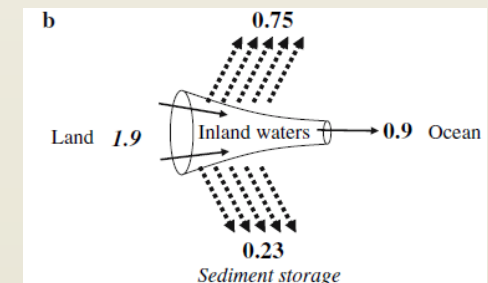


Comprendre et quantifier les flux de carbone dans le bassin versant des Avenelles : un bilan des suivis biogéochimiques

Sophie Guillon, Jean-Marie Mouchel, Josette Garnier, Julien Bouchez, Madeleine Matthews, Lou Derry, Agnès Rivière, Alban De Lavenne, Jérémie Lebrun, Arnaud Blanchouin, Hocine Hénine, Jérôme Gaillardet

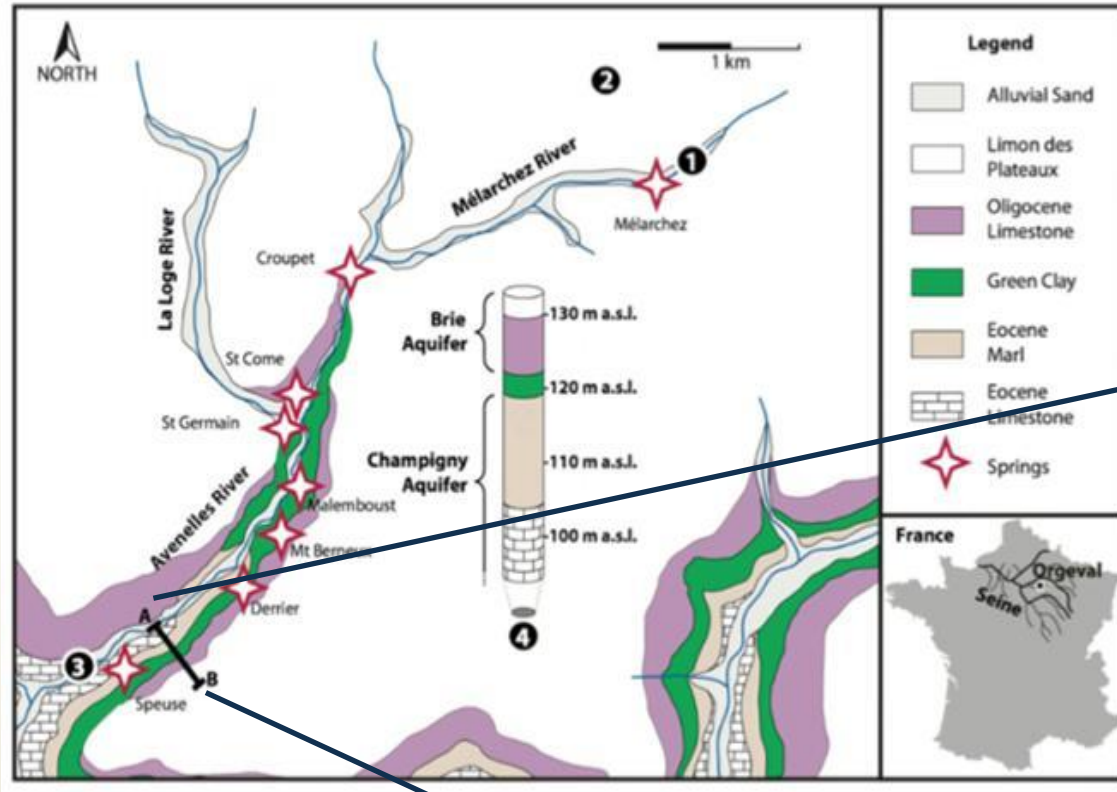
Quantifier les flux de matière et de carbone dans un petit bassin versant agricole

- Quantifier les flux des différentes formes de C pour un petit bassin versant agricole drainé (« lateral C fluxes »)
- Identifier les sources, processus et facteurs de contrôle
 - Altération de la calcite
 - Respiration / photosynthèse dans le sol, le ru
 - Minéralisation / dénitrification en z. riparienne
 - Dégazage CO₂ dans le ru
 - Sources anthropiques (agriculture, z. urbaine, STEP...)
- Développer des outils de modélisation conceptuelle et numérique
 - Des dynamiques : journalière, saisonnière / étiage vs. crue /
- Intégrer à l'échelle d'un petit bassin versant
 - Bilans de matière (flux, stocks, sources)

