



HAL
open science

**Projet nuts-STeauRY : Apports d'une modélisation
intégrée Terre-Mer dans la co-construction de scénarios
territorialisés pour limiter l'eutrophisation sur le littoral
Français - Atlas des pressions diffuses | rapport
méthodologique**

Vincent Thieu, Antoine Casquin, Marie Silvestre, Goulven G Laruelle, Josette
Garnier, Gilles Billen

► **To cite this version:**

Vincent Thieu, Antoine Casquin, Marie Silvestre, Goulven G Laruelle, Josette Garnier, et al.. *Projet nuts-STeauRY : Apports d'une modélisation intégrée Terre-Mer dans la co-construction de scénarios territorialisés pour limiter l'eutrophisation sur le littoral Français - Atlas des pressions diffuses | rapport méthodologique*. Office Français de la Biodiversité. 2021. hal-04342281

HAL Id: hal-04342281

<https://hal.science/hal-04342281v1>

Submitted on 13 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Projet nuts-STEauRY
Rapport intermédiaire
novembre 2021



Apports d'une modélisation intégrée Terre-Mer dans la co-construction de scénarios territorialisés pour limiter l'eutrophisation sur le littoral Français

Vincent THIEU¹, Antoine CASQUIN¹, Marie Silvestre², Goulven G. LARUELLE³, Josette GARNIER¹ et Gilles BILLEN¹

¹ Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, UMR 7619 METIS, 4 place Jussieu, 75005, PARIS, France

² Fédération Île-de-France de Recherche sur l'Environnement FIRE, CNRS, FR3020, PARIS, France

³ Université Libre de Bruxelles Département Géosciences, Environnement et Société, 1050, Belgique



Projet financé pour une durée de 3 ans par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) dans le cadre de l'Appel à manifestations d'intérêt : Développements en matière de surveillance et d'évaluation de l'état des milieux aquatiques continentaux, littoraux et marins



Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 3 |
| 1. Bref rappel sur le projet nuts-STeauRY | 4 |
| 1.1. Contexte et objectifs | 4 |
| 1.2. Déroulement du projet..... | 4 |
| 2. Faits marquants : | 5 |
| 2.1. Réunion de lancement du projet..... | 6 |
| 2.2. Recrutement 24 mois post-doc | 6 |
| 2.3. Lancement du site web nuts-STeauRY | 6 |
| 2.4. Première réunion de suivi | 7 |
| 2.5. Autres faits marquants..... | 7 |
| 3. Avancement des différentes actions..... | 8 |
| 3.1. Action 1 : Atlas des pressions diffuses | 8 |
| 3.1.1. <i>La méthode GRAFS</i> | 8 |
| 3.1.2. <i>Spatialisation des pressions diffuses</i> | 9 |
| 3.1.3. <i>Valorisation Web-Cartographique</i> | 9 |
| 3.1.4. <i>Estimation des apports latéraux de C, N, P aux hydrosystèmes</i> | 10 |
| 3.2. Action 2 : modélisation intégrée rivière-estuaire | 11 |
| 3.2.1. <i>Préparation des données requises pour la modélisation intégrée rivière-estuaire</i> | 11 |
| 3.2.2. <i>Implémentation du modèle rivière pyNuts-RIVESTAHLER</i> | 12 |
| 3.2.3. <i>Implémentation du modèle C-GEM sur l'ensemble du littoral</i> | 12 |
| 3.2.4. <i>Validation et estimations des exports fluviaux de nutriments aux masses d'eau côtières</i> ... | 13 |
| 3.3. Action 3 : Analyses prospectives du continuum Terre-Mer..... | 13 |
| 4. Les livrables | 14 |
| 4.1. Les éléments de suivis de projet : | 14 |
| 4.2. Les rendus scientifiques : | 15 |
| 5. Bibliographie..... | 16 |

Introduction

Le projet nuts-STeauRY étudie l'apport d'une modélisation intégrée Terre-Mer dans la co-construction de scénarii territorialisés pour limiter l'eutrophisation du littoral français. Ce projet a été financé pour une durée de 3 ans (2020 – 2023) par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) dans le cadre de l'Appel à manifestations d'intérêt : Développements en matière de surveillance et d'évaluation de l'état des milieux aquatiques continentaux, littoraux et marins.

Ce premier rapport est proposé après 7 mois de fonctionnement opérationnel. Il reprend les principaux faits marquants de cette première année et détaille les principales avancées scientifiques pour chacune des 3 actions qui structurent le projet. A ce stade les efforts se sont essentiellement concentrés sur l'action 1 « Atlas des pressions diffuses en France ».

Un rappel des différents livrables qui seront mis à disposition complète ce premier rapport.

1. Bref rappel sur le projet nuts-STeauRY

1.1. Contexte et objectifs

Face à la persistance des problèmes d'eutrophisation côtière, la Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin fixe les conditions du bon état des milieux marins et se tourne vers les gestionnaires de bassins versants pour « intégrer vers l'amont » ces objectifs environnementaux et mettre en place des plans d'action capables de réguler ces apports fluviaux déséquilibrés qui enrichissent et soutiennent des développements algaux nuisibles à la côte. Si la recherche et en particulier les outils de modélisation biogéochimique peuvent apporter des solutions opérationnelles, ils ne peuvent répondre à ce défi qu'en intégrant la connaissance des acteurs et des gestionnaires qui composent ces territoires depuis les terres agricoles jusqu'au littoral.

Le projet nuts-STeauRY propose le déploiement inédit à l'échelle de la France d'une suite de modèles éprouvés représentant la cascade des nutriments et du carbone depuis les pratiques agricoles, les sols, le transfert dans les hydrosystèmes en incluant les estuaires, jusqu'à la zone côtière. Ces outils offrent (de par leur formalisme) une emprise suffisante (identification des pressions et des leviers potentiels) pour pouvoir dialoguer avec les gestionnaires et co-construire des scénarios réalistes visant à atteindre des flux de nutriments « admissibles » à la mer.

