



Transferts de nutriments dans les bassins karstiques

Premiers résultats du projet
QUARSTIC
(QUALité des eaux et Réseau de Surveillance des rivières Comtoises)

J.-B. Charlier¹, A. Vallet², V. Stefani³, F. Moiroux²

¹ BRGM, Montpellier (j.charlier@brgm.fr)

² BRGM, Dijon

³ SMIX Loue, Rurey

Enjeux sur la ressource en eau en Franche-Comté

> Principaux usages

- AEP & assainissement
- Agriculture (élevage & filière lait...)
- Industrie (filiale bois, artisanat...)
- Usages récréatifs (loisirs: pêche, baignade,...)
- Tourisme (augmentation de la population saisonnière...)



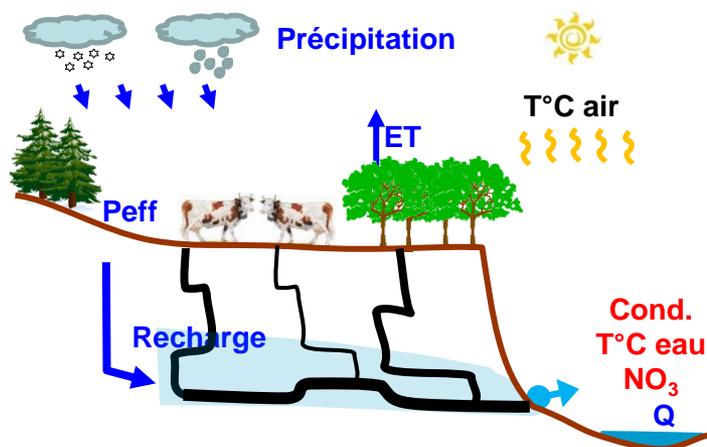
> Indicateurs des perturbations de l'écosystème

- Eutrophisation
- Augmentation de la température de l'eau
- Episodes de mortalités piscicoles (depuis 2010)
- Prolifération de micro-organismes (Saprolenia et cyanobactéries)

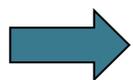


Objectifs scientifiques

Quelle évolution de la ressource en eau des rivières comtoises dans un contexte de changement global ?