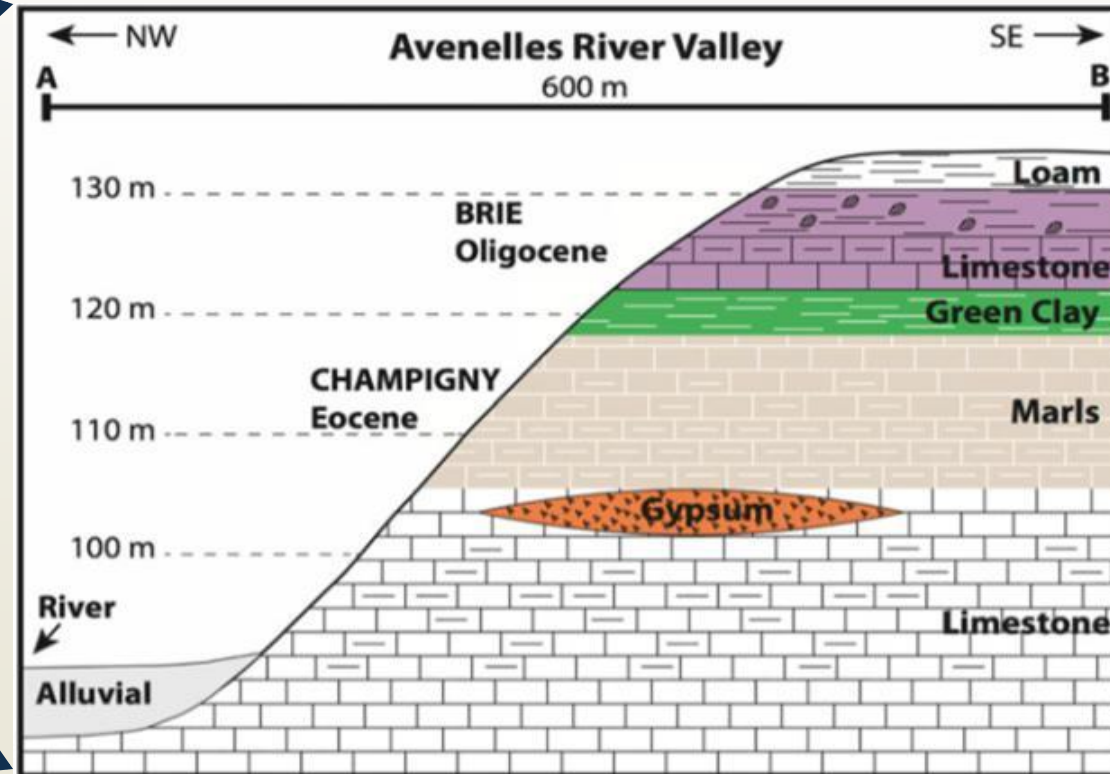


Le bassin versant des Avenelles: un observatoire de la zone critique

Les Avenelles

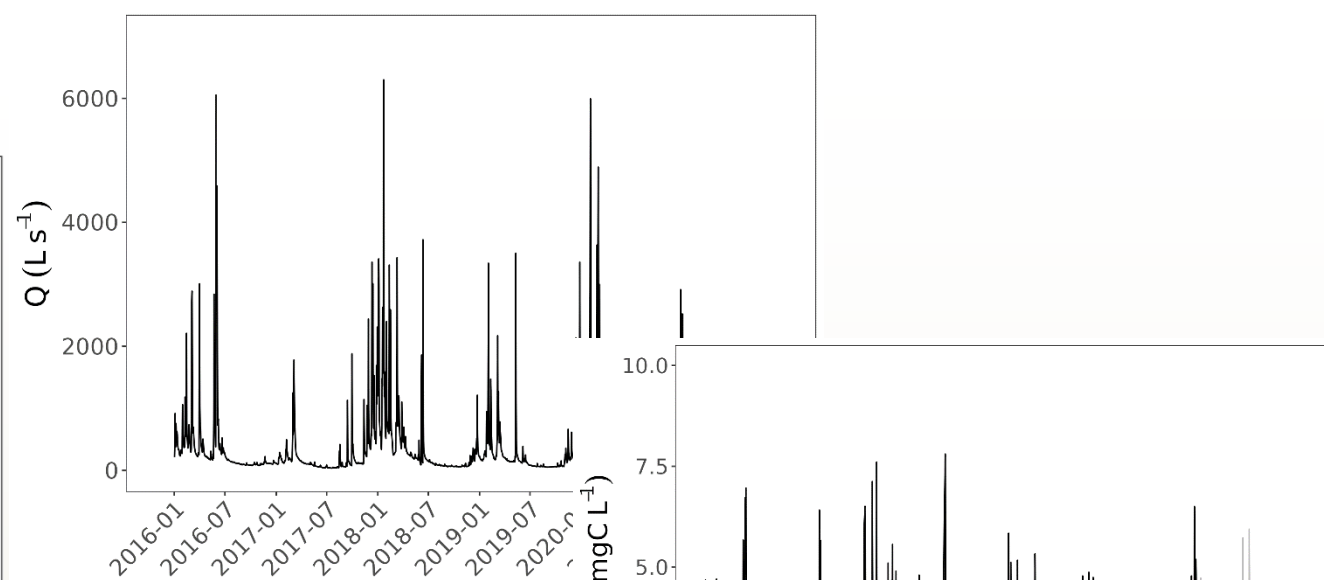
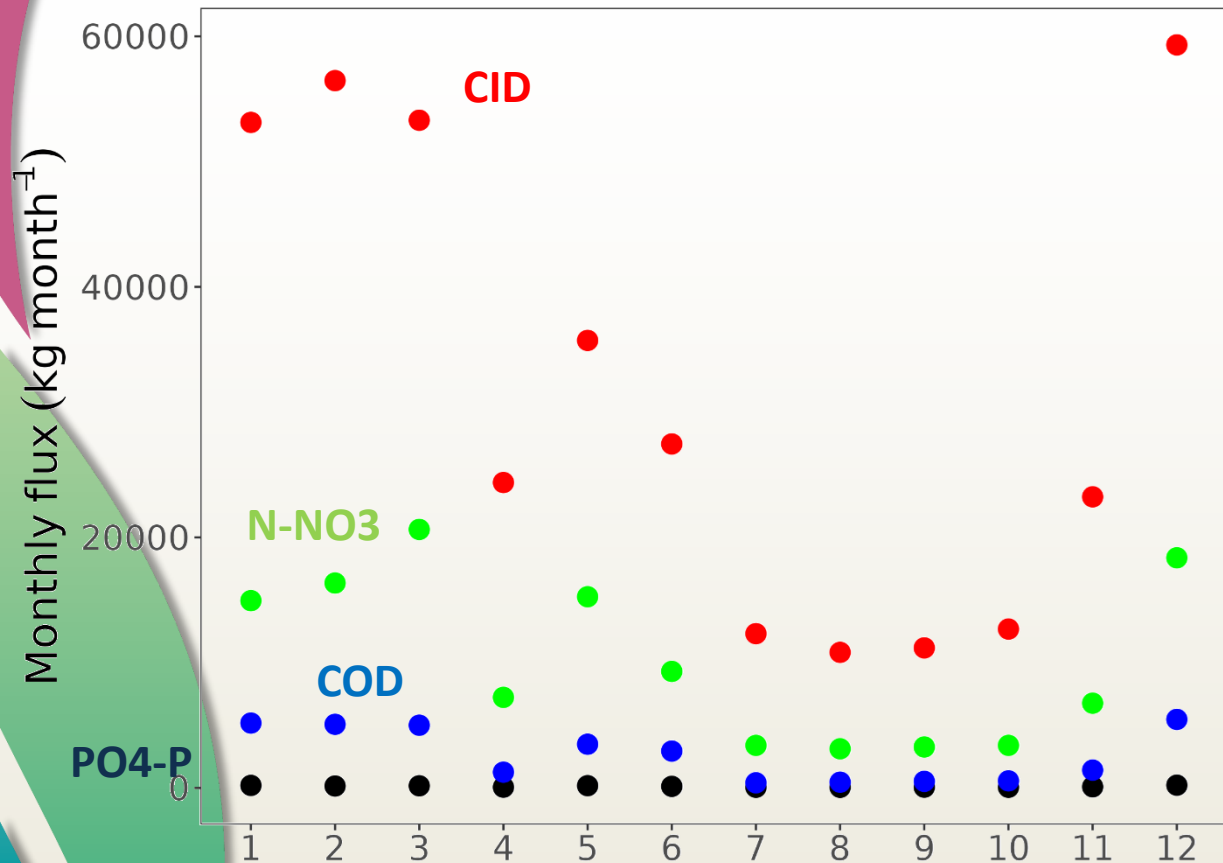


Coupe géologique A-B

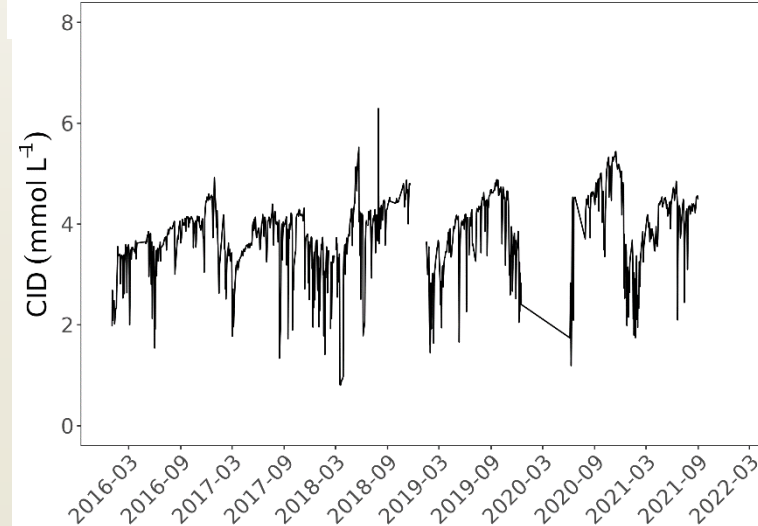
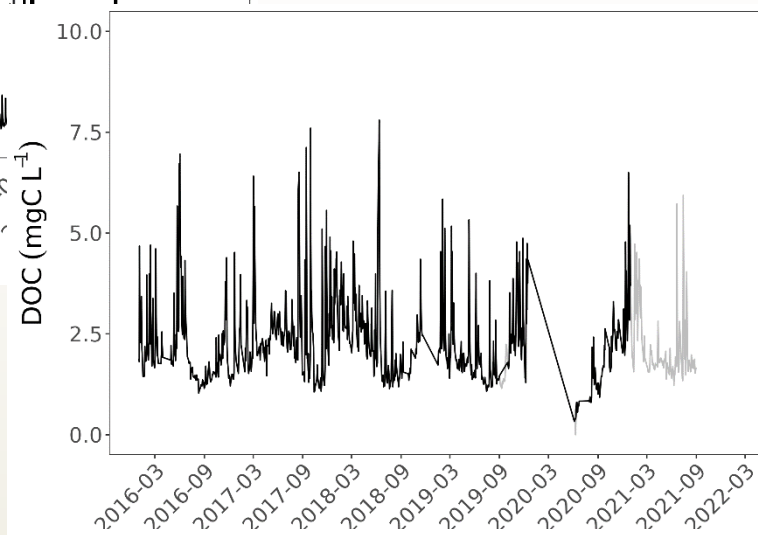


- ➔ Petit bassin versant agricole (drainage)
- ➔ Aquifère des limons de surface
- ➔ Aquifères carbonatés (Brie, Oligocène)

Flux de C à l'exutoire



BDOH 2016 – 2021
 Q journalier
 Conc. 3 jours
 flux = $\int \sum (Q \cdot C \cdot dt)$

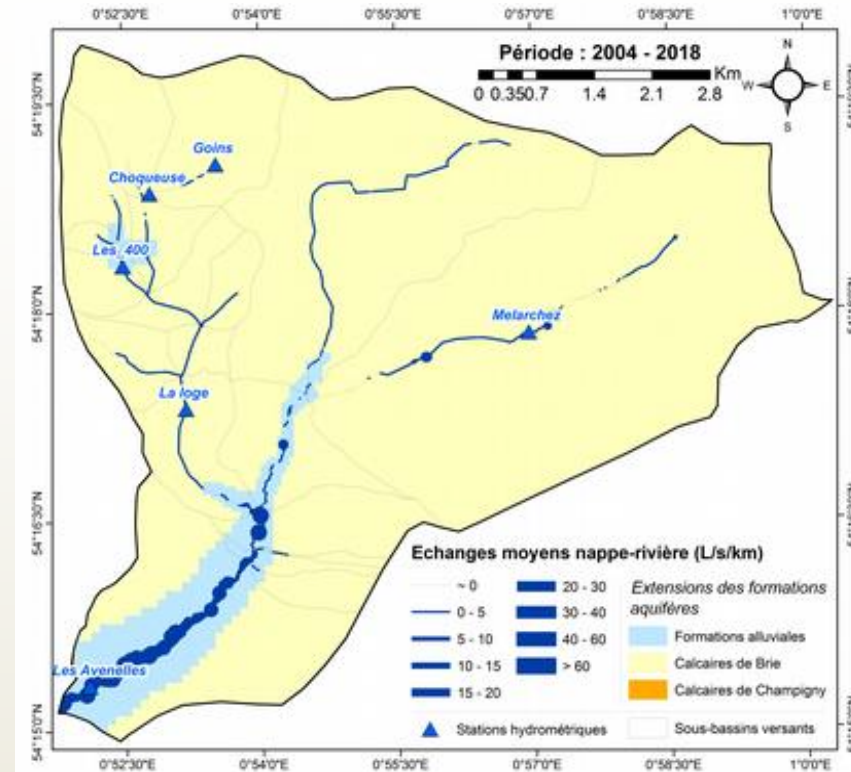
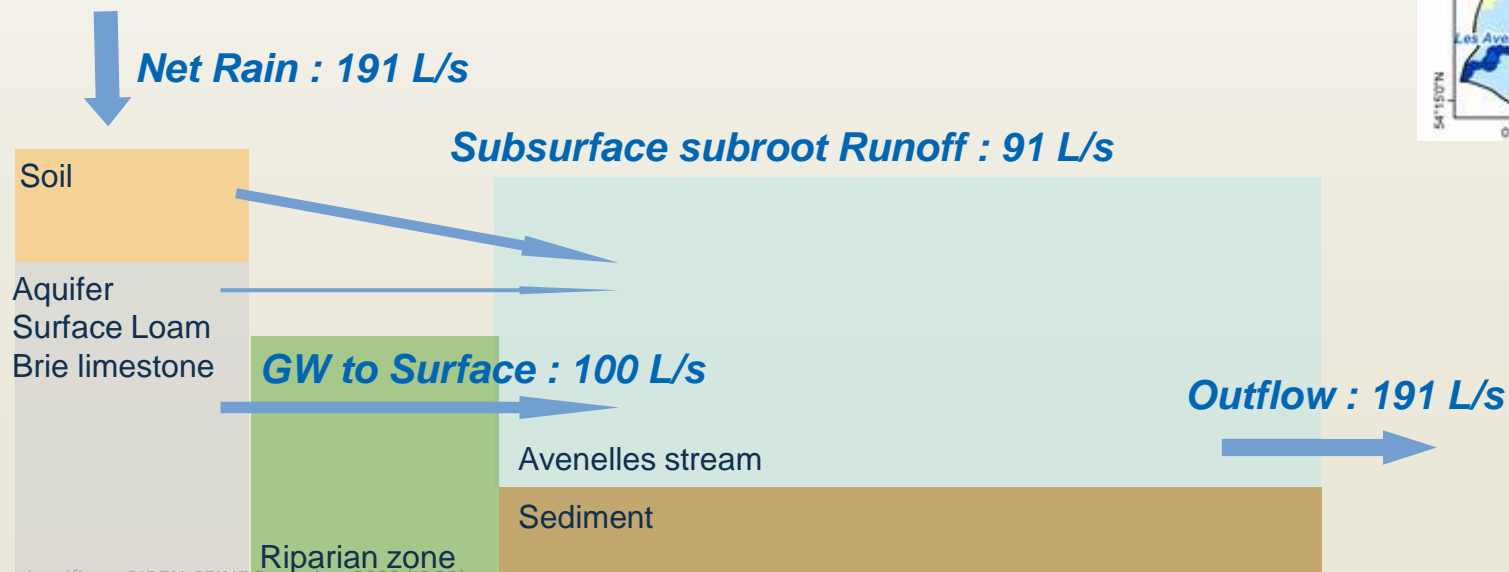


