

Colloque des 30 ans du PIREN-Seine

11, 12 & 13 décembre 2019

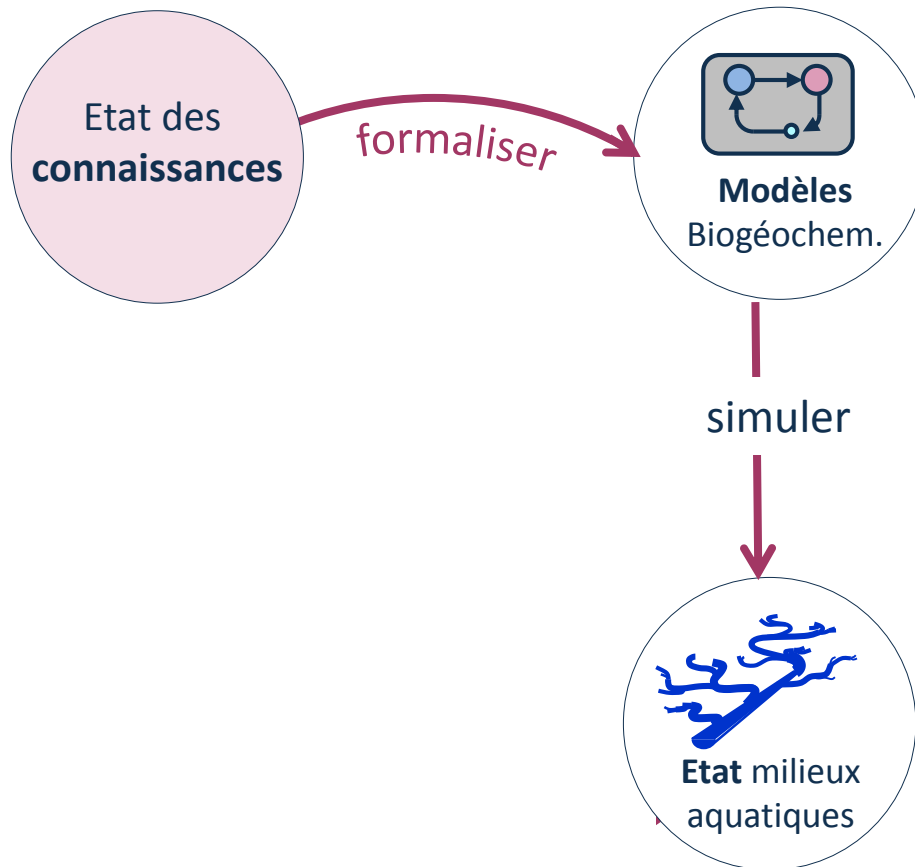
Le rôle de l'hydrosystème Seine dans la cascade du carbone le long du continuum terre-mer

*Vincent Thieu, Audrey Marescaux, Goulven Laruelle,
Gilles Billen, Marie Silvestre, Josette Garnier*

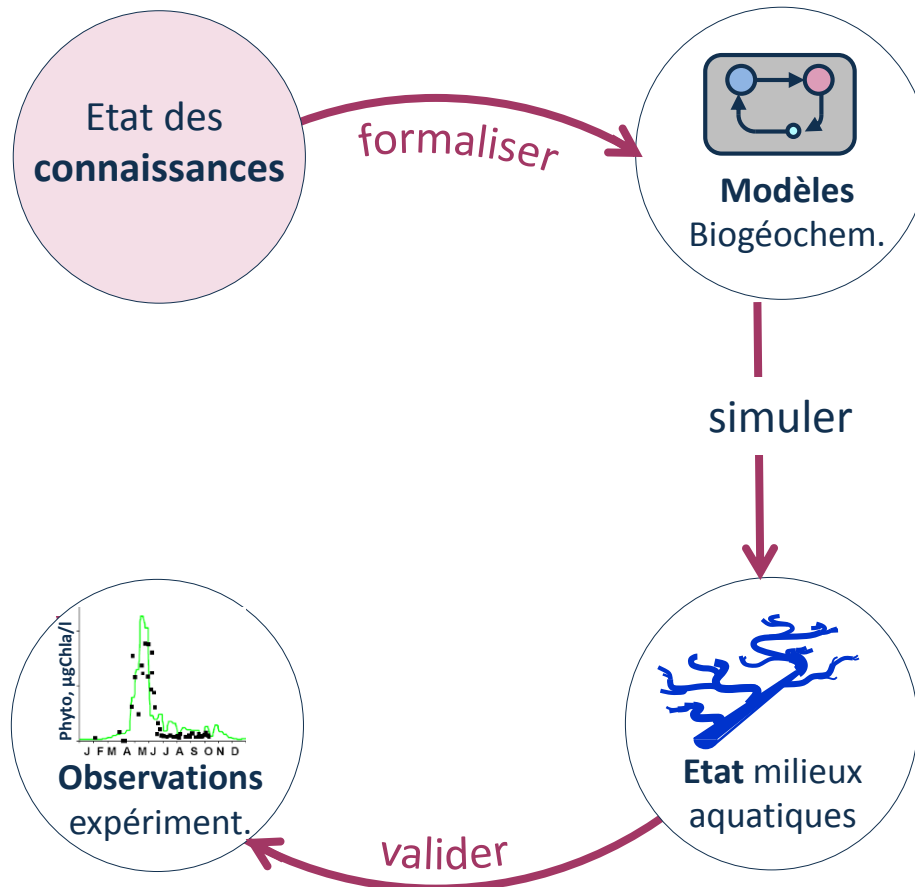
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



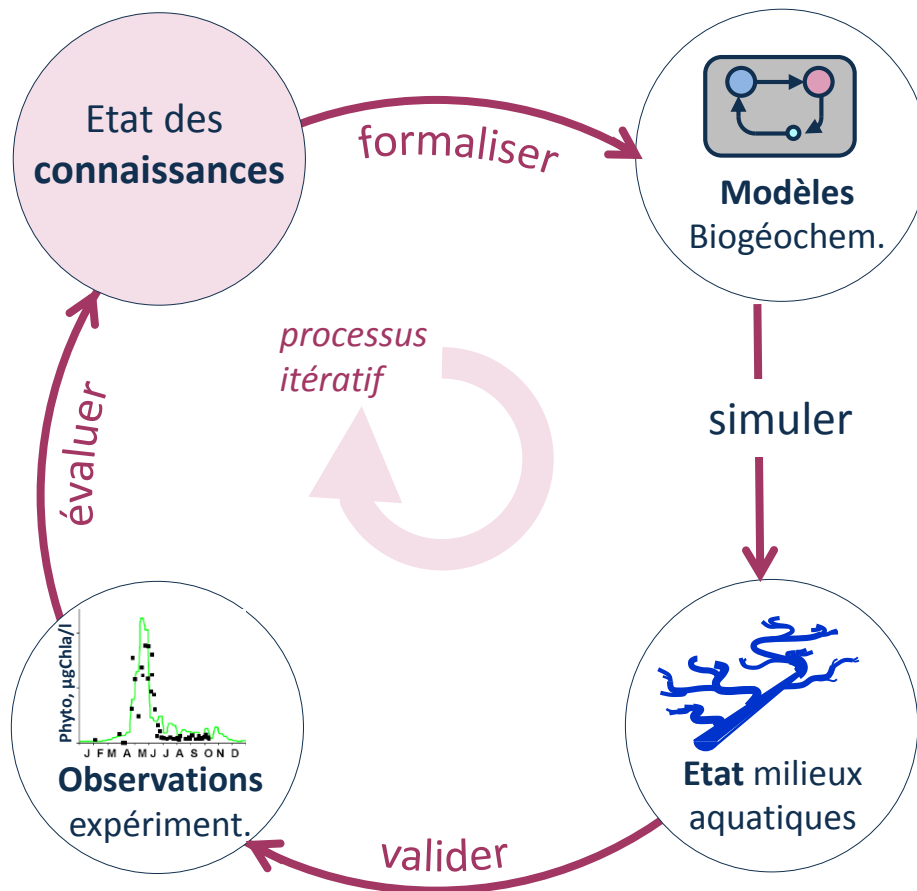
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



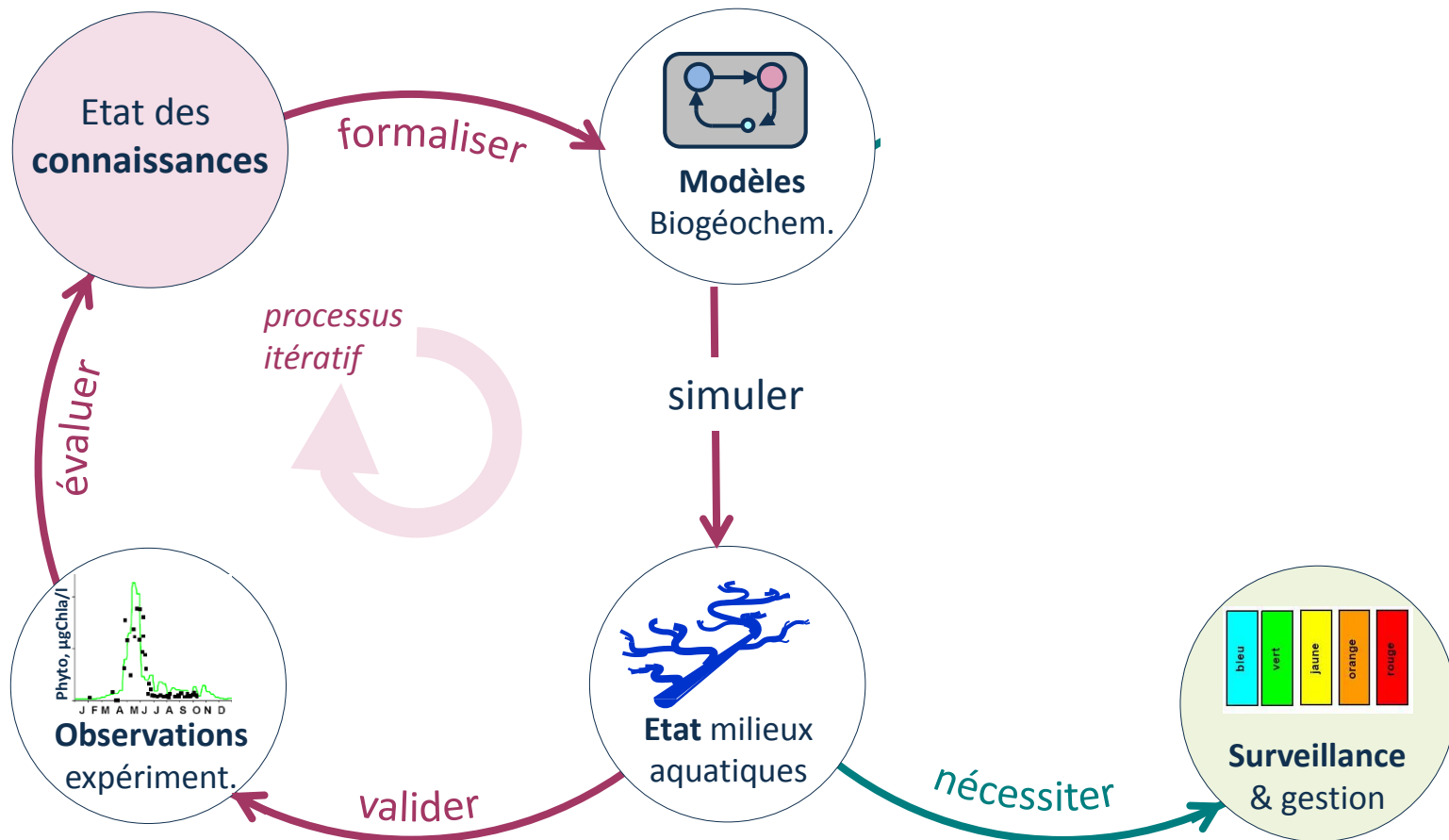
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



