

Colloque des 30 ans du PIREN-Seine

11, 12 & 13 décembre 2019

De la pollution urbaine à la contamination agricole de la Seine : de mieux en pis en 30 ans d'évolution de la qualité de l'eau ?

*J. Garnier, G. Billen, R. Legendre, V. Rocher, V. Thieu, P. Passy,
M. Silvestre, S. Théry, et N. Flipo*

*Sorbonne-Université CNRS EPHE, UMR 7619 Metis, Paris, France
IFREMER, Ecosyst. Aquacult. Durable, UR Lagons, Nouméa, N^{elle} -Calédonie
SIAAP, Direction Innovation, Colombes, France
CNRS SU FR 3020 FIRE, Paris, France
MinesParisTech, PSL Université, Géosciences, Fontainebleau, France*

Le contexte en 1989

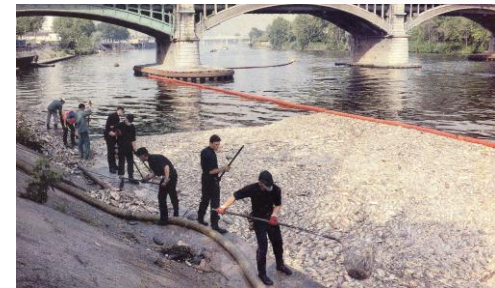
- Des eaux de surface eutrophisées
 - l'eutrophisation des lacs depuis les années 1970,
 - les rivières évacuent vers l'aval

→ *Problèmes de traitement des eaux pour la potabilisation*



- Des eaux désoxygénées

→ *Atteinte à la vie aquatique (mortalité en masse de poissons)*



- Besoins affichés en modélisation écologique des écosystèmes

- Des lacs : programme GRECO-lacs du CNRS
- Des rivières : programme PIREN du CNRS

→ *la Seine n'avait pas son PIREN...
contrairement au Rhône, Rhin et Garonne*



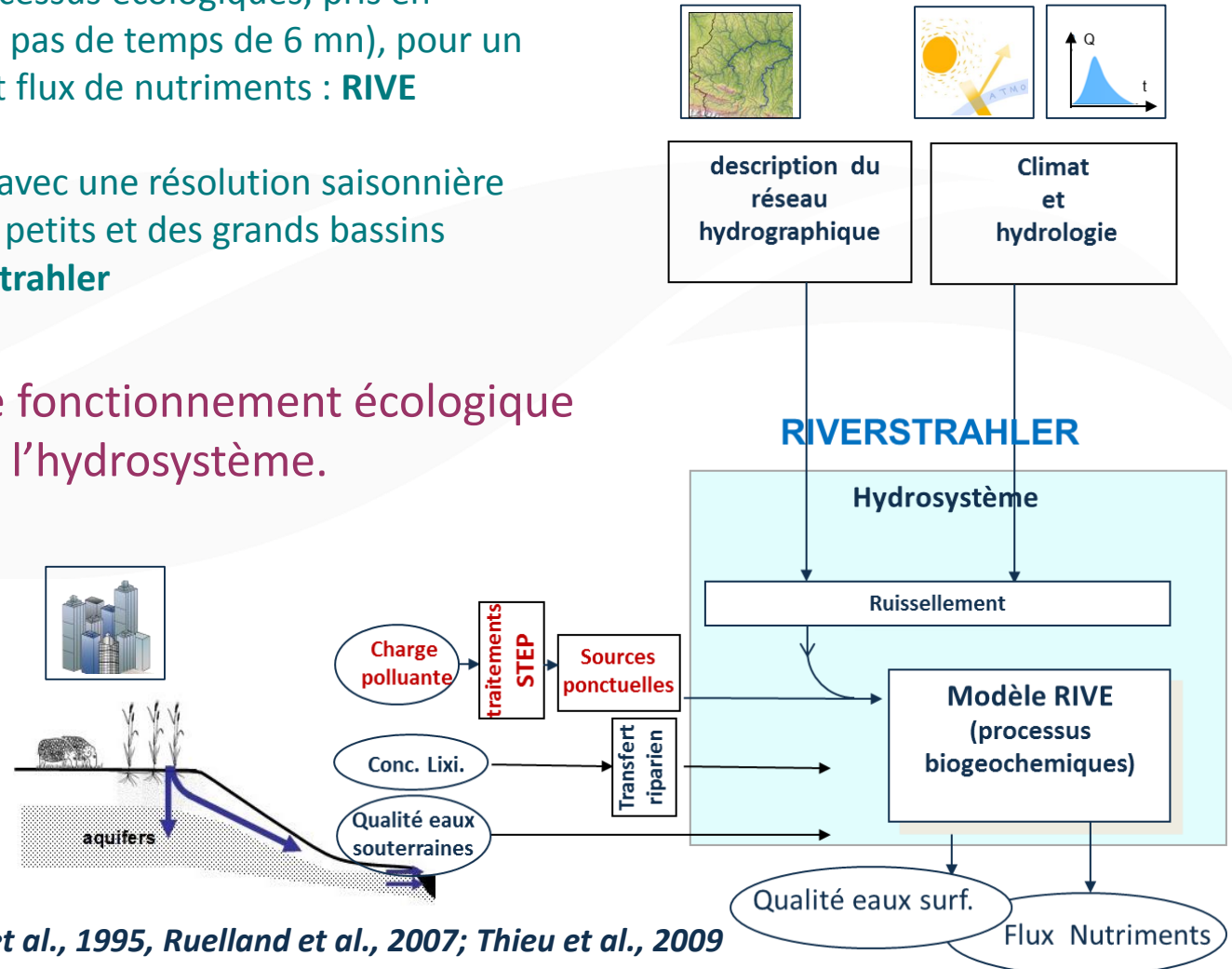
Sommaire

1. Des outils pour synthétiser la connaissance
2. Une diminution de la pollution urbaine ponctuelle
 - organique
 - ammoniacale
 - phosphatée
3. Le maintien d'une pollution nitrique diffuse agricole
4. Des explorations de scénarios pour améliorer la qualité de l'eau, non seulement dans le bassin, mais aussi à la zone côtière

1. Des outils pour produire et synthétiser la connaissance

- Un modèle basé sur les processus écologiques, pris en compte explicitement (à un pas de temps de 6 mn), pour un calcul des concentrations et flux de nutriments : **RIVE**
- Un modèle semi-distribué, avec une résolution saisonnière (10 jours), adapté pour des petits et des grands bassins régionaux : **ordination de Strahler**

➔ **Riverstrahler** relie le fonctionnement écologique et les contraintes à l'hydrosystème.