- Faible variabilité inter annuelle
- Variabilité saisonnière : rôle des crues
- Flux majoritaire CID $\sim 3.5 \cdot 10^5$ kg/an, puis NO₃, Ca, SO₄,

Fonctionnement hydrogéologique du bassin

► Bilan hydrique annuel moyen (modèle CaWaQS 2004 - 2018)

Précipitation	647 mm
Evapotranspiration	513 mm
Drainage agricole	~80 mm
Ruissellement de subsurface	~10-15 mm
Infiltration Aquifère Brie	~ 50 mm

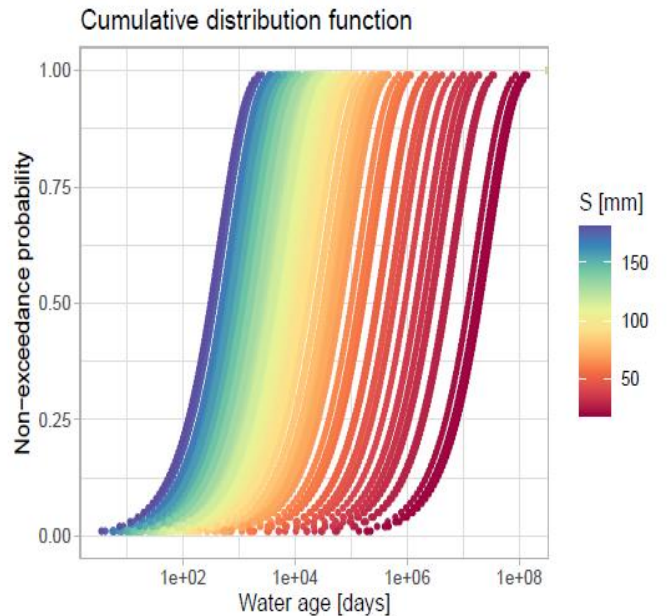
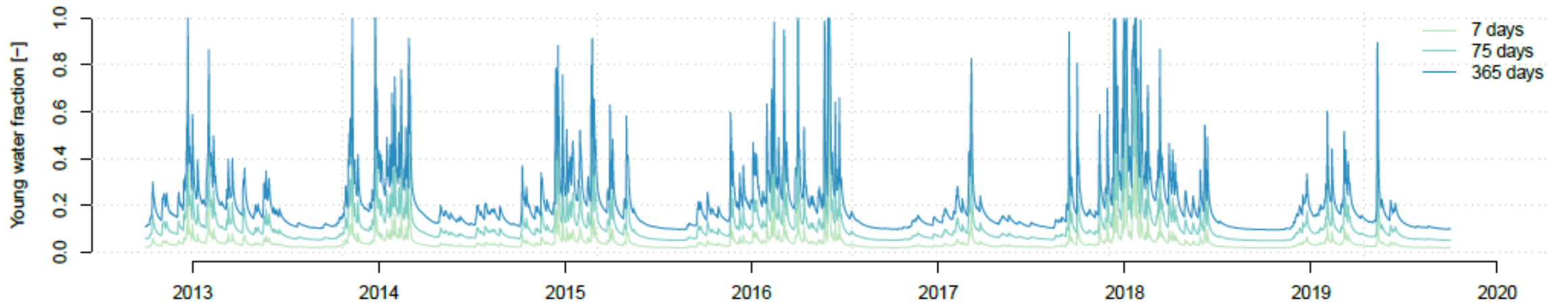


Rivière et al., in prep.

Distribution des temps de transfert: Fonctions StorAge Selection (SAS)

► Cl- pluie -> rivière (Avenelles)

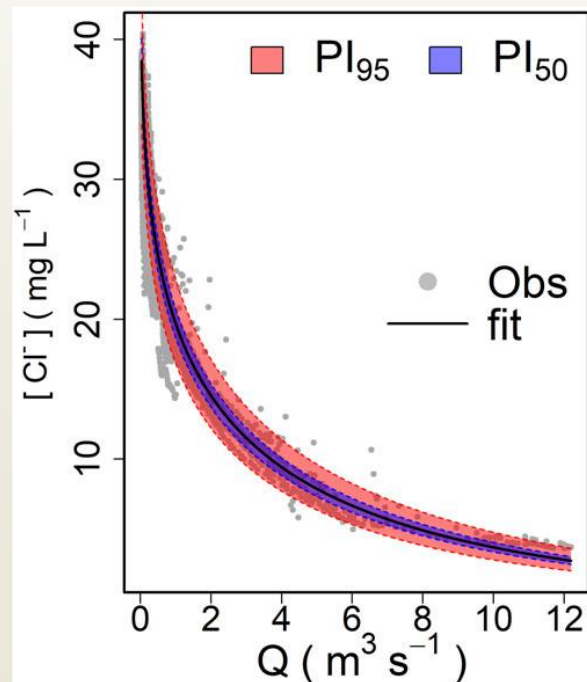
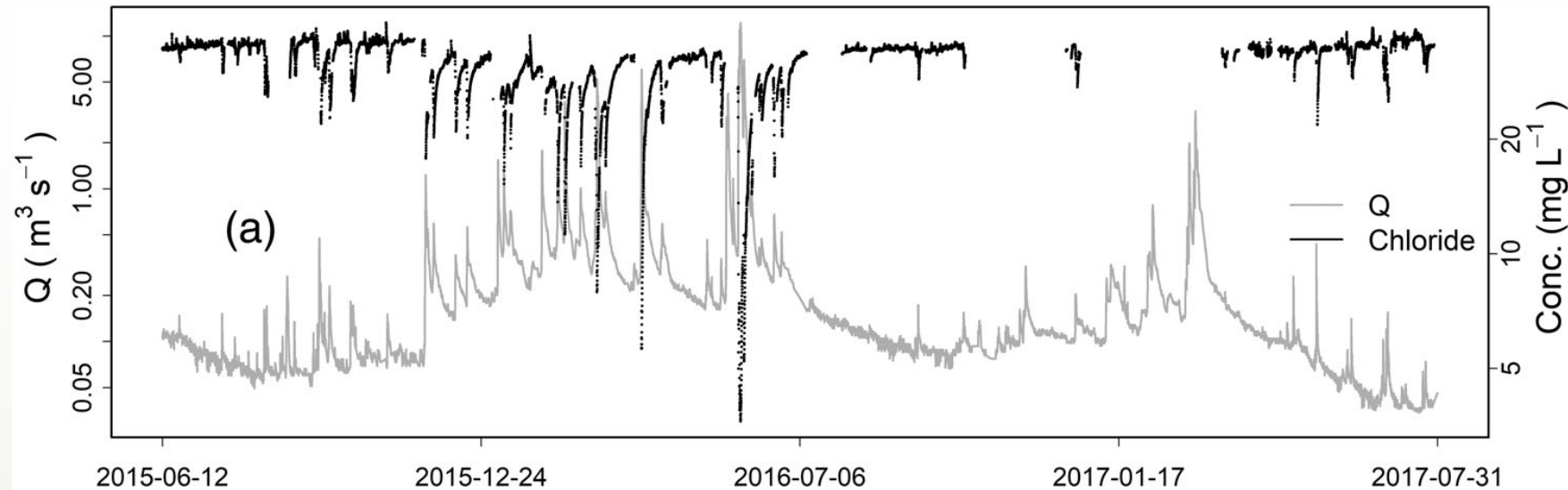
Scaling des fonctions SAS \sim états du modèle GR4J (gw flow)



