

La chaîne de modélisation du continuum Homme-Terre-Mer

V. Thieu, N. Gallois, J. Garnier, N. Flipo, M. Silvestre, G. Billen et al.

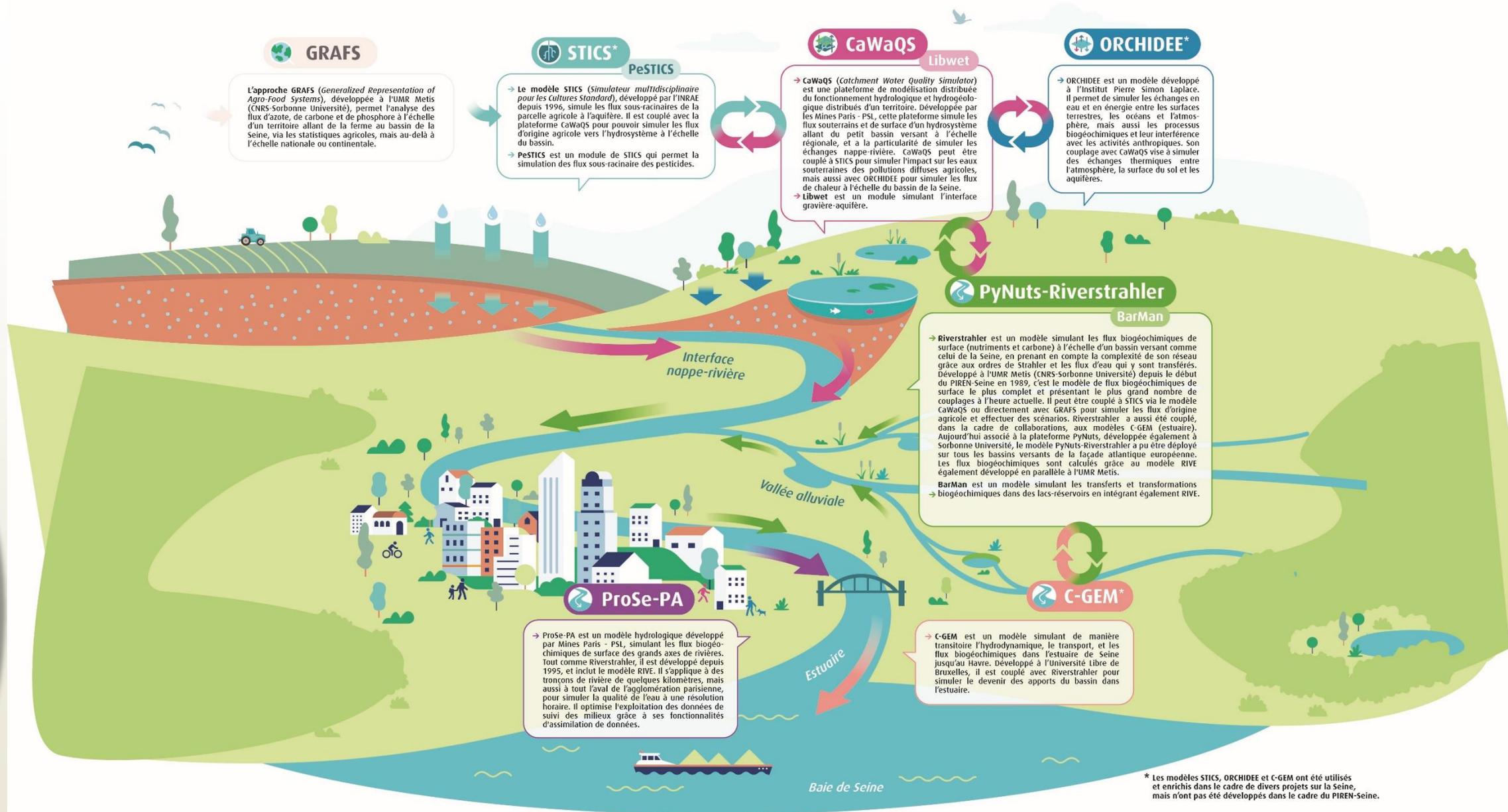
UMR7619 METIS, Mines Paris - PSL Université, Centre de Géosciences, Fédération FIRE FR3020

vincent.thieu@sorbonne-universite.fr

le continuum Seine



La chaîne de modélisation sur le continuum Seine



* Les modèles STICS, ORCHIDEE et C-GEM ont été utilisés et enrichis dans le cadre de divers projets sur la Seine, mais n'ont pas été développés dans le cadre du PIREN-Seine.

La chaîne de modélisation sur le continuum Seine

GRAFS

L'approche **GRAFS** (*Generalized Representation of Agro-Food Systems*), développée à l'UMR Metis (CNRS-Sorbonne Université), permet l'analyse des flux d'azote, de carbone et de phosphore à l'échelle d'un territoire allant de la ferme au bassin de la Seine, via les statistiques agricoles, mais au-delà à l'échelle nationale ou continentale.

STICS*

PeSTICS

→ Le modèle **STICS** (*Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard*), développé par l'INRAE depuis 1996, simule les flux sous-racinaux de la parcelle agricole à l'aquifère. Il est couplé avec la plateforme **CaWaQS** pour pouvoir simuler les flux d'origine agricole vers l'hydrosystème à l'échelle du bassin.