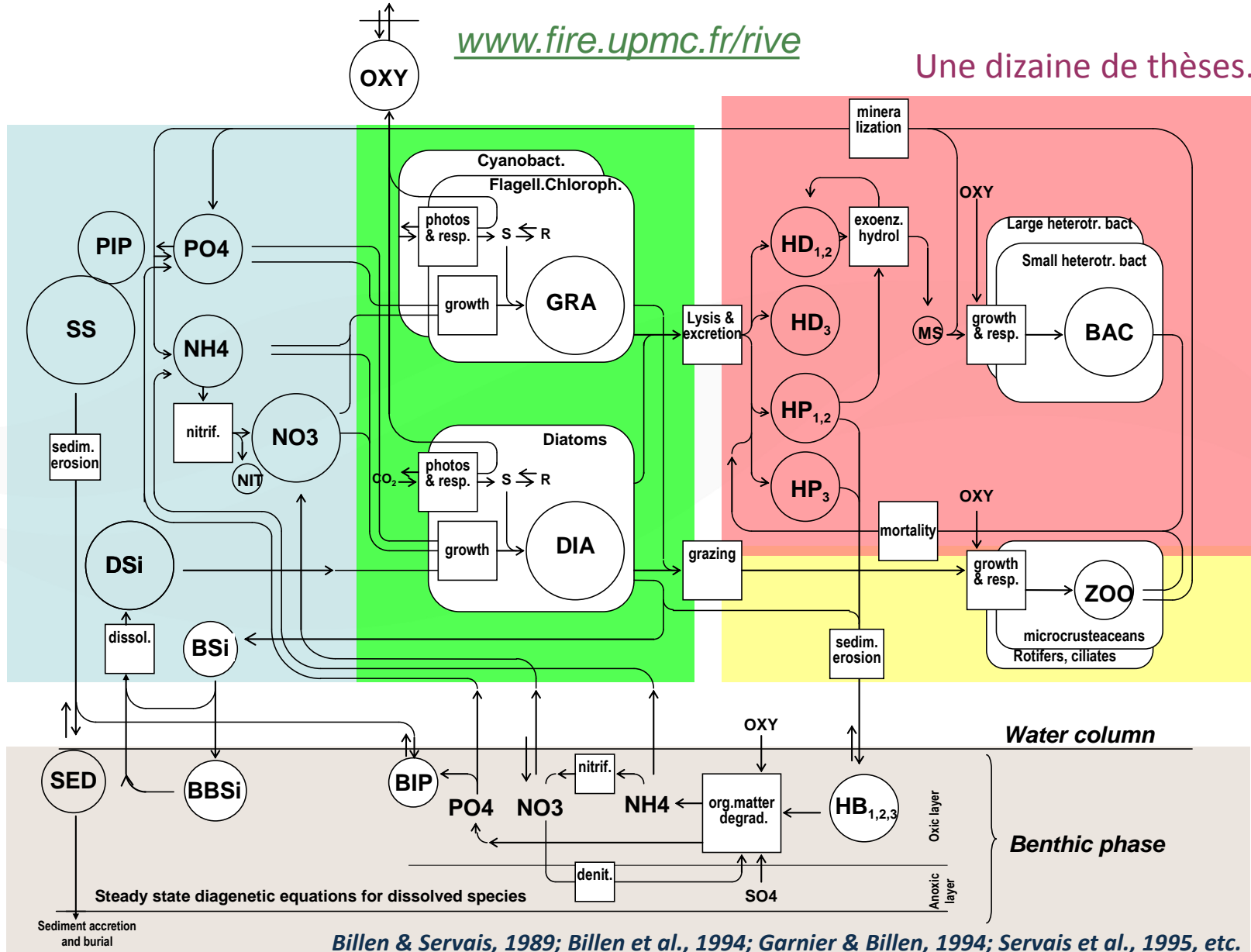


Billen et al., 1994; Garnier et al., 1995, Ruelland et al., 2007; Thieu et al., 2009

Le modèle RIVE

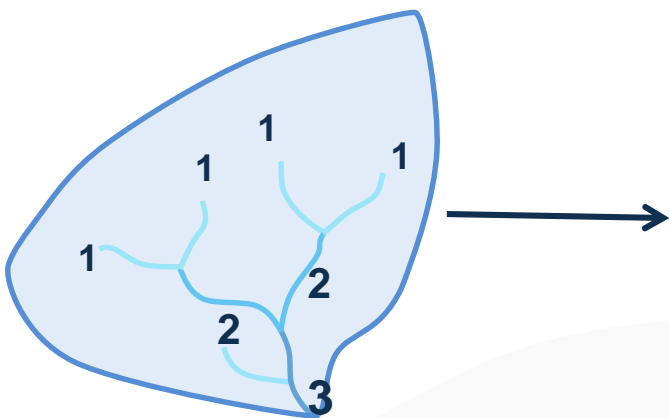
www.fire.upmc.fr/rive

Une dizaine de thèses...

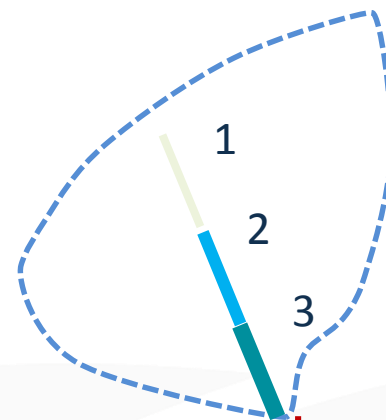
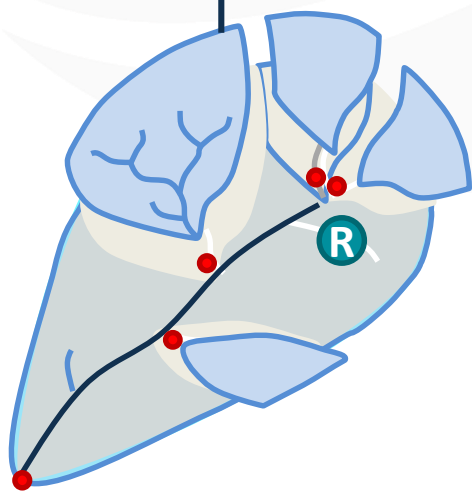


Principes de Riverstrahler : objets de simulations

Et aussi, 3 ou 4 thèses...et une demi-douzaine de géomaticien.ne.s

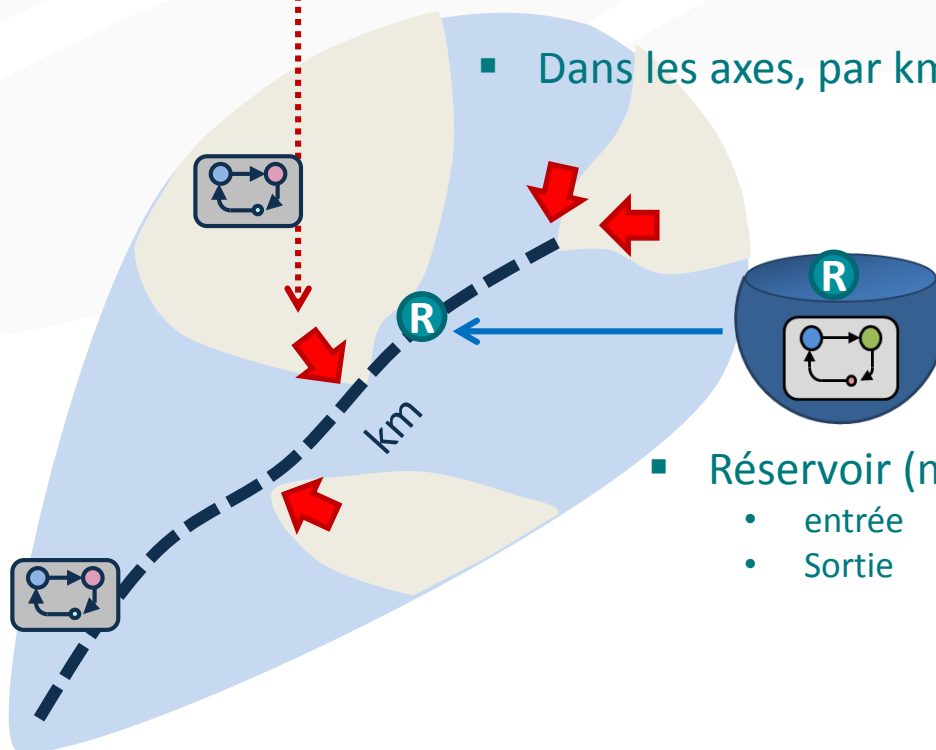


■ Ordination (Strahler, 1957)



■ Sous-bassins : l'eau circule par ordre moyen de rivières

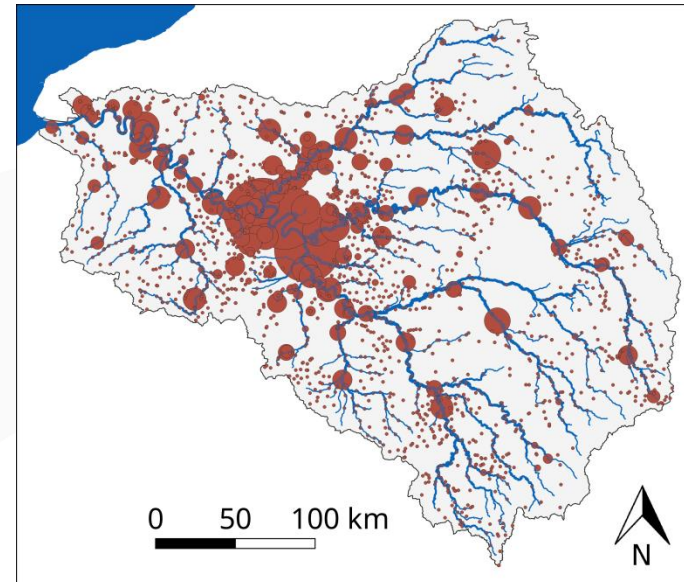
■ Dans les axes, par km de rivière



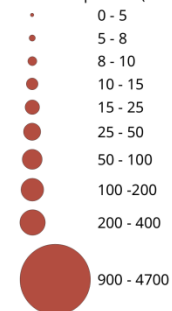
■ Réservoir (mélangeur)

- entrée
- Sortie

2. Une diminution de la pollution urbaine ponctuelle



WWTP capacities (10^3 inhab. equ.)