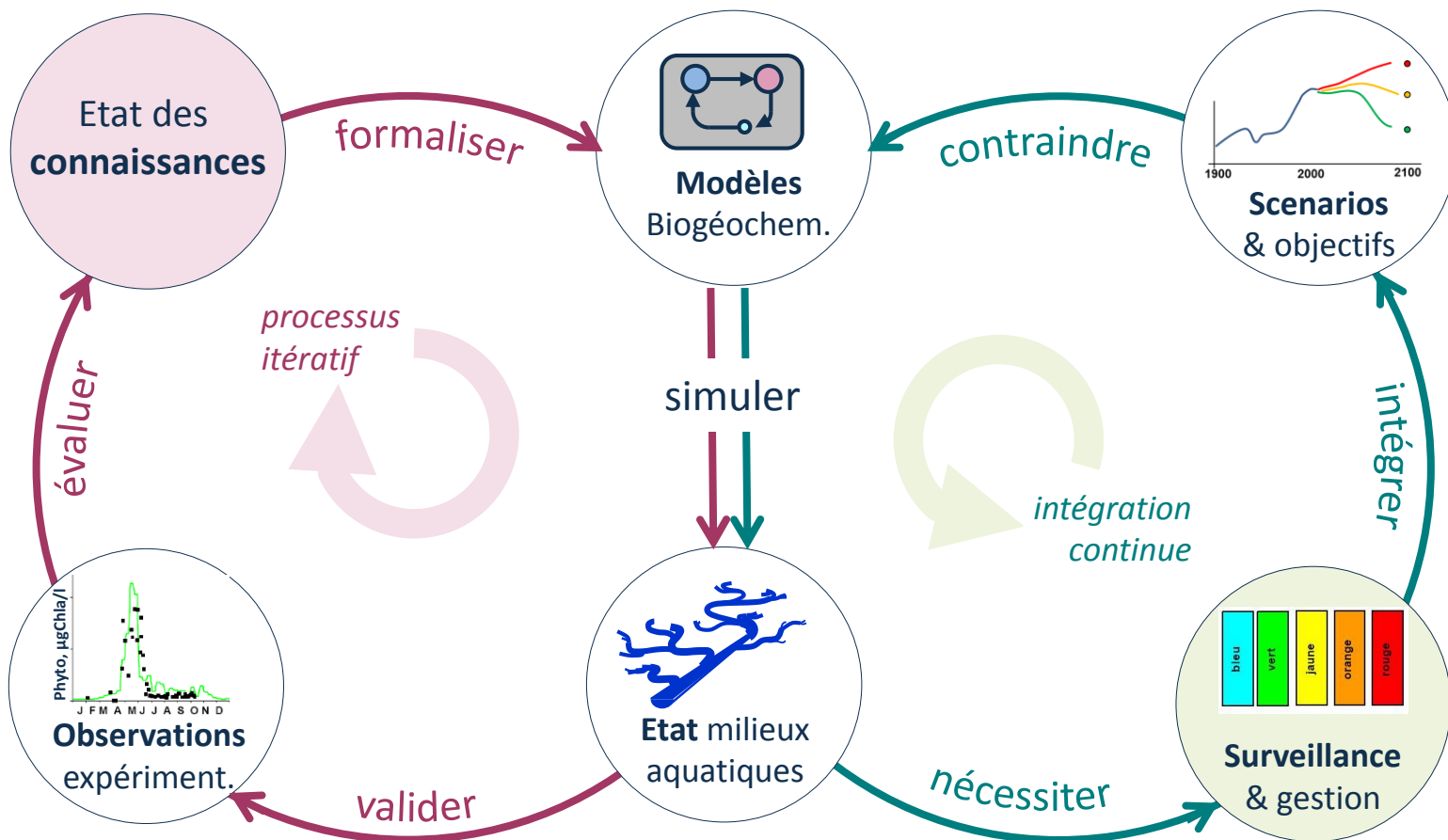
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

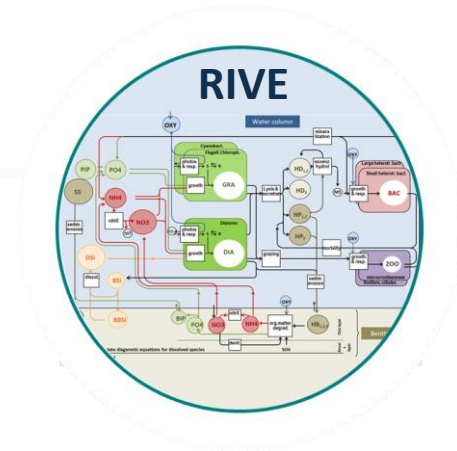


Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

- Le modèle RIVE (cf. communication précédente. J. Garnier)
 - Approche déterministe du fonctionnement biogéochimique des écosystèmes aquatiques
 - Application au réseau hydrographique : RIVERSTRAHLER

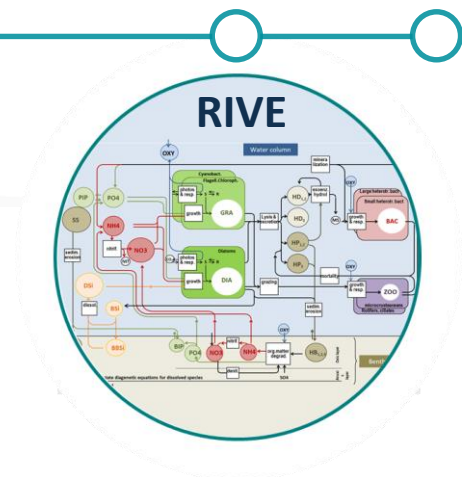


Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

1989

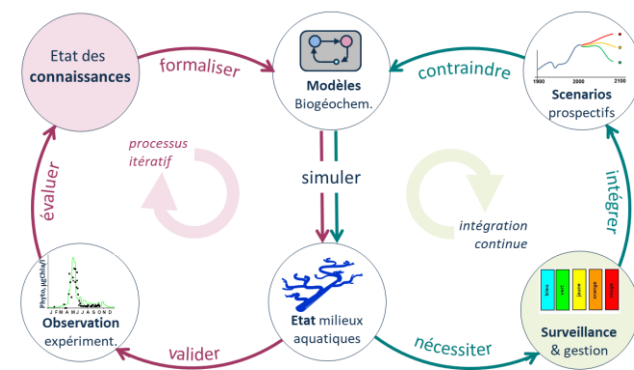
2000's

2019



• Depuis **30 ans**, le développement du modèle RIVE **reflète étroitement l'évolution** :

- Des *besoins de la surveillance* (locale) des milieux aquatiques
- De l'*état des connaissances* (globales) du fonctionnement biogéochimique des hydrosystèmes



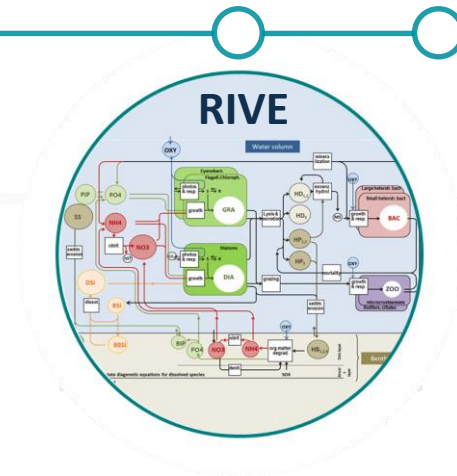
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

1989

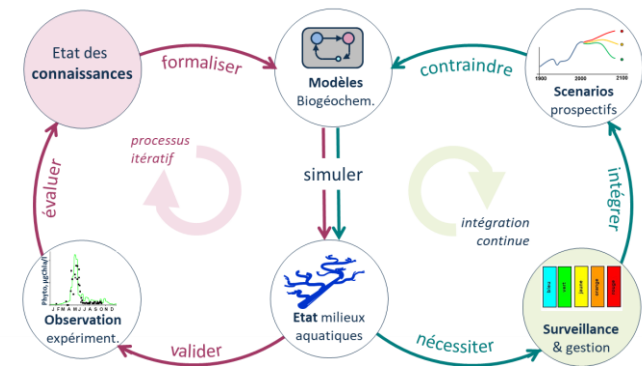


2000's

2019

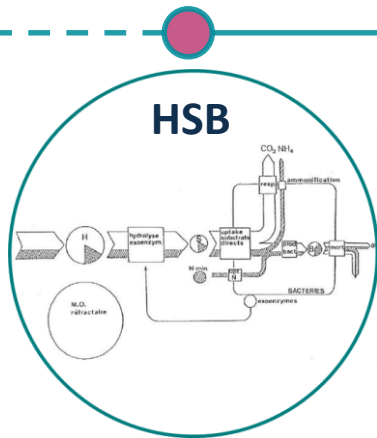


- Depuis **30 ans**, le développement du modèle RIVE **reflète étroitement l'évolution** :
 - Des *besoins de la surveillance* (locale) des milieux aquatiques
 - De l'*état des connaissances* (globales) du fonctionnement biogéochimique des hydrosystèmes



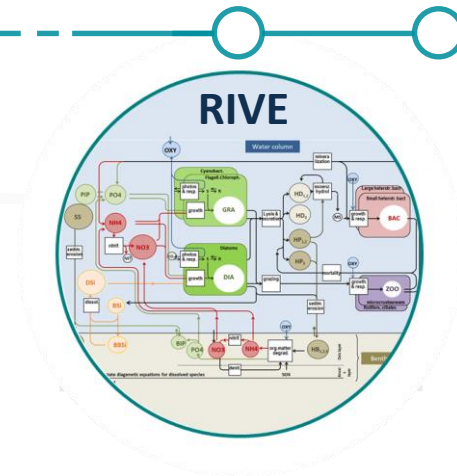
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

1989



2000's

2019



- Mécanisme de dégradation de la **matière organique** par l'activité des bactéries hétérotrophes, et simulation de la consommation d'oxygène associée

(Billen & Servais, 1989; Garnier et al. 1992a,b; Servais et al., 1995)