→ **PeSTICS** est un module de **STICS** qui permet la simulation des flux sous-racinaux des pesticides.

CaWaQS

Libwet

→ **CaWaQS** (*Catchment Water Quality Simulator*) est une plateforme de modélisation distribuée du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique distribués d'un territoire. Développée par les Mines Paris - PSL, cette plateforme simule les flux souterrains et de surface d'un hydrosystème allant du petit bassin versant à l'échelle régionale, et à la particularité de simuler les échanges nappe-rivière. **CaWaQS** peut être couplé à **STICS** pour simuler l'impact sur les eaux souterraines des pollutions diffuses agricoles, mais aussi avec **ORCHIDEE** pour simuler les flux de chaleur à l'échelle du bassin de la Seine.

→ **Libwet** est un module simulant l'interface gravière-aquifère.

ORCHIDEE*

→ **ORCHIDEE** est un modèle développé à l'Institut Pierre-Simon Laplace. Il permet de simuler les échanges en eau et en énergie entre les surfaces terrestres, les océans et l'atmosphère, mais aussi les processus biogéochimiques et leur interférence avec les activités anthropiques. Son couplage avec **CaWaQS** vise à simuler des échanges thermiques entre l'atmosphère, la surface du sol et les aquifères.

PyNuts-Riverstrahler

→ **Riverstrahler** est un modèle simulant les flux biogéochimiques de surface (nutriments et carbone) à l'échelle d'un bassin versant comme celui de la Seine, en prenant en compte la complexité de son réseau grâce aux ordres de **Strahler** et les flux d'eau qui y sont transférés. Développé à l'UMR Metis (CNRS-Sorbonne Université) depuis le début du **PIREN** Seine en 1989, c'est le modèle de flux biogéochimiques de surface le plus complet et présentant le plus grand nombre de couplages à l'heure actuelle. Il peut être couplé à **STICS** via le modèle **CaWaQS** ou directement avec **GRAFS** pour simuler les flux d'origine agricole et effectuer des scénarios. **Riverstrahler** a aussi été couplé, dans le cadre de collaborations, aux modèles **C-GEM** (estuaire). Aujourd'hui associé à la plateforme **PyNuts**, développée également à Sorbonne Université, le modèle **PyNuts-Riverstrahler** a pu être déployé sur tous les bassins versants de la façade atlantique européenne. Les flux biogéochimiques sont calculés grâce au modèle **RIVE** également développé en parallèle à l'UMR Metis.

→ **BarMan** est un modèle simulant les transferts et transformations biogéochimiques dans des lacs-réservoirs en intégrant également **RIVE**.

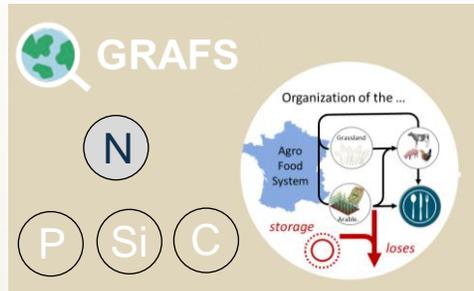
ProSe-PA

→ **ProSe-PA** est un modèle hydrologique développé par Mines Paris - PSL, simulant les flux biogéochimiques de surface des grands axes de rivières. Tout comme **Riverstrahler**, il est développé depuis 1995, et inclut le modèle **RIVE**. Il s'applique à des tronçons de rivière de quelques kilomètres, mais aussi à tout l'aval de l'agglomération parisienne, pour simuler la qualité de l'eau à une résolution horaire, il optimise l'exploitation des données de suivi des milieux grâce à ses fonctionnalités d'assimilation de données.

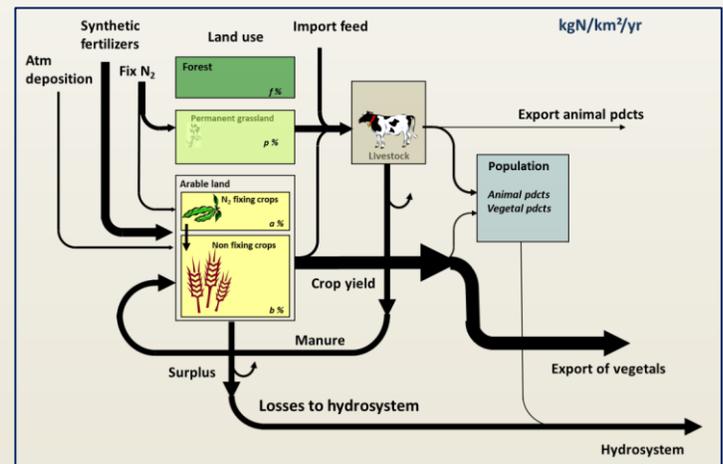
C-GEM*

→ **C-GEM** est un modèle simulant de manière transitoire l'hydrodynamique, le transport, et les flux biogéochimiques dans l'estuaire de Seine jusqu'au Havre. Développé à l'Université Libre de Bruxelles, il est couplé avec **Riverstrahler** pour simuler le devenir des apports du bassin dans l'estuaire.

