

Modélisation des hydrosystèmes régionaux anthropisés : la plateforme du PIREN-Seine

N. Gallois¹, N. Flipo¹, V. Thieu², P. Passy⁴, J. Garnier², G. Billen², S. Wang², A. Rivière¹, D. Kilic¹, A. Bordet¹, M. Bignon², M. Silvestre³

¹ ARMINES/MINES ParisTech, Université PSL, Centre de Géosciences, 35 rue Saint-Honoré, F-77 305 Fontainebleau, France

² Sorbonne Université, UMR 7619 METIS, 4 place Jussieu, F-75 005 Paris, France

³ FIRE, CNRS, UMR 7619 METIS, 4 place Jussieu, F-75 005 Paris, France

⁴ Université de Paris, UMR 8586 PRODIG, Place Paul Ricoeur, F-75 013 Paris, France

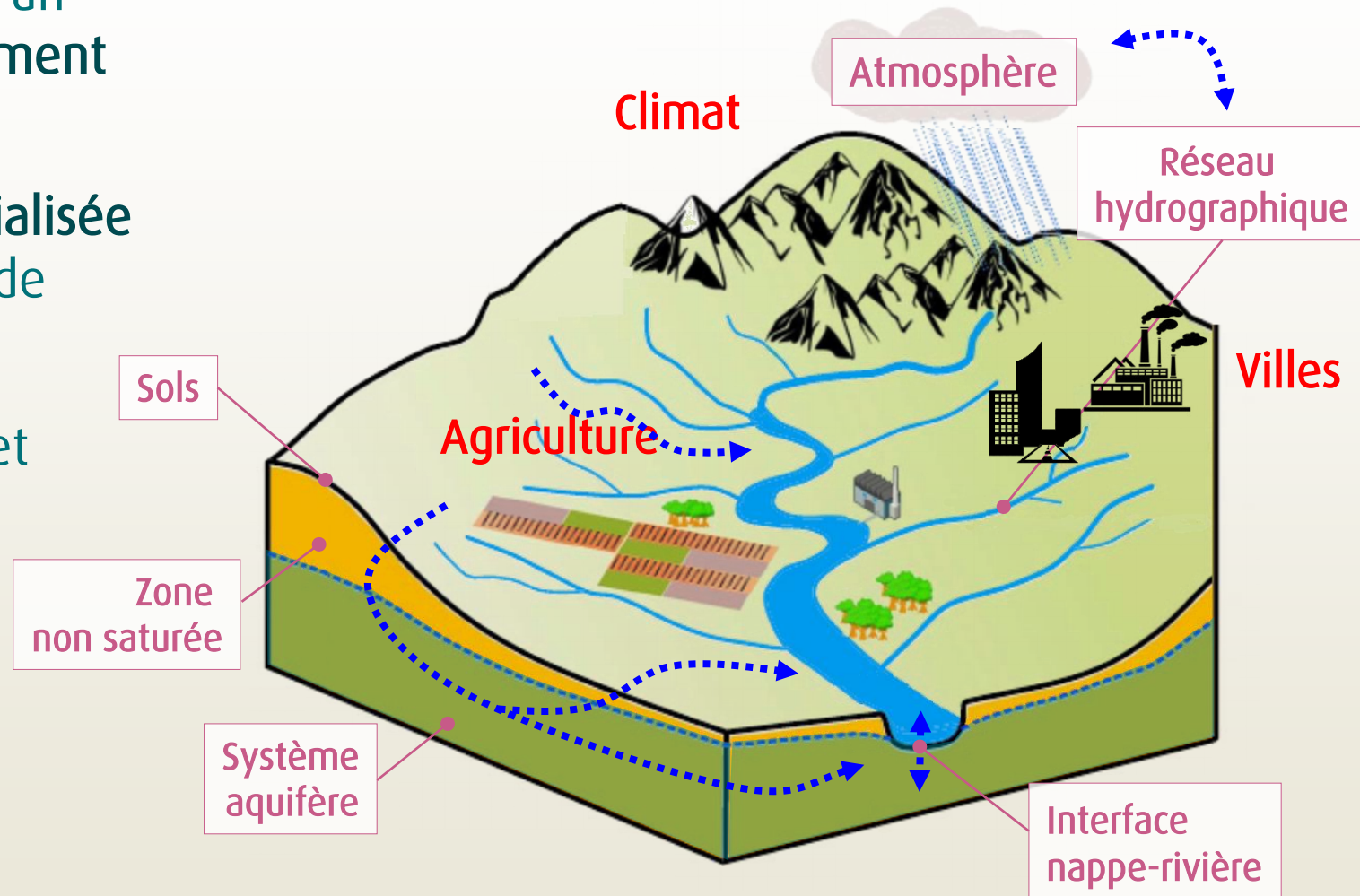
Un projet...interdisciplinaire

- Simulant le **comportement d'un hydrosystème régional fortement anthropisé.**