1.2. Déroulement du projet

Phasé sur trois années, le projet nuts-STeauRY se propose d'établir un état des lieux des pressions diffuses (C, N, P et Si) à l'échelle des masses d'eau CE et de transition en se basant sur des approches (**GRAFS**) permettant une description détaillée des flux à travers le système agro-alimentaire, ainsi que la prise en compte des dynamiques temporelles (héritage, déstockage, etc.) primordiales pour estimer les flux lixiviés/érodés (Fig. 1 ; *Action 1*). Ces apports alimenteront une chaîne de modélisation intégrée « rivière – estuaire » basée sur le modèle **RIVESTRAHLER** (déjà largement déployée en France métropolitaine) et le modèle générique d'estuaires **C-GEM**, dont le couplage avec le modèle RIVESTRAHLER est déjà opérationnel (Fig. 1 ; *Action 2*). Une implication forte de groupes d'acteurs et de gestionnaires régionaux dès le début du projet, garantira une représentation fidèle des spécificités régionales dans la chaîne de modélisation Terre-Mer. Des ateliers seront également organisés par le consortium de NUTS-STeauRY pour permettre aux acteurs de **comprendre** la chaîne de modélisation Terre-Mer, d'**explorer** les simulations au travers des scénarios structurants radicaux (Billen et al., 2018), avant de **co-construire** des scénarios réalistes, souhaités, et déclinés à l'échelle territoriale (Fig. 1 ; *Action 3*), qui constitueront *in fine* un appui aux décideurs de la politique de l'eau.

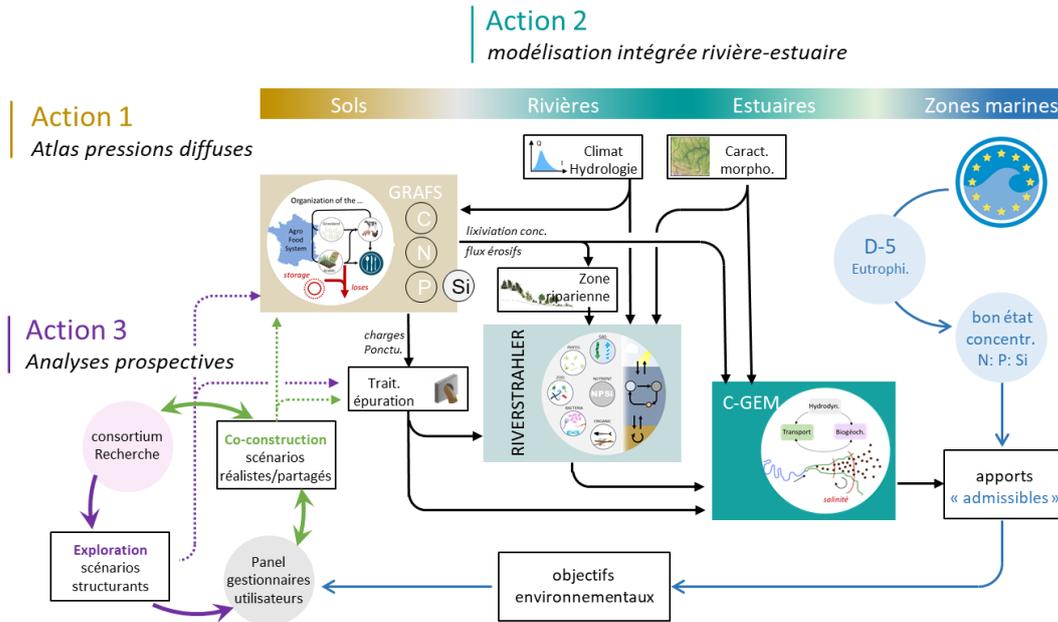


Figure 1: Organisation des actions constitutives du projet NUTS-STeauRY autour des outils de modélisation le long du continuum

Tableau 1: Récapitulatif des objectifs associés à chaque action

| Grandes étapes du projet | Objectifs spécifiques associés |
|--|--|
| Action 1 <i>Atlas pressions diffuses</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Etablir un état des lieux des pressions diffuses - Offrir des « leviers opérationnels » de changement de pratiques - Intégrer les dynamiques temporelles des éléments C, N et P |
| Action 2 <i>modélisation intégrée</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Description homogène à l'échelle nationale des contraintes naturelles et anthropiques - Application générique de la chaîne de modélisation rivière-estuaire - Inter comparaison des flux exportés aux zones marines côtières |
| Action 3 <i>Analyses prospectives</i> | <ul style="list-style-type: none"> - impliquer fortement les acteurs/gestionnaires dès la première année du projet - Comprendre, Explorer, Co-construire et enfin Tester des scenarii territorialisés - Restituer et débattre |

2. Faits marquants :

Officiellement signé au mois de novembre 2020, le feu vert pour un démarrage effectif n'a été transmis qu'au mois de mars 2021. Cette observation a été discutée (avec N. Bougon, E. Thierry et I. Gailhard-Rocher) lors du premier comité de suivi en novembre 2021. Il a ainsi été convenu que le démarrage opérationnel du projet sera phasé avec la réunion de lancement qui a eu lieu au mois de mars 2021 (voir ci-après) et qu'un avenant sera mis en place pour que le projet nuts-STeauRY puisse se dérouler sur les 36 mois initialement prévus.