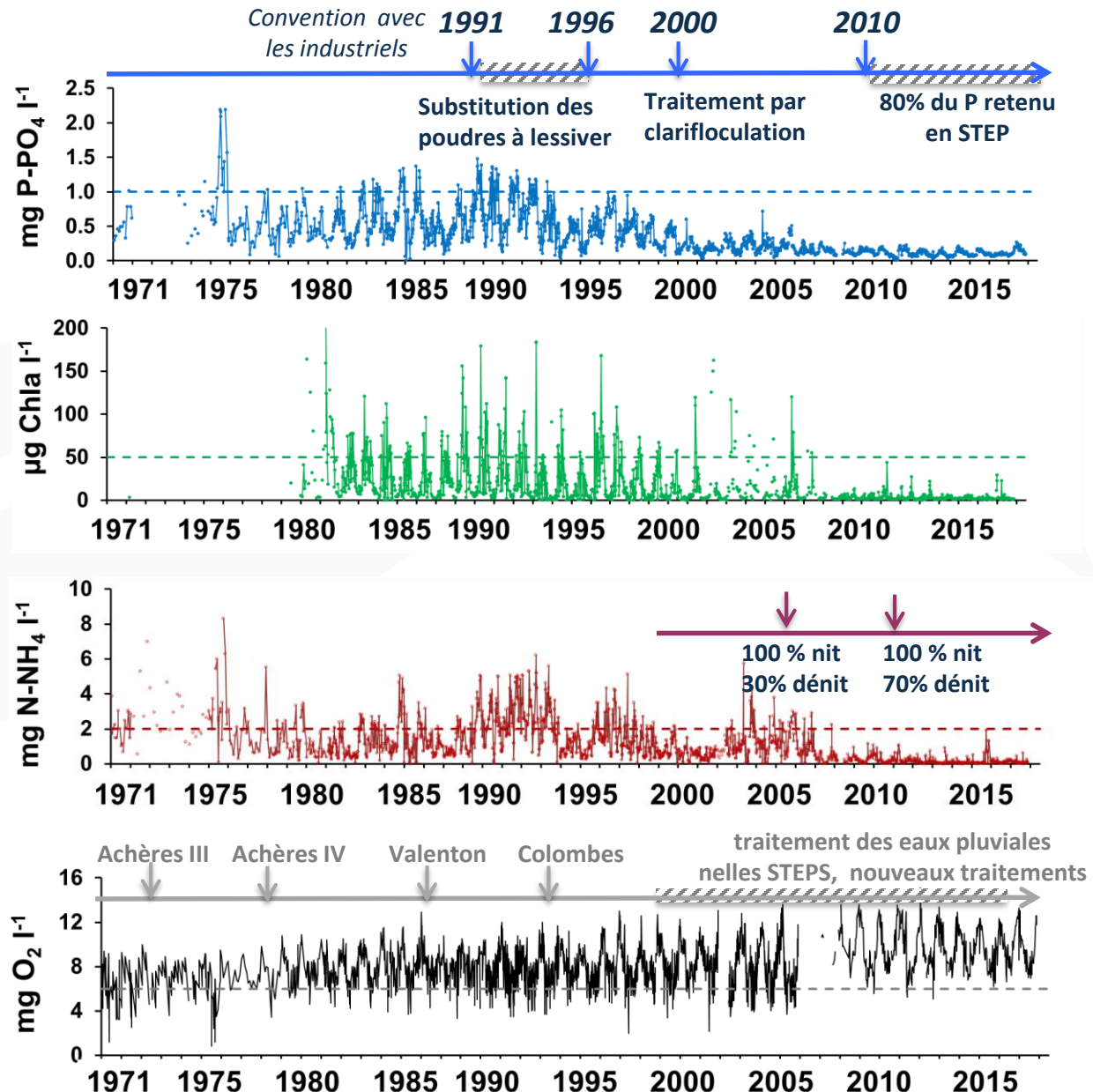
50 ans d'évolution de la qualité de l'eau

■ Valeurs à Poses

DERU 1991, EU

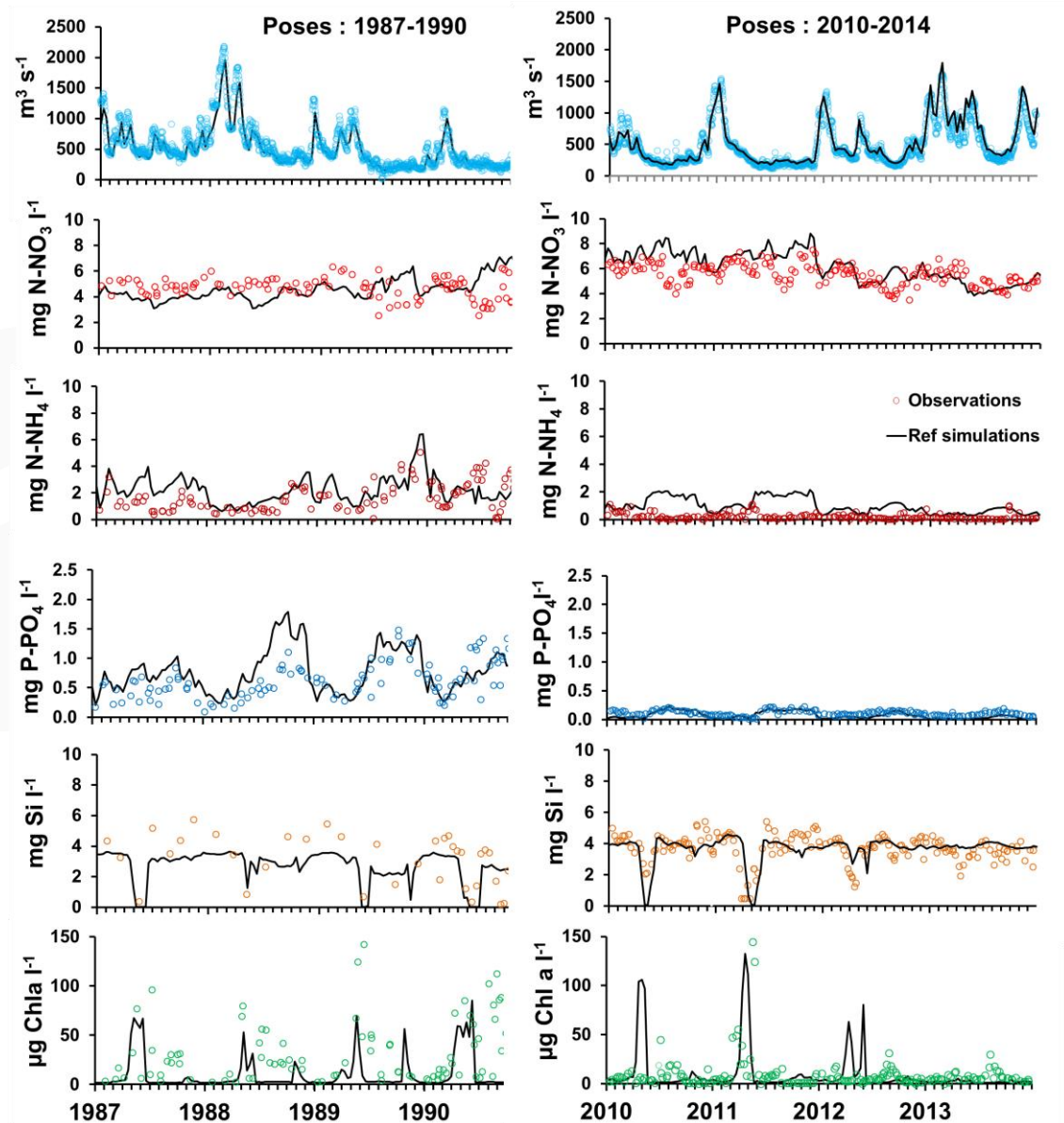
transposée en droit français par le décret du 3 juin 1994