- Age en rivière < échantillonnage des différents âges d'eau dans le stockage du bassin, variable selon l'état de saturation du sol
- Plus grande proportion d'eau jeune dans la rivière en conditions humides

Suivi géochimique haute fréquence & méthodologie

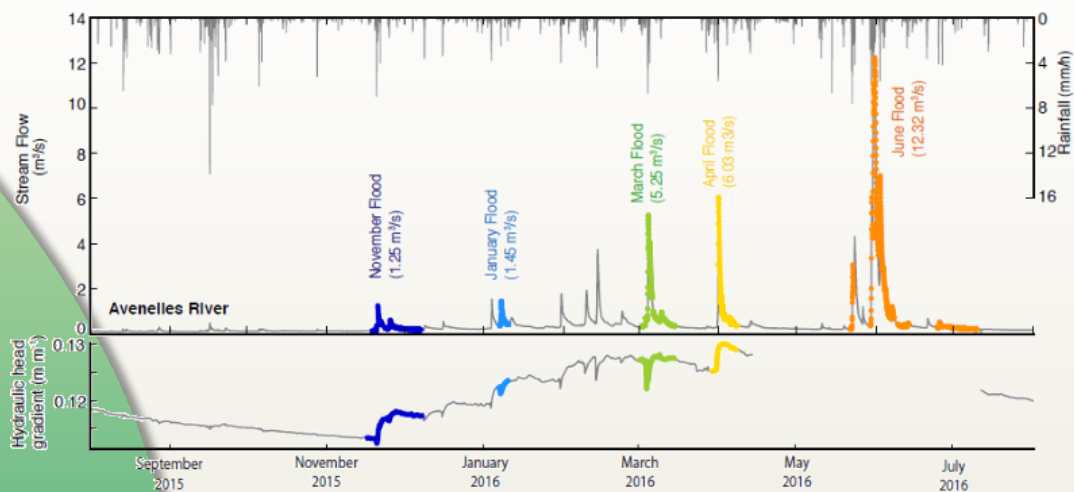
- River Lab 2015-2017
- HF C-Q relation
- $C^{1/n} = a + b Q^{1/n}$
- Calib. multi-objectif: C-Q et L-Q



Dynamique et sources des ions majeurs

➤ River Lab 2015-2016

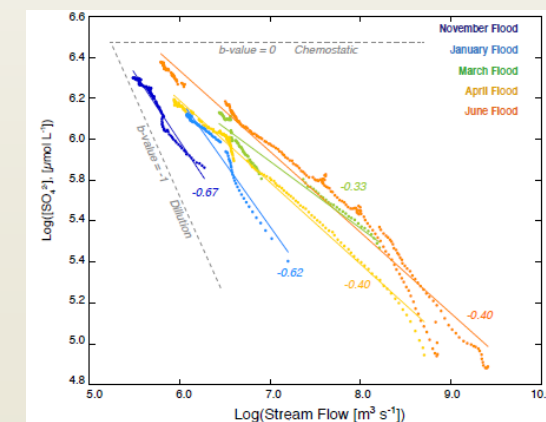
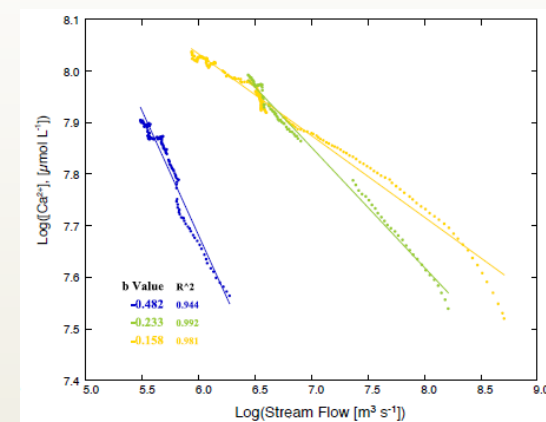
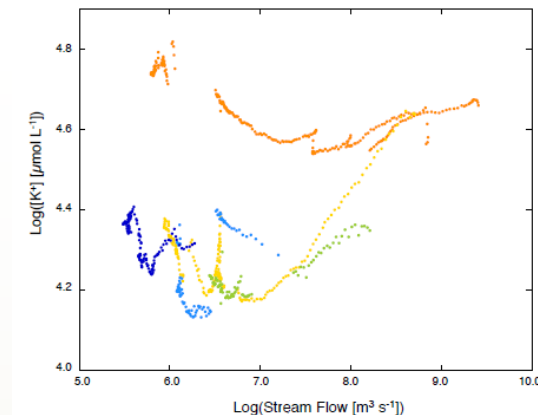
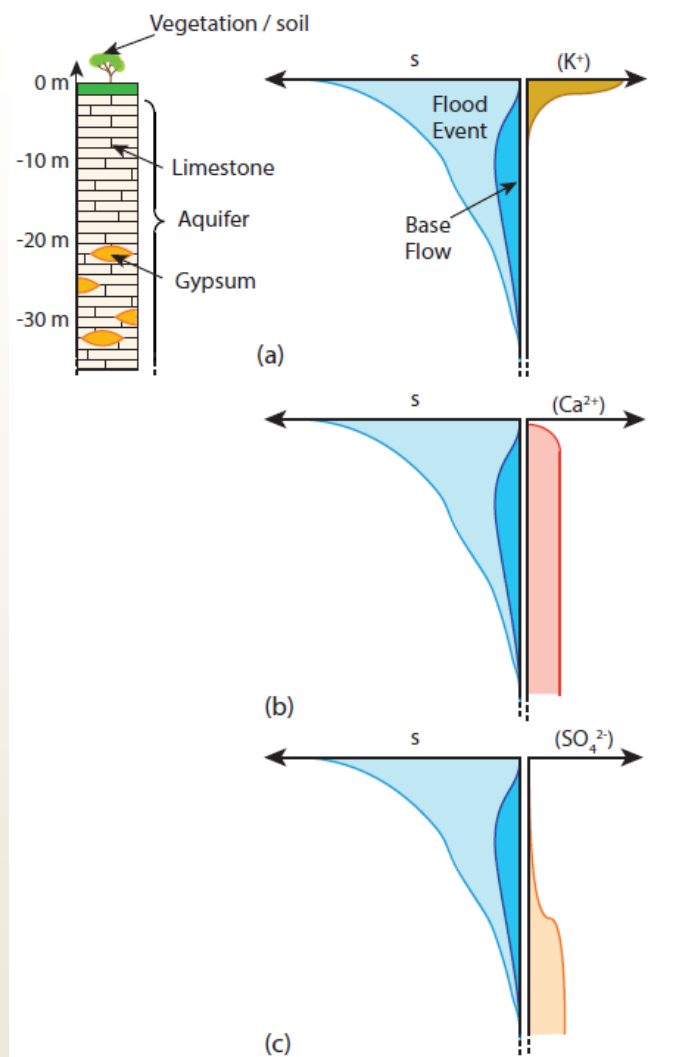
➤ HF C-Q relation



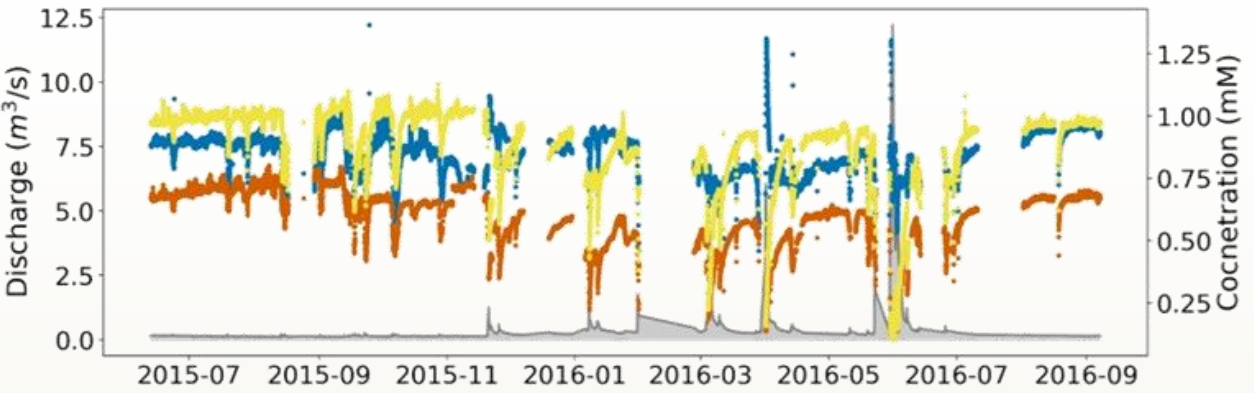
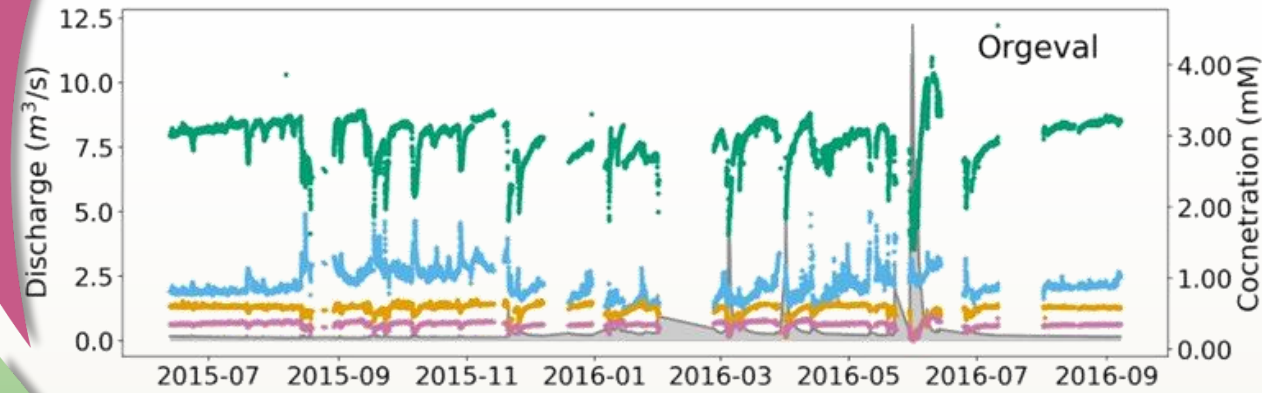
➤ K^+ mobilisé : source sol