2.1. Réunion de lancement du projet

Visio-conférence du 9 mars 2021, rassemblant 11 participants en plus des membres du consortium nuts-STeauRY. Plusieurs présentations et de nombreux échanges, portant sur :

- Le cadrage et présentation de l'AMI,
- La présentation du projet NUTS-STeauRY
- La chaîne de modélisation HTM, au travers de quelques projets structurants
- Les données requises pour la modélisation
- La constitution des comités de suivi régionaux

L'ensemble des documents (présentations, CR, etc.) sont disponibles à ce lien : https://drive.google.com/file/d/12plgsOLm1y1ijhd_0HLeJBf4wPqUOdW/view?usp=sharing

Tableau 2: Participants à la réunion de lancement du projet nuts-STeauRY

| Participants | Institutions | Contacts |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Alain Lefebvre | IFREMER | alain.lefebvre@ifremer.fr |
| Anne Colmar | AE Loire-Bretagne | Anne.Colmar@eau-loire-bretagne.fr |
| Anne Daniel | Ifremer | anne.daniel@ifremer.fr |
| Cédric Fisson | GIP seine-aval | cfisson@seine-aval.fr |
| Christophe Rabouille | IFREMER | christophe.rabouille@lsce.ipsl.fr |
| Éva Thierry | OFB | eva.thierry@ofb.gouv.fr |
| Isabelle Gailhard-Rocher | OFB | isabelle.gailhard-rocher@ofb.gouv.fr |
| Julien de Bortoli | AE Seine Normandie | debortoli.Julien@aesn.fr |
| Maia Akopian | OFB | maia.akopian@ofb.gouv.fr |
| Nolwenn Bougon | OFB | nolwenn.bougon@ofb.gouv.fr |
| Pierre-Alain Danis | OFB | pierre-alain.danis@ofb.gouv.fr |

2.2. Recrutement 24 mois post-doc

Phase de recrutement ouverte d'Avril à Mai 2021. Diffusion sur les réseaux spécialisés (Emploi Environnement, LinkedIn etc.), les groupes de diffusion de recherche (FIRE, PIREN, GIP-SA, OZCAR, Réseau des ZA, etc.). Au total, 20 candidatures sérieuses ont été retenues. 7 candidats auditionnés début Juin par un jury composé de l'ensemble du consortium nuts-STeauRY.

Antoine Casquin, a été retenu sur un contrat postdoctoral de 24 mois. Signature au 15 juillet pour une prise de poste à Sorbonne Université le 15 septembre 2021.

2.3. Lancement du site web nuts-STeauRY

Un site web a été déployé afin de favoriser la prise de contact et la communication au long cours avec les groupes d'acteurs régionaux. Ce site est disponible à l'adresse suivante (voir également section 4.3.) : <https://nuts-steaury.cnrs.fr/>

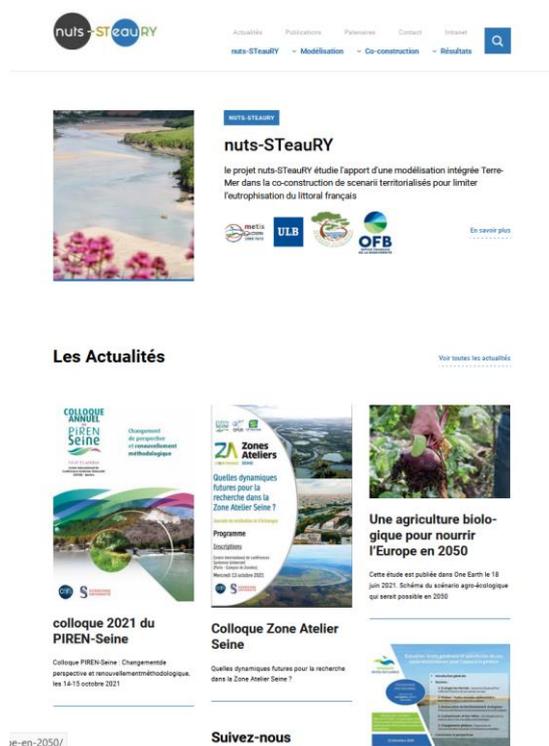


Figure 3: Page d'accueil du site nuts-STeauRY : <https://nuts-steaury.cnrs.fr/>

2.4. Première réunion de suivi

Visio-conférence du 15 Octobre 2021, rassemblant 4 participants (OFB) 1 invité IFREMER et 2 membres du consortium nuts-STeauRY. Cette réunion était l'occasion de faire un point d'étapes après 7 mois de fonctionnement pour le projet.

Tableau 3: Participants à la réunion de suivi du projet nuts-STeauRY

| Participants | Institutions | Contacts |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------|
| Éva Thierry | OFB | eva.thierry@ofb.gouv.fr |
| Isabelle Gailhard-Rocher | OFB | isabelle.gailhard-rocher@ofb.gouv.fr |
| Dorothee Vincent | OFB | dorothee.vincent@ofb.gouv.fr |
| Nolwenn Bougon | OFB | nolwenn.bougon@ofb.gouv.fr |
| David Devreker | IFREMER | david.devreker@ifremer.fr |

2.5. Autres faits marquants

- Sylvain Thery, Ing. d'étude géomaticien FIRE-CNRS a bénéficié en octobre 2021 d'une mutation pour le laboratoire UMR ART-dev à Montpellier. Il quitte donc la FIRE et le consortium nuts-STeauRY. Ses missions seront suppléées par Marie Silvestre (FIRE) et Antoine Casquin (SU).

3. Avancement des différentes actions

3.1. Action 1 : Atlas des pressions diffuses

3.1.1. La méthode GRAFS

Des travaux, menés en grande partie à l'UMR METIS, permettent d'estimer avec une méthodologie et des données de qualité homogène sur le territoire métropolitain, les flux surfaciques d'éléments nutritifs potentiellement transférés aux masses d'eau sur la période d'intérêt 2014-2019. Ces estimations reposent sur la méthode GRAFS (Generalized Representation of Agro-Food Systems) (Billen et al., 2014) et sont disponibles pour le carbone (C), l'azote (N) et le phosphore (P) à l'échelle régionale (Figure 1), et pour chaque grand type de surface agricole (terres arables, surfaces toujours en herbe et cultures pérennes).

Pour rappel, la méthode GRAFS (Le Noë et al., 2017, 2018) est un cadre conceptuel de représentation des relations entre agriculture, élevage et consommation alimentaire au sein d'un territoire, à travers les flux d'azote, de phosphore ou de carbone qui sous-tendent ces échanges. Cette méthode permet tout d'abord de poser un diagnostic du fonctionnement d'ensemble du système agro-alimentaire, en synthétisant les données relatives à l'analyse des filières principales de production sous forme d'une représentation en flux de matière. Elle permet ensuite de construire un modèle simplifié de ce fonctionnement qui permet d'explorer la faisabilité biophysique de divers scénarios de l'avenir du système (e.g. Billen et al., 2021; Le Noë et al., 2020).