* Les modèles **STICS**, **ORCHIDEE** et **C-GEM** ont été utilisés et enrichis dans le cadre de divers projets sur la Seine, mais n'ont pas été développés dans le cadre du **PIREN**-Seine.



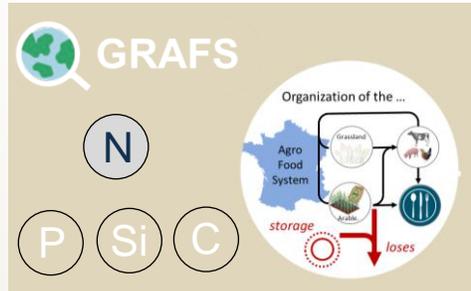
- L'approche territoriale **GRAFS** pour estimer les pertes environnementales des systèmes agricoles vers les hydrosystèmes



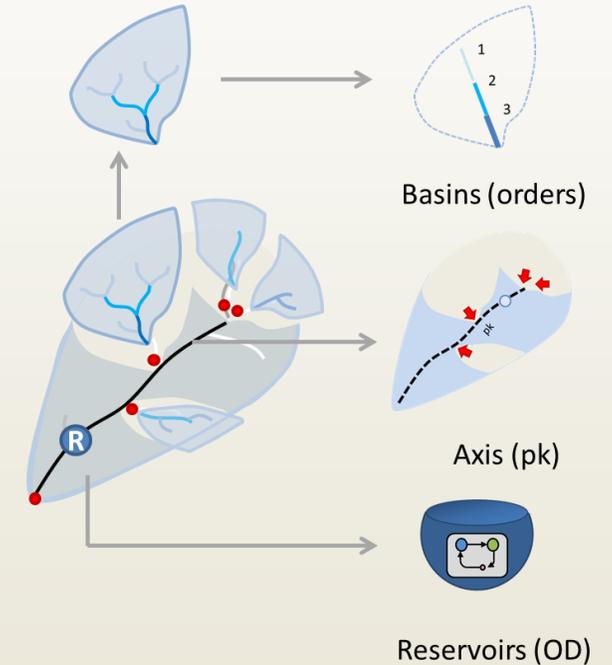
Billen et al., 2013; 2014



Sols Rivières Estuaires Zones marines



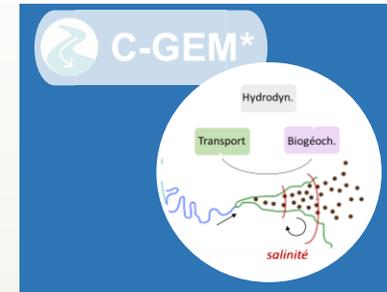
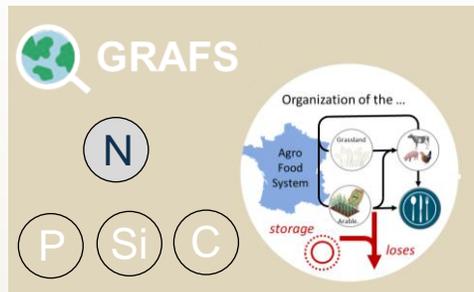
- L'approche territoriale **GRAFS** pour estimer les pertes environnementales des systèmes agricoles vers les hydrosystèmes
- Le fonctionnement biogéochimique des réseaux hydrographiques : **pyNuts-Riverstrahler**



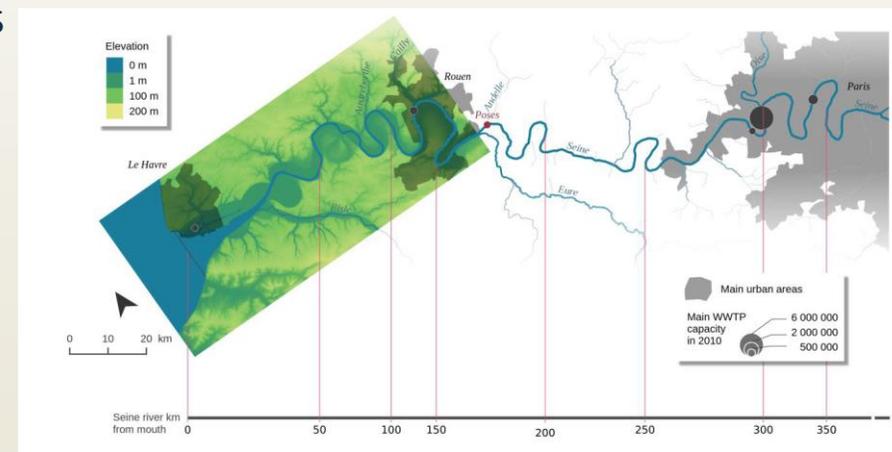
Thieu et al. 2022, Billen et al. 1994, Garnier et al. 1995