Garnier et al., 2020, in press
Rocher & Azimi, 2017



Le modèle reproduit bien les changements

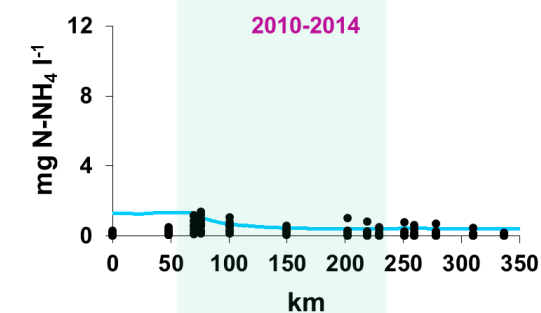
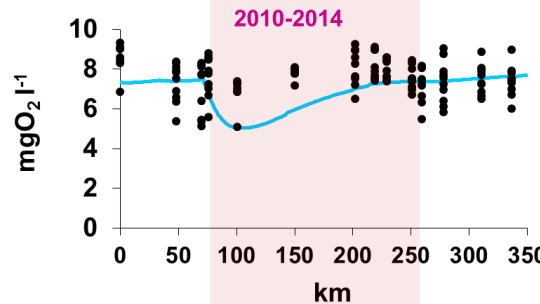
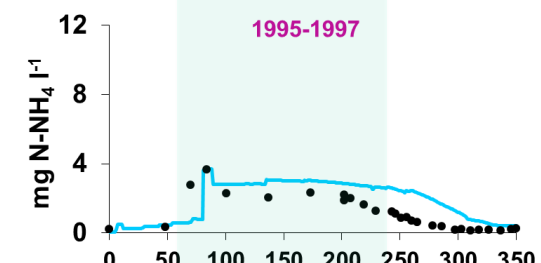
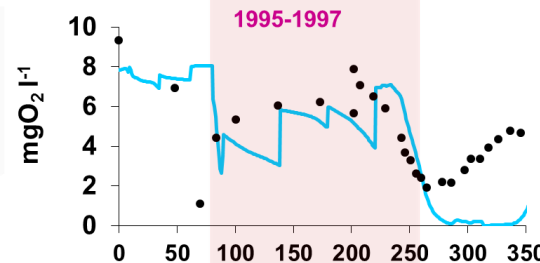
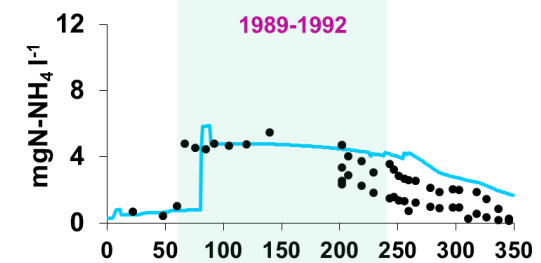
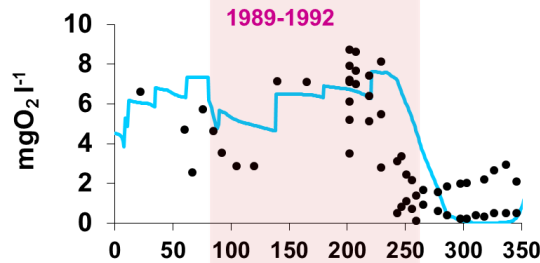
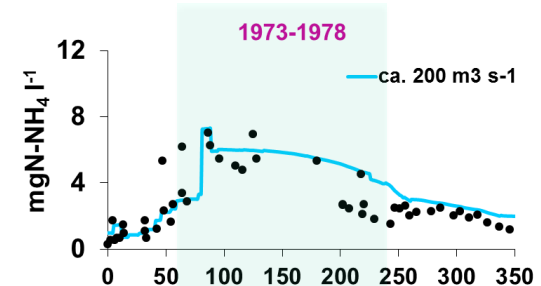
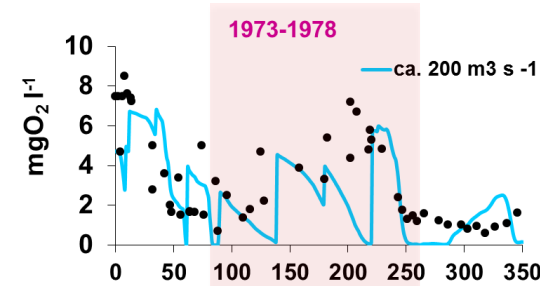
A Poses, en variations saisonnières pour 2 périodes



Garnier et al., 2020, in press
Passy et al., 2013
Flipo et al., 2007

Le modèle reproduit bien les changements

En profil longitudinal pour différentes périodes et pour une valeur moyenne de débit estival



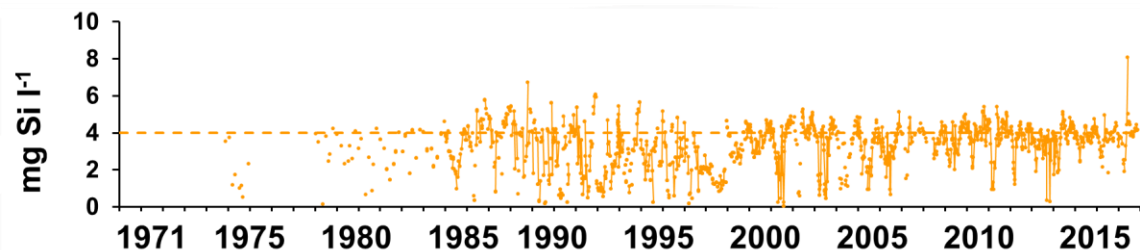
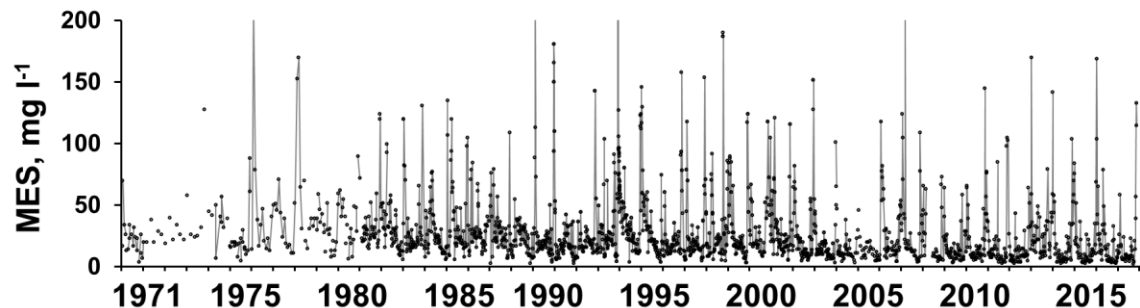
Billen et al., 2001; Garnier et al., 2020, in press