- Permettant l'évaluation **spécialisée et quantitative de scénarios de futurs** du bassin.
 - Cycle de l'eau
 - Qualité de l'eau :
 - Flux de **polluants** (macro/micro) : azote, pesticides, etc.
 - Flux de **nutriments** (Si, P, etc.).
 - Flux de **chaleur/énergie.**



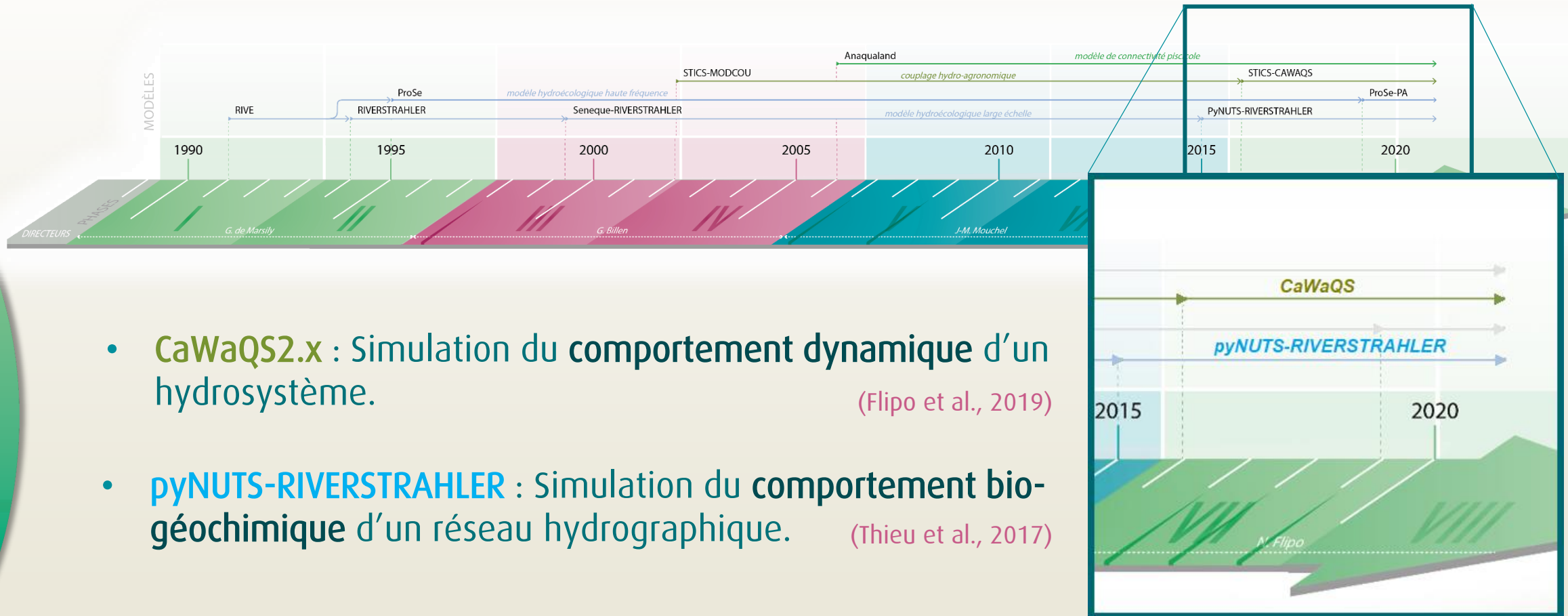
Un projet... fédérateur

- Simulant le **comportement** d'un hydrosystème **régional fortement anthropisé**.
- Permettant l'évaluation **spécialisée** et **quantitative** de scénarios de futurs du bassin.
- Evaluant les **impacts directs** et effets induits par les changements globaux.
- Associant différents outils de modélisation **dédiés et spécialisés** (processus, compartiments).



