

## **Transferts et exports de nutriments dans les continums rivières – zones côtières : vers une application générique du modèle biogéochimique Riverstrahler aux grands fleuves de la façade Atlantique Nord-Est**

Nutrient transfer in aquatic continuum and delivery to coastal zone: rising up the challenge of a generic application of the Riverstrahler ecological model to the watershed domain of the European North Atlantic Ocean

Vincent Thieu<sup>1</sup>, Marie Silvestre<sup>2</sup>, Gilles Billen<sup>3</sup>, Josette Garnier<sup>3</sup>, Paul Passy<sup>2</sup>, Luis Lassaletta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UPMC UMR7619 METIS - 4 place Jussieu 75005 Paris - France  
(corresponding author: [vincent.thieu@upmc.fr](mailto:vincent.thieu@upmc.fr))

<sup>2</sup> CNRS/UPMC FR3020 FIRE – 4 place Jussieu 75005 Paris - France

<sup>3</sup> CNRS/UPMC UMR7619 METIS – 4 place Jussieu 75005 Paris - France

### **RÉSUMÉ**

Le dysfonctionnement des écosystèmes aquatiques, en lien avec l'impact des activités humaines et du changement climatique se manifeste non seulement dans les bassins fluviaux, mais aussi à leur exutoire sous des formes dommageables et parfois dramatiques. Le défi pour les outils de modélisation associés est d'une part de se projeter à des échelles capables d'inclure l'ensemble des bassins versants contributifs des zones côtières, et d'autre part de dépasser le cadre statistique des approches actuelles, pour proposer une estimation de ces flux à la mer basée sur une modélisation capable de représenter à grande échelle les processus microscopiques opérant dans les continums aquatiques. Une infrastructure dédiée, pyNuts, a permis de faire évoluer le modèle biogéochimique Riverstrahler, le rendant compatible avec des domaines d'étude d'échelle pluri-régionale à continentale. PyNuts couvre actuellement l'ensemble des bassins de la façade Atlantique Nord-est (soit plus de 350 000 km de réseau hydrographique) pour la période 2000-2010.

### **ABSTRACT**

Ecological functioning of aquatic ecosystems is directly impacted by increasing human activities and climate changes. Altering these functions frequently result in environmental damages affecting the whole aquatic continuum from headwaters to coastal sea (such as eutrophication, green tides, anoxia, fish mortality...). While regional prospective analysis are still greatly supported by statistical approaches, the newly developed biogeochemical model pyNuts, rises up the challenge of a mechanistic representation of microscopic processes operating in the aquatic continuum, scalable and compatible with regional up to continental domains. PyNuts modeling framework (which includes the biogeochemical RIVE model) is now operational for all the north-east Atlantic rivers (more than 350 000 km of drainage network) for assessing present nutrient transfer, including the last decade.

### **MOTS CLES**

Nutriments, modèle Riverstrahler, Plateforme de modélisation PyNuts, Echelle Continentale

## INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques s'écartent progressivement de leur fonctionnement naturel pré-anthropique, et les flux de nutriments sont altérés dès leurs sources, puis tout au long des réseaux hydrographiques, avec une modification des quantités exportées et des capacités de rétention. Ces dysfonctionnements directement en lien avec l'impact des activités humaines et du changement climatique se manifestent à l'exutoire des grands bassins fluviaux sous des formes dommageables (eutrophisation, marée verte...) et parfois dramatiques (anoxie des milieux, mortalité piscicole).

L'établissement de bilans qualitatif et quantitatif des émissions dans les bassins versants est un préalable indispensable à toute tentative de remédiation et nécessite l'usage de modèles écologiques capables d'intégrer le rôle vecteur et filtre des réseaux hydrographiques. Par ailleurs, l'étendu de ces dysfonctionnements côtiers, impose une analyse « pluri-regionale » capable de rassembler l'ensemble des bassins versants contributifs d'un domaine côtier. Le challenge pour la biogéochimie fluviale est donc de se projeter à grande échelle pour décrire l'ampleur des modifications du fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Les outils de modélisation associés doivent également être capables de dépasser le cadre statistique des approches actuelles (comme par exemple les modèles globaux NEWS) et de proposer une estimation de ces flux à la mer basée sur une modélisation à base physique, capable de représenter les processus microscopiques opérant dans les continuums aquatiques à grande échelle.

C'est avec cette ambition que l'UMR METIS, dans le cadre du projet EMoSEM (SeasERA 2012-2014), implémente le modèle biogéochimique Riverstrahler (Billen et al 1994; Garnier et al 1995) sur l'ensemble des bassins de la façade Atlantique Nord-Est pour la période 2000-2010.