3. Le maintien d'une pollution nitrique diffuse agricole

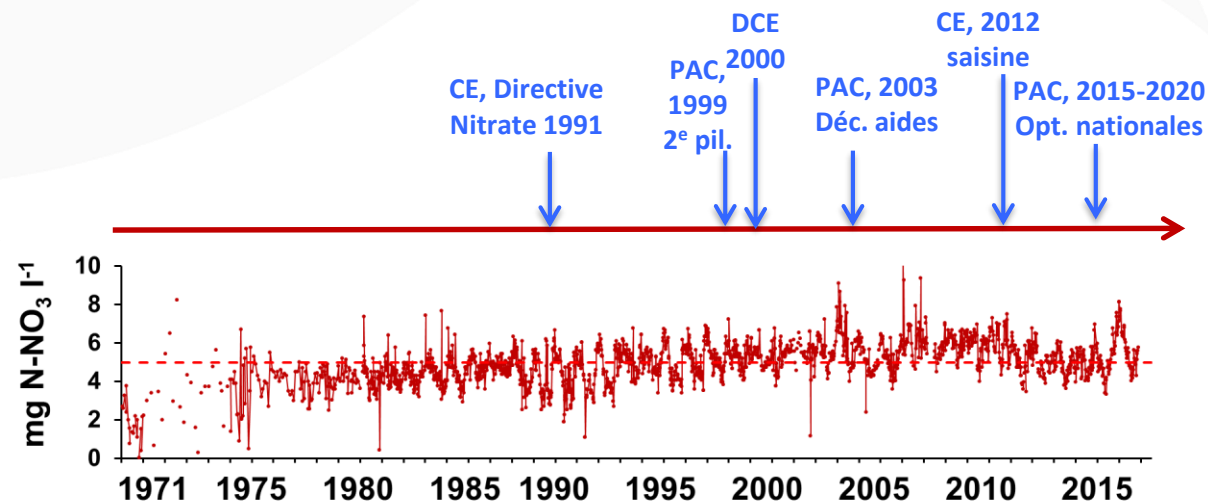


50 ans d'évolution de la qualité de l'eau

■ Valeurs à Poses



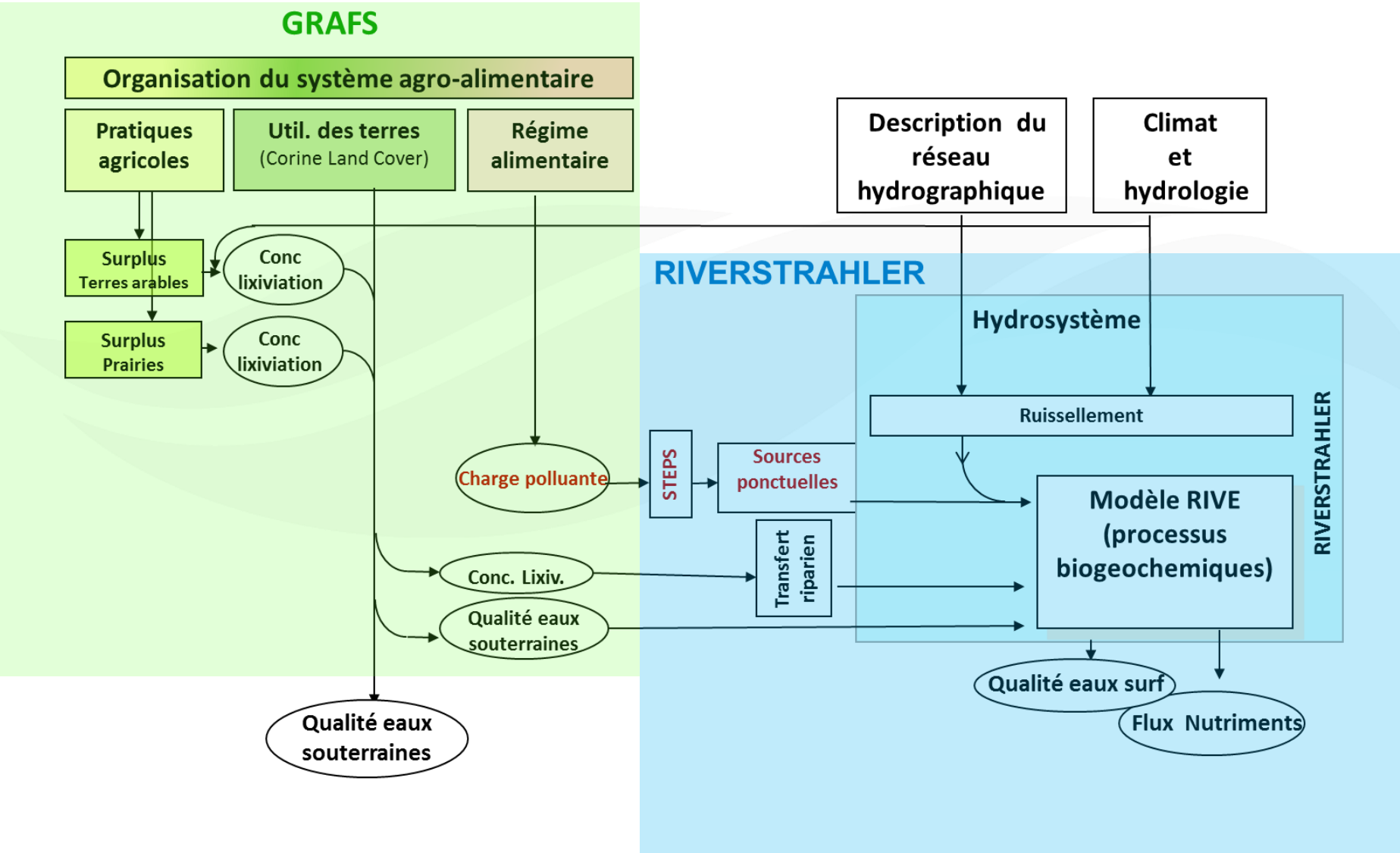
- Rapport Henin, 1980
- Comifer 1980
- CORPEN 1984
- Programmes d'actions Nationaux
(1^{er} 1996; 5^{ème} 2014-2018
=> 6^è déclinaison régionale)
PMPOA 1&2, 2001-2006, 2009-2010
MAE, MAET, MAEC, 2007, 2011, 2014
Grenelle 1 & 2, 2009, 2010
GREN, 2011, groupe d'expertise « nitrates »
etc.



Garnier et al., 2020, in press

L'approche GRAFS-Riverstrahler :

pour mieux prendre en compte les apports diffus



Construction de scénarios

- Finir de mettre au norme toutes les stations d'épurations: **STEPS**
- Accentuer la tendance actuelle en agriculture: **O/S**
 - Ouverture, spécialisation, intensification
- Changer radicalement la structure du système agro-alimentaire: **A/R/D**
 - Généraliser l'agriculture biologique, avec des rotations longues et diversifiées
 - Reconnecter l'élevage et la grande culture
 - Relocaliser la consommation
 - Réduire de moitié la consommation de protéines animales (= régime demitarien)
- **Pristine**
 - Pas d'activité humaine, couverture du bassin par la forêt
- **Retour aux années 1980**
 - Situation des traitements d'alors (boues activées, voire pas de traitement...)