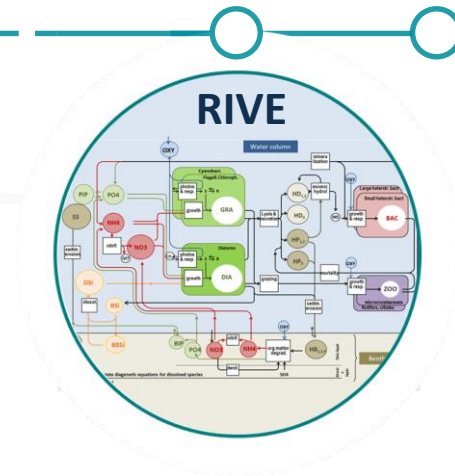
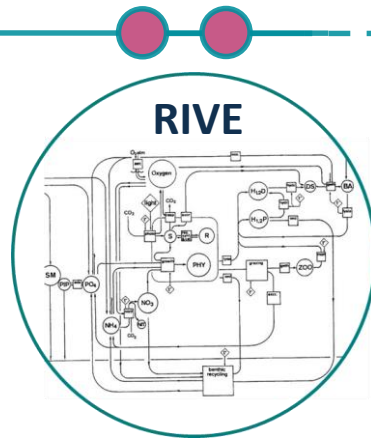
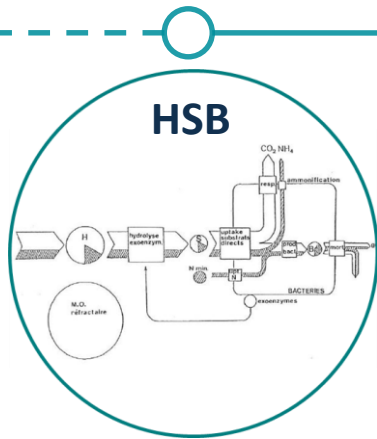
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

1989

1994 | 1995

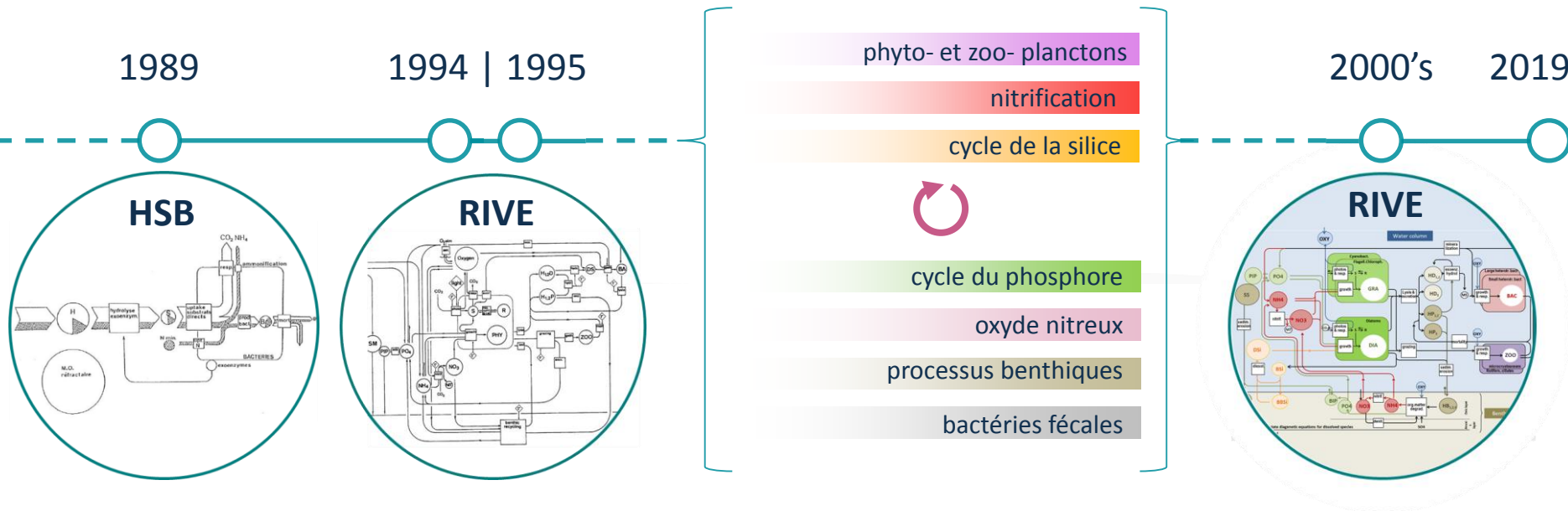
2000's

2019



- Mécanisme de dégradation de la **matière organique** par l'activité des bactéries hétérotrophes, et simulation de la consommation d'oxygène associée
(Billen & Servais, 1989; Garnier et al. 1992a,b; Servais et al., 1995)
- Développement du **phytoplancton**, en considérant la photosynthèse, la respiration, l'excrétion, la croissance et le stockage des réserves. Application à la Seine
(Lancelot et al., 1991; Billen et al., 1994; Garnier & Billen, 1994; Garnier et al., 1995)

Retour sur la modélisation des hydrosystèmes



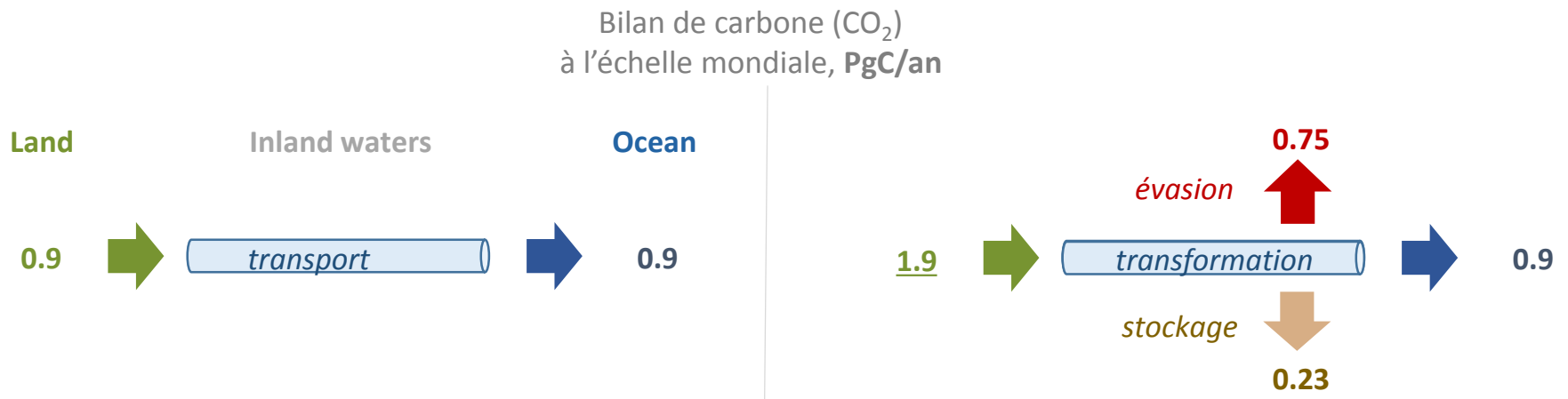
- Mécanisme de dégradation de la **matière organique** par l'activité des bactéries hétérotrophes, et simulation de la consommation d'oxygène associée

(Billen & Servais, 1989; Garnier et al. 1992a,b; Servais et al., 1995)
- Développement du **phytoplancton**, en considérant la photosynthèse, la respiration, l'excrétion, la croissance et le stockage des réserves. Application à la Seine

(Lancelot et al., 1991; Billen et al., 1994; Garnier & Billen, 1994; Garnier et al., 1995)

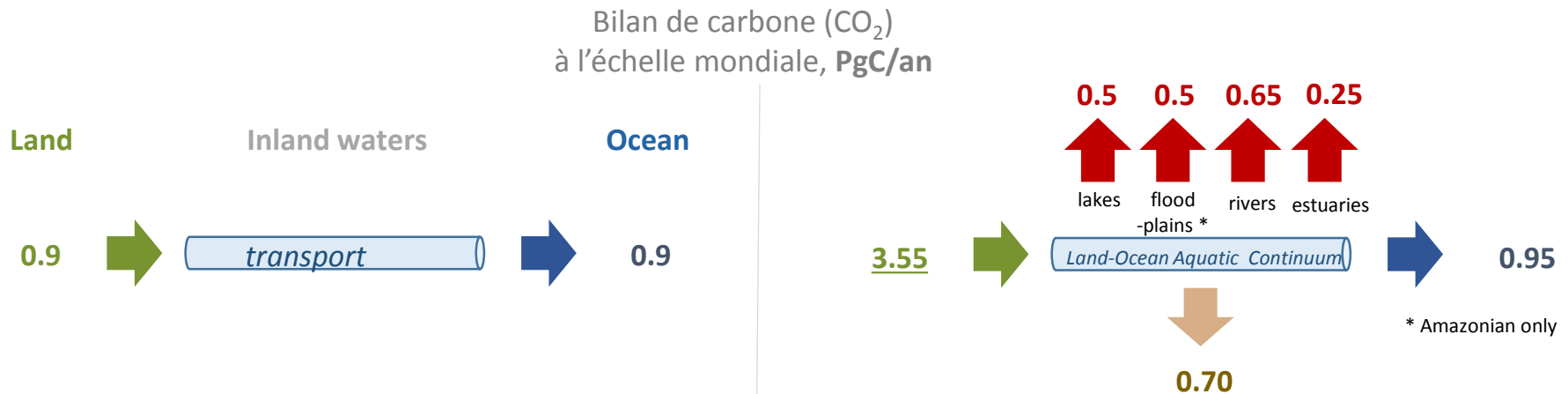
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

- En 2007, la communauté scientifique mondiale identifie les hydrosystèmes comme un composant actif des transferts de carbone entre Terre et Mer (puis IPCC – AR5, 2014)



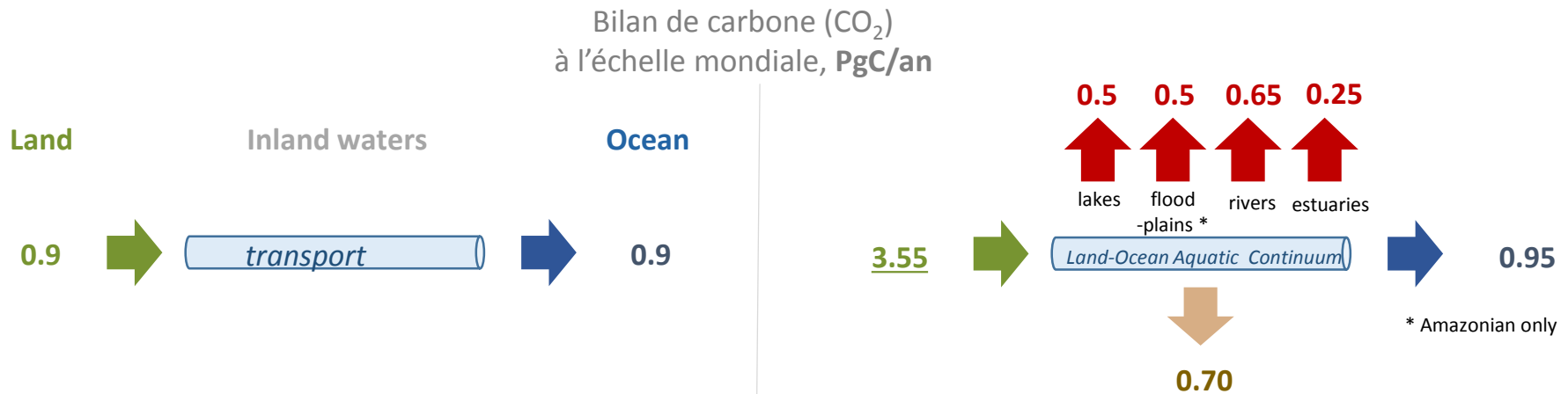
Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