Un projet... fondé sur des acquis

- Des acquis de plus ou moins long-terme
 - ➔ Couplage d'outils phares du programme PIREN-Seine

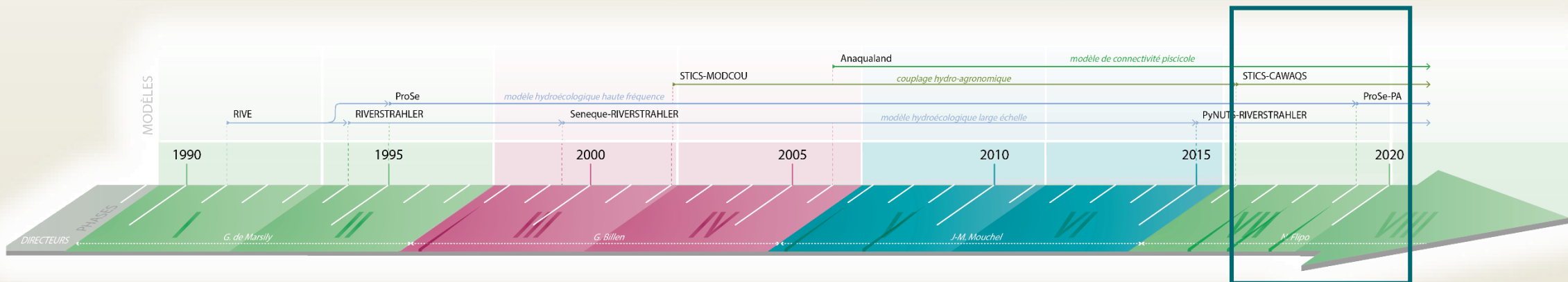
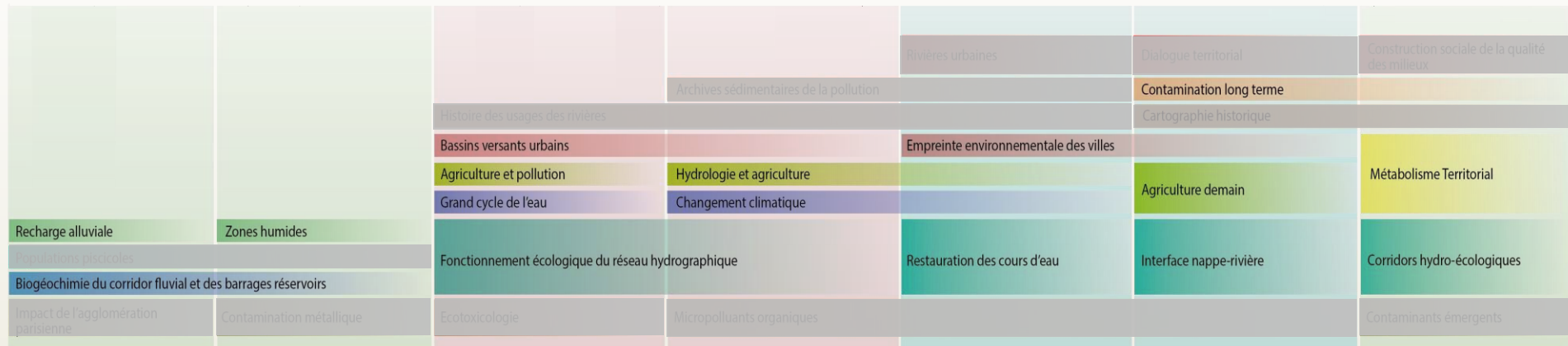


- **CaWaQS2.x** : Simulation du comportement dynamique d'un hydrosystème. (Flipo et al., 2019)
- **pyNUTS-RIVERSTRAHLER** : Simulation du comportement biogéochimique d'un réseau hydrographique. (Thieu et al., 2017)