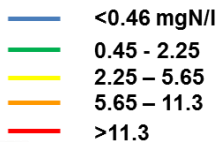


Billen et al., 2018 ; Garnier et al., 2019

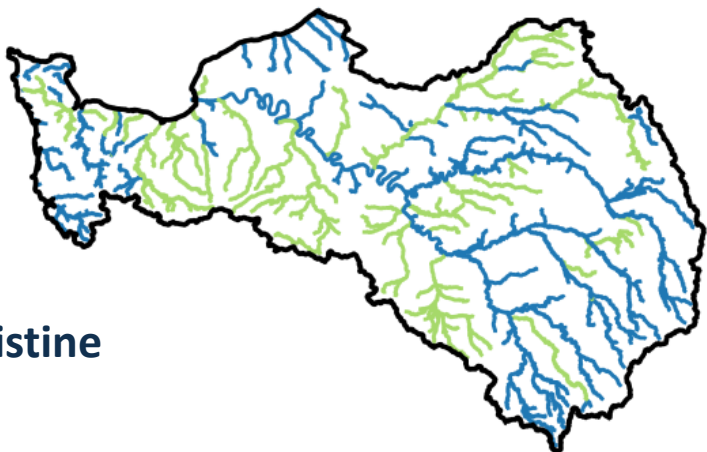
Explorations de scénarios

Les concentrations dans le réseau

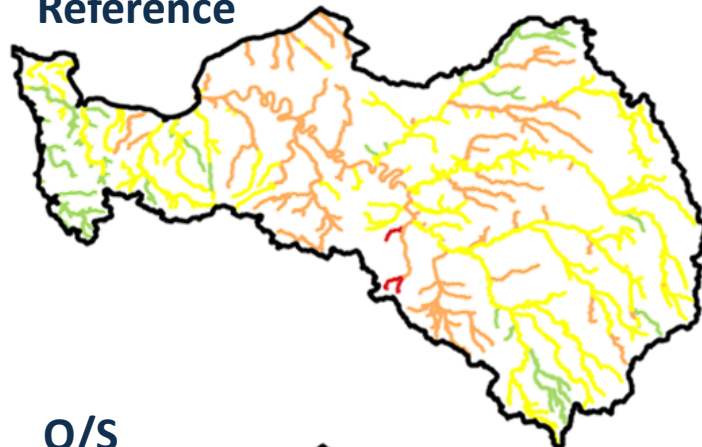
Nitrates, mgN/l



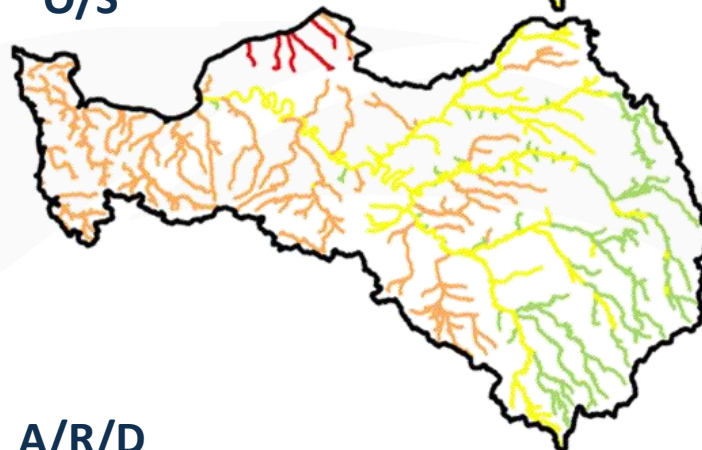
Pristine



Référence



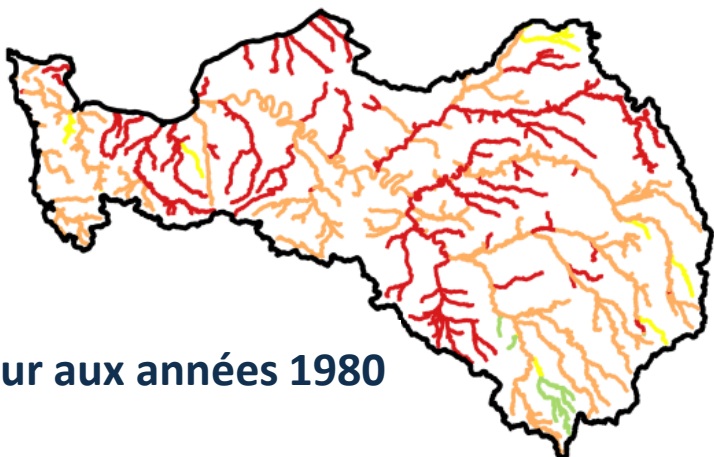
O/S



A/R/D



Retour aux années 1980



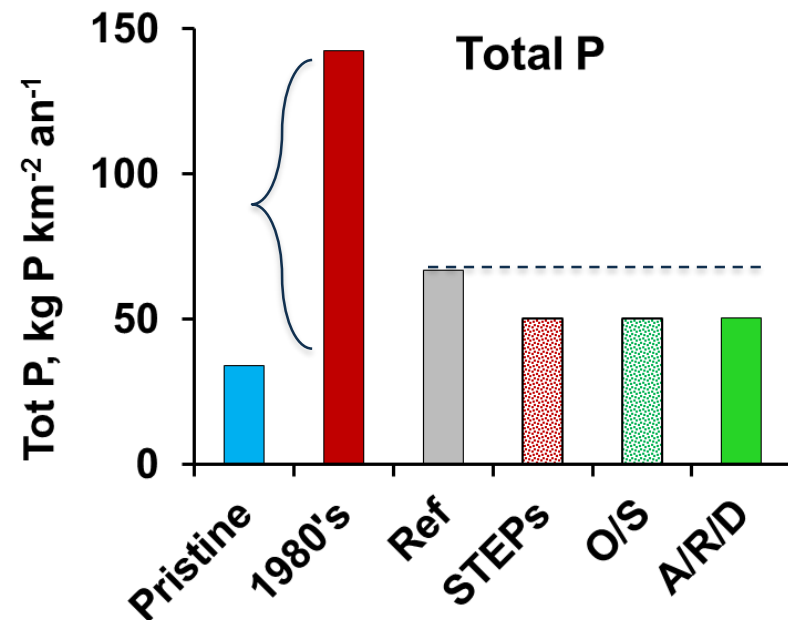
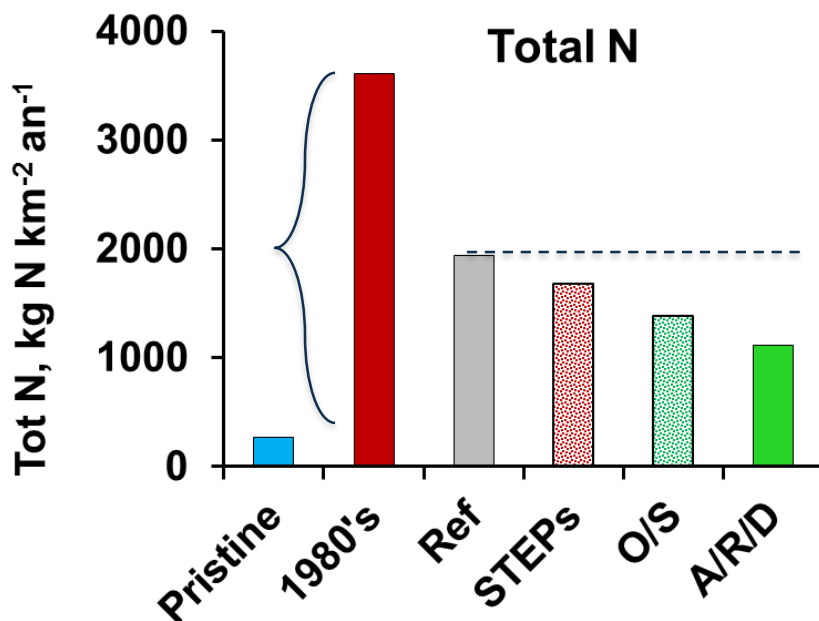
0 100 200 km