- En 2007, la communauté scientifique mondiale identifie les hydrosystèmes comme un composant actif des transferts de carbone entre Terre et Mer (puis IPCC – AR5, 2014)
- Depuis, réévaluation (↗) permanente des apports terrestres
- Dernier bilan (ITN C-Cascades, 2018) indique une évasion du CO₂ ~ 1.9 PgC/an




Retour sur la modélisation des hydrosystèmes

- En 2007, la communauté scientifique mondiale identifie les hydrosystèmes comme un composant actif des transferts de carbone entre Terre et Mer (puis IPCC – AR5, 2014)
- Depuis, réévaluation (↗) permanente des apports terrestres
- Dernier bilan (ITN C-Cascades, 2018) indique une évasion du CO₂ ~ 1.9 PgC/an



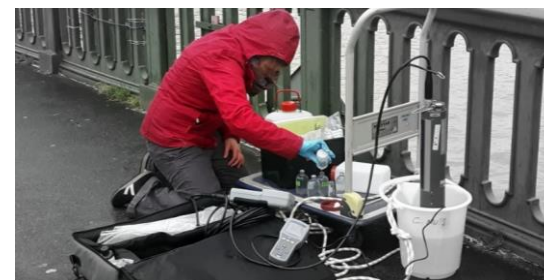
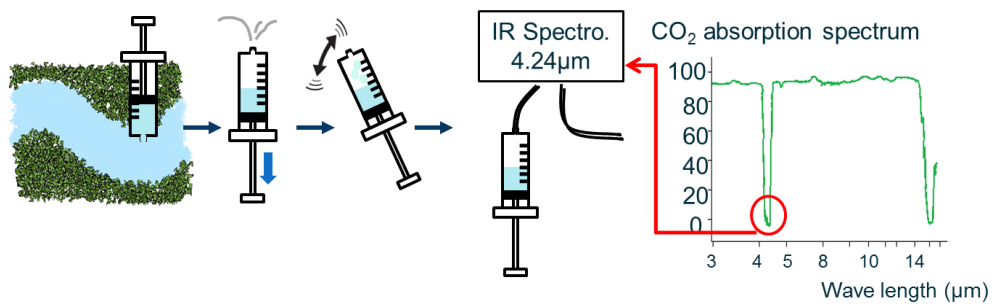
- Incertitudes sur les processus et la quantification de l'évasion du CO₂
- Besoin d'études de modélisation régionale pour caractériser les « points chauds » comme les bassins versants ultra-anthropisés



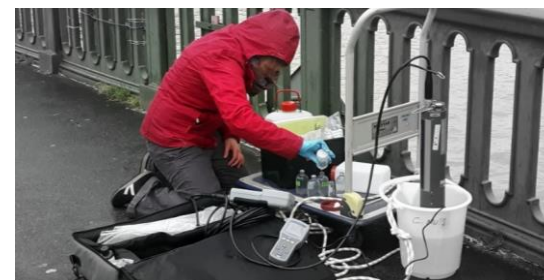
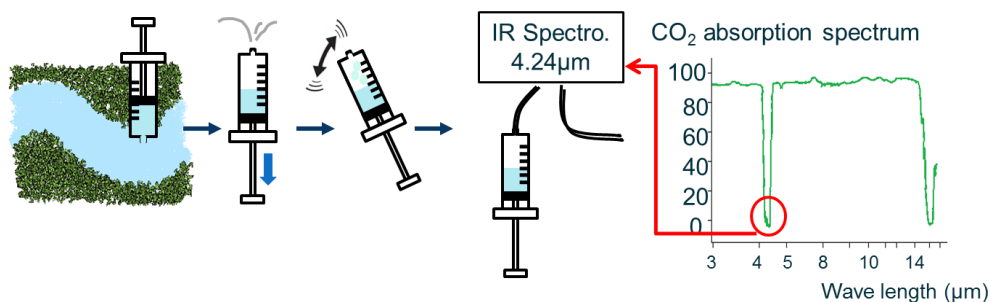
Que nous apprend l'étude d'un système
ultra-anthropisé comme la Seine
sur la cascade du carbone ?



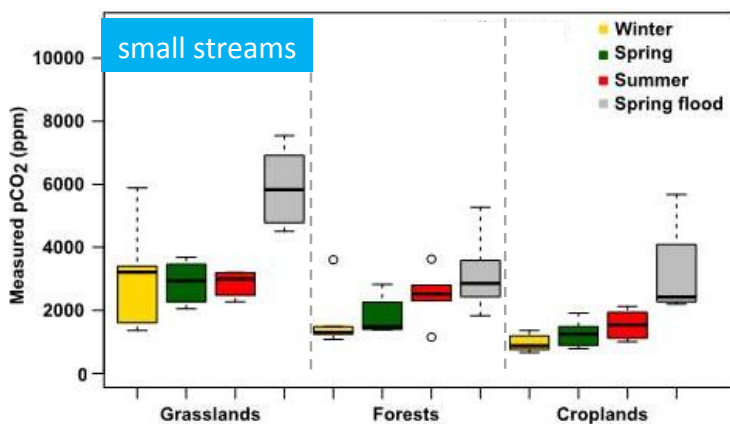
- Mesures directes des concentrations de CO_2 aquatiques



- Mesures directes des concentrations de CO₂ aquatiques



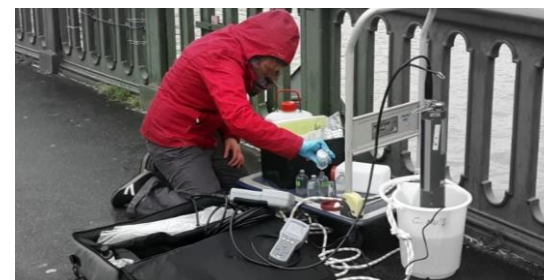
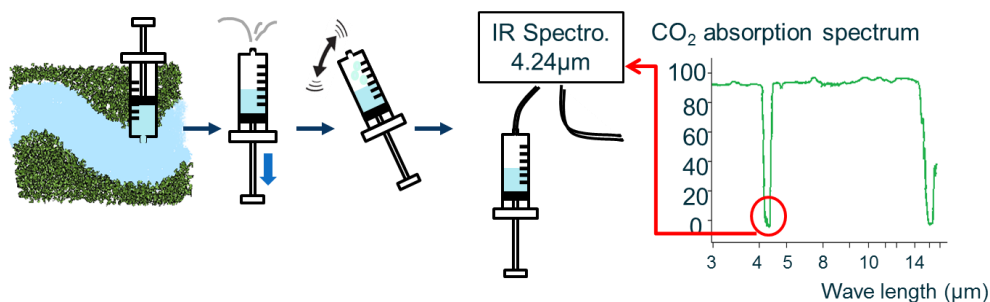
- Facteurs de contrôle des variations spatiales et temporelles de pCO₂



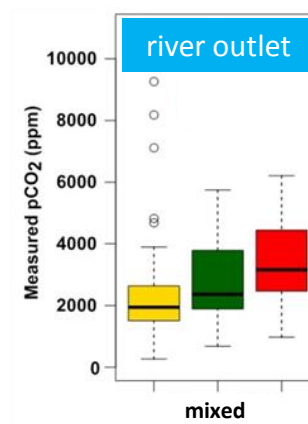
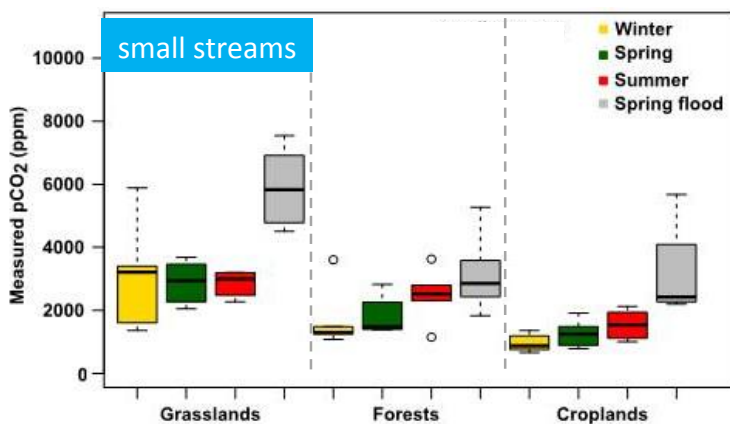
- 4 campagnes de terrain (2015-17)
- 30 sites / 2 saisons / 4 occupations du sol
- Contrôle par :
 - les apports de DOC, fct [landuse]
 - la minéralisation, fct [température]
 - l'hydrologie, fct [contrib. GDW]

(Marescaux et al 2018, Scientific Reports)

- Mesures directes des concentrations de CO₂ aquatiques



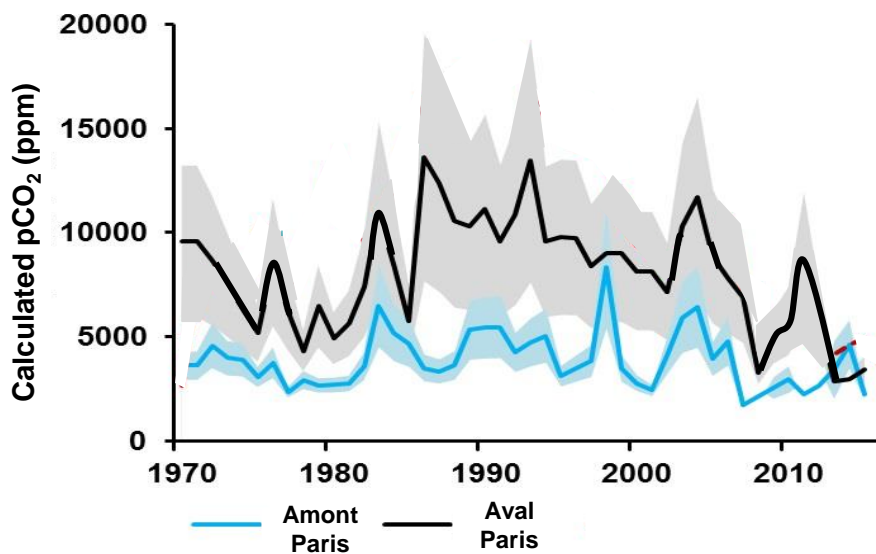
- Facteurs de contrôle des variations spatiales et temporelles de pCO₂



- 4 campagnes de terrain (2015-17)
- 30 sites / 2 saisons / 4 occupations du sol
- Contrôle par :
 - les apports de DOC, fct [landuse]
 - la minéralisation, fct [température]
 - l'hydrologie, fct [contrib. GDW]

(Marescaux et al 2018, Scientific Reports)