➤ Ca^{2+} chemostatique: source aquifère

➤ SO_4^{2-} dilué: source « profonde »



Intensité de l'export de matière pendant les crues



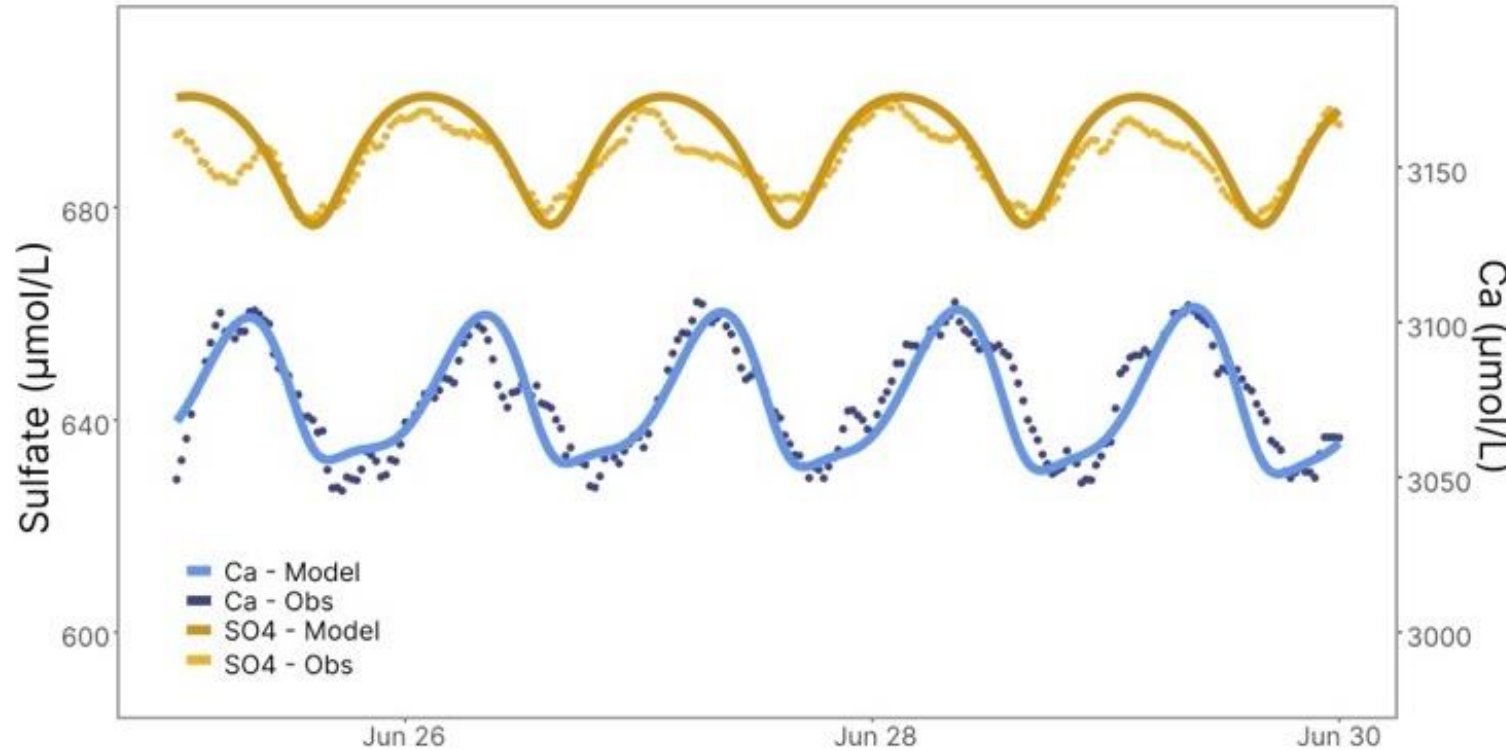
- $K^+ \cdot 10$
- Na^+
- Ca^{2+}
- Mg^{2+}

Orgeval (France)				
kg/yr	Long Term	Largest Storm	Ratio	$Q_{S/A}$
K^+	9.72E+02	2.99E+02	30.82%	25.94%
Na^+	2.87E+03	3.62E+02	12.61%	
NO_3^-	1.36E+04	3.36E+03	24.76%	
Cl^-	6.35E+03	6.00E+02	9.45%	
SO_4^{2-}	1.15E+04	1.47E+03	12.82%	
Mg^{2+}	2.03E+03	3.41E+02	16.80%	
Ca^{2+}	2.87E+04	5.69E+03	19.81%	

- NO_3^-
- SO_4^{2-}
- Cl^-

- ➡ 10-30% de l'export en ions dissous lors des crues
- ➡ Impact de la fréquence de suivi (30 min -> 1 jour) sur le calcul de flux

Origine et devenir du C dissous exporté en étiage (hot moment)



NB: Juin 2015 (basses eaux)

► Cycles diurnes

Ca, Mg, SO_4 (River Lab)
(dé)phasage temporel entre les ions

► Modèle géochimique de mélange + chimie (PHREEQC)