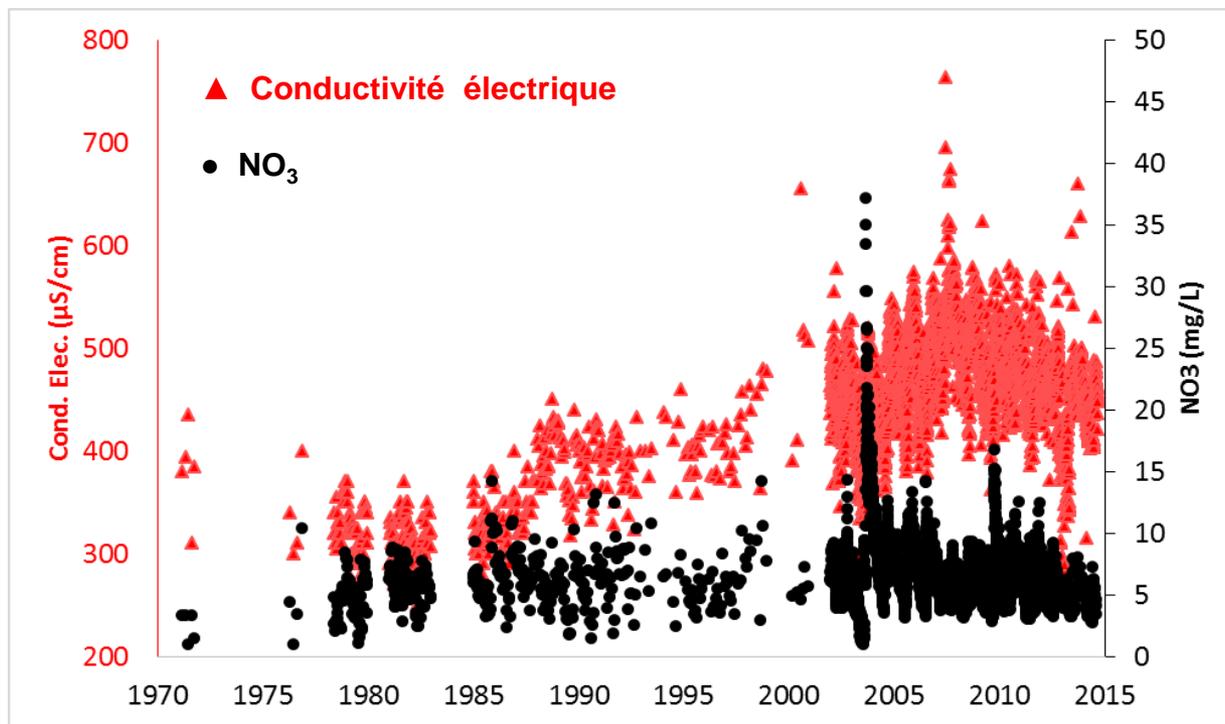


- **Evolutions climatiques** : augmentation de la température => baisse de la recharge ? augmentation des usages ?
- **Impacts des activités anthropiques** : Pollutions diffuses vs. accidentelles, polluants émergents ? => vulnérabilité
- **Changement global** : quelle influence sur la qualité des eaux ? minéralisation, température de l'eau, turbidité,...



Le karst = un milieu sensible aux évolutions climatiques et vulnérable face aux activités anthropiques

Dimensionnement du réseau



Loue à Chenecey-Buillon (compilation de données EauFrance et Ville de Besançon)

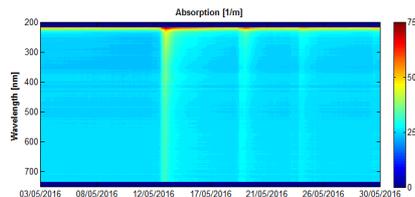
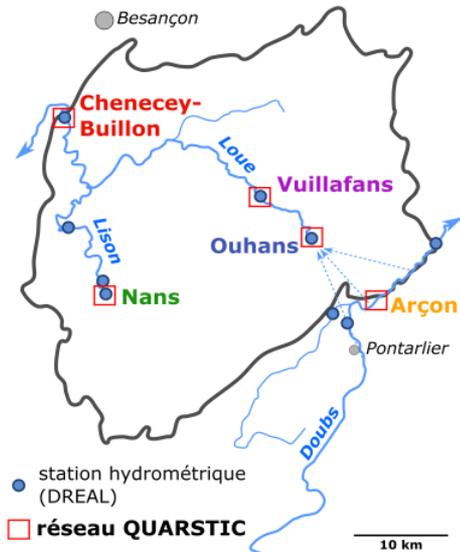
- Evolutions pluri-annuelles
- Fortes variations à l'échelle journalière & saisonnière
- Apparition d'épisodes exceptionnels (ex. du pic de NO₃ en automne 2003)

➤ Type de suivi du réseau QUARSTIC :

- Temporel : « haute-fréquence » et à « moyen-long » terme
- Spatial : aux différentes échelles de la source et de la rivière