Billen et al., 2018 ; Garnier et al., 2019

Explorations de scénarios

Les flux à Poses

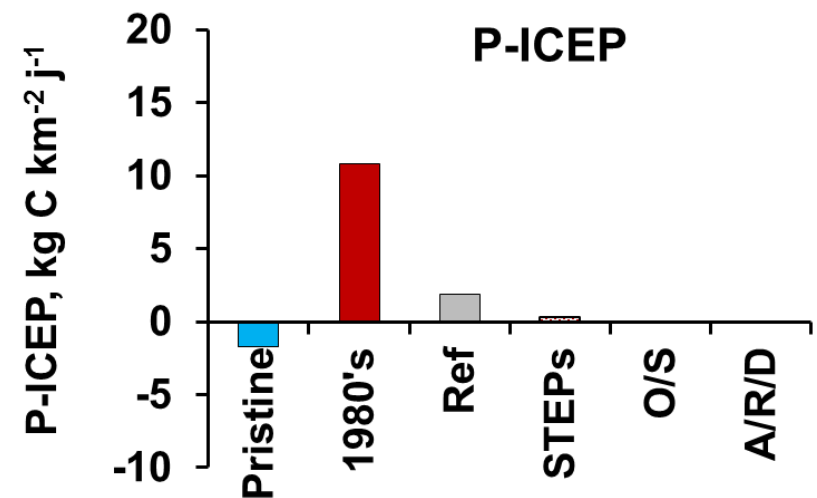
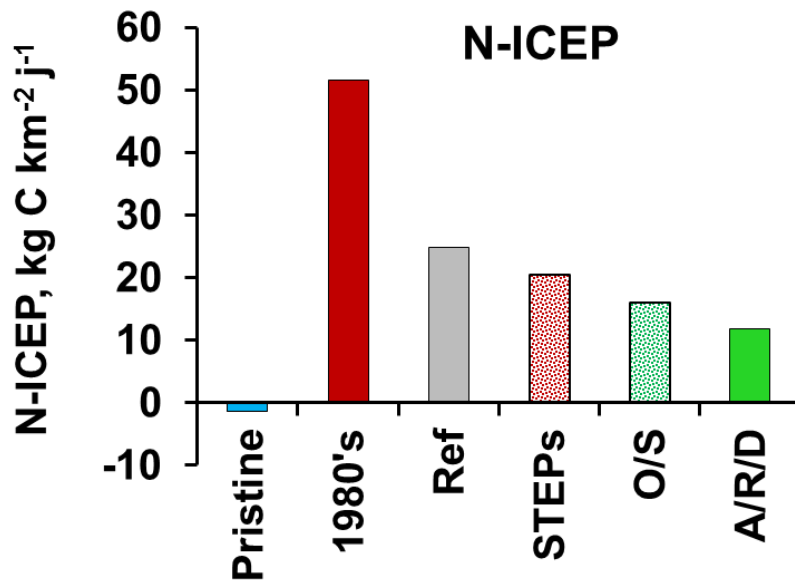


- Mesure de l'activité humaine
- Impact des scénarios

Garnier et al., 2019

Un indicateur du potentiel d'eutrophisation

ICEP \sim Excès de N ou P par rapport à la silice
ICEP $>$ 0, Problème possible d'eutrophisation



ICEP → Indicateur repris pour l'ODD14
«Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable»

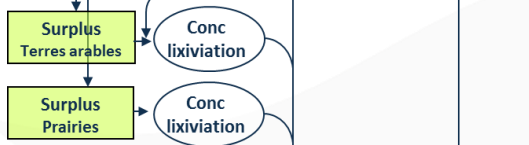
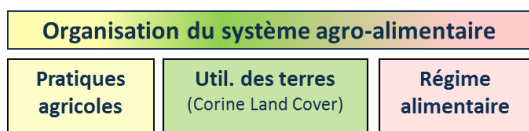
...D'ici à 2020... une échéance pour demain

Garnier et al., 2019

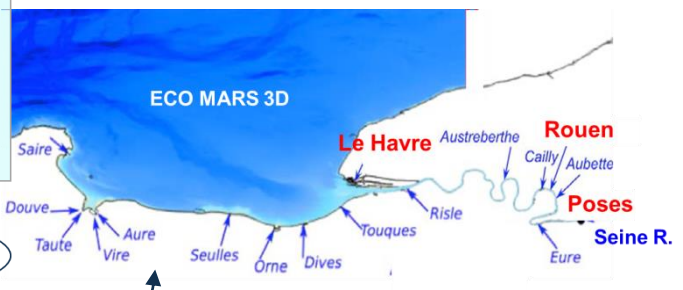
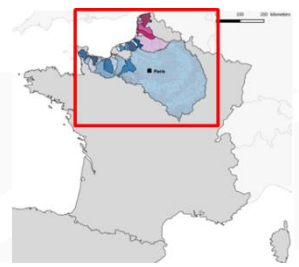
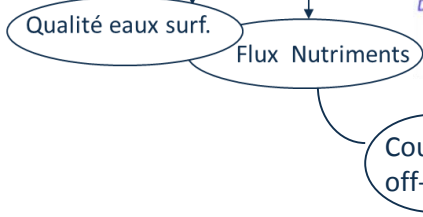
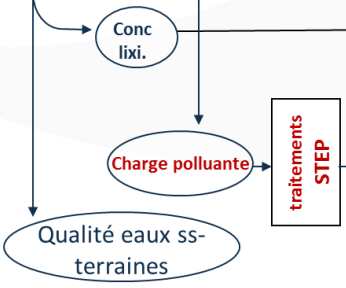
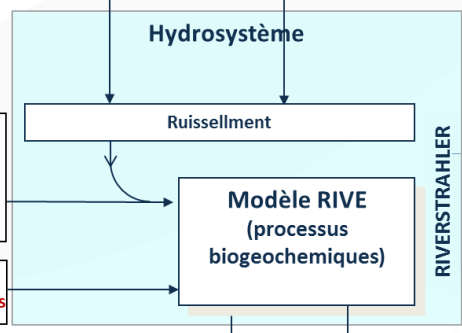
4. Modélisation du continuum Terre-Mer

Couplage de GRAFS-RIVERSTRAHLER avec ECO-MARS 3D (IFREMER)