Sols Rivières Estuaires Zones marines



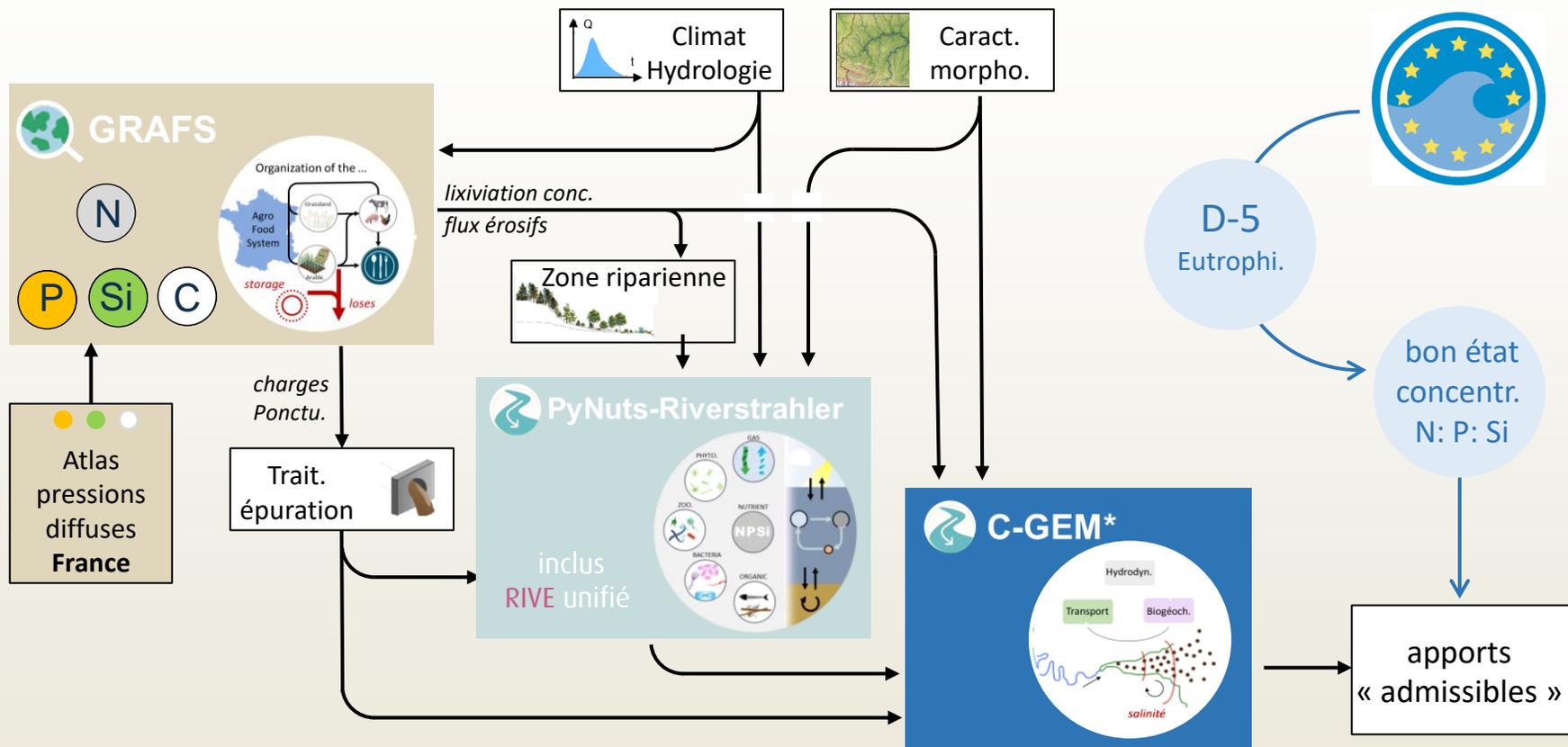
- L'approche territoriale **GRAFS** pour estimer les pertes environnementales des systèmes agricoles vers les hydrosystèmes
- Le fonctionnement biogéochimique des réseaux hydrographiques : **pyNuts-Riverstrahler**
- L'hydrodynamique et le fonctionnement biogéochimique des estuaires : **C-GEM**



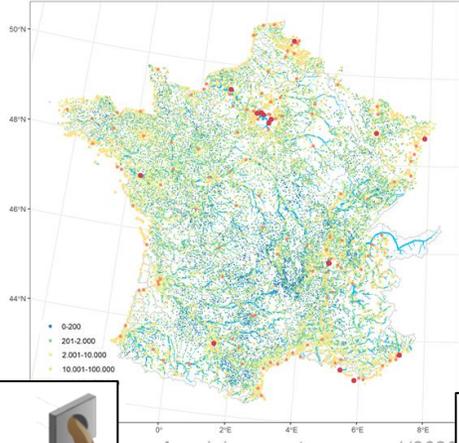
Laruelle et al. 2019, Wei et al. 2022



Sols Rivières Estuaires Zones marines



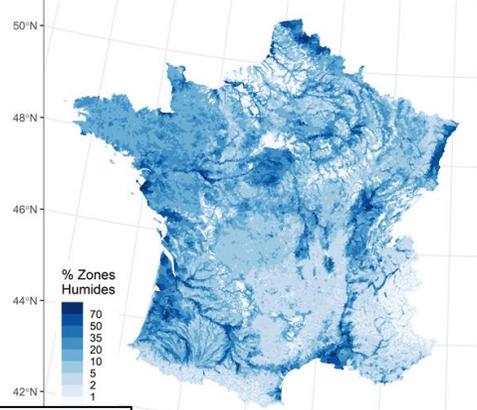
Point sources : WWTP releases (Inhab. Eq.)