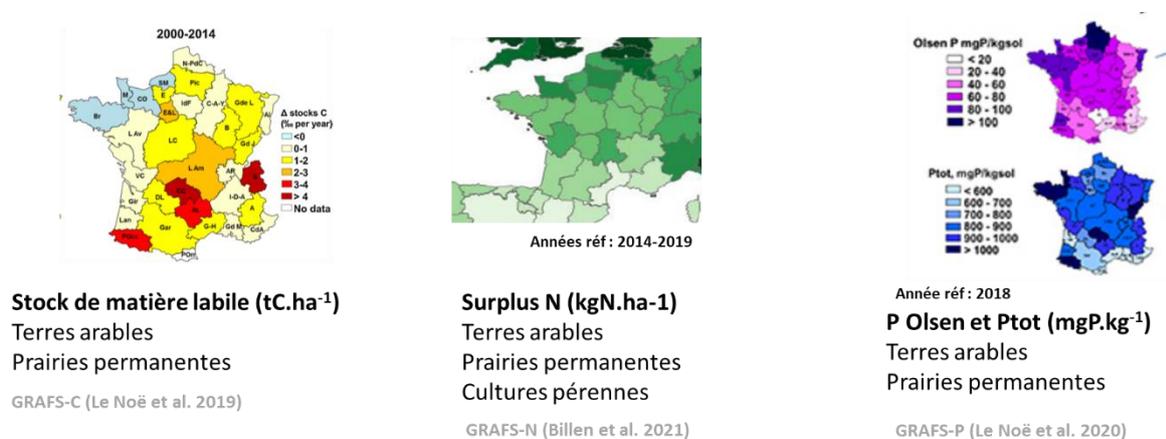


Figure 4. Surplus et/ou stocks de C-N-P régionalisés en fonction du type de surface agricole.

Les pressions diffuses en C et P correspondent à un stock dans le sol tandis que celle en N correspond à un surplus annuel moyen. La pression diffuse en N est donnée en kgN.an.ha⁻¹ de surplus, celle en P pour le P total et P dissous correspond à la quantité moyenne de Ptot et POlsen, respectivement, dans les premiers 30 centimètres du sol exprimé gP.kg⁻¹.

Un travail de comparaison des résultats obtenus avec le modèle CASSIS-N devra être réalisé pour le N. Une note synthétique expliquant les différences majeures et l'intérêt des deux méthodes sera également proposée.

3.1.2. Spatialisation des pressions diffuses

Elle est réalisée par une descente d'échelle des pressions diffuses régionales par grand type de surface agricole (résultats de GRAFS) via les données renseignées dans le Registre Parcellaire Graphique (Figure 5). Les données sont ensuite réagrégées au niveau des grands bassins versants, et des bassins versants d'ordre 3 (Strahler) du CCM (aire moyenne = 112 km², q25-q75 = 17-132 km²).

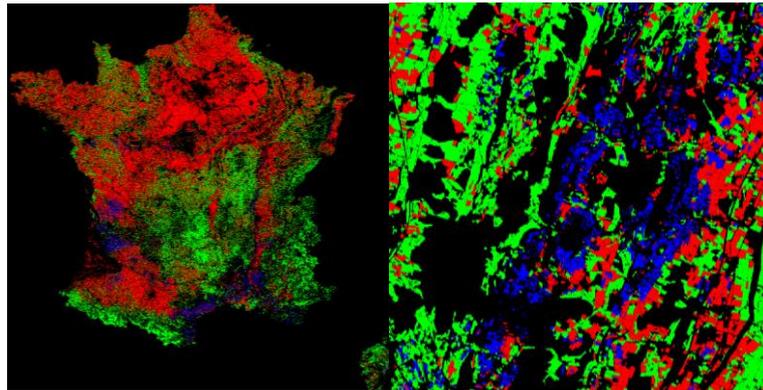


Figure 5. Terres arables (rouge), surfaces toujours en herbe (vert) et cultures pérennes (bleu) en France Métropolitaine (gauche), détail pour une zone de 20*20km dans la haute vallée du Rhône (droite). Données issues du Registre Parcellaire Graphique 2019.

3.1.3. Valorisation Web-Cartographique

Un atlas cartographique interactif est en cours de réalisation pour présenter les résultats pressions diffuses pour le carbone, l'azote, le phosphore et la silice. En première approche la maille d'ordre 3 des « catchments » de la base CCM V2 (Vogt et al. 2007) a été retenue comme maille la plus fine pour la diffusion de l'Atlas. Le calcul des pressions diffuses dans les mailles élémentaires (ordre 1 de la base du CCM) sera néanmoins réalisé en vue de la modélisation rivière.