## 1 METHODOLOGIE

### 1.1 Le modèle RIVERSTRAHLER

Le modèle écologique Riverstrahler, en accord avec le concept de continuum fluvial prend en compte, de manière détaillée, la physiologie des développements algaux et simule les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du phosphore et de la silice dans l'ensemble d'un réseau hydrographique.

En considérant que les mêmes processus opèrent dans tous les écosystèmes aquatiques et obéissent aux mêmes cinétiques microscopiques, la démarche, proposée par le modèle Riverstrahler, fait également l'hypothèse que toute la variabilité du fonctionnement des écosystèmes s'explique par la diversité des contraintes s'appliquant au continuum aquatique. La description de ces contraintes est alors l'élément clé pour appréhender le fonctionnement d'un hydrosystème (Thieu et al. 2009).

### 1.2 La plateforme de modélisation PyNuts

Le travail de modélisation réalisé sur l'ensemble des bassins versants (supérieurs à 300 km<sup>2</sup>) depuis le Rhin jusqu'au Guadalquivir (soit plus de 350 000 km de réseau hydrographique) a nécessité le développement d'une infrastructure dédiée : PyNuts. Au-delà du pilotage des simulations Riverstrahler, cette plateforme de modélisation assure l'extraction des informations requises par le modèle à partir d'une large gamme de bases de données décrivant les contraintes climatiques, hydrologiques, morphologiques, les apports diffus (agricole) et les rejets ponctuels au réseau hydrographique (assainissements, industries ...). PyNuts permet également la structuration des résultats acquis et les données de validation dans des bases de données spatiales et relationnelles, afin de faciliter l'extraction et la diffusion des simulations produites.

## 2 RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 2.1 Exports fluviaux sur la période 2000-2010

L'harmonisation de bases de données environnementales et leur exploitation par la plateforme de modélisation PyNuts pour la période contemporaine sera brièvement introduite. La validation du modèle générique Riverstrahler-PyNuts sera présentée pour la période contemporaine 2000-2010. L'estimation des flux spécifiques de C, N, P et Si permettra d'évaluer les performances du modèle pour des hydrosystèmes contrastés (taille, anthropisation, gradient climatique nord-sud ...) et aboutira à une estimation des apports fluviaux aux zones côtières de la façade Atlantique Nord-Est. La validation en variations saisonnières reproduites par le modèle Riverstrahler sera également présentée pour quelques grands systèmes du domaine étudié.

## 2.2 Confrontation à un hypothétique état « pristine »

Ces premiers résultats seront confrontés à une reconstitution du fonctionnement de ces mêmes hydrosystèmes dans le cadre d'un hypothétique état pristine, c'est-à-dire en l'absence de toute présence humaine dans les bassins versants, avec pour seul apport terrigène les faibles flux de nutriments issus du lessivage des sols forestiers, auxquels s'ajoutent les apports périodiques directs de feuilles mortes de la végétation rivulaire.

L'écart entre la situation contemporaine et cet état hypothétique pristine sera discuté sur bases des flux de nutriments calculés à l'exutoire de l'ensemble des rivières de la façade Atlantique Nord-Est, mais également en s'appuyant sur l'analyse de ratios C : N : P : Si et d'indicateur d'eutrophisation côtière potentiel comme l'ICEP.

## 3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'application générique du modèle Riverstrahler à des échelles compatibles avec l'analyse des dysfonctionnements côtiers doit permettre de dépasser les clivages thématiques entre la modélisation des surfaces continentales et celle des écosystèmes marins, en favorisant une analyse des transferts de nutriments dans les continuums terre-mer.

La plateforme de modélisation PyNuts doit à terme permettre l'intégration de scénarios présentant une modification des apports diffus agricoles (intégrant l'évolution des pratiques agricoles et des modes de consommations), et des apports ponctuels en lien avec les réglementations en cours d'implémentation (DERU, etc.).

## BIBLIOGRAPHIE / LIST OF REFERENCES

- Billen, G., Garnier, J., and Hanset, P. (1994). Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER Model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia* 289, 119-137.
- Garnier J., Billen G. & Coste M. (1995). Seasonal succession of diatoms and Chlorophyceae in the drainage network of the river Seine: Observations and modelling. *Limnol. Oceanogr.* 40: 750-765.
- Thieu V., Billen G., Garnier J. (2009). Nutrient transfer in three contrasting NW European watersheds: the Seine, Somme, and Scheldt Rivers. A comparative application of the Seneque/Riverstrahler model, *Water Research*, 43(6):1740- 1754