Trait. épurateur

Assainissement communal (2020)

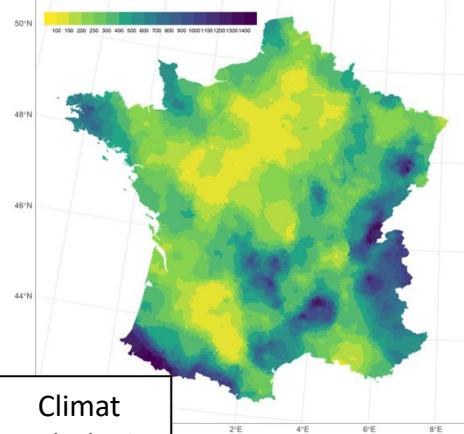
Potential wetland : %



Zone riparienne

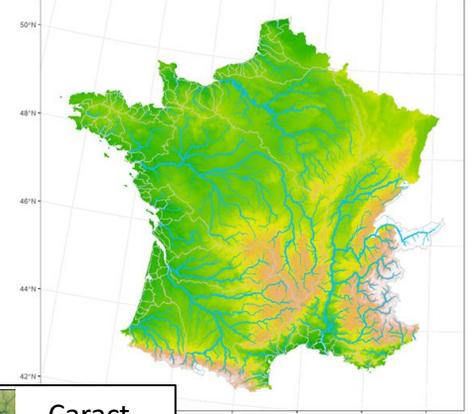
MEDDE (2014)

Hydrology : runoff (mm)



Climat Hydrologie

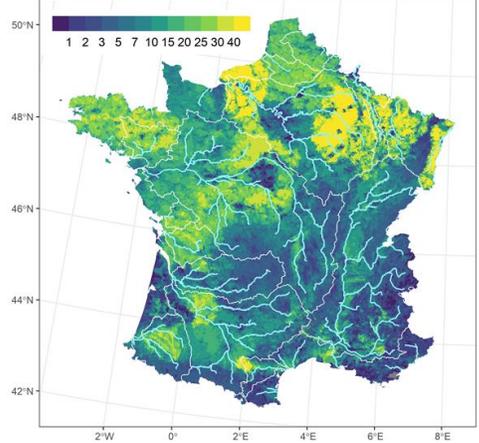
Network and Morphology : DEM (m)



Caract. morpho.

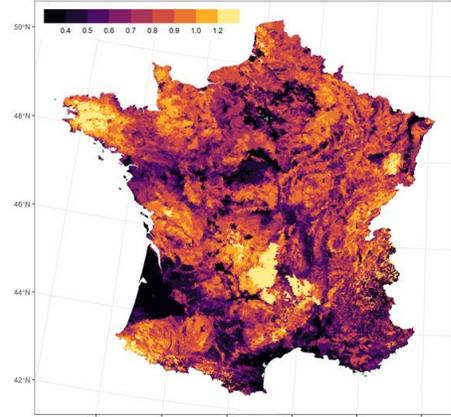
CCM 2.1 – Vogt et al. (2017)

Diffuse sources : avg N fluxes (kgN.ha⁻¹.yr⁻¹)



GRAFS N (azote)

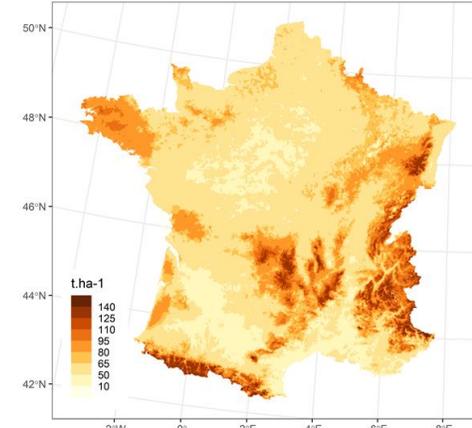
P total content in topsoil (0-30 cm)



P (phosphore)

Delmas et al. (2015)

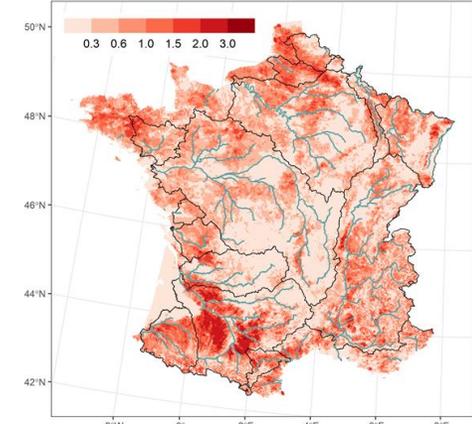
Carbon content in topsoil (0-30 cm)



C (carbone)