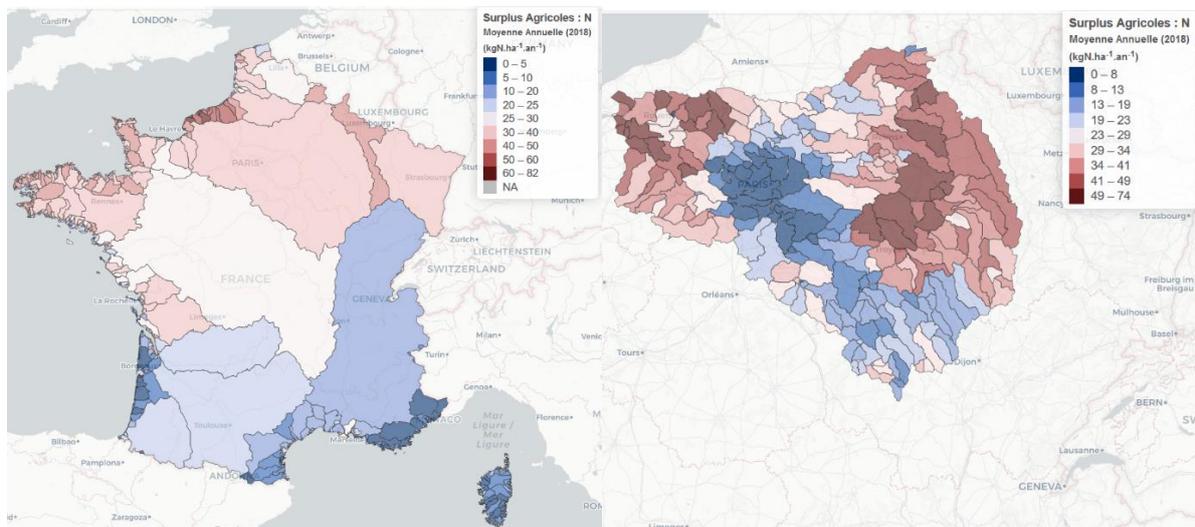


Figure 6. Aperçu de l'Atlas des pressions diffuses pour le N à l'échelle de France Métropolitaine (gauche) et à l'échelle du bassin versant d'ordre 3 CCM pour le bassin versant de la Seine (droite).

Les cartes sont présentées dans un format web léger (via API javascript leaflet) et permettent de classer visuellement les bassins versants français (Figure 6, gauche) selon les pressions agricoles diffuses qui y ont lieu. Pour visualiser la variabilité spatiale des pressions au sein des grands bassins versants français, il est possible de simplement cliquer sur la carte (Figure 6, droite). Ces cartes sont hébergées sur le site web du projet nuts-STeauRY (en cours de finalisation : <https://nuts-steaury.cnrs.fr/les-resultats/action-1-atlas-des-pressions-diffuses/>). À terme, une mise à l'échelle d'autres mailles plus opérationnelles (masses d'eau MECE et MET par exemple) pourra venir compléter cette Atlas web-cartographique.

3.1.4. Estimation des apports latéraux de C, N, P aux hydrosystèmes

Nous cherchons à modéliser les transferts hydriques de C-N-P-Si, des versants aux cours d'eau, dans la situation actuelle (période 2014-2019) en fonctions des pressions agricoles diffuses. Les surplus par hectare par an en C, N et P (Billen et al., 2021; Le Noë et al., 2017, 2020) ainsi que les concentrations dans le sol en P Olsen, P Total (Le Noë et al., 2020) et C labile (Le Noë et al., 2019) sont disponibles.

Il existe des relations robustes entre les flux hydriques de N et les surplus agricoles (Dupas et al., 2013, 2015; Ehrhardt et al., 2021) mais les relations entre pressions diffuses et flux hydriques pour le C (Garnier et al., 2022) et le P sont plus complexes (Bol et al., 2018; Frei et al., 2020). Pour le DOC (Musolff et al., 2018) comme pour le P (Casquin et al., 2021) la topographie a une forte influence sur les transferts de ces éléments. D'autres facteurs comme le climat, la géologie, le type de sol, le potentiel érosif, etc. peuvent influencer fortement la relation entre pressions diffuses et flux d'éléments nutritifs effectivement transférés.

Ces différents facteurs sont en cours d'investigations à l'aide d'une base de données : DoNuts (Thieu et Silvestre 2015), qui permet un accès standard et structuré à une sélection des données d'intérêt, homogénéisées et documentées. Cette base de données rassemble des mesures/observations sur la qualité et l'hydrologie des cours d'eau issues de multiples réseaux de surveillance des milieux (données des Agences de l'eau, eaufrance.fr, Banque Hydro, etc.). Quelques hypothèses sont listées dans la Figure 7.

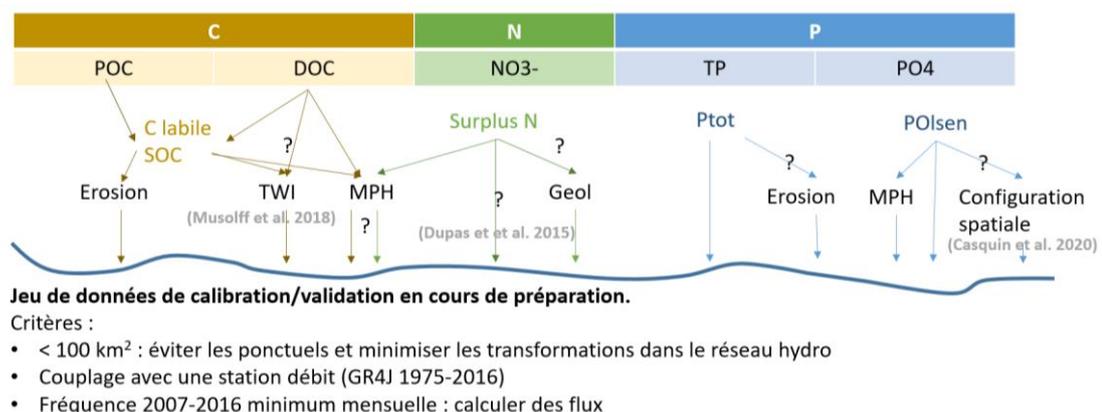


Figure 7. Quelques hypothèses sur les principaux facteurs qui contrôlent les relations entre pressions diffuses et flux hydriques pour les principales formes de C, N et P.

3.2. Action 2 : modélisation intégrée rivière-estuaire

Sont repris ci-après les quatre grandes étapes de l'action 2 sur la modélisation intégrée rivière-estuaire, avec mention des progrès réalisés.

Bien que plusieurs avancées aient été réalisées durant les premiers mois du projet nuts-STeauRY, l'essentiel de ces développements débutera en 2022.

3.2.1. Préparation des données requises pour la modélisation intégrée rivière-estuaire

L'implémentation des outils de modélisation rivière-estuaire à l'échelle de la France métropolitaine requiert un ensemble de données (forçages) homogène décrivant les contraintes naturelles et anthropiques s'appliquant aux hydrosystèmes à l'échelle nationale.

Le tableau ci-dessous reprend les principales contraintes ainsi que les données étant déjà été identifiées pour constituer des entrées de la chaîne de modélisation pyNuts-Riverstrahler.