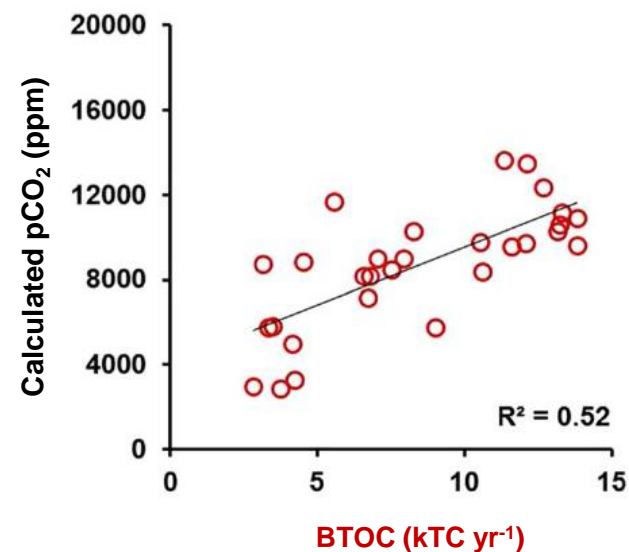
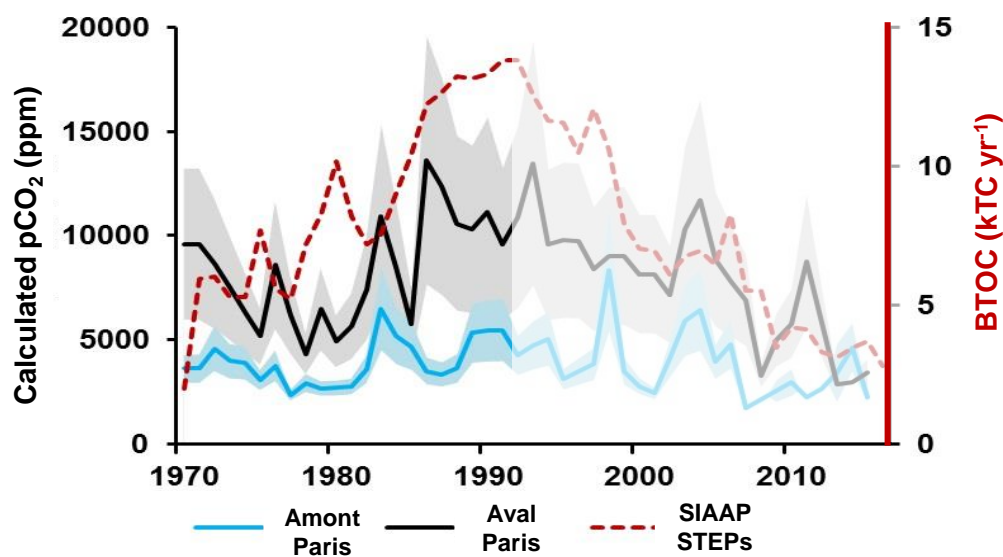
- Reconstitution des $p\text{CO}_2$ et des rejets d'épuration entre 1970 - 2015
- Calcul de la $p\text{CO}_2$ à partir de Temp., pH et alcalinité : 41,208 mesures indirectes (1970-2015)
- $p\text{CO}_2$ amont \ll $p\text{CO}_2$ l'aval de l'agglomération parisienne



*SIAAP = Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne

(Marescaux et al 2018, Scientific Reports)

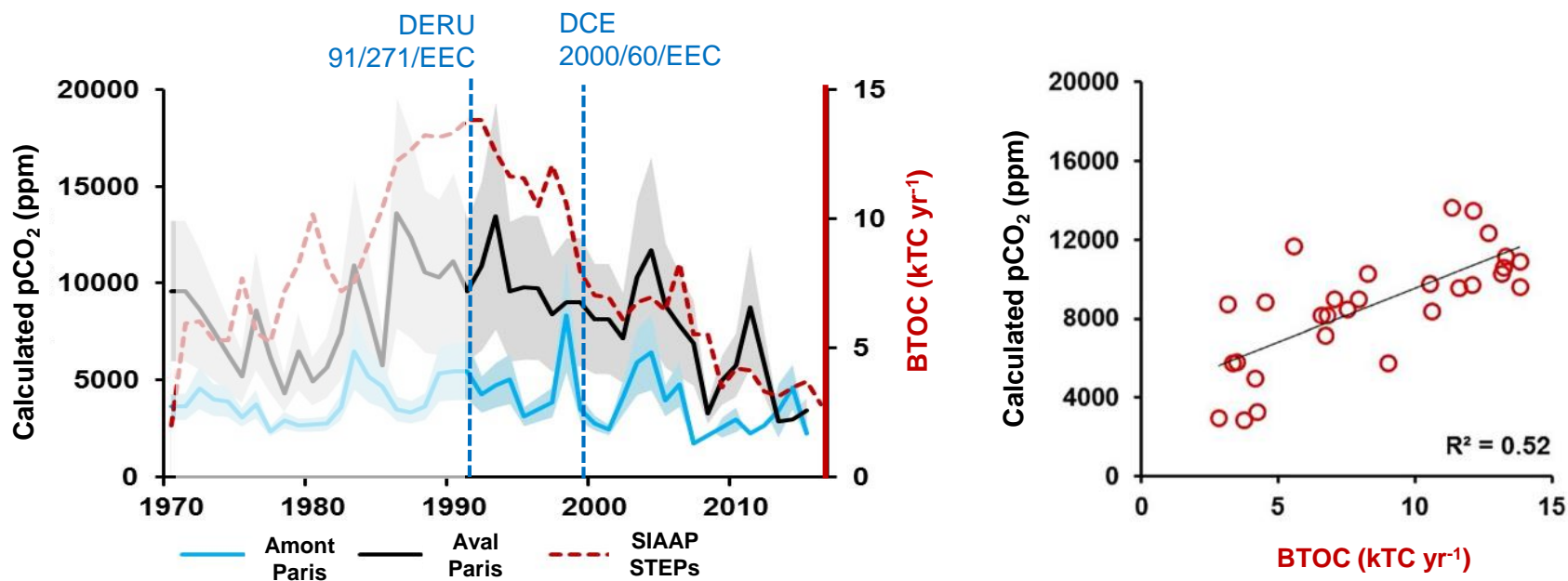
- Reconstitution des $p\text{CO}_2$ et des rejets d'épuration entre 1970 - 2015
- Calcul de la $p\text{CO}_2$ à partir de Temp., pH et alcalinité : 41,208 mesures indirectes (1970-2015)
- $p\text{CO}_2$ amont \ll $p\text{CO}_2$ l'aval de l'agglomération parisienne
- $p\text{CO}_2$ corrélées aux rejets de **carbone organique total biodégradable** (BTOC)
- Augmentation synchrone avec le développement des réseaux de collecte (... \rightarrow 1990)



*SIAAP = Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne

(Marescaux et al 2018, Scientific Reports)

- Reconstitution des $p\text{CO}_2$ et des rejets d'épuration entre 1970 - 2015
- Calcul de la $p\text{CO}_2$ à partir de Temp., pH et alcalinité : 41,208 mesures indirectes (1970-2015)
- $p\text{CO}_2$ amont \ll $p\text{CO}_2$ l'aval de l'agglomération parisienne
- $p\text{CO}_2$ corrélées aux rejets de **carbone organique total biodégradable** (BTOC)
- Augmentation synchrone avec le développement des réseaux de collecte (... \rightarrow 1990)



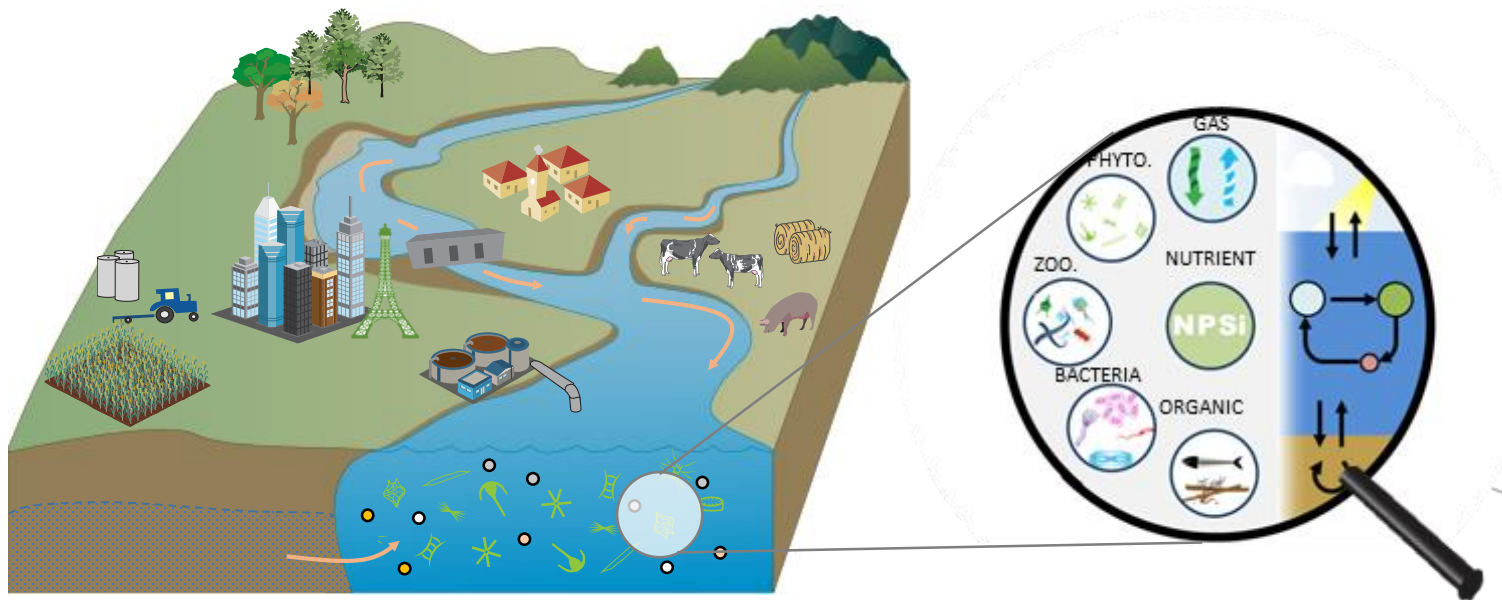
*SIAAP = Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne

(Marescaux et al 2018, Scientific Reports)

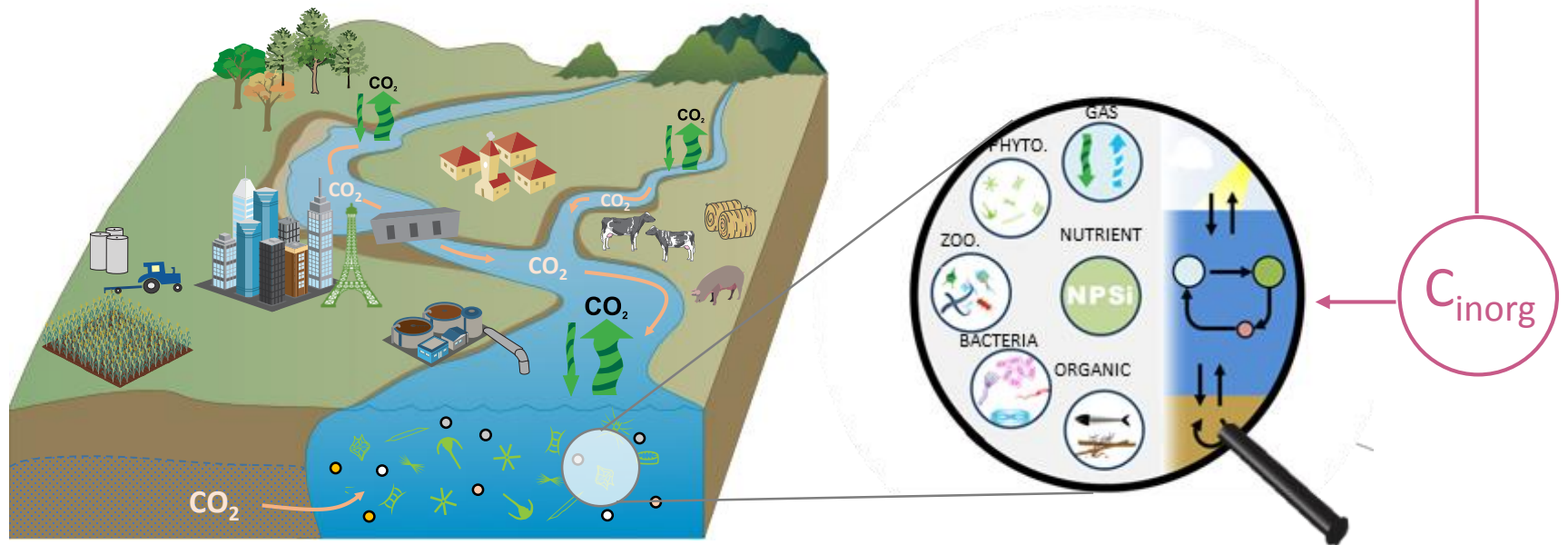
- Appréhender les flux terrestres pour mieux contraindre la modélisation biogéochimique de l'hydrosystème Seine