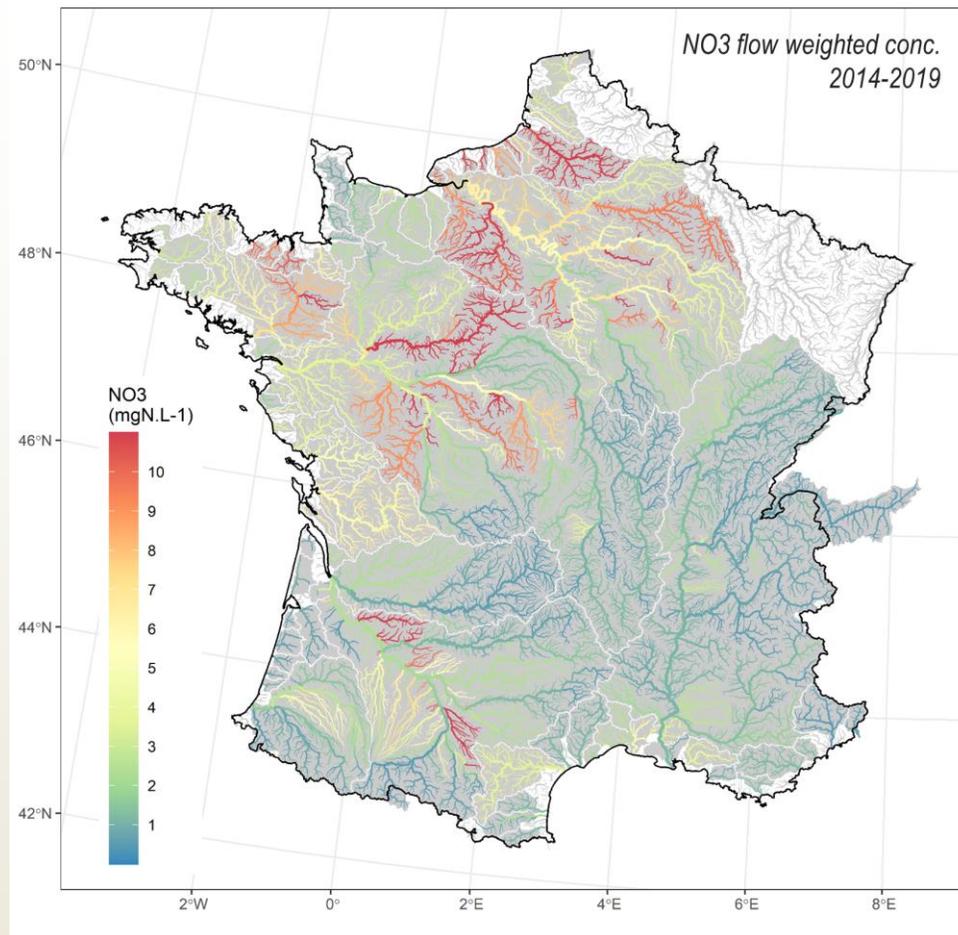
FAO – Global Soil Organic Carbon map

Erosion map : net soil losses (tons.ha⁻¹.yr⁻¹)

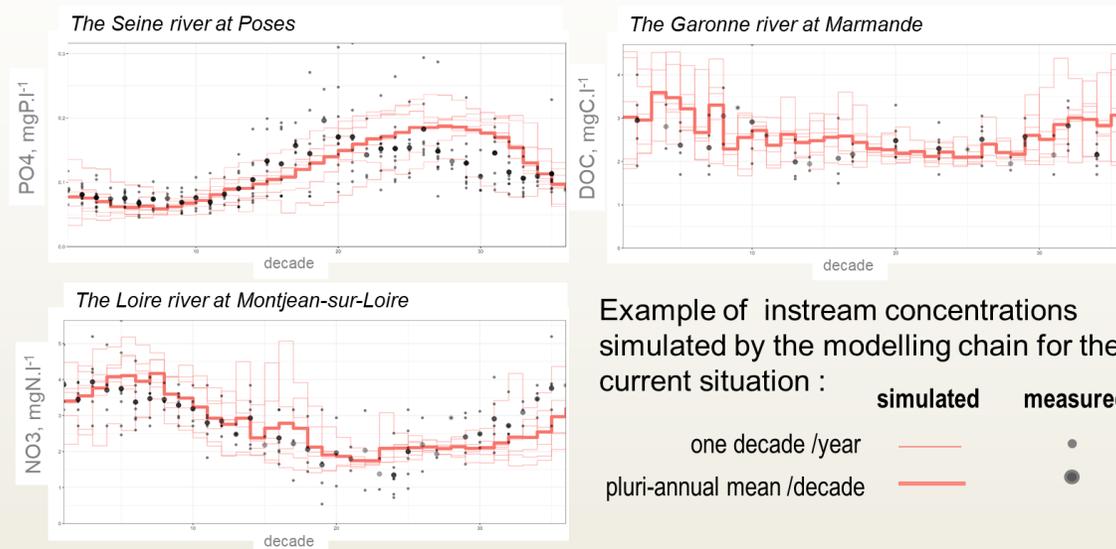


SS (érosion, MES)