Tableau 4: récapitulatif des forçages amont

| Contraintes | Données | Références ou sources de données |
|-------------------------------|---|---|
| morpho | Réseau hydro., bassins et morphologie sur toute la France | Vogt et al. 2007 |
| hydro | chroniques hydrologiques journalières reconstituées à l'aide de GR4 sur 11 337 stations | OFB |
| | chroniques de débits consolidées sur 1664 stations de banque hydrologiques | Pelletier and Adréassian 2020 |
| température | relations empiriques par ordres sur obs. FR disponibles 2006-2020 | réseau National de suivi des Températures (RNT) & DoNuts (Thieu et Silvestre 2015) |
| prélèvements | base BNPE (OFB/BRGM) | |
| App. ponctuels | Portail d'infos sur l'assainissement communal | MTES : https://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/ |
| | registre des émissions polluantes pour les apports polluants des ICPE | https://www.georisques.gouv.fr/risques/registre-des-emissions-polluantes |
| App. diffus | GRAFS-N | Billen et al 2021 |
| | GRAFS-P | Le Noé et al 2020 |
| | GRAFS-C | Le Noé et al 2019 |
| | RQMS | Delmas al 2015 |
| | LUCAS | JRC/ESDAC |
| | WaTEM/SeDEM | Borelli al 2018 |
| | Registre Parcellaire Graphique | https://geoservices.ign.fr/rpg#telechargementrpg2019 |
| Milieu Potentiellement Humide | MTE (zones humides potentielles), GIS Sol. 2014 | |
| Rétention riparienne | Drainage agricole canton | Recensement Agricole 2010 (Agreste) |

Concernant les données hydrologiques, il est à rappeler que la chaîne de modèle du projet nuts-STeauRY n'intègre pas de développement pour la modélisation hydrologique à partir de variables atmosphériques (pluie, température, etc.). Il est en revanche prévu de s'appuyer sur les nombreux travaux existants pour faire l'acquisition de flux d'eau pour la période contemporaine (et éventuellement sous climat changeant).

Une collaboration a été formalisée (en octobre 2021) avec l'équipe hydrologue de l'UMR HYCAR INRAE Antony, qui nous fournira plusieurs produits hydrologiques :

- Les chroniques hydrologiques journalières reconstituées à l'aide de GR4 sur 11 337 stations du réseau de référence pérenne (RRP) et de la base de données sur les milieux aquatiques et piscicoles (BDMAP) sur la période 01/08/1959 – 31/07/2016 + complément jusqu'en 2019 (à venir en Janvier 2022)
- Des chroniques de débits « observés » ; consolidée pour compléter les éventuelles lacunes sur 1664 stations de banque hydrologiques sur la période 1961 – Jul. 2018 (Pelletier and Andréassian 2020)

Ces deux sources de données hydrologiques seront utilisées de façon complémentaire sur l'ensemble du territoire Français métropolitain. En particulier, les observations seront privilégiées dans les secteurs aval, où l'influence des activités humaines peut pénaliser les simulations de débits. Le calcul et l'interpolation des lames d'eau spatialisées sur les différents sous-bassins (emboîtés) s'appuieront sur le réseau du CCM. Une méthode de séparation d'hydrogrammes (BFLOW, Arnold and Allen, 1999) permettra ensuite de séparer les fractions rapides (superficielles) et lentes (phréatiques) du débit.

3.2.2. Implémentation du modèle rivière pyNuts-RIVESTHALER

Un processus d'amélioration continue des codes constituant pyNuts-Riverstrahler (Thieu et al. 2015) est mis en place depuis plusieurs années, en collaboration avec FIRE (FR3020). Ce travail c'est normalement poursuivi avec des développements spécifiques au projet nuts-STeauRY.

Ces codes ont récemment été portés dans une plateforme de développement collaboratif GitLab, afin d'offrir une vitrine aux modèles développés, mais également de pouvoir prochainement ouvrir ses codes à l'ensemble de la communauté. Ce dernier point sera important dans l'effort de transparence qui sera requis pour initier les dialogues autour des outils de modélisation avec les gestionnaires en région.

3.2.3. Implémentation du modèle C-GEM sur l'ensemble du littoral

L'équipe a poursuivi le travail initié dans Prest'Eau (projet terminé en août 2021). Une publication est en cours de révision dans la revue Biogéoscience (Wei et al. In revision) :

<https://bg.copernicus.org/preprints/bg-2021-164/#discussion>

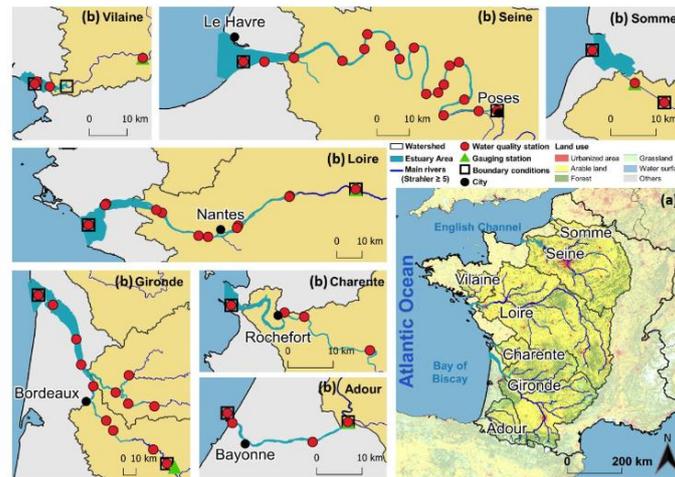


Figure 8. Contexte de la modélisation C-GEM, extrait de l'article en cours de révision

3.2.4. Validation et estimations des exports fluviaux de nutriments aux masses d'eau côtières

L'implémentation des outils de modélisation nuts-STeauRY s'appuiera sur des bases de données spatialisées et spécifiquement dédiées à la surveillance de la qualité physico-chimique des milieux aquatiques continentaux et des eaux de transition (système d'information DoNutS, METIS/FIRE).