- Appréhender les flux terrestres pour mieux contraindre la modélisation biogéochimique de l'hydrosystème Seine
- Le modèle RIVERSTRAHLER (inclus RIVE)
 - Approche déterministe | Semi-distribuée | saisonnalisée
 - Simule les nutriments (N, P, Si), le phyto- zoo- planctons, les bactéries, le carbone organique

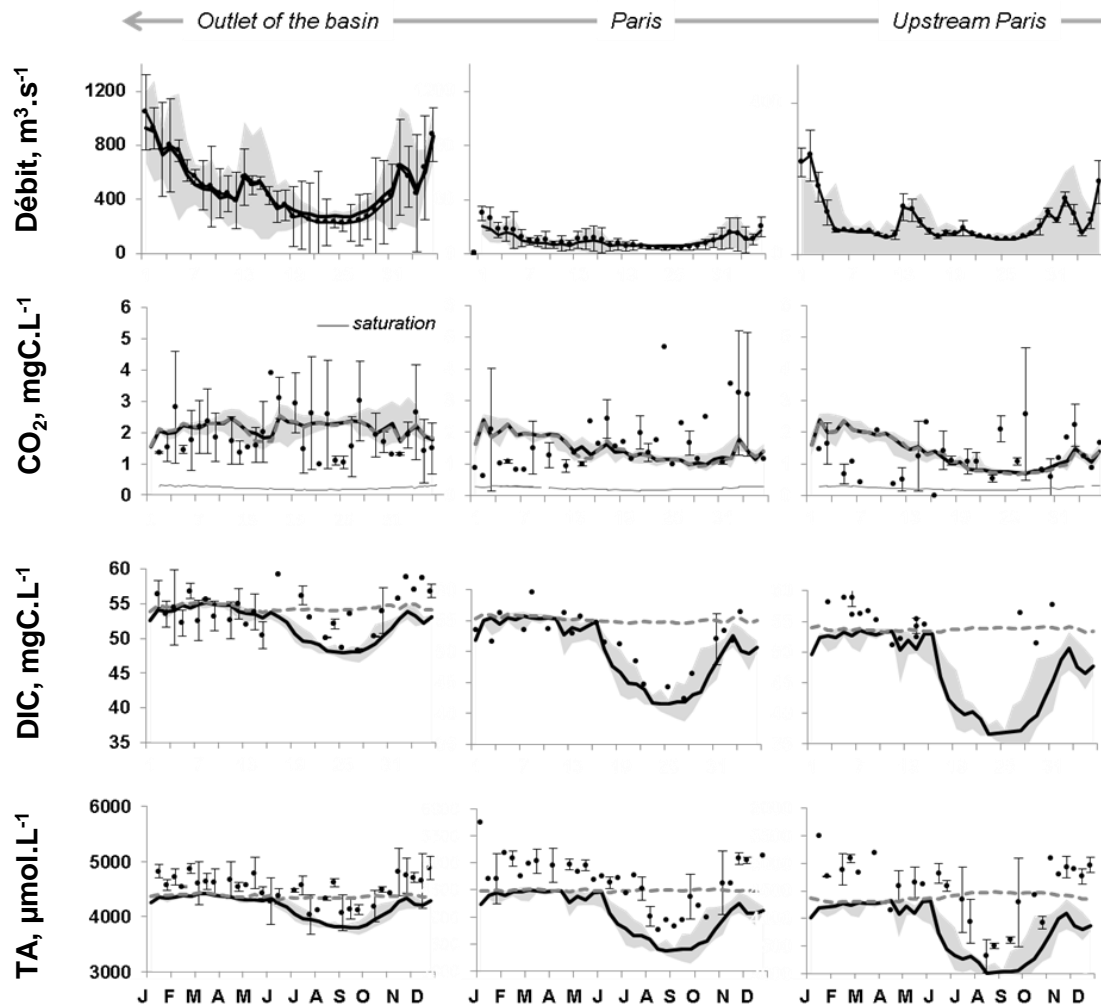


- Appréhender les flux terrestres pour mieux contraindre la modélisation biogéochimique de l'hydrosystème Seine
- Le modèle RIVERSTRAHLER (inclus RIVE)
 - Approche déterministe | Semi-distribuée | saisonnée
 - Simule les nutriments (N, P, Si), le phyto- zoo- planctons, les bactéries, le carbone organique
 - Développement d'un module de carbone inorganique (CO_2 , DIC, TA)



- Evolution **saisonnière** des concentrations de CO₂ (2010-2013)

- Grande variabilité des observations de CO₂
- Représentation des variations saisonnières



(Marescaux et al 2019)

- Evolution **saisonnière** des concentrations de CO₂ (2010-2013)

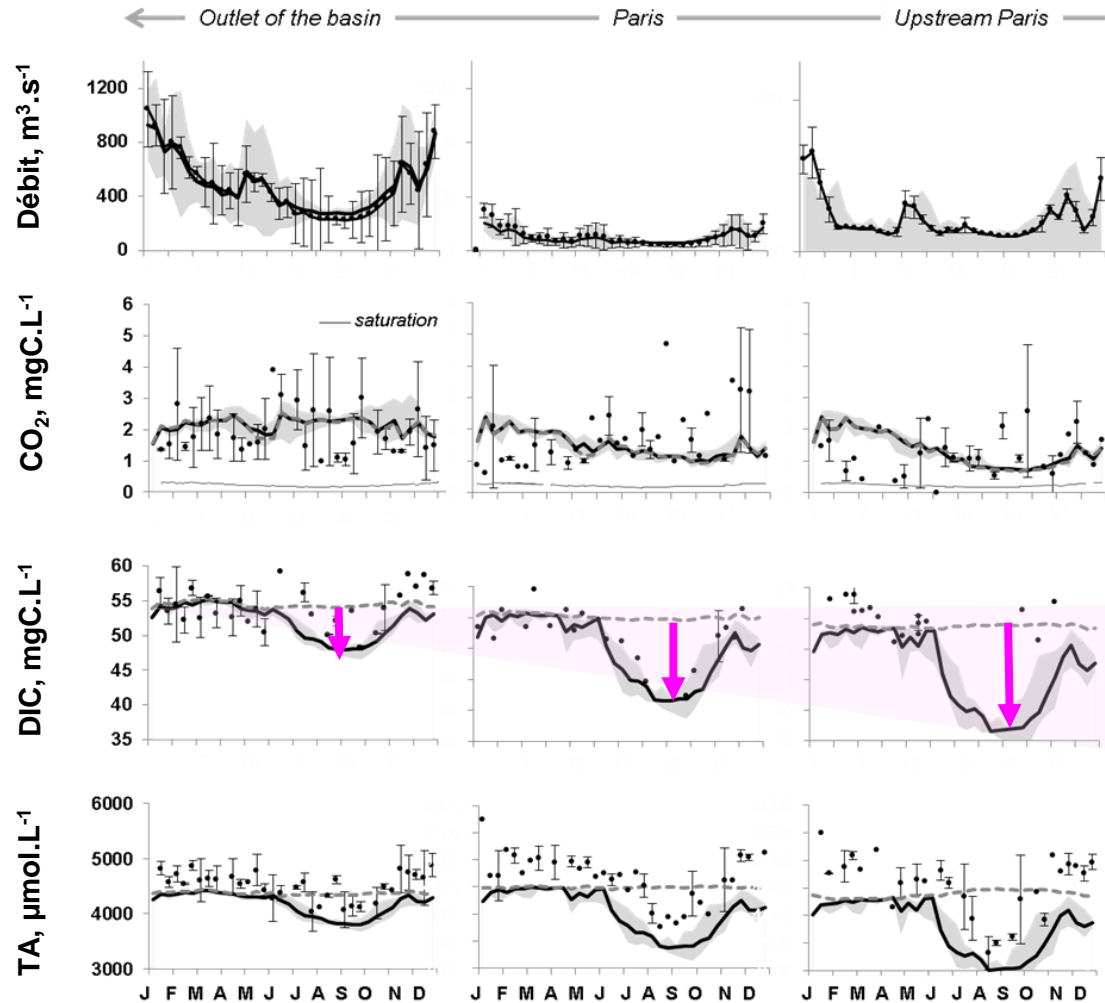
- Grande variabilité des observations de CO₂

- Représentation des variations saisonnières

- Impact des eaux restituées par les réservoirs (DIC et TA)

— Sans réservoir

— Avec réservoirs



(Marescaux et al 2019)

- Cartographie des processus aquatiques contrôlant le C_{inorg} en Seine (2010-2013)
- Production primaire (**NPP**) : ↗ à partir des ordres 4
- **Respiration** hétéro. :
 - planctonique ↗ avec la NPP et les rejets STEP aval
 - benthique domine dans les 1^{er} ordres

(Marescaux et al 2019, in revision)