Un projet... fondé sur des acquis

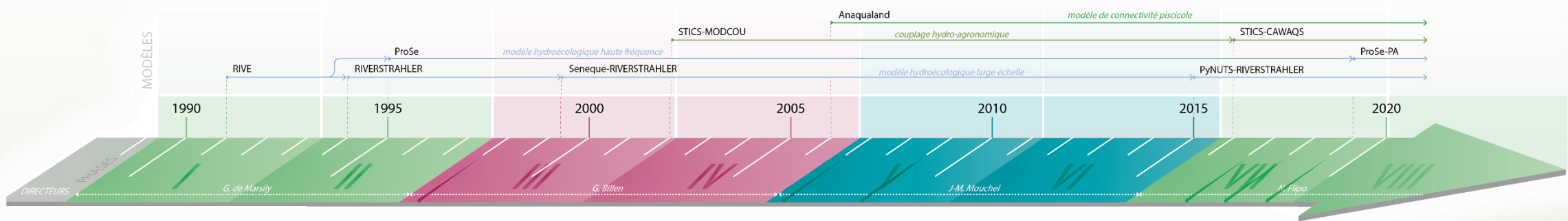
► Des acquis de plus ou moins long-terme

➔ Couplage d'outils et **thématiques** phares du programme PIREN-Seine



Un projet... fondé sur des acquis

- Des acquis de plus ou moins long-terme
 - ➔ Couplage d'outils et thématiques phares du programme PIREN-Seine