Dispositif : instrumentation fin 2015

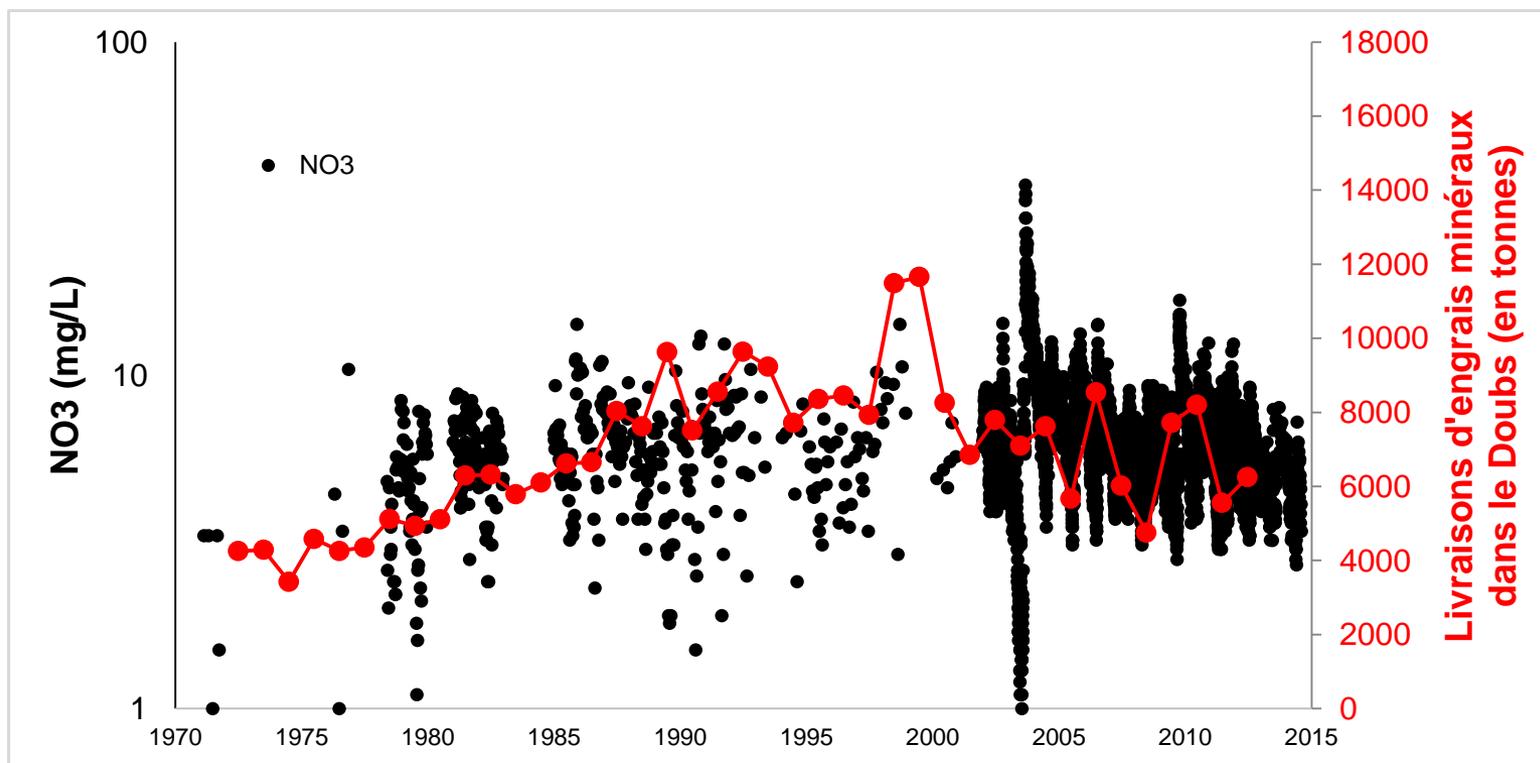
> Météologie sur 5 stations du bassin de la Loue (depuis 2015)



- **Suivi « standard » Hf :**
 - sondes multiparamètres (cond. Elec., temp., pression, turbidité, O₂_{diss.}, pH)
 - Echantillonneurs (chimie)
- **Test d'une sonde spectrométrie UV-Vis**
 - NO₃, COT, MES, (NH₄, NO₂, PO₄ ?)

Evolution à long terme

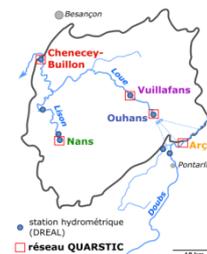