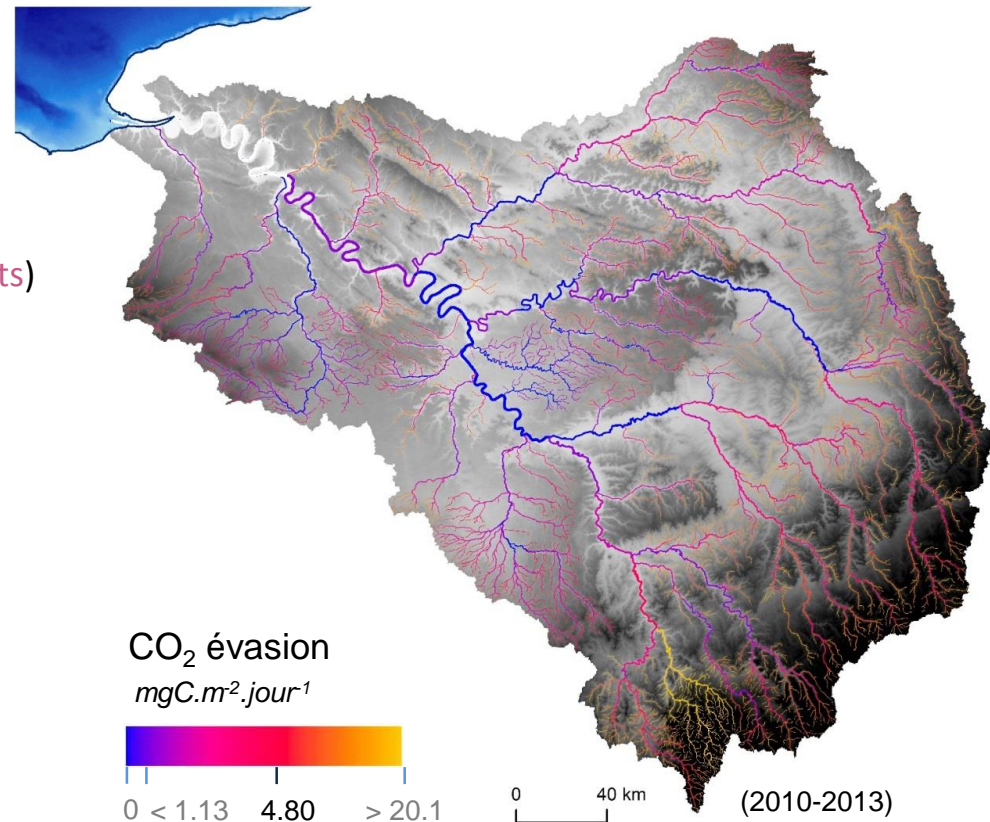
- Cartographie des **processus aquatiques** contrôlant le C_{inorg} en Seine (2010-2013)

- Production primaire (**NPP**) : ↗ à partir des ordres 4
- **Respiration** hétéro. :
 - planctonique ↗ avec la NPP et les rejets STEP aval
 - benthique domine dans les 1^{er} ordres
- Emissions de CO_2 par l'hydrosystème (> 30 % exports)

364 ± 99 Gg C an⁻¹

- Facteurs de contrôle de l'évasion :

<u>Aval</u>	<u>Amont</u>
- rejets de l'agglomération	- importance du k
	- apports de DIC



(Marescaux et al 2019, in revision)

- Cartographie des processus aquatiques contrôlant le C_{inorg} en Seine (2010-2013)

- Production primaire (NPP) : ↗ à partir des ordres 4
- **Respiration** hétéro. :
 - planctonique ↗ avec la NPP et les rejets STEP aval
 - benthique domine dans les 1^{er} ordres
- Emissions de CO_2 par l'hydrosystème (> 30 % exports)

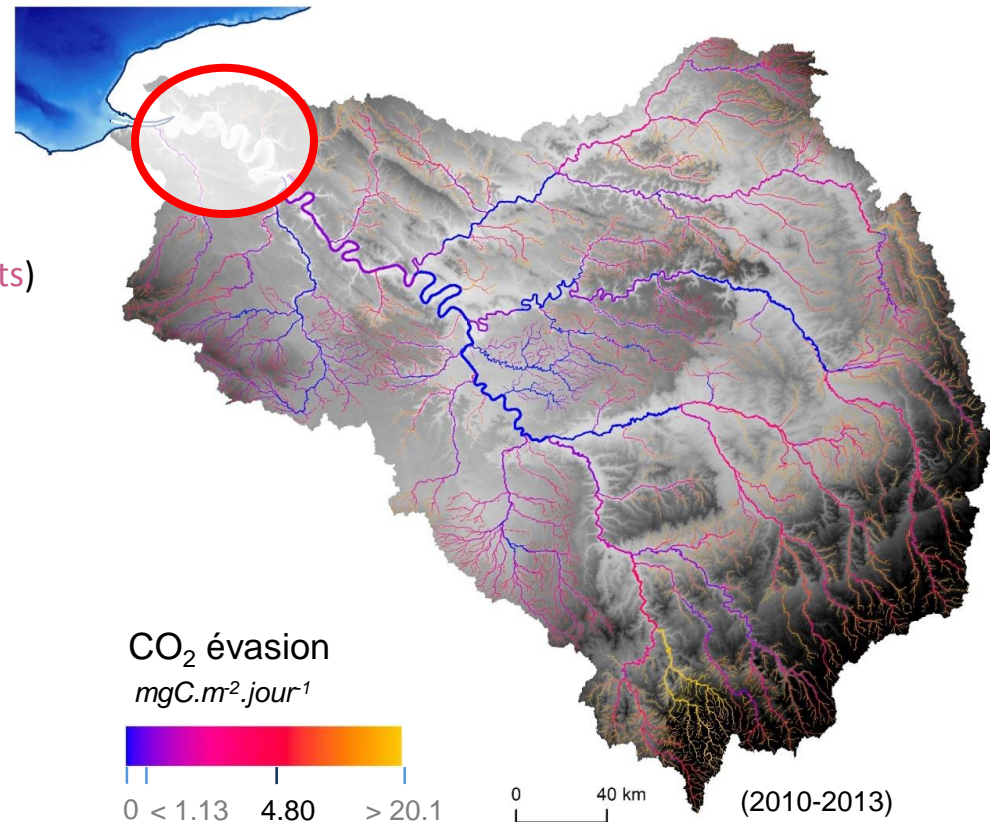
364 ± 99 Gg C an⁻¹

- Facteurs de contrôle de l'évasion :

<u>Aval</u>	<u>Amont</u>
- rejets de l'agglomération	- importance du k
	- apports de DIC