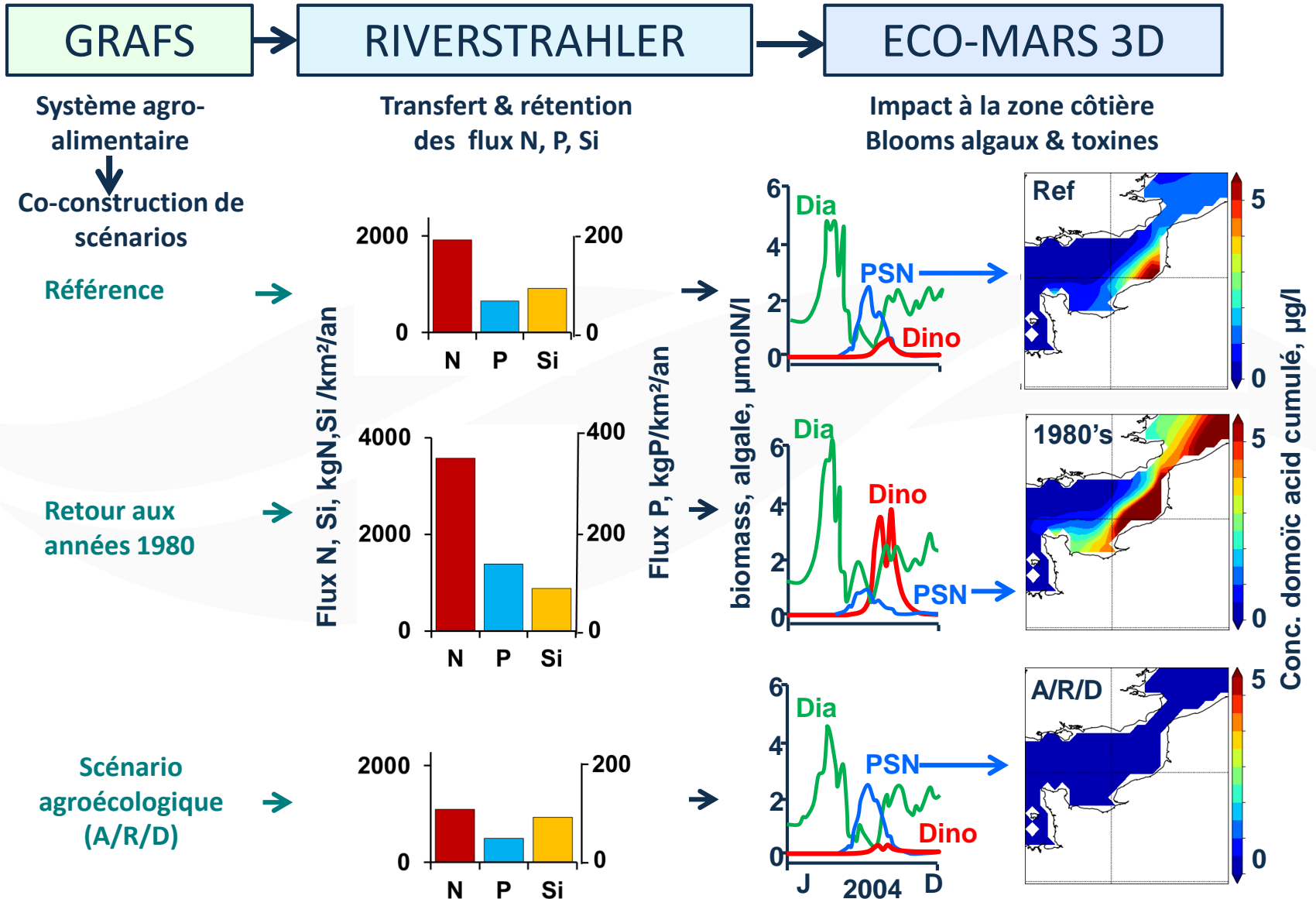
GRAFS



RIVERSTRAHLER



Impacts à la zone côtière: les blooms algaux



Garnier et al., 2019

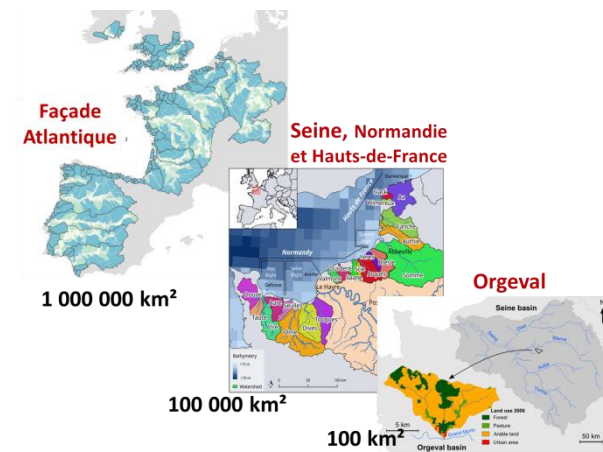
Conclusions

Des apports méthodologiques pour accompagner les acteurs

- Des outils pour les continuums aquatiques, avec une approche multi-éléments (N, P, Si, C, O₂)
- Applicables à échelles variées
- Une construction de scénarios impliquant des acteurs (y compris agriculteurs)

Des résultats qui s'imposent

- Une « success story » suite aux traitements des eaux usées
 - un coût élevé
 - mais demeure la fragilité
- Des changements plus **radicaux sont nécessaires pour concilier** agriculture et eau potable & activités côtières (cf. pb d'eutrophisation).
 - ➔ qui impliquent :
 - un changement de nos modes de vies (régime alimentaire, modes de consommations -gaspillage, transport, chauffage...-)
 - une volonté politique (éducation, animation, support d'initiatives locales, etc.).



Perspectives pour la phase 8

- Poursuivre les démarches auprès des acteurs locaux (ateliers dans les territoires)
- Imaginer de nouveaux scénarios
- Identifier et quantifier la fragilité du système Seine dans un contexte :
 - ✓ de changement global (CC, directives, 'One Health'...)
 - ✓ des avancées de la communauté scientifique internationale
- Et toujours... améliorer les outils, par ex. réaliser de nouveaux couplages entre ces outils
 - ✓ zones d'interfaces: les zones ripariennes, les réservoirs et les estuaires
 - ✓ au sein de la ZA-Seine, à la zone côtière, et au-delà de la Seine

Merci de votre attention



Doctorant.e.s qui ont contribué à ce travail :

Agnès Barillier, Maïa Akopian, Julien Némery, Agata Sferratore, Aurélie Cébron, Vincent Thieu, Paul Passy, Nejla Grouz, Marie Benoit, Juliette Anglade, Julia le Noë, etc.

SIGistes

Marie Silvestre, Sylvain Théry, Antsiva Ramarson, Julie Callens, Denis Ruelland, etc.

Ingénieurs et techniciens de labo et de terrain

Anun Martinez, Benjamin Mercier, Abdel Azougui, Sébastien Bosc, Xavier Philippon, Séverine Pinault, etc.

Autres collaborations principales

▪ **ULB:**

Pierre Servais

▪ **Mines-ParisTech:**

Nicolas Flipo, Michel Poulin, Stéphanie Even, Lauriane Vilmin

▪ **INRA**

Marc Benoit, Catherine Mignolet, Céline Schott, Bruno Mary, Nicolas Beaudoin, Pierre Cellier

▪ **Partenaires**

AESN, SIAAP, Grands Lacs de Seine, etc.

Références

- Billen & Servais (1989). Modélisation des processus de dégradation bactérienne de la matière organique en milieu aquatiques. In : Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques (M. Bianchi, Ed) , Masson, Paris, page (219-245)
- Billen G., Garnier J. & Hanset Ph. (1994). Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia*, 289:119-137.
- Billen G., Garnier J., Ficht A. & Cun C. (2001). Modelling the response of water quality in the Seine Estuary to human activity in its watershed over the last 50 years. *Estuaries*, 24(6) : 977-993.
- 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., Le Noë J., Garnier J. (2018). Two contrasted future scenarios for the French agro-food system. *Science of the Total Environment* 637–638: 695–705. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.043.
- Flipo N, Even S, Poulin M, et al (2007). Modelling nitrate fluxes at the catchment scale using the integrated tool CaWaQS. *Sci Total Environ* 375:69–79. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.016>
- Garnier J., G. Billen (1994). Ecological interactions in a shallow sand-pit lake (Créteil Lake, France). A modelling approach. In: *Nutrient dynamics and biological structure in shallow freshwater and brackish lakes. Hydrobiologia*, 275/276:97-114.
- 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.
- Garnier J., Billen G., Legendre R., Riou Ph., Cugier Ph., Schapira M., Théry S., Thieu V., Menesguen A. (2019). Managing the Agri-Food System of Watersheds to Combat Coastal Eutrophication: A Land- to-Sea Modelling Approach to the French Coastal English Channel. *Geosciences* 2019, 9, 441; doi:10.3390/geosciences9100441
- Garnier J., Marescaux A., Guillon S., Vilmin L. Rocher V., Billen G., Thieu V., Silvestre M., Passy P., Groleau A., Tallec G., Flipo N. (2020, in press). Ecological functioning of the Seine River: from long-term modelling approaches to high-frequency data analysis. In: *Flipo N, Labadie P, Lestel L (2019). In: Flipo N, Labadie P, Lestel L (2019). The Seine River basin, Handbook of Environmental Chemistry, Springer. DOI 10.1007/698_2019_379.*
- Passy, P., Gypens, N., Billen. G., Garnier, J., Lancelot, C., Thieu, V., Rousseau V., Callens, J. (2013). A Model reconstruction of riverine nutrient fluxes and eutrophication in the Belgian Coastal Zone since 1984. *J. Mar. System.* 128: 106–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.05.005>.
- Rocher V, Azimi S (2017) Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement. Editions Johannet.
- Ruelland, D., Billen, G., Brunstein, D. & Garnier, J. (2007). SENEQUE 3: a GIS interface to the RIVERSTRAHLER model of the biogeochemical functioning of river systems. *The Science of the Total Environment*, 375: 257-273.
- Servais P., Barillier A. & Garnier J. (1995). Determination of the biodegradable fraction of dissolved and particulate organic carbon. *Annlis Limnol.* 31: 75-80.
- 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 Senecque/Riverstrahler model, *Water Research*, 43(6):1740- 1754.
- Colloque anniversaire des 30 ans du PIREN-Seine, 11, 12 et 13 décembre 2019, CICSU Sorbonne Université