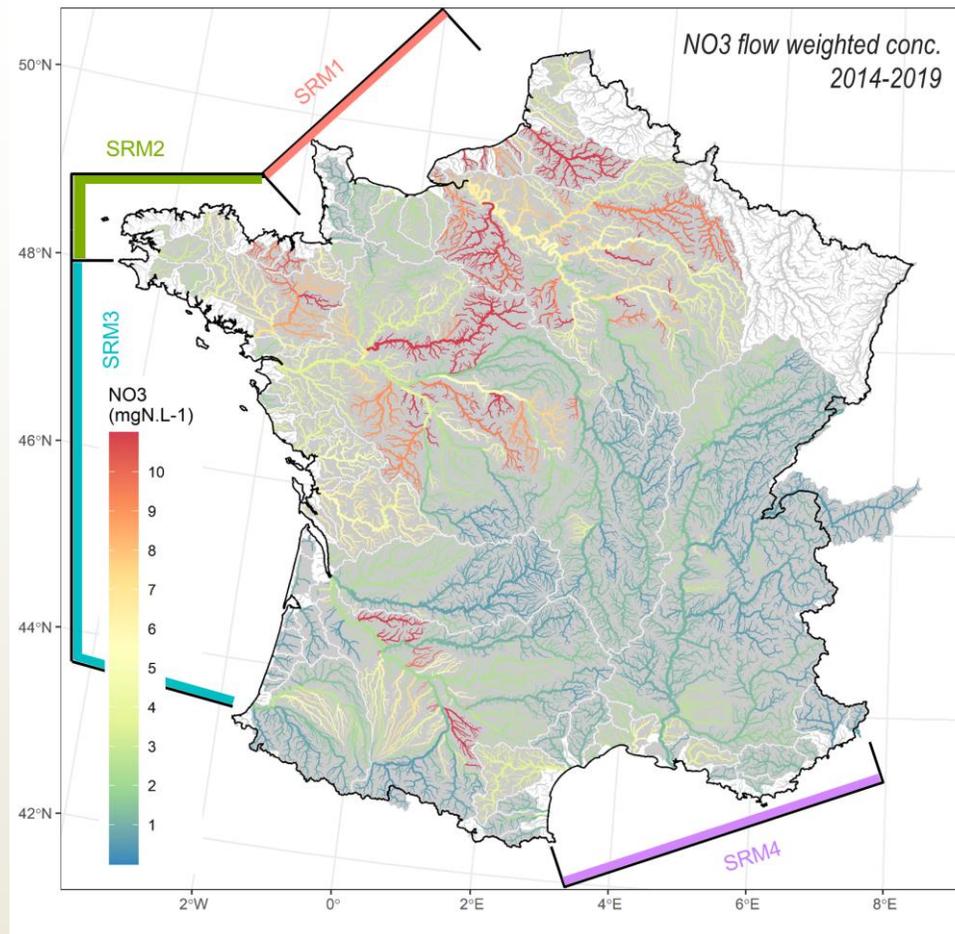
Borrelli et al. (2018)