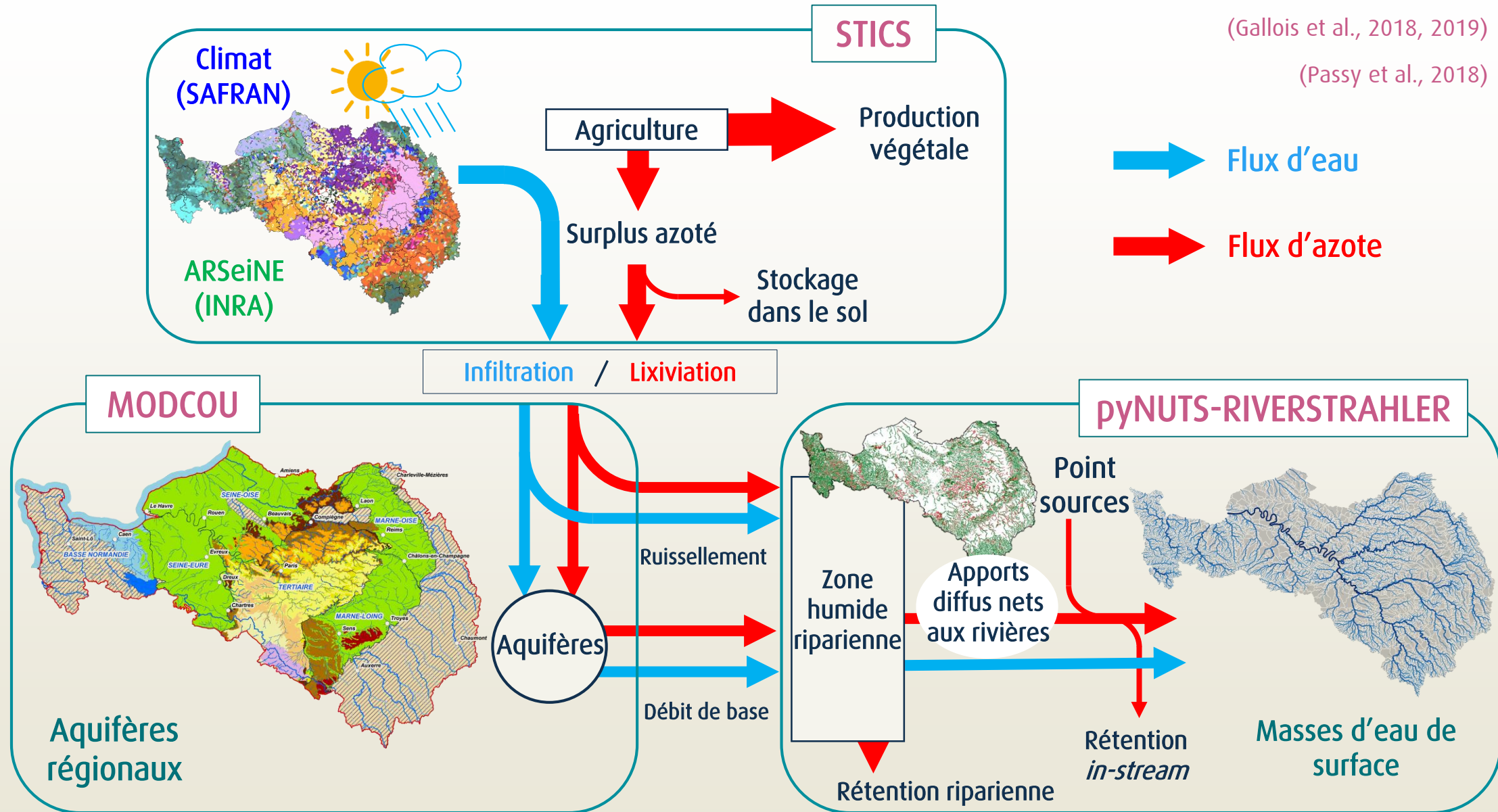


- Première maquette illustrant une déclinaison de ce projet de plateforme :
 - ➔ **Couplage STICS-MODCOU-pyNUTS-RIVERSTRAHLER** (Gallois et al., 2018, 2019; Passy et al., 2018)
 - Simulation intégrée des flux d'azote sur l'ensemble du territoire Seine-Normandie :
 - Evolutions rétrospectives long-terme (1970-2018) des concentrations en nitrates du bassin (système aquifère et réseau hydrographique).
 - Evolutions prospectives des concentrations en système aquifère sous scénarios agricoles évolutifs et spatialisés.

Exemple : le couplage STICS-MODCOU-RIVERSTRAHLER

(Gallois et al., 2018, 2019)

(Passy et al., 2018)

