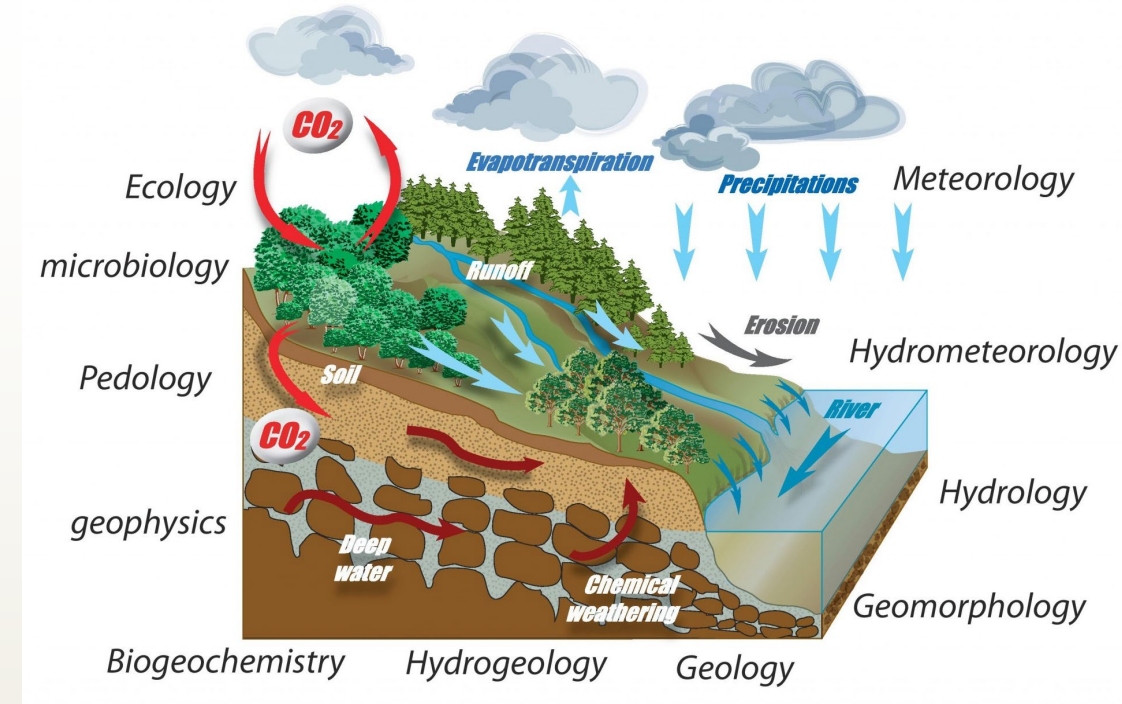


Journée Scientifique 19 Juin 2026

L'analyse de réseaux : une approche innovante pour étudier la mobidilisation des éléments dissous par les crues dans les bassins versant (exemple de l'Orgeval)

Amita Prajna Mallik, Sophie Guillon, Julien Bouchez, Jérôme Gaillardet

- La chimie des rivières intègre les processus hydrologiques et hydrogéologiques à l'échelle des bassins versants.
- Les crues sont des moments clés (hot moments), et concentrent la majorité de l'export de soluté par les rivières.
- Chaque soluté a un comportement unique, en fonction de ses sources, de la connectivité hydrologique et des conditions hydroclimatiques.
- Mieux comprendre l'(a)synchronie entre la mobilisation des différents solutés pour mieux gérer efficacement la qualité de l'eau.



Gaillardet et. al. (2018)

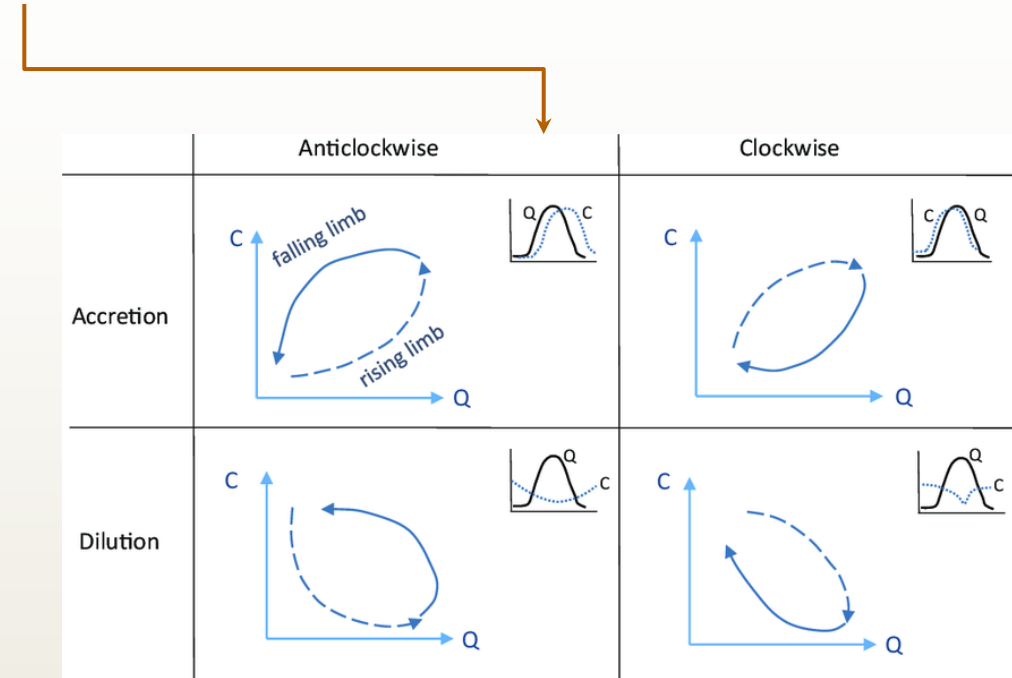
Les crues impactent fortement l'export d'éléments dissous par les rivières!