- Implémentation France sur la période 2014-2019

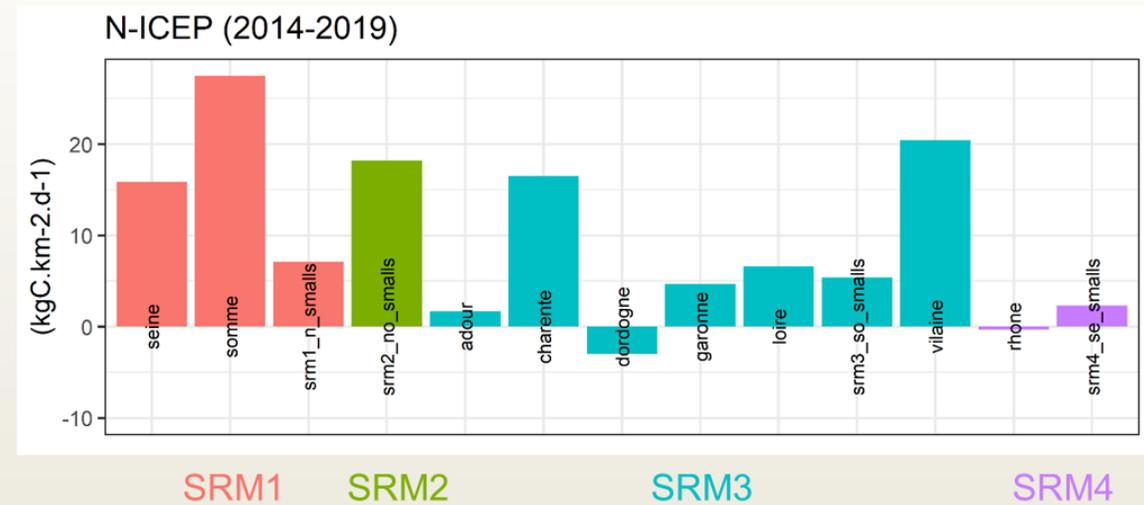


Thieu V., Casquin A. et al. 2022

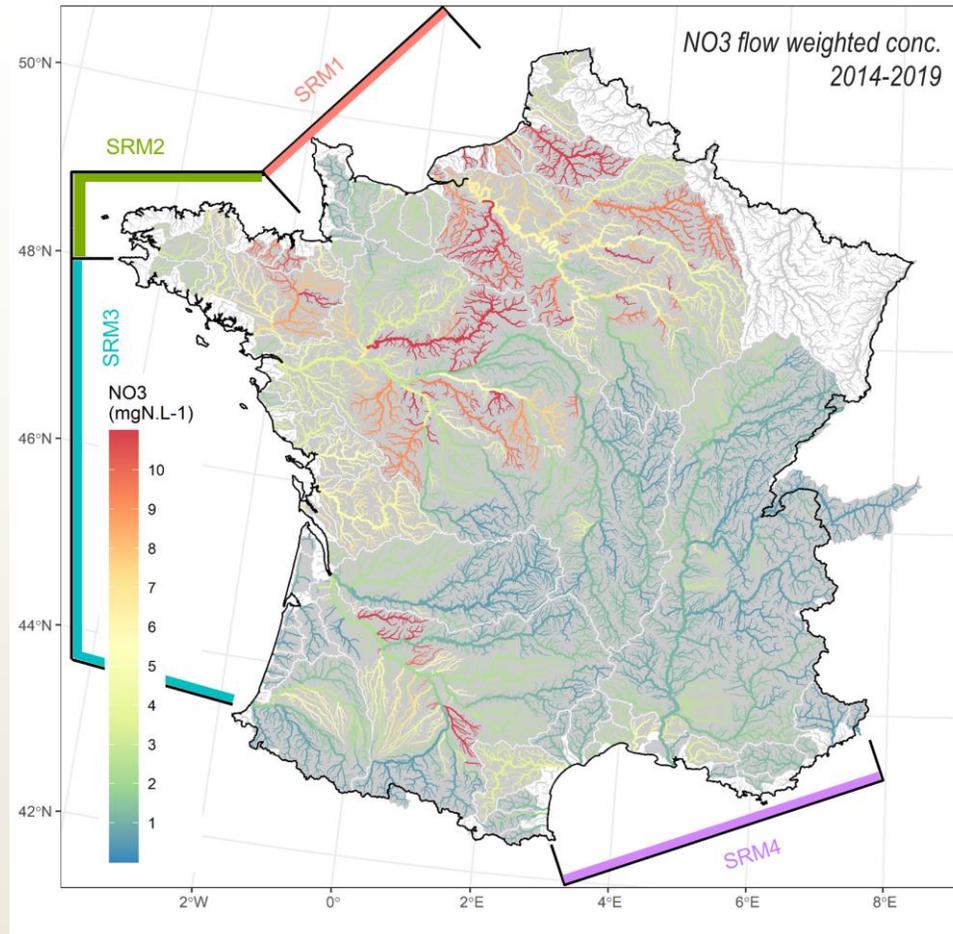


PyNuts-Riverstrahler

- Implémentation France sur la période 2014-2019
- Estimations des flux de nutriments exportés aux SRM et calculs d'indicateurs potentiel d'eutrophisation



Thieu V., Casquin A. et al. 2022

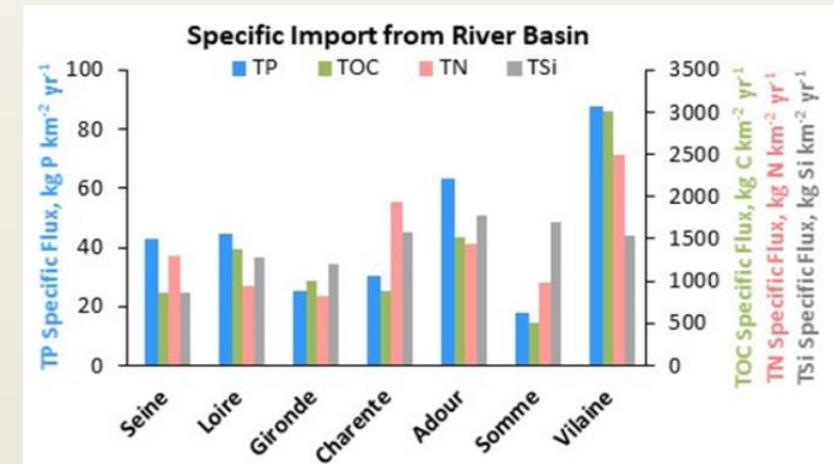


PyNuts-Riverstrahler

- Implémentation France sur la période 2014-2019
- Estimations des flux de nutriments exportés aux SRM et calculs d'indicateurs potentiel d'eutrophisation

C-GEM*

- Implémentation 8 estuaires de la façade atlantique [↓]
- Simulations couplées Terre-Mer prévues pour 2023



Wei et al 2022

Pour en savoir plus

➔ sur le projet



- L'atlas carto français des pressions diffuses
- www.nuts-steaury.fr ou vincent.thieu@upmc.fr

➔ sur les modèles :

- Site web : <https://www.federation-fire.cnrs.fr/rive/>
- Plateforme collaborative : <https://gitlab.in2p3.fr/rive>

➔ Références citées dans cette présentation

- Billen et al. 1994. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER Model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia* 289, 119–137. <https://doi.org/10.1007/BF00007414>
- Billen G., Garnier, J., Lassaletta L. (2013). Modelling the nitrogen cascade from watershed soils to the sea: from regional to global scales. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2013 368, 20130123. DOI: 10.1098/rstb.2013.0123
- 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*, 3-4: 209–219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.003>
- Laruelle et al. 2019. Carbon dynamics along the Seine River network: Insight from a coupled estuarine/river modeling approach. *Front. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00216>
- Thieu et al. 2022. Modelling of carbon and nutrient transfers in French rivers: First step of a national generic land to sea modelling chain to fight against coastal eutrophication *Int. Conf. Integr. Sci. Sustain. Dev. Rivers. Lyon-France 2*.
- Wei et al. 2022. Nutrient transport and transformation in macrotidal estuaries of the French Atlantic coast: a modeling approach using the Carbon-Generic Estuarine Model, *Biogeosciences*, 19, 931–955, <https://doi.org/10.5194/bg-19-931-2022>, 2022