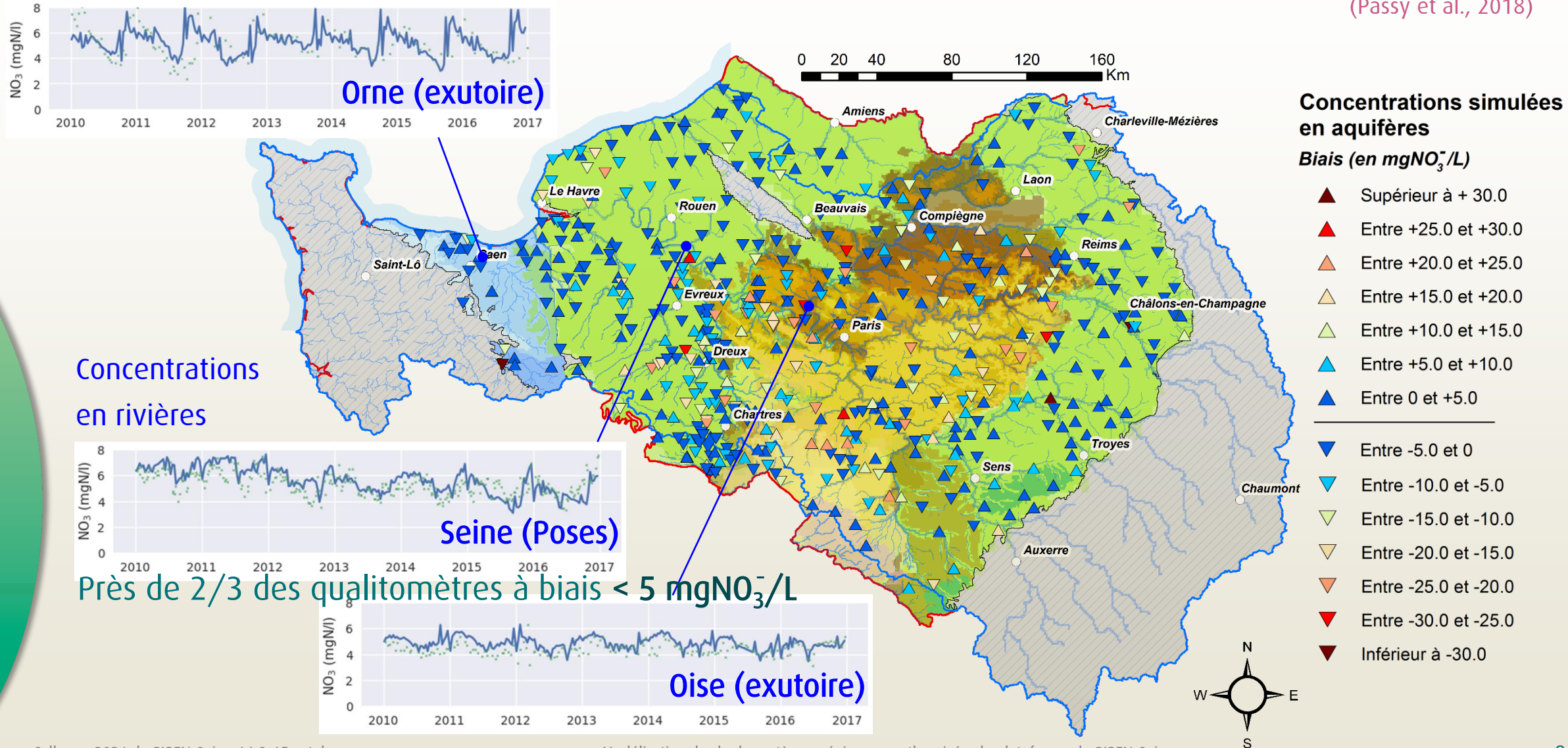


Exemple : le couplage STICS-MODCOU-RIVERSTRAHLER

► Performances de restitution des concentrations mesurées

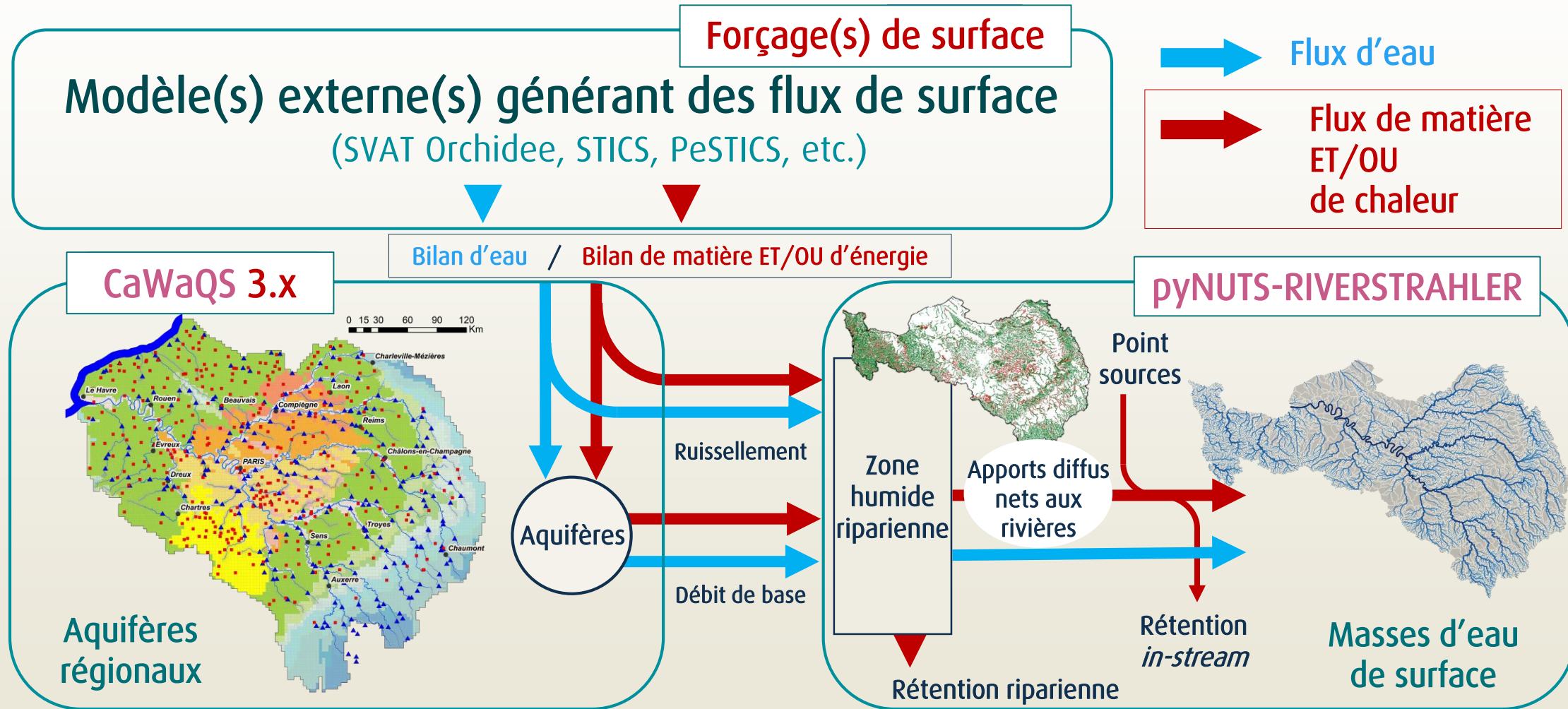
(Gallois et al., 2018, 2019)