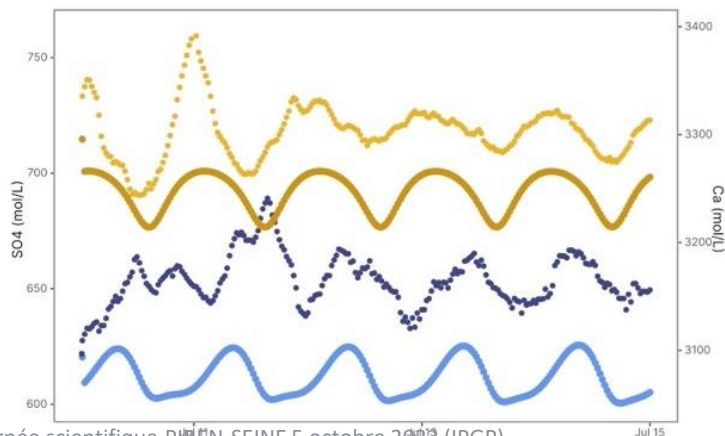
eau de nappe

+ $X1(t)$ dégazage de CO_2

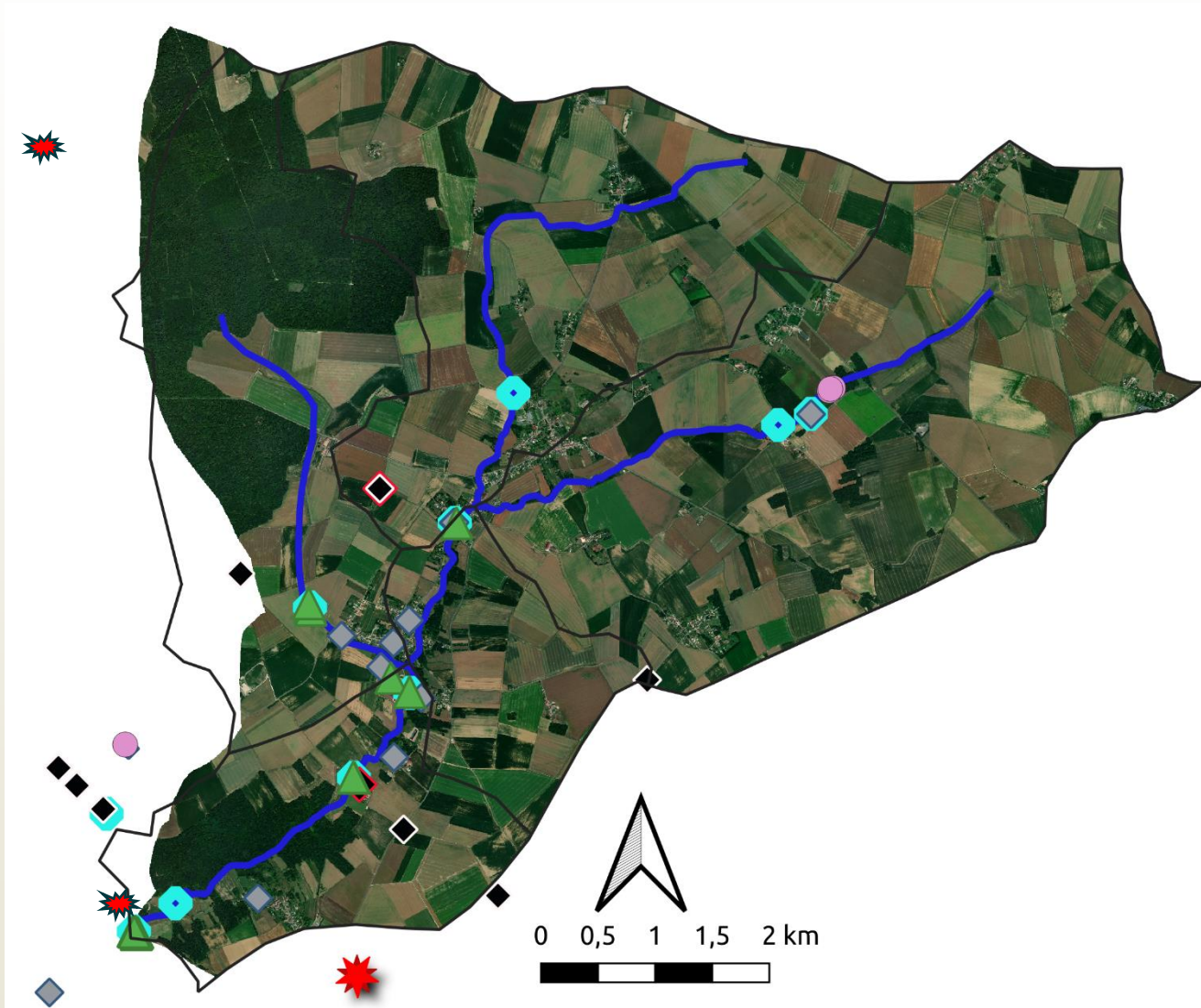
+ $X2(t)$ mélange avec eau de rivière

► Processus hydro, thermiques, ripariens...

(Madeleine Mathews et al., in prep)

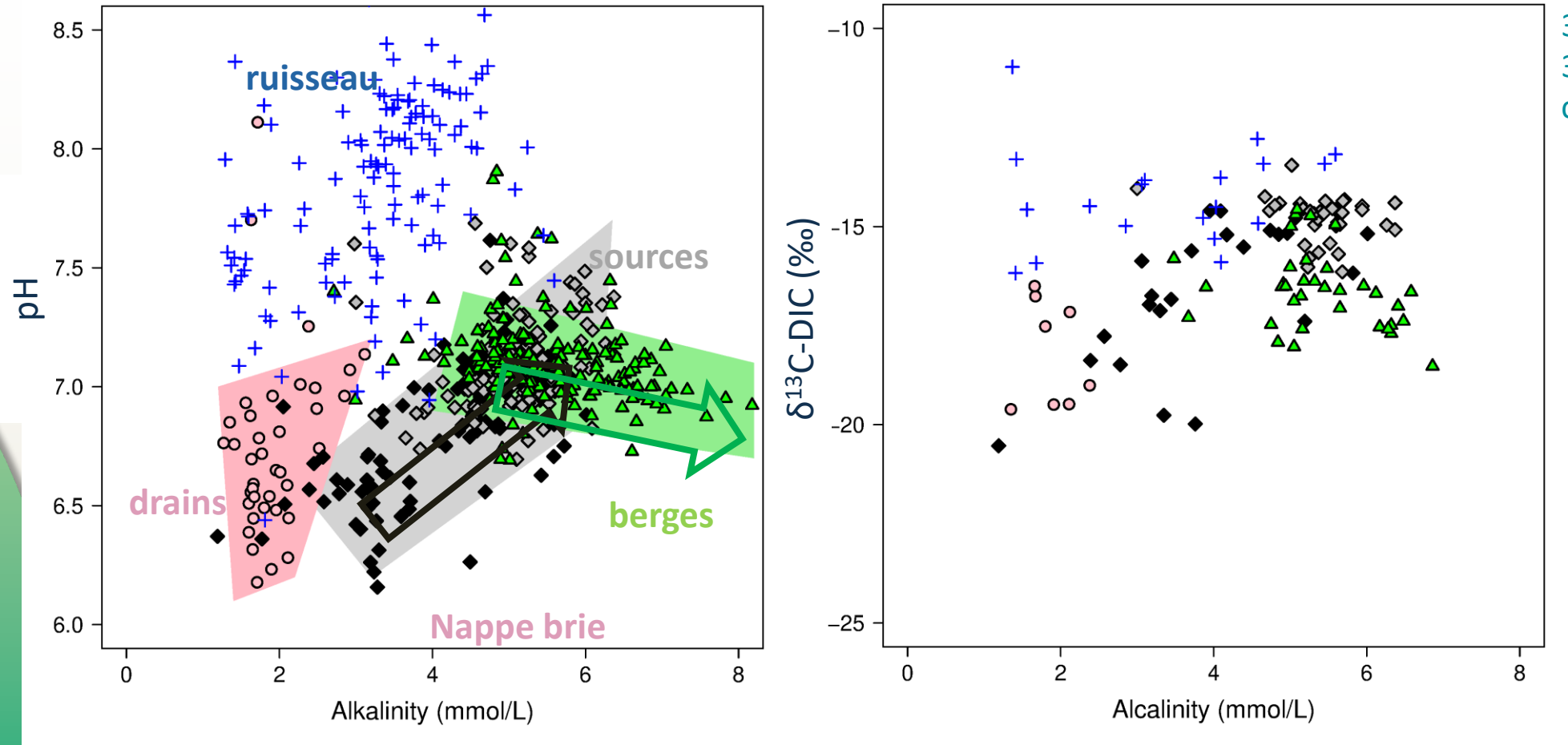


Suivi des sol – drains - nappes – sources – berges - rivière



Origines et devenir du CID à l'échelle du bassin: apport des isotopes

Du 01/2016 au 10/2023
32 campagnes,
30-35 points par
campagne



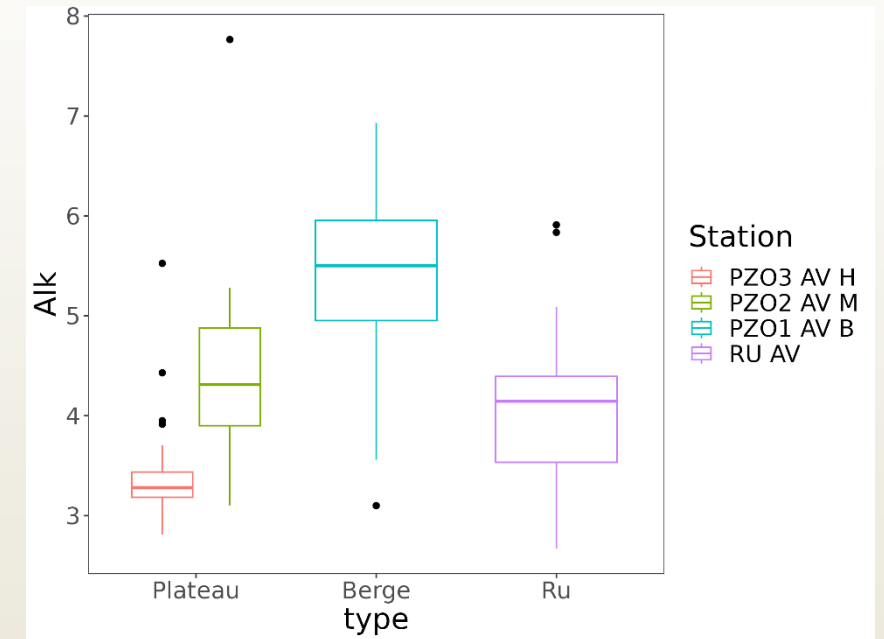
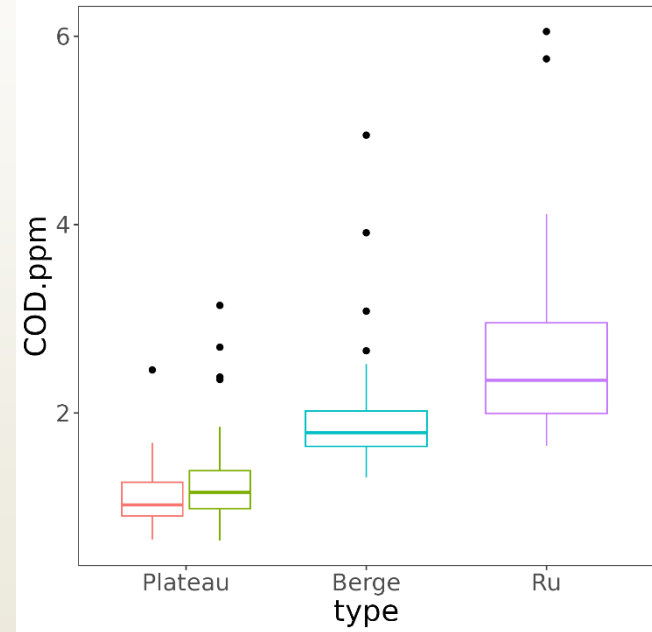
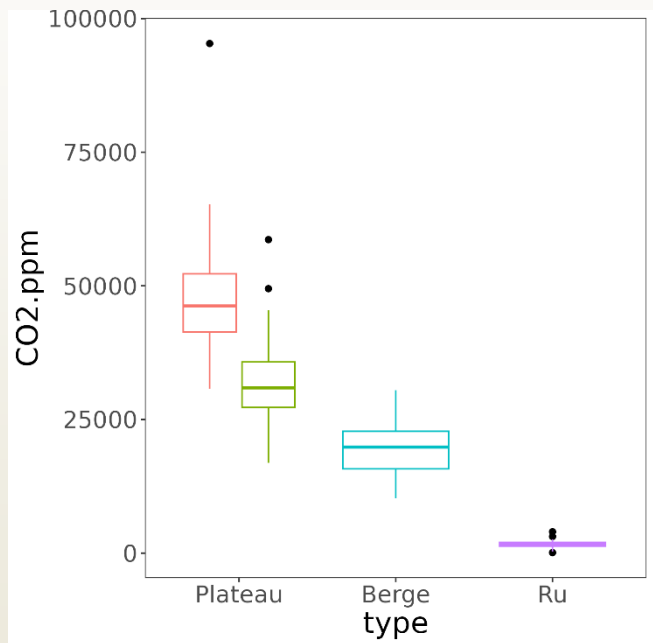
- Eau du sol / nappe superficielle des limons: pCO₂ élevée, pH faible
- Infiltration et circulation dans l'aquifère de Brie: dissolution de CaCO₃, Alc augmente, pH augmente
- Respiration et dénitrification en zone riparienne: Alc augmente, pH stable, δ¹³C-DIC diminue
- Dégazage de CO₂ dans le ruisseau: pH augmente

JM Mouchel (SU), S. Guillon (MINES Paris) et al., in prep.