Cette base a récemment été mise à jour pour couvrir l'ensemble de la période étudiée dans le cadre de nuts-STeauRY. Cette mise à jour implique notamment les problèmes de recouvrement entre les anciennes données des AE et Naiades, avec des post-traitements importants.

3.3. Action 3 : Analyses prospectives du continuum Terre-Mer

Bien que l'action 3, et plus particulièrement les ateliers prospectifs, soient programmés dans le dernier tiers du programme nuts-STeauRY, il était nécessaire d'initier la constitution du groupe de travail régional (GTR) dès la première année du projet et donc de porter le projet à la connaissance des différents acteurs. Plusieurs actions ont ainsi été engagées :

- Présentation du projet nuts-STeauRY dans le cadre du webinaire de la MIE (Mission Inter Estuaire) le 15 décembre 2020. Ce webinaire organisé par l'OFB et le GIP Seine-Aval était consacré aux avancées et perspectives de recherche en appui à la gestion, dans le domaine de l'écologie de ces milieux.
- La réunion de lancement du projet a été l'occasion d'identifier et d'inviter plusieurs scientifiques et acteurs/gestionnaires, afin de présenter le projet et les impliquer dans le suivi des travaux de recherche. Le tableau 2 reprend la liste des personnes ayant accepté de participer à cette réunion de lancement.
- Présentation du projet nuts-STeauRY lors du colloque international IS Rivers programmé à Lyon les 4-6 Juillet prochain
- Présentation du projet nuts-STeauRY de la Journée scientifique de l'UMR METIS programmée à Paris le 9 décembre prochain
- Mise en place d'un site web pour le projet nuts-STeauRY (voir fait marquant 2.3)

Plusieurs autres actions sont encore en cours pour favoriser la visibilité du projet nuts-STEauRY en région :

- liste de diffusion ou mailing à partir du site web
- une labélisation du projet (ZA, GIP-SA, PIREN, réseau ZA, autres)
- réalisation de plaquette d'information

Le site web du projet nuts-STEauRY, a été conçu pour proposer un contenu synthétique aux acteurs souhaitant découvrir le projet, mais également des sections plus détaillées pour ceux qui souhaitent en suivre l'évolution. Il est notamment possible de suivre (flux RSS) les actualités scientifiques qui seront régulièrement ajoutées sur le site web.

Enfin, le site propose un espace de formulaire permettant aux scientifiques ou gestionnaires souhaitant participer aux ateliers prospectifs de pouvoir s'inscrire dans un GTR (<https://nuts-steaury.cnrs.fr/la-co-construction/nous-rejoindre/>)

4. Les livrables

4.1. Les éléments de suivis de projet :

Pour l'instant, tous les documents de suivis de projet : diaporama des présentations, compte-rendu des réunions et rapports intermédiaires sont placés (après validation) sur un espace drive dédié :

- <https://docs.google.com/spreadsheets/d/10qyN13liSbwBCX-wIAieyQu0YwICEAnnJoXipvuawmM/edit#gid=725890966>

À terme ces documents seront organisés dans un intranet (sécurisé par mot de passe) et mis à disposition du comité de suivi de projet :

- <https://nuts-steaury.cnrs.fr/intranet/>

4.2. Les rendus scientifiques :

La liste des rendus du projet nuts-STeauRY est reprise ci-dessous tableau 5. Dans ce tableau nous considérons que M1 correspond au démarrage opérationnel du projet en mars 2022.

Tableau 5: récapitulatif des rendus sur les 3 années du projet

| N° Action/Prestation | Résultats prévus détaillés | Livrables scientifiques et/ou techniques transférables faisant l'objet d'un suivi contractuel | Date de début de l'action | Date de fin de l'action |
|--|----------------------------|---|---------------------------|-------------------------|
| Action N°1 : Atlas des pressions diffuses | Résultat N°1.1 | Rapport méthodologie pressions diffuses | M1 | M9 |
| | Résultat N°1.2 | Atlas cartographique pressions diffuses France | | |
| | Résultat N°1.3 | Rapport d'accompagnement pressions diffuses | | |
| | Résultat N°1.4 | Note inter-comparaisons pressions diffuses | | |
| Action N°2 : Modélisation intégrée rivière-estuaire | Résultat N°2.1 | Préparation des forçages | M10 | M22 |
| | Résultat N°2.2 | Implémentation générique C-GEM France | | |
| | Résultat N°2.3 | Consultation web des flux à la mer | | |
| | Résultat N°2.4 | Rapport d'accompagnement apports aux zones marines | | |
| Action N°3 : Analyses prospectives du continuum Terre-Mer | Résultat N°3.1 | Composition des groupes régionaux acteurs-gestionnaires | M5 | M35 |
| | Résultat N°3.2 | Ateliers co-construction de scénarios | | |
| | Résultat N°3.3 | Demi-journées de restitution des simulations des scénarios | | |
| | Résultat N°3.4 | Synthèse finale des futurs Homme-Terre-Mer | | |

Les premiers rendus concernent exclusivement les résultats de l'action 1 : « Atlas des pressions diffuses » et sont prévus pour le mois de décembre 2021 (M9). Plus précisément il est envisagé de restituer :

- Un rapport détaillant la méthodologie complète d'estimations des apports diffus C, N, P, Si, incluant les données mobilisées, le traitement par modélisation GRAFS, leur mise à l'échelle (R1.1)
- Ce rapport sera complété (soit sous la forme d'une section dédiée dans le rapport, soit sous la forme d'une note de synthèse en annexe) par une comparaison des résultats GRAFS-N et CASSIS-N, et où les spécificités des approches (très similaires) seront présentées (R1.4).
- Un Atlas web-cartographique (interactif) des pressions diffuses mises à l'échelle des unités de simulations, avec différentes résolutions d'analyse (France entière, par grand bassin versant, etc.) (R1.2), accompagné d'une notice explicative, permettant l'accompagnement et l'interprétation des résultats qui seront diffusés.

Il n'est pas prévu de retard significatif sur les rendus de l'action 1 qui seront remis entre décembre 2021 et janvier 2022.

