**]

Accès à des ressources documentaires spécifiques : [**Oui/Non**], si oui lesquelles ? [**Champ libre**]

Accès à des plateformes : [**Oui/Non**], si oui lesquels ? [**Champ libre**]

Accès à des grands instruments : [**Oui/Non**], si oui lesquels ? [**Champ libre**]

Autres : [**Champ libre**]

## 7. Précisions sur les objectifs de valorisation des travaux issus du projet de recherche : [champ libre]

*Exemples : projet de brevet, types de revues/colloques envisagés/réalisés, actions de vulgarisation scientifique envisagés/réalisés, etc.*

La valorisation des travaux est prévue sous forme d'articles scientifiques (3 pendant la durée de la thèse), mais ces travaux feront aussi l'objet de communications orales ou affichées dans des colloques nationaux (colloque annuel du PIREN-Seine par ex.) et internationaux (EGU par ex.). Les contacts avec les partenaires du PIREN-Seine et l'AFB seront mobilisés. Dans le cadre du projet INMS, des collaborations sont déjà en cours nos voisins européens, ce qui permettra à l'étudiant.e de resituer le fonctionnement hydroécologique des bassins fluviaux français dans un contexte climatique, de tempéré à méditerranéen.

Ce travail de thèse devrait permettre à l'équipe de participer au reportage de la Directive cadre sur l'eau à l'échelle nationale en 2024 comme nous l'avons fait pour le bassin de la Seine en 2014 et 2019

#### **4bis. Description of the thesis project**

It is now clear that water resource management must be conceived on the decision-making scale of entire territories, the only scale capable of integrating all the processes that affect water quality throughout its journey from agricultural, forest or urban soils, to coastal areas, including aquifers, rivers and their hydraulic annexes.

With regard to carbon (C) and nutrients (N, P, Si) responsible for (i) direct contamination of groundwater and surface water used for drinking water production, (ii) loss of aquatic biodiversity, (iii) eutrophication and (iv) greenhouse gas emissions, we have developed generic tools (GRAFS and RIVERSTRAHLER models), applicable at several scales for modeling processes involved in the transport, reactivity and retention of these macronutrients from upstream headwaters to downstream main stems, including stagnant systems (reservoirs and lakes), hydromorphological and biogeochemical discontinuities, as well as estuarine interfaces (with the application of the C-GEMS model).

If the Seine river basin, on which the PIREN-Seine program and the Seine ZA have been working for 3 decades, is considered as a pilot territory for the development of such operational tools, this thesis aims at extending the scope of these tools to the French national scale, in order to offer a robust suite of models, consistent with the (spatial) scale of long-term prospective for water resource management.

The RIVERSTRAHLER model calculates transfers of carbon, nitrogen, phosphorus and silica in river systems taking into account diffuse inputs from aquifers and surface waters, point inputs from urban wastewater, and transformations that occur in the river system itself (in the water column and at the interface with benthic sediment). It offers the possibility of a seasonal calculation of concentrations, inputs and processes related to the C, N, P and Si elements in any aquatic continuum with kilometric resolution, in current or past situations (Garnier et al. 2018; Billen et al. 2018), as well as under various possible future scenarios. The model thus provides nutrient fluxes delivered to the outlet of the watersheds and contributing to eutrophication of coastal and marine water bodies. These simulations have often been used as input data for coastal marine eutrophication models (Cugier et al. 2005; Passy et al. 2013, 2016; Demits et al. 2018) and have recently been linked to the C-GEMS estuarine model (Laruelle et al. 2019).

The GRAFS model is a budgeting approach for calculating nitrogen, phosphorus and carbon fluxes in agri-food systems (Billen et al., 2014; Le Noë et al. 2017) by linking the structure of these systems to the diffuse pollution they generate, including in the case of agricultural scenarios (from business as usual to deep structural changes). The diffuse sources from GRAFS serve as input data to the biogeochemical RIVERSTRAHLER aquatic model.

This modeling chain, already operational for the Seine basin, will therefore be extended and validated for all French aquatic continuums. This PhD work aims at generalizing this integrative modeling effort and especially the GRAFS-RIVERSTRAHLER coupling and will require:

- to characterize underground and surface water flows for the current period 2000-2020 and to integrate the projections made for 2050 and 2100 by the 5<sup>th</sup> IPCC reports. Several emission scenarios whose climate variables were already disaggregated at the national level (CERFACS data processing using the SAFRAN national grid) will be used during the thesis.
- to conceive and assess futur agri-food systems, their potential and complementarities at the national scale, through various prospective scenarios. The aim is to explore the French ecological transition, with a global trend towards diversification of farms and types of system production (significant increase, up to 40% of UAA, in organic agriculture in 2050, implying an increase of legumes and protein crops)
- to carry out an environmental assessment on the entire national coastline for the current and future period by (i) taking into account hydrological conditions under climate change and alternative agriculture, (ii) quantifying nutrient flows and their eutrophication capacity (iii) assessing greenhouse gas emissions.

#### **5bis. Required skills and knowledge**

The candidate must have solid background in environmental sciences, agronomy, biogeochemistry and/or hydroecology. A good knowledge is expected for the current French and European environmental/agricultural regulations, as well as the major future issues currently being discussed for improving water resource management in France and Europe.

Some experience with numerical modeling (computing using Python ideally), statistics and database analysis is desirable. Applicants should be autonomous but motivated to work as a member of a team. Fluency in English, both oral and written will be appreciated.

**Visa de la Direction de l'Unité**



**Commentaires éventuels :**

Ce projet intégrera de nombreux travaux menés sur la circulation du carbone et des nutriments, y compris les gaz à effet de serre, menés dans l'unité. Les premières applications intégrant tous les processus étudiés jusqu'à présent grâce à la nouvelle plate-forme de modélisation pyNUTS, de la parcelle à l'estuaire, ont commencé à être développées à l'échelle du bassin de la Seine. Grâce à ce projet, elles seront étendues à l'ensemble du territoire national. Le projet a été examiné en conseil d'unité. Avis très favorable.