(Passy et al., 2018)



La future version de la **plateforme** du PIREN-Seine

- Ambition de la phase VIII : Développer un outil de **simulation conjointe** des flux d'eau, de solutés et de chaleur/énergie dans l'ensemble d'un hydrosystème.



De nombreux développements en cours...

► **Modèle hydrogéologique CaWaQS3.x** : Développement du **transfert simultané d'espèces multiples dissoutes** (transport conservatif) **et/ou de chaleur/énergie** (température).

Développements déjà fonctionnels :

Code :

- Fonctionnalités de **forçage** du modèle par des flux externes.
- Transport de soluté dans le **réseau hydrographique** et en zone non saturée. (Gallois et al., 2020)
- Fonctionnalités d'**apports de flux exogènes** au réseau hydrographique (rejets STEP/prélèvements).
- **Bilan énergétique** à l'interface rivière/atmosphère. (Kilic et al., 2021)
- **Transport de chaleur et/ou solutés** en système aquifère. (Kilic et al., 2021; Gallois et al., 2021a)

Applications et méthodologies récentes :

- Nouvelle version calibrée de l'**application CaWaQS-Seine** intégrant la **frange orientale du bassin**. Application **fiabilisée** pour les compartiments de surface et aquifère. (Gallois et al., 2021b)
(Flipo et al., 2020)
- Méthodologie de **caractérisation des pratiques culturelles orientées pesticides** à l'échelle du bassin de la Seine. (Bignon et al., 2021)

De nombreux développements en cours...

► Modèle bio-géochimique **pyNUTS-RIVERSTRAHLER** :

Evolutions récentes du code :

- Intégration du C_{inorg} et des émissions de CO_2 par l'hydrosystème Seine. (Marescaux et al., 2020)
- **Couplage** en rivière-estuaire de Seine avec le **modèle estuarien C-GEM**. (Laruelle et al., 2019)

Développements en cours :

- **Modélisation des barrages réservoirs** du bassin de la Seine. (Yan et al., en cours)
- **Unification du code** de calcul biogéochimique **RIVE**.

Quelques applications récentes:

- **Modélisation façade atlantique** : 170 bassins du Rhin au Guadalquivir. (Thieu et al., 2017)
- **Evaluation des impacts indirects du changement climatique**. (Raimonet et al., 2018)
- **Modélisation intégrée Terre-Mer** à l'échelle de la France métropolitaine. (Projet Nuts-STEaURY, 2021-2023)
<http://www.nuts-steaury.cnrs.fr/>

Plateforme opérationnelle prévue en 2022.

Des références complémentaires...