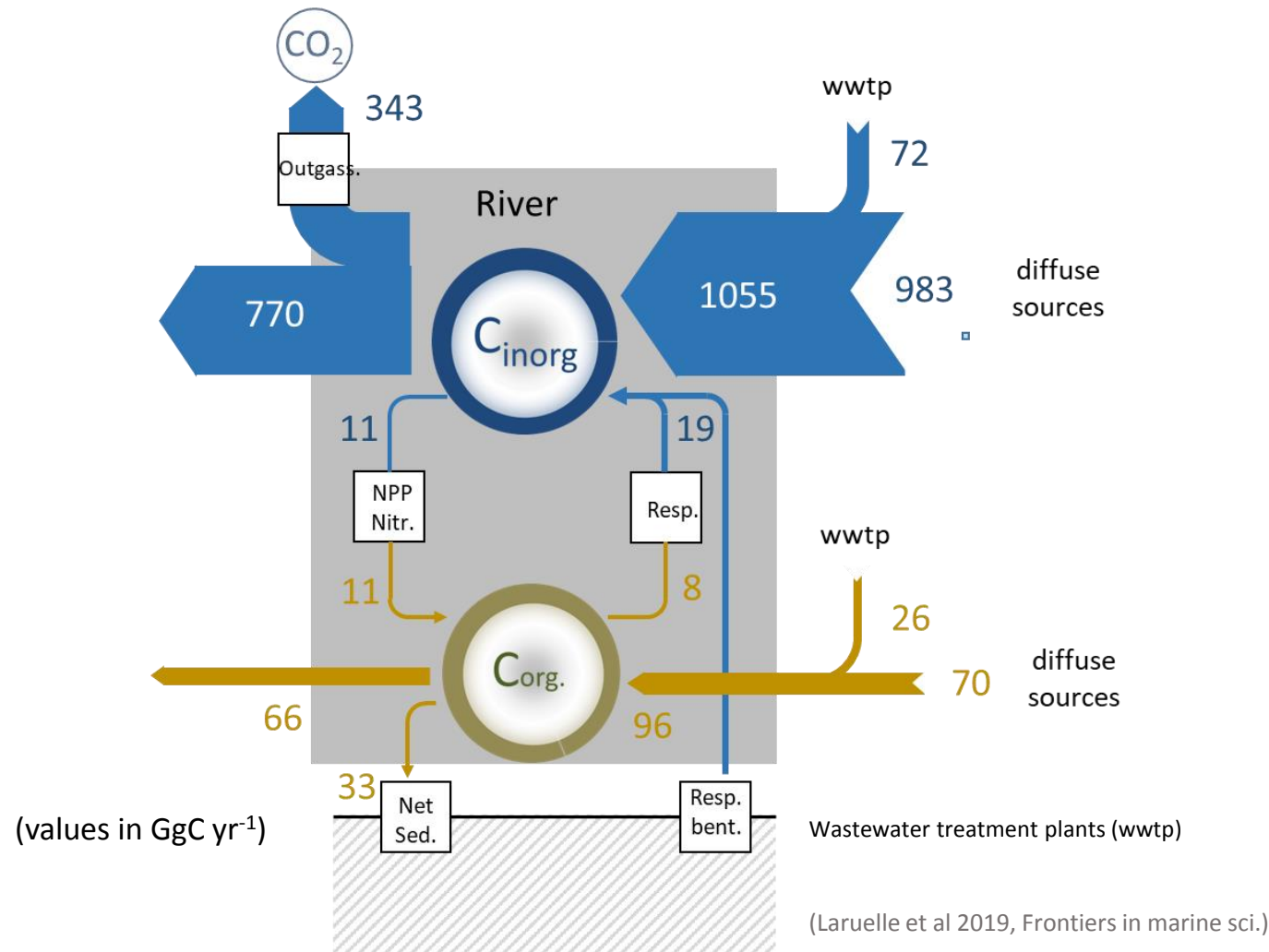
- Couplage au modèle d'estuaire C-GEM

- modèle 1D longitudinal
- hydrodynamisme simplifié
- biogéochimie ~ RIVE



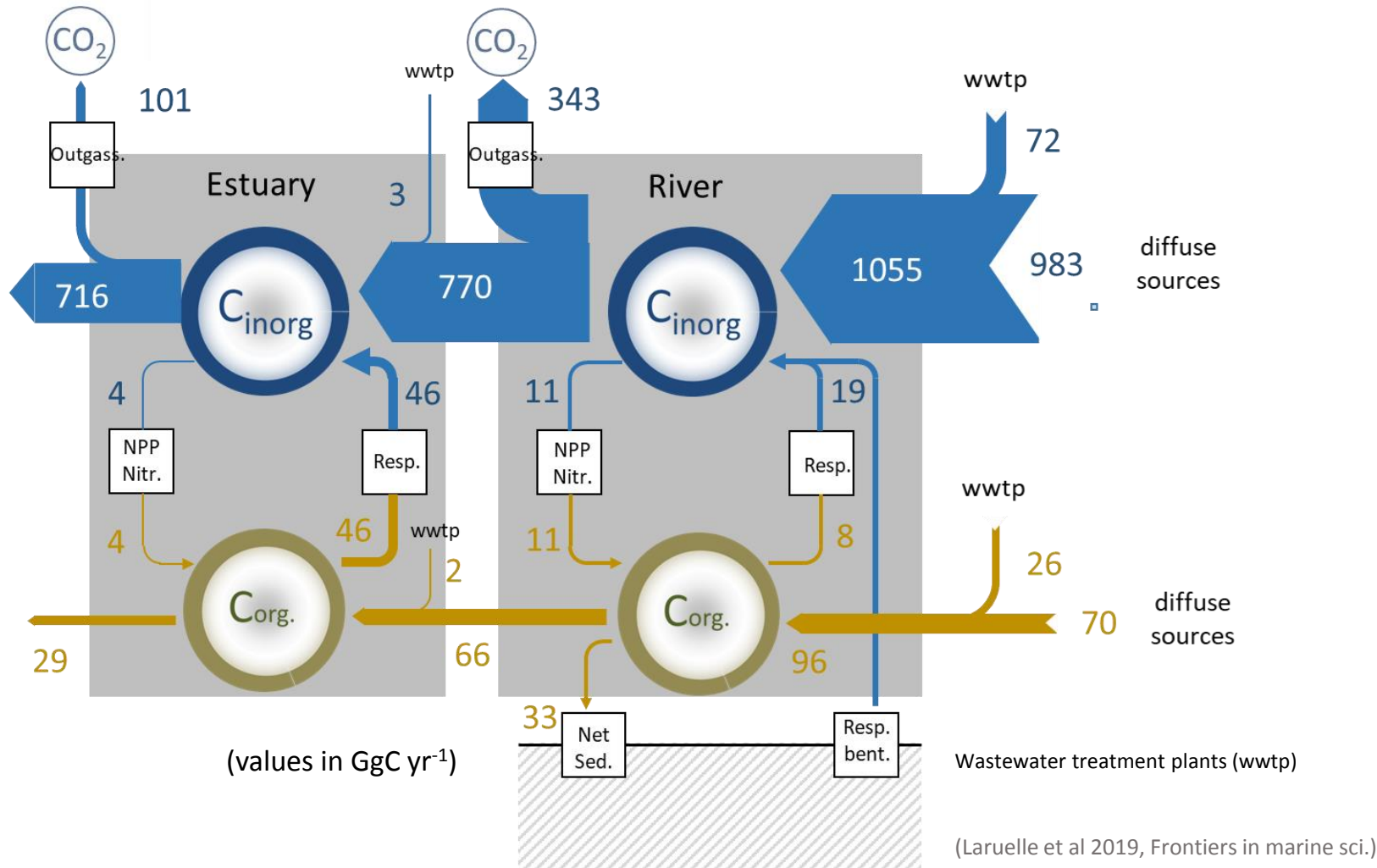
(Marescaux et al 2019, in revision)

- Approche intégrée du **continuum** rivière-estuaire (C-GEM – RIVERSTRAHLER)



Bilan des transferts de carbone (IC et OC) dans l'intégralité de l'hydrosystème Seine (2011)

- Approche intégrée du **continuum** rivière-estuaire (C-GEM – RIVERSTRAHLER)



Bilan des transferts de carbone (IC et OC) dans l'intégralité de l'hydrosystème Seine (2011)

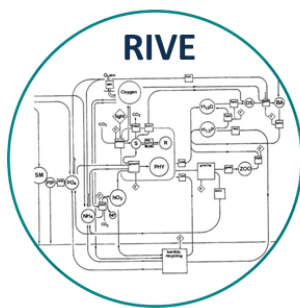
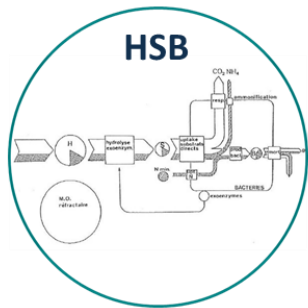
Conclusions

1989

1994 | 1995

2000's

2019



phyto- et zoo- planctons

nitrification

cycle de la silice

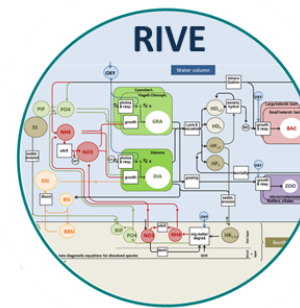


cycle du phosphore

oxyde nitreux

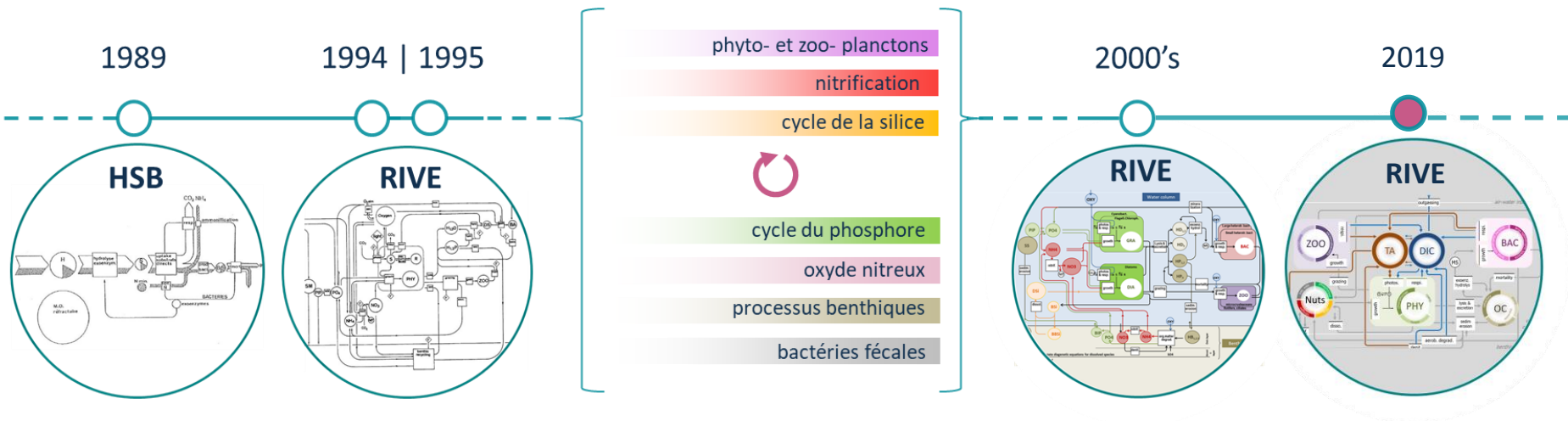
processus benthiques

bactéries fécales



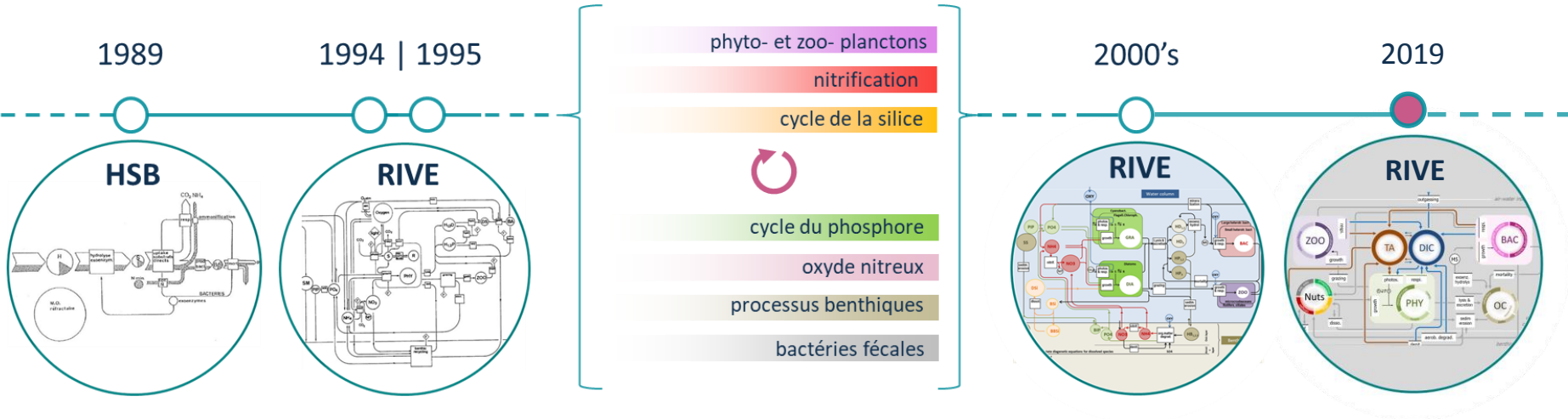
Conclusions

- Evolution du modèle RIVE pour mieux comprendre la cascade du Carbone en Seine



Conclusions

- Evolution du modèle RIVE pour **mieux comprendre** la cascade du Carbone en Seine



- L'hydrosystème de la Seine est **susaturé** et produit $364 \pm 99 \text{ Gg C an}^{-1}$
- Facteurs contrôlant la pCO₂** : eaux souterraines, C_{org} terrestre, rejets des STEPs
- Impact potentiellement fort des eaux restituées par **les réservoirs**
- L'évasion est plus importante dans les premiers ordres et l'estuaire (~ 23%)
- Les bilans montrent les proportions **OC (<10%)** vs. **IC** des apports à l'hydrosystème Seine

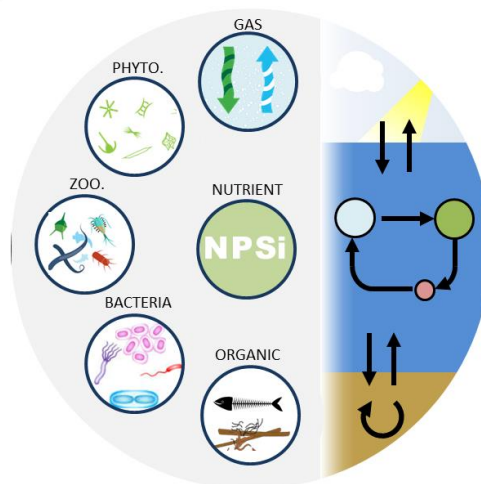
Perspectives

- **Modélisation biogéochimique (lien mesures et expérimentations) :**
 - relier le DOC aquatique au contenu en **carbone des sols**
 - intégrer les émissions aquatiques de **CH₄** et **N₂O**
 - inclure la modélisation des GES dans les **réservoirs** (*thèse en cours*)
 - modélisation du **carbone inorganique des aquifères** et des interfaces nappes/rivières

Perspectives

- **Modélisation biogéochimique (lien mesures et expérimentations) :**
 - relier le DOC aquatique au contenu en **carbone des sols**
 - intégrer les émissions aquatiques de **CH₄** et **N₂O**
 - inclure la modélisation des GES dans les **réservoirs** (*thèse en cours*)
 - modélisation du **carbone inorganique des aquifères** et des interfaces nappes/rivières
- **Unification** des développements centrés sur le cœur de modélisation **RIVE** ...

www.fire.upmc.fr/rive/



Principaux travaux présentés



- Billen, G. & P. Servais, 1989. **Modélisation des processus de dégradation bactérienne de la matière organique en milieu aquatique.** In Bianchi et coll. (eds), *Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques.* Masson, Paris: 219-245.
- Billen, G., Garnier, J., 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.** *Limnology and Oceanography* 40:750–765.
- Laruelle, G.G., Marescaux, A., Gendre, R. Le, Garnier, J., Rabouille, C., Thieu, V., 2019. **Carbon dynamics along the Seine River network: Insight from a coupled estuarine/river modeling approach.** *Front. Mar. Sci.*
- Marescaux, A., Thieu, V., Borges, A.V., Garnier, J., 2018. **Seasonal and spatial variability of the partial pressure of carbon dioxide in the human-impacted Seine River (France).** *Sci. Rep.* 17, 1–14.
- Marescaux, A., Thieu, V., Gypens, N., Silvestre, M., Garnier, J., (in revision). **Modeling inorganic carbon dynamics in the Seine River continuum in France**

Merci de votre attention



vincent.thieu@upmc.fr

www.piren-seine.fr