5. Bibliographie

- Arnold, J.G., Allen, P.M., 1999. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 35, 411–424. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03599.x>
- Billen, G., Aguilera, E., Einarsson, R., Garnier, J., Gingrich, S., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Le Noë, J., & Sanz-Cobena, A. (2021). Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle : The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity. *One Earth*, 4(6), 839-850. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.008>
- Billen, G., Le Noë, J., Garnier, J., 2018. Two contrasted future scenarios for the French agro-food system. *Sci. Total Environ.* 637–638, 695–705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.043>
- Billen, G., Lassaletta, L., & Garnier, J. (2014). A biogeochemical view of the global agro-food system : Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Global Food Security*, 3(3-4), 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.003>
- Bol, R., Gruau, G., Mellander, P.-E., Dupas, R., Bechmann, M., Skarbøvik, E., Bierozza, M., Djodjic, F., Glendell, M., Jordan, P., Van der Grift, B., Rode, M., Smolders, E., Verbeeck, M., Gu, S., Klumpp, E., Pohle, I., Fresne, M., & Gascuel-Oudou, C. (2018). Challenges of Reducing Phosphorus Based Water Eutrophication in the Agricultural Landscapes of Northwest Europe. *Frontiers in Marine Science*, 5, 276. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00276>
- Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Panagos, P., 2018. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. *Environ. Res.* 161, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009>
- Casquin, A., Dupas, R., Gu, S., Couic, E., Gruau, G., & Durand, P. (2021). The influence of landscape spatial configuration on nitrogen and phosphorus exports in agricultural catchments. *Landscape Ecology*, 36(12), 3383-3399. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01308-5>
- Delmas, M., Saby, N., Arrouays, D., Dupas, R., Lemerrier, B., Pellerin, S., Gascuel-Oudou, C., 2015. Explaining and mapping total phosphorus content in French topsoils. *Soil Use Manag.* <https://doi.org/10.1111/sum.12192>
- Dupas, R., Curie, F., Gascuel-Oudou, C., Moatar, F., Delmas, M., Parnaudeau, V., & Durand, P. (2013). Assessing N emissions in surface water at the national level : Comparison of country-wide vs. regionalized models. *Science of The Total Environment*, 443, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.011>
- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J.-M., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Oudou, C. (2015). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators*, 48, 396-407. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.007>
- Ehrhardt, S., Ebeling, P., Dupas, R., Kumar, R., Fleckenstein, J. H., & Musolff, A. (2021). Nitrate Transport and Retention in Western European Catchments Are Shaped by Hydroclimate and Subsurface Properties. *Water Resources Research*, 57(10). <https://doi.org/10.1029/2020WR029469>
- Frei, R. J., Abbott, B. W., Dupas, R., Gu, S., Gruau, G., Thomas, Z., Kolbe, T., Aquilina, L., Labasque, T., Laverman, A., Fovet, O., Moatar, F., & Pinay, G. (2020). Predicting Nutrient Incontinence in the Anthropocene at Watershed Scales. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 200. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00200>
- Garnier, J., Billen, G., Tournebize, J., Barré, P., Mary, B., & Baudin, F. (2022). Storage or loss of soil active carbon in cropland soils : The effect of agricultural practices and hydrology. *Geoderma*, 407, 115538. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115538>
- Le Noë, J., Billen, G., & Garnier, J. (2017). How the structure of agro-food systems shapes nitrogen, phosphorus, and carbon fluxes : The generalized representation of agro-food system applied at the regional scale in France. *Science of The Total Environment*, 586, 42-55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.040>
- Le Noë, J., Billen, G., Mary, B., & Garnier, J. (2019). Drivers of long-term carbon dynamics in cropland : A biopolitical history (France, 1852–2014). *Environmental Science & Policy*, 93, 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.027>

- Le Noë, J., Roux, N., Billen, G., Gingrich, S., Erb, K.-H., Krausmann, F., Thieu, V., Silvestre, M., & Garnier, J. (2020). The phosphorus legacy offers opportunities for agro-ecological transition (France 1850–2075). *Environmental Research Letters*, 15(6), 064022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab82cc>
- Musolff, A., Fleckenstein, J. H., Opitz, M., Büttner, O., Kumar, R., & Tittel, J. (2018). Spatio-temporal controls of dissolved organic carbon stream water concentrations. *Journal of Hydrology*, 566, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.011>
- Pelletier, A. and Andréassian, V.: Hydrograph separation: an impartial parametrisation for an imperfect method, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 1171–1187, <https://doi.org/10.5194/hess-24-1171-2020>, 2020.
- Thieu, V., Silvestre, M., 2015. DoNuts : un système d'information sur les observations environnementales, in: Séminaire UMR Métais.
- Thieu, V., Silvestre, M., Billen, G., Garnier, J., Passy, P., Lassaletta, L., 2015. Transferts et exports de nutriments dans les continuums rivières – zones côtières - Vers une application générique du modèle biogéochimique Riverstrahler aux grands fleuves de la façade Atlantique Nord-Est., in: 2nd International Conference IS-Rivers. Lyon - France.
- Thieu, V., Silvestre, M., Garnier, J., Billen, G., 2017. Introducing the biogeochemical pyNuts-Riverstrahler model to assess prospective scenario impact along the aquatic continuum in western EU-rivers, in: Mountains to the Sea. Honolulu, Hawaii.
- Vogt J, Soille P, De Jager A, Rimaviciute E, Mehl W, Foisneau S, Bodis K, Dusart J, Paracchini M, Haastrup P, Bamps C. A pan-European River and Catchment Database. EUR 22920 EN. Luxembourg (Luxembourg): OPOCE; 2007. JRC40291
- Wei, X., Garnier, J., Thieu, V., Passy, P., Le Gendre, R., Billen, G., Akopian, M., and Laruelle, G. G.: Nutrient transport and transformation in macrotidal estuaries of the French Atlantic coast: a modelling approach using C-GEM, *Biogeosciences Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/bg-2021-164>, in review, 2021.