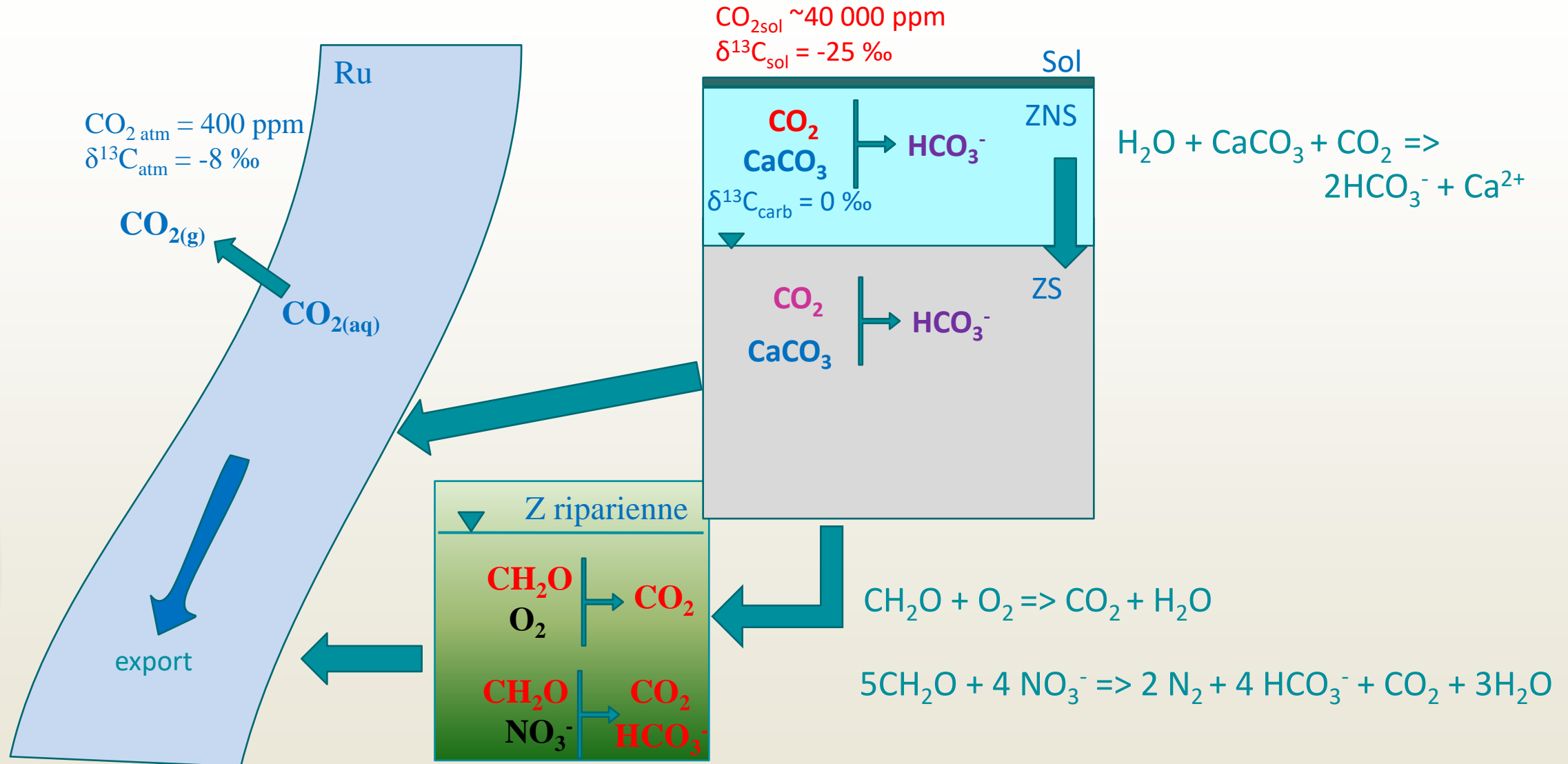
Evolution du COD/CID pour deux pentes:

Suivi mensuel depuis le 01/2019 (50 campagnes)

- pente de la Derrier (AC, 3 piezomètres et ru des Avenelles)
- pente de Chantemerle (AB, 3 piézomètres, un drain, le ru de Bourgogne et 2 mares)