- La chimie des rivières intègre les processus hydrologiques et hydrogéologiques à l'échelle des bassins versants.
- Les crues sont des moments clés (hot moments), et concentrent la majorité de l'export de soluté par les rivières.
- Chaque soluté a un comportement unique, en fonction de ses sources, de la connectivité hydrologique et des conditions hydroclimatiques.
- Mieux comprendre l'(a)synchronie entre la mobilisation des différents solutés pour mieux gérer efficacement la qualité de l'eau.

Les approches conventionnelles étudient l'hydrochimie à l'échelle événementielle des crues (par ex. les relations C-Q et leurs variantes), considérant les solutés individuellement, négligeant les couplages et co-évolutions dans l'export des différents solutés.

→ besoin d'étudier l'export des solutés avec les approches de systèmes complexes...

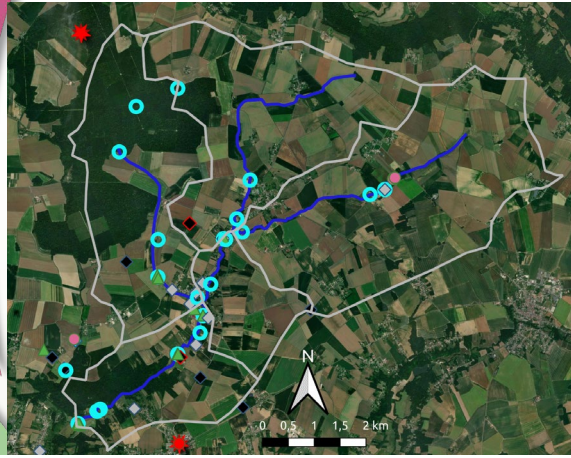
- Les approches existantes d'analyse de l'hydrochimie à l'échelle des crues se concentrent sur un seul soluté à la fois
- Elles négligent la manière dont les solutés répondent de manière simultanée aux forçages hydrologiques, et les interactions entre eux lors des crues.
- Les données de chimie des rivières avec plusieurs solutés, à haute résolution temporelle, sont rarement disponibles, ce qui limite ces analyses
 - Le River Lab sur l'observatoire de l'Orgeval offre de telles données!



Mehdi-Schulz et. al., 2020

Les évolutions couplées des solutés à l'échelle événementielle (crue) sont largement inexplorées!

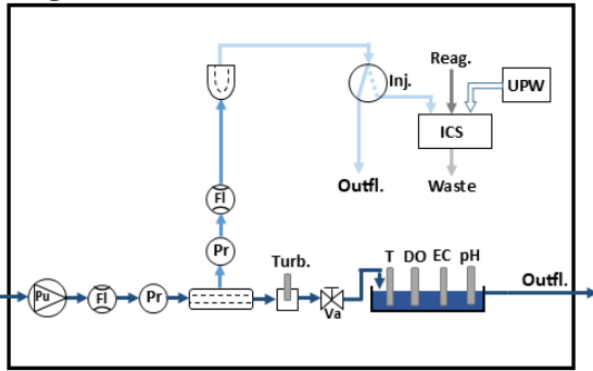
Le River Lab à l'exutoire du bassin des Avenelles (Orgeval)



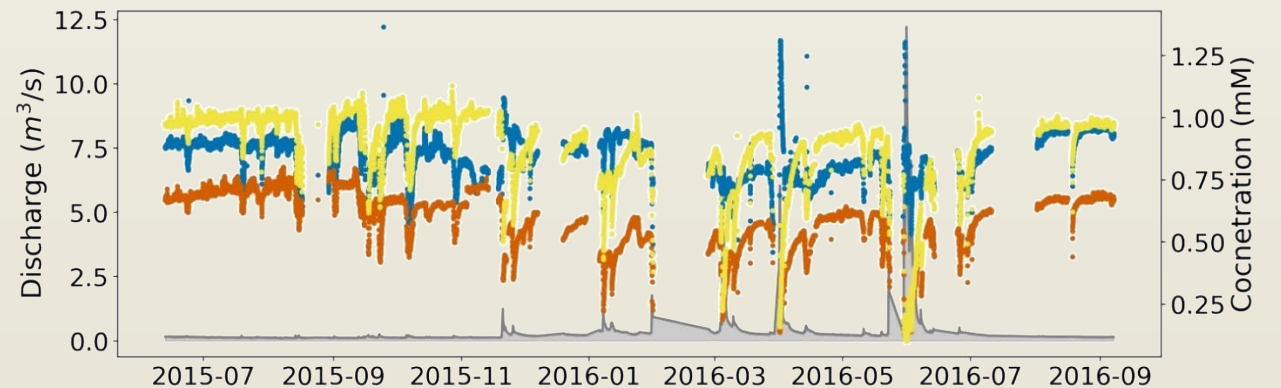
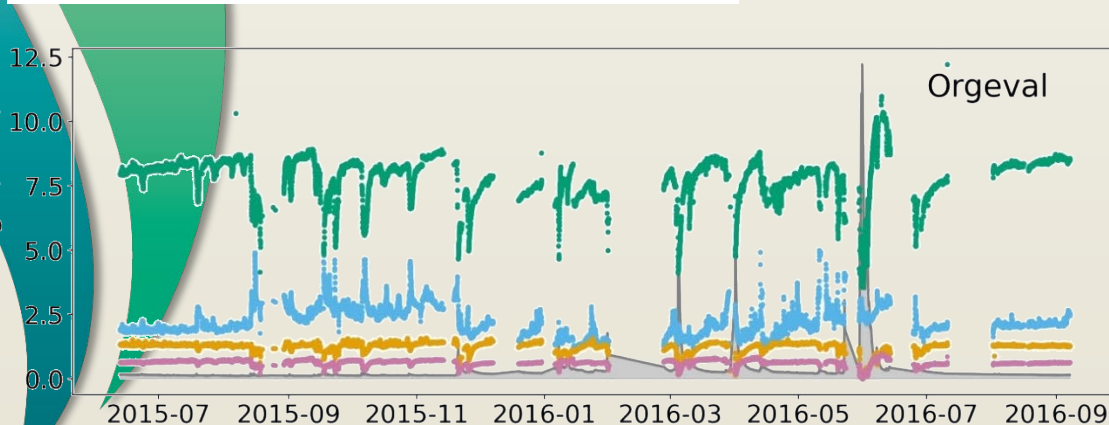
- Un prototype de la laboratoire de terrain développé depuis 2015 à l'IPGP et dans le cadre d'OZCAR: un challenge technologique, métrologique...et humain (et financier!)
- Mesurer à haute fréquence (1h) les concentrations en ions majeurs dans le ru des Avenelles
- Un jeu de données (2015-2019 puis 2025-present) unique



Orgeval



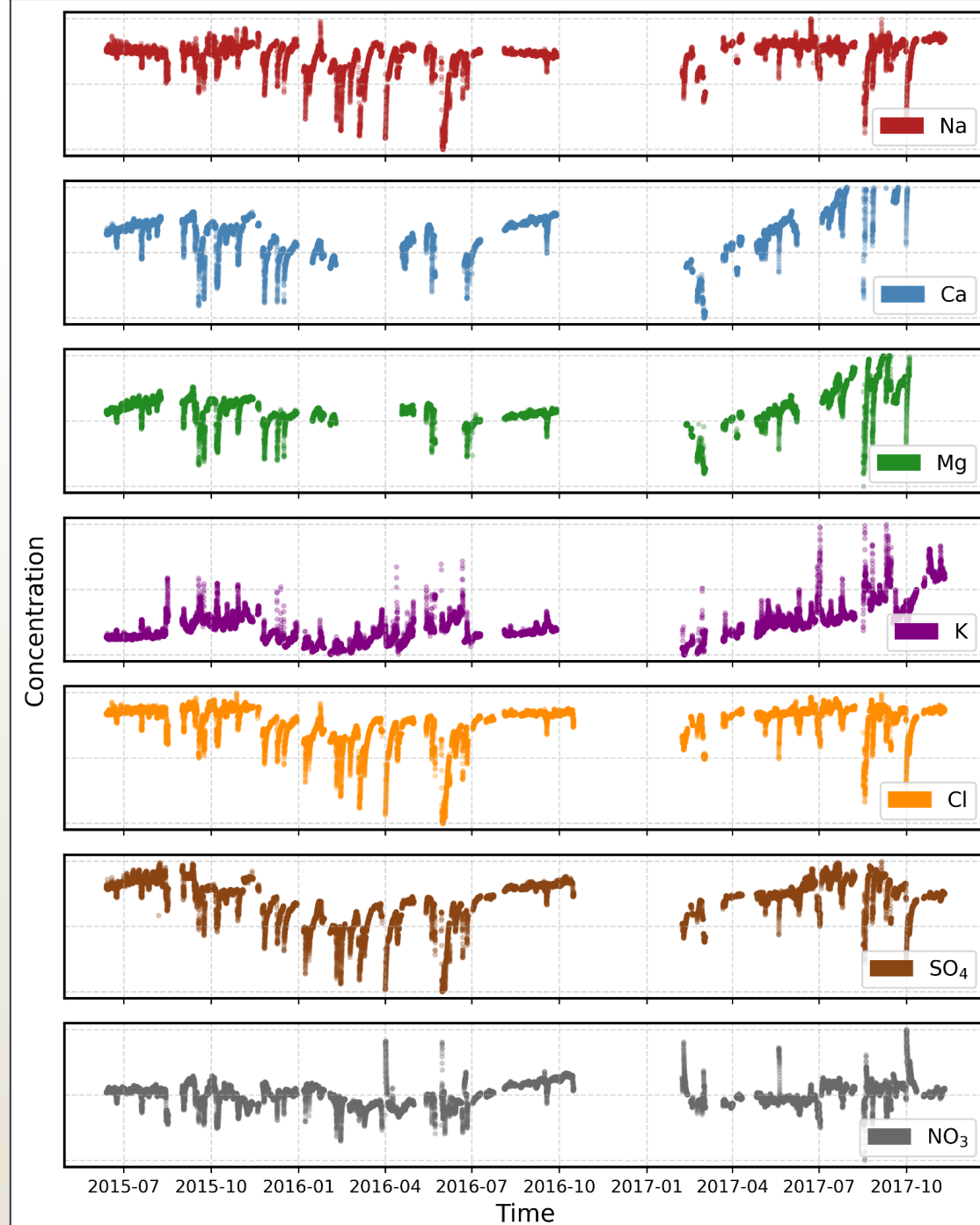
- Des études spécifiques autour des crues (Floury et al., 2025, Wang et al. 2024, Tunqui-Neira et al., 2020, 2021, 2024), mais aussi des cycles diurnes (Matthews et al., in prep), des méthodes de “gap filling”, ou encore de l'analyse de séries temporelles



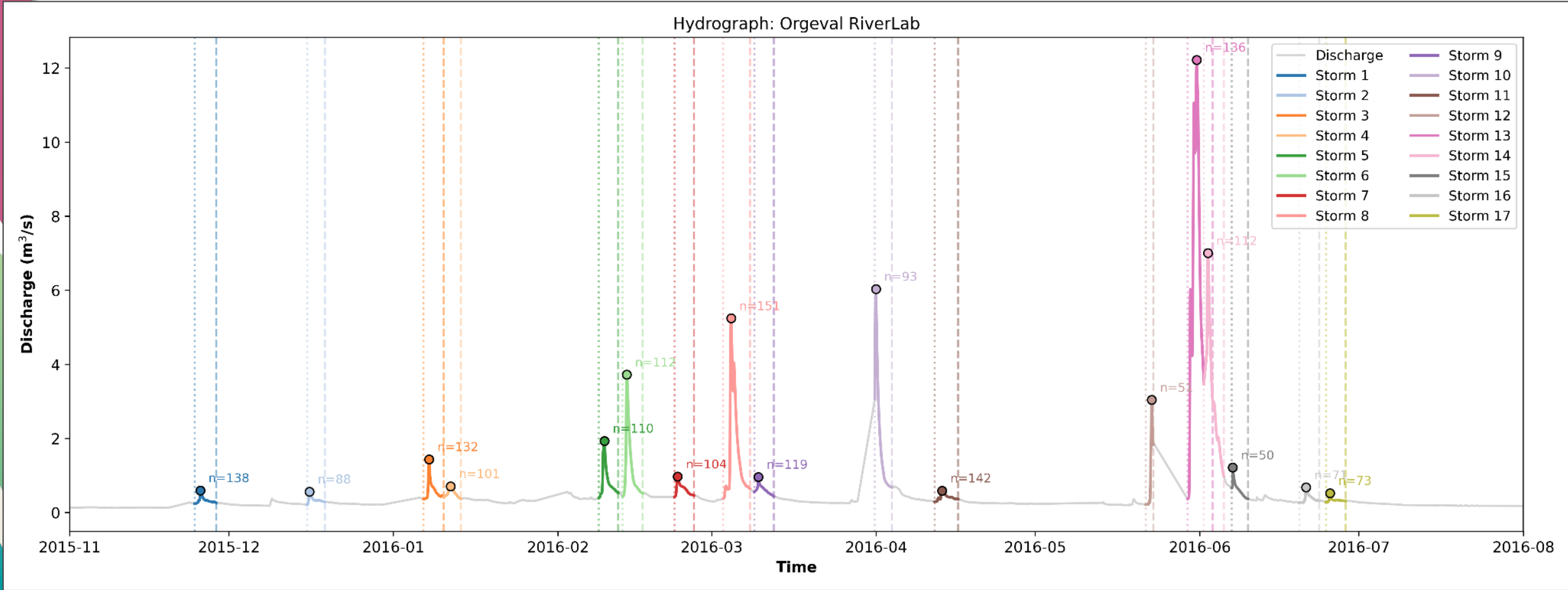
Objectifs

1. Proposer une nouvelle représentation de la réponse hydrochimique du bassin versant pendant les crues avec les graphes / réseaux, pour prendre en compte les interactions entre solutés.
1. Interpréter ces réseaux pour comprendre la réponse hydrochimique du bassin lors des différents événements de crues.

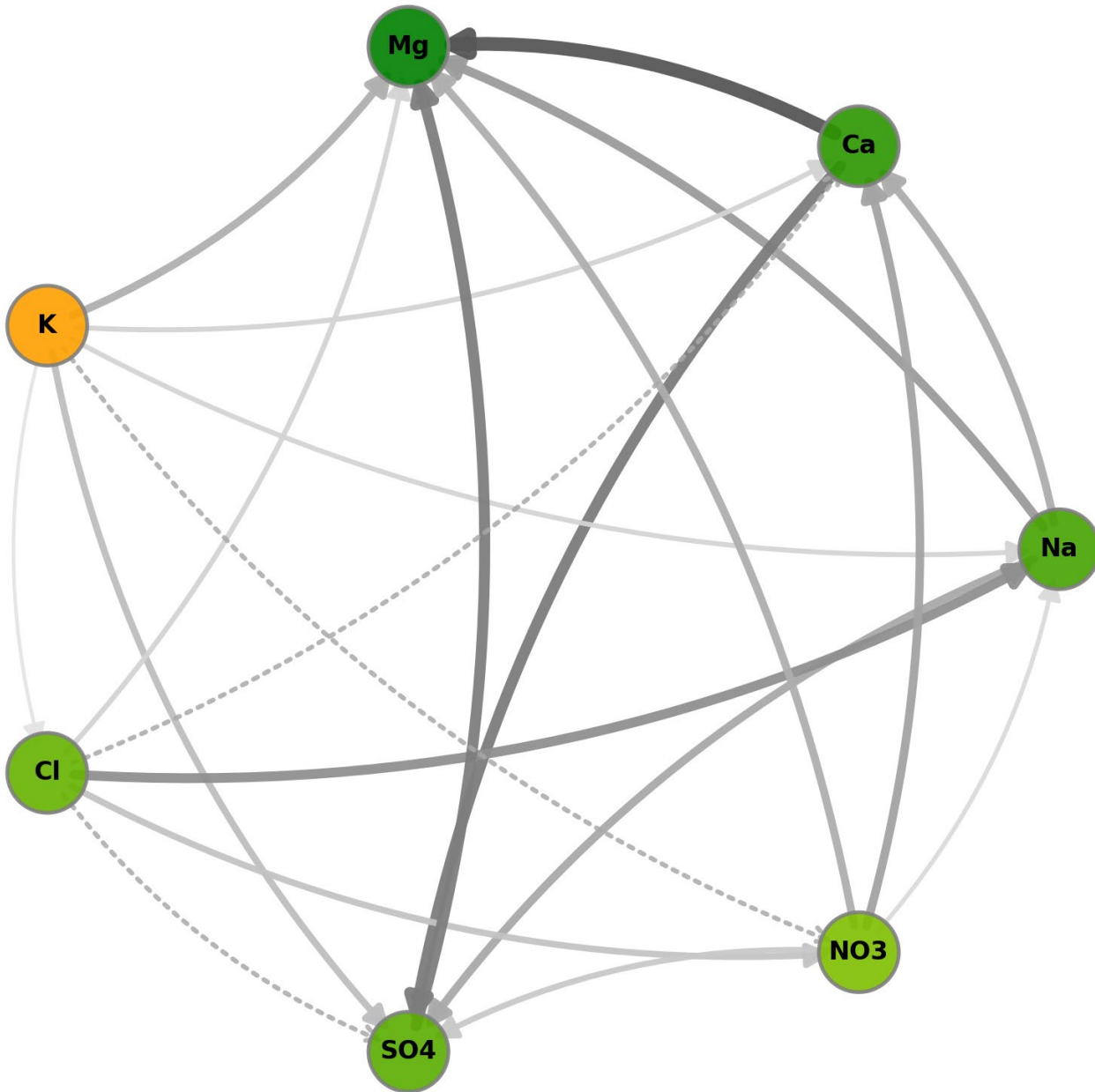
→ utiliser les données haute fréquence de composition chimique de la rivière à l'exutoire du bassin des Avenelles



1. Identifier les événements de crue



Construction d'un réseau des processus hydrochimiques pour chaque crue

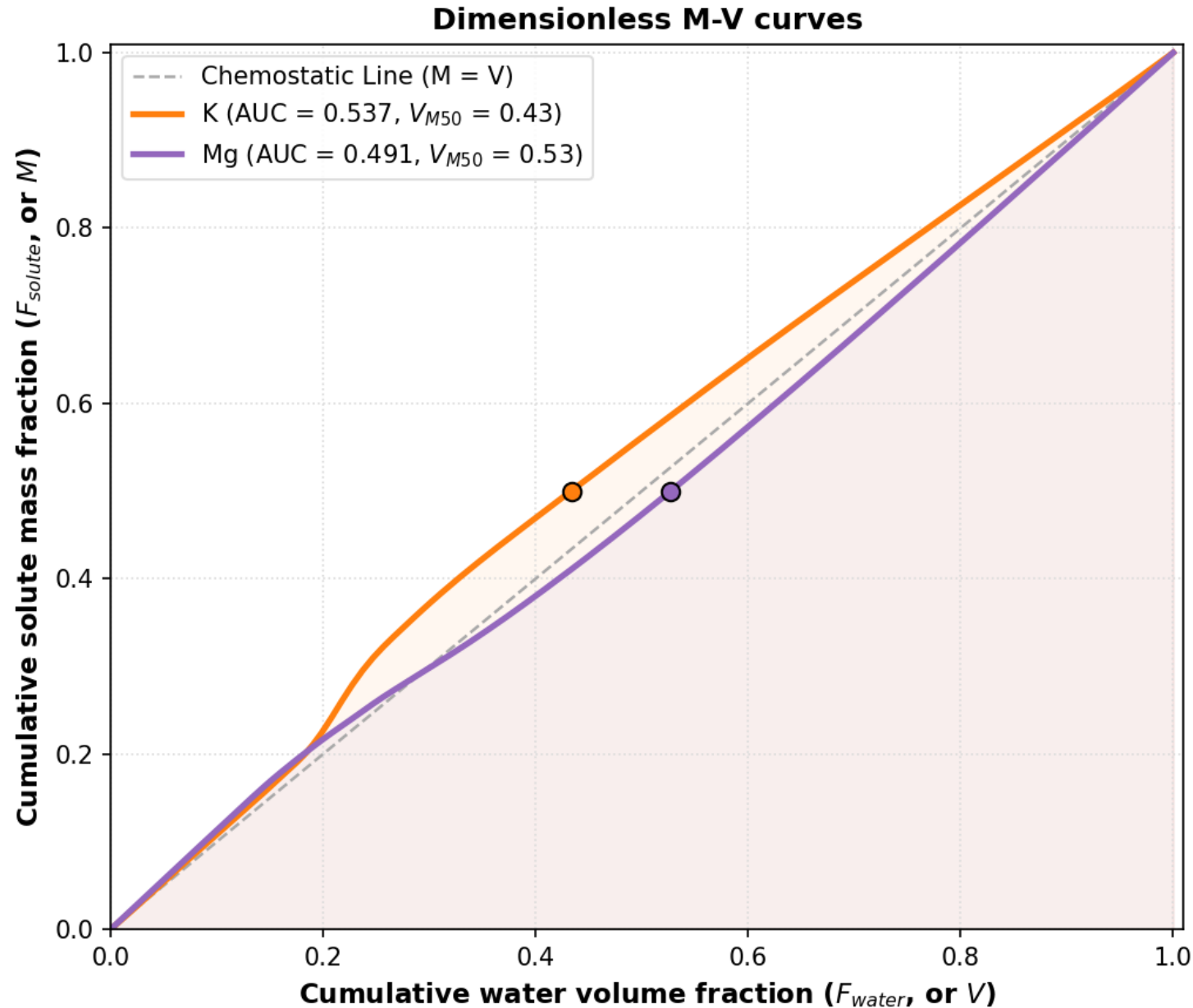


Eléments du réseau:

- Les noeuds représentent les solutés (x7 ici)
- Les arêtes (flèches) représentent le couplage biogéochimique.
 - L'épaisseur indique l'intensité du couplage
 - Les pointillés indiquent les arêtes non significatives
- La direction des flèches indique la temporalité dans l'export des solutés (par ex. NO₃ → Ca indique que les nitrates sont flushés avant le calcium)
- La couleur des noeuds représente la "cohérence/uniformité" dans l'export des solutés (vert foncé pour un export uniforme, orange-rouge pour un export épisodique)

Comment déterminer les éléments du réseau? Sens des flèches

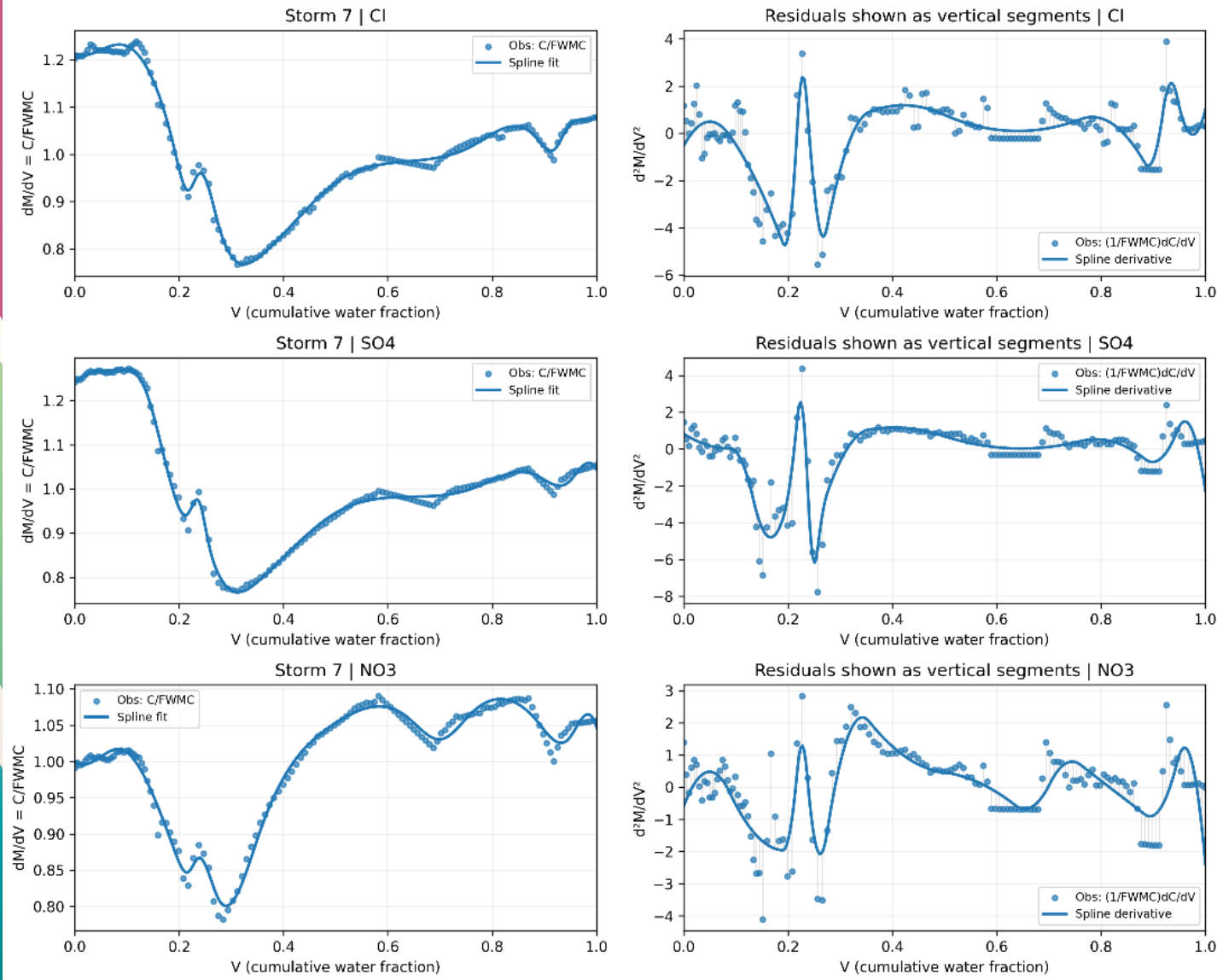
Pour chaque pair de noeuds / solutés



Aire sous la courbe (AUC) dans le graphe M- V indique la succession temporelle des exports de solutés

(AUC la pus élevée $\Rightarrow$ plus tôt)

Comment déterminer les éléments du réseau? Uniformité/cohérence de l'export



Pour chaque noeud:

- Un fit “spline” est réalisé sur la courbe (dM/dV vs. V), pour chaque soluté
- Le coefficient de Gini de la dérivée de cette fonction spline (i.e. d^2M/dV^2) indique l'uniformité/patchiness de l'export de soluté.

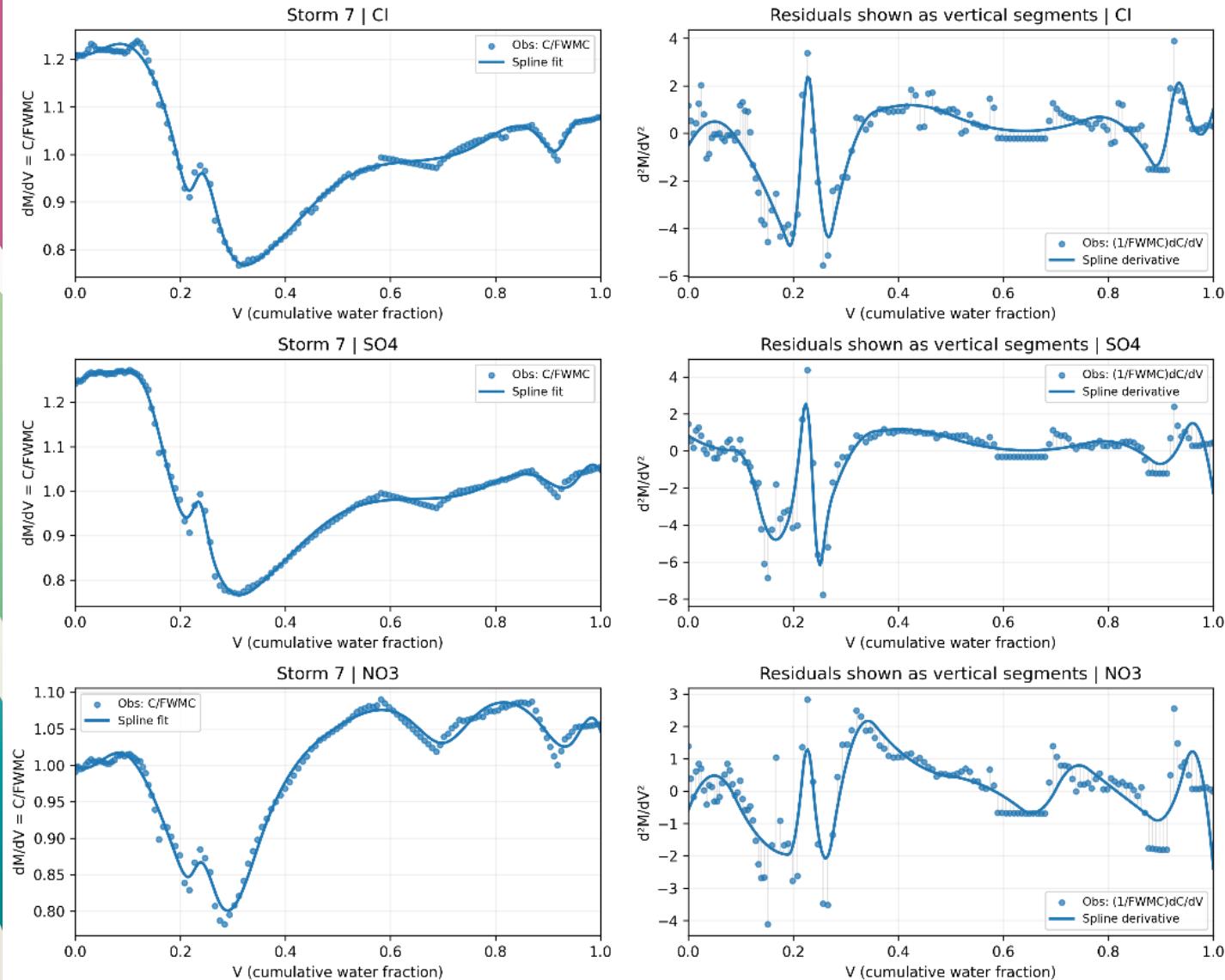
Gini élevé $\Rightarrow$ export de soluté “épisodique”

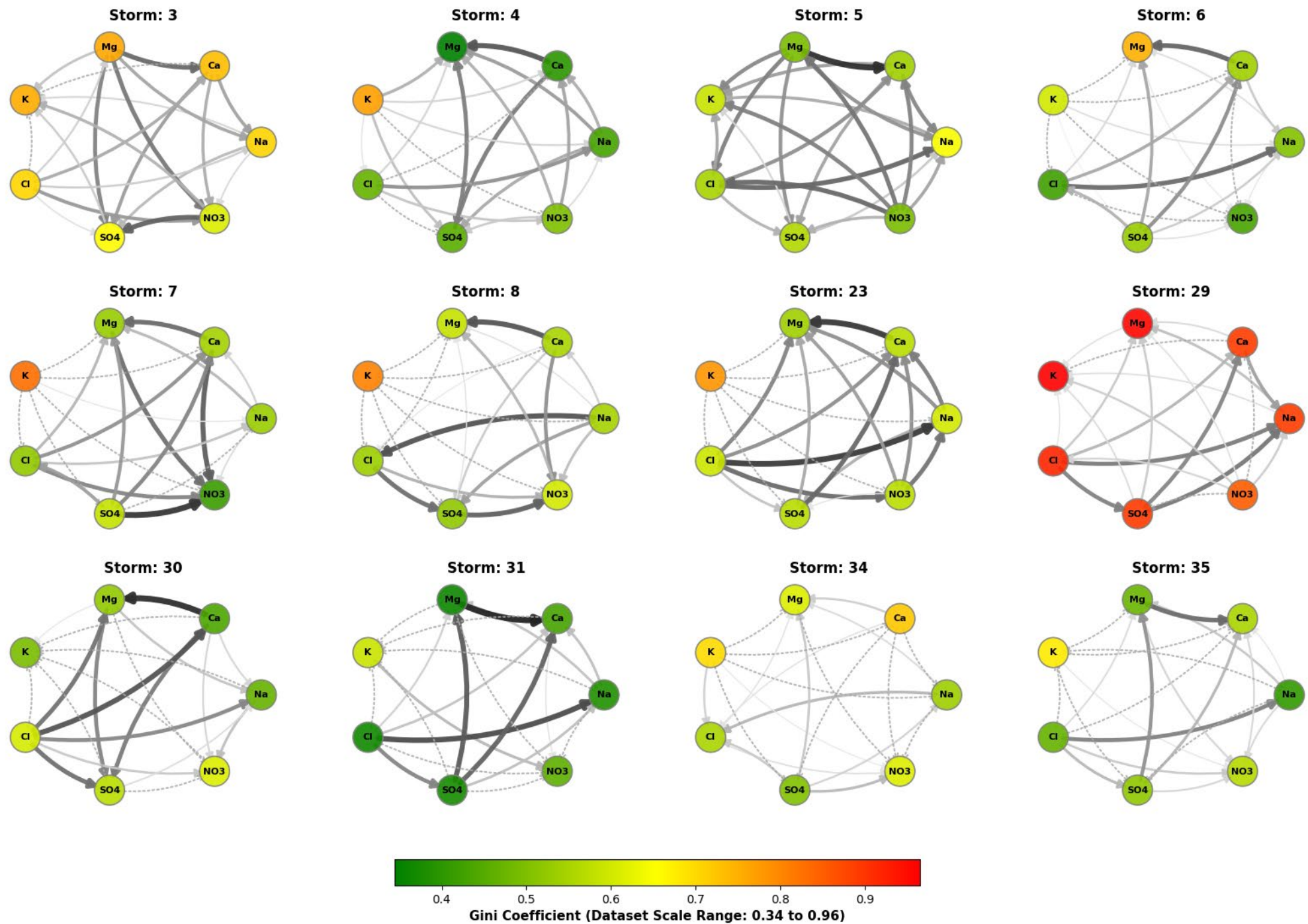
Gini faible (proche de 0) $\Rightarrow$ export continu, stable

Comment déterminer les éléments du réseau? L'intensité du couplage / des arêtes

Pour chaque paire de noeuds:

- L'intensité de la corrélation entre les résidus {entre la courbe de la dérivée seconde du spline et celle des données $d^2M/dV^2 = f(V)$ } indique l'intensité du couplage iogéochimique, qui ne peut pas être expliqué par les processus hydrologiques à l'échelle du bassin.

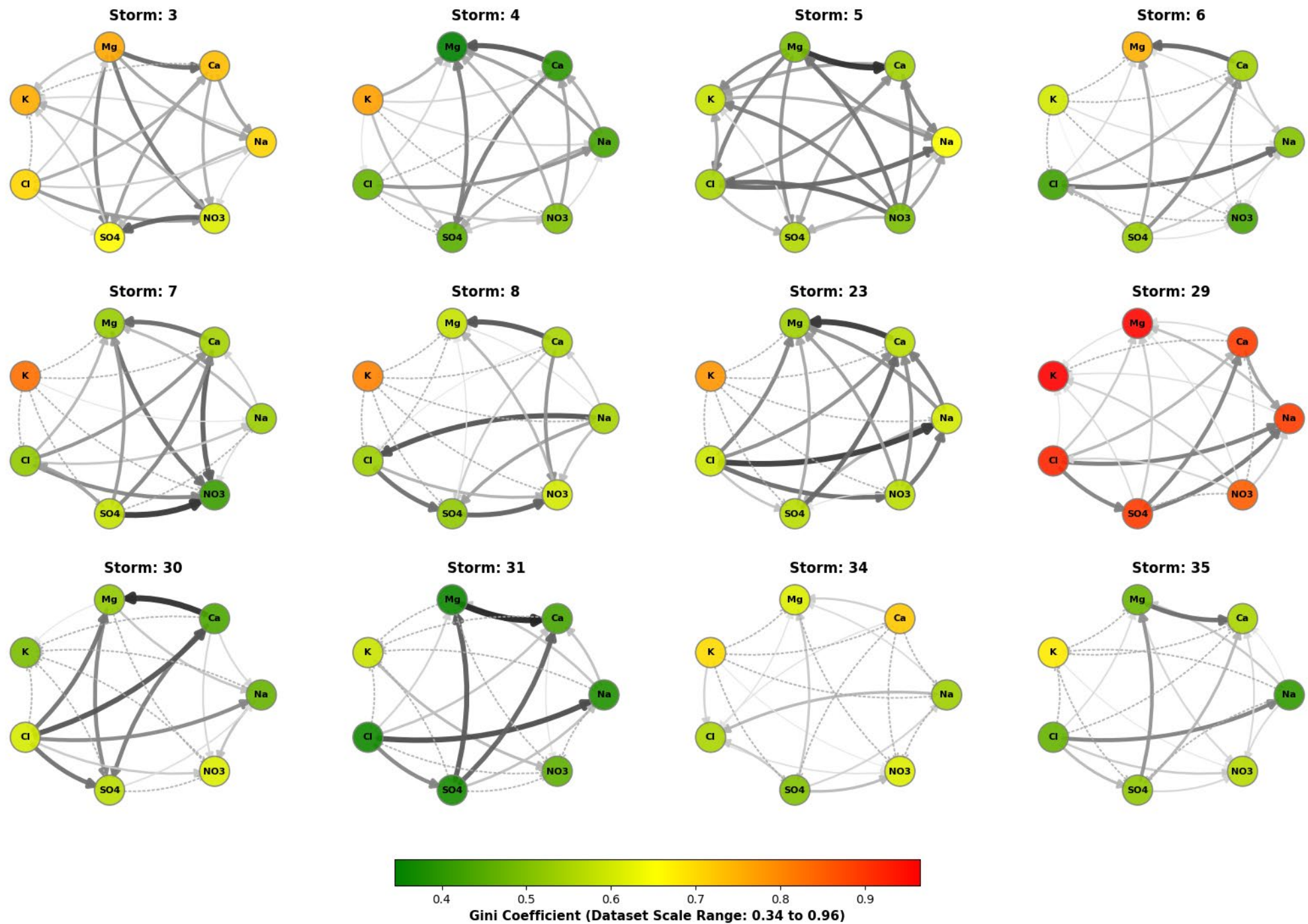




Utiliser ces réseaux pour comprendre les processus hydrogéochimiques

Quelques exemples de questions...

1. Quelle paire de solutés présente le plus fort couplage biogéochimique lors des crues?
 - Quelle est l'arête la plus intense dans tous les réseaux des crues?
1. Quel soluté varie de manière indépendante, avec le moins de couplage avec les autres solutés?
 - Quel noeud est le moins connecté aux autres parmi les réseaux?
1. Quelles conditions ou paramètres physiques contrôlent l'intensité du couplage biogéochimique entre les solutés?
 - Comparer la densité des réseaux en fonction de la température, du niveau de nappe, ...
1. Quel type de crue entraîne un export de soluté uniforme vs non uniforme?
 - Comparer les "poids" des noeuds selon les conditions hydroclimatiques qui précèdent les crues



Utiliser ces réseaux pour comprendre les processus hydrogéochimiques

Quelques exemples de questions...

1. Quelle paire de solutés présente le plus fort couplage biogéochimique lors des crues?
 - $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$
1. Quel soluté varie de manière indépendante, avec le moins de couplage avec les autres solutés?
 - K