- (Bignon et al., 2021) **Bignon M., Blanchoud M., Gallois N., Garnier J., Puech T.** (2021). *Vers une typologie des pesticides dans le bassin de la Seine*, Rapport PIREN-Seine phase 8.
- (Kilic et al., 2021) **Kilic D., Rivière A., Gallois N., Wang S., Flipo N.** (2021). *Simulation du transport de chaleur au sein de la plateforme de modélisation des hydrosystèmes CaWaQS*, Rapport PIREN-Seine phase 8.
- (Gallois et al., 2021a) **Gallois N., Rivière A., Flipo N.** (2021). *Transport de solutés conservatifs en système aquifère sous plateforme de modélisation CaWaQS3.x : Application à la problématique de pollution nitrique d'origine agricole à l'échelle du bassin de la Seine*, Rapport PIREN-Seine phase 8.
- (Gallois et al., 2021b) **Gallois N., Schuite J., Flipo N.** (2021). *Actualisation de l'application CaWaQS-Seine : Extension du système aquifère à la frange orientale du bassin et calibration de son comportement hydrodynamique*. Rapport PIREN-Seine phase 8.
- (Gallois et al., 2020) **Gallois N., Rivière A., Flipo N.** (2020). *Développements numériques au sein de la plateforme de modélisation des hydrosystèmes CaWaQS : Introduction de premières fonctionnalités de transport conservatif*. Rapport de synthèse de phase 8 du PIREN-Seine, 25p.
- (Marescaux et al., 2020) **Marescaux A., Thieu V., Gypens N., Silvestre M., Garnier J.** (2020). *Modeling Inorganic Carbon Dynamics in the Seine River Continuum in France*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24 (5), 2379–2398. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2379-2020>.
- (Gallois et al., 2019) **Gallois N., Viennot P., Puech T., Billen G., Passy P., Thieu V., Garnier J., Beaudoin N., Silvestre M.** (2019). *Modélisation intégrée de la cascade de l'azote générée par le système agro-alimentaire et de son impact sur la qualité des eaux de l'hydrosystème Seine*, In : *Le système agro-alimentaire du bassin de la Seine : passé, présent et futurs possibles*. Rapports de synthèse de la phase 7 du PIREN-Seine, Volume 1, p. 8-28.
- (Flipo et al., 2019) **Flipo N., Rivière A., Gallois N., Labarthe B., Baratelli F., Wang S., Maillot M., Verbeke T., Goblet P., Jost A., Abasq L.** (2019). *Catchment Water Quality Simulator : CaWaQS*, In : *Fonctionnement hydro-géophysique des interfaces nappe-rivière et conséquences sur la ressource en eau*. Rapports de synthèse de la phase 7 du PIREN-Seine, Volume 4, 38 p.
- (Laruelle et al., 2019) **Laruelle G.G., Marescaux A., Garnier J., Le Gendre R., Thieu V.** (2019). *Carbon dynamics along the Seine River network: insight from a coupled estuarine/river modeling approach*. *Frontier in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2019.00216.
- (Gallois et al., 2018) **Gallois N., Viennot P.** (2018). *Modélisation de la pollution diffuse d'origine agricole des grands aquifères du bassin Seine-Normandie : Actualisation des modélisations couplées STICS-MODCOU et modélisation de scénarios agricoles sous changement climatique – Préparation de l'état des lieux AESN 2019*, Rapport technique d'étude ARMINES/MINES ParisTech – Centre de Géosciences, 263p.
- (Passy et al., 2018) **Passy P., Viennot P., Gallois N., Billen G., Garnier J., Silvestre M., Thieu V., Flipo N.** (2018). *Modélisation des apports diffus d'azote et de phosphore aux masses d'eau de surface du bassin Seine-Normandie*, Rapports de synthèse de la phase 7 du PIREN-Seine, 26p.
- (Raimonet et al., 2018) **Raimonet M., Thieu V., Silvestre M., Oudin L., Rabouille C., Vautard R., Garnier J.** (2018). *Coastal eutrophication potential under future climate change: a landward perspective*. *Frontiers in Marine Science*, section Marine Biogeochemistry, 5, 136. doi: 10.3389/fmars.2018.00136.
- (Thieu et al., 2017) **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*. ASLO Aquatic Sciences Meeting: "Moutains to the Sea", 23 Febuary-3 March 2017, Honolulu, USA.