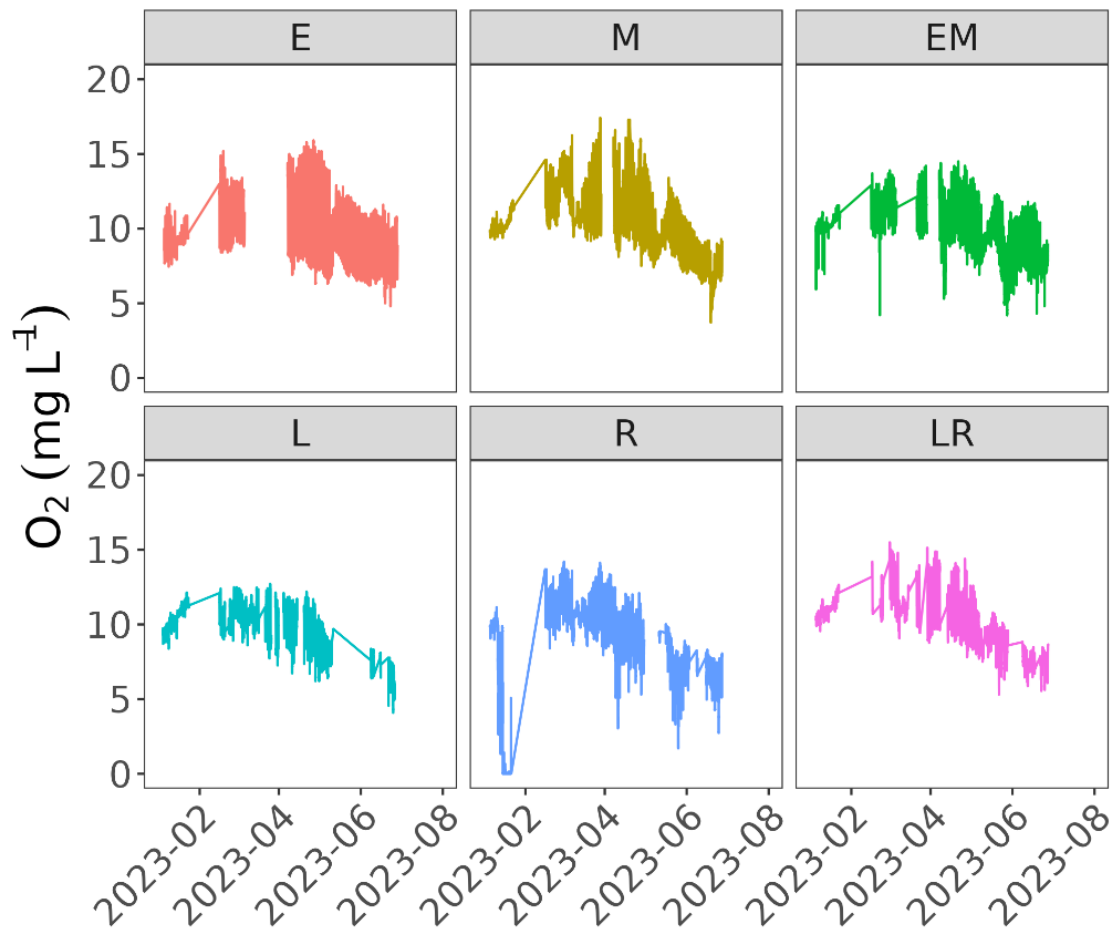


Origines et devenir du CID à l'échelle du bassin

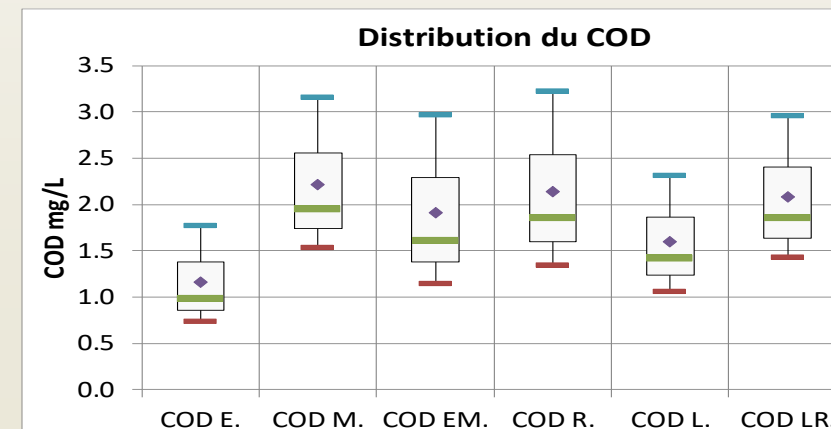
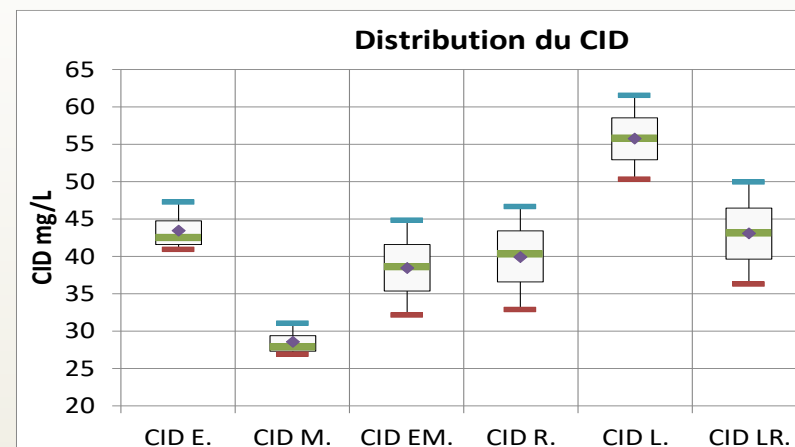
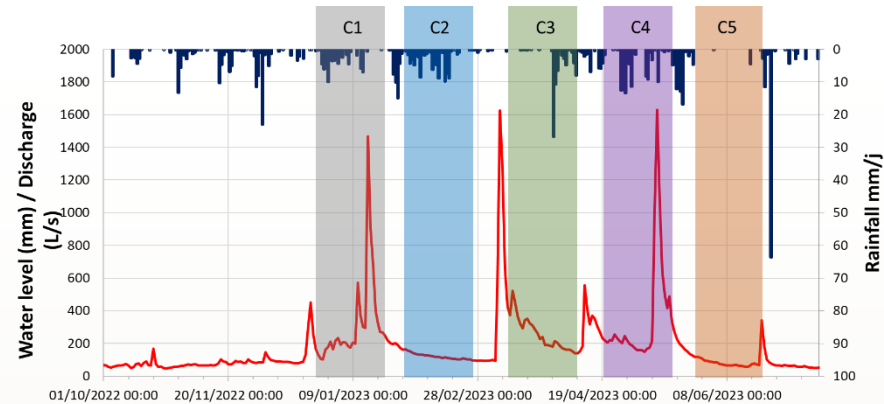


S. Guillon (MINES Paris) et al., in prep.

Mesures HF en rivière (EAU'listic): dynamique temporelle et spatiale O₂/DIC/DOC

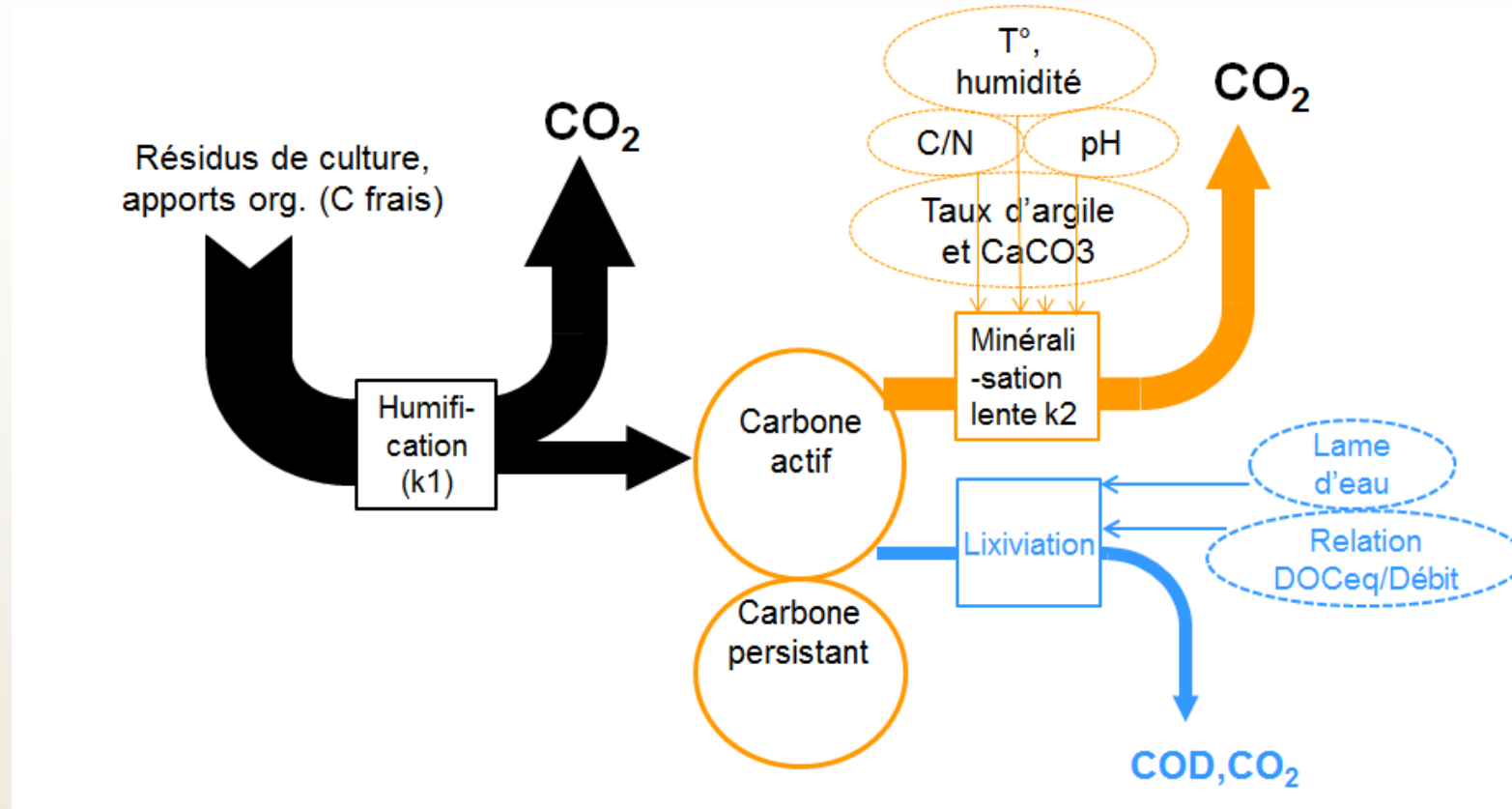


- Suivi O₂, DIC, pH, ions, spatial / temporel
- Conditions de vie (anoxie) & métabolisme



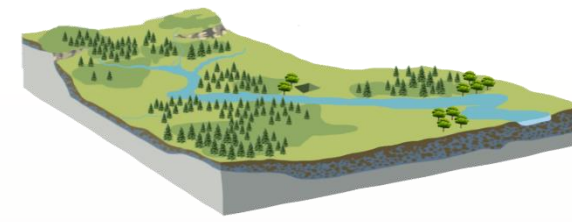
Dynamique C dans les sols agricoles :

effet des pratiques et de l'hydrologie



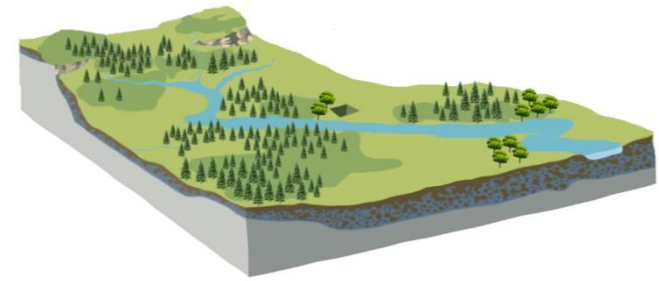
- Modèle AMG pour le carbone du sol (stable vs. actif)
- Flux de C dissous : drainage, recharge eaux souterraines

Conclusions



- Nombreux travaux en cours sur la géochimie des ions majeurs, des nutriments, du C inorganique et organique
- Contrôle des sources et devenir du carbone dans un petit bassin versant agricole drainé sur substrat carbonaté
- Hot moments → des flux importants pendant les crues, mais une dynamique à mieux caractériser en étiage
- Hot spots → un rôle des zones ripariennes et du sol

Perspectives



❑ Poursuivre l'intégration des flux à l'échelle du bassin

- Poursuivre les suivis long terme sur le terrain, les nouveaux suivis de pCO₂ dans le sol et la zone riparienne
- Intégrer les infos géologiques de la carotte (70m) dans le modèle conceptuel des sources des éléments
- Accentuer les efforts de modélisation (hydro)géochimique, développer les approches déjà disponibles

❑ Dynamique future

- Des opportunités avec TerraForma (toutefois, pas site pilote)
FairCarbon-Carbonium
- Une intégration dans la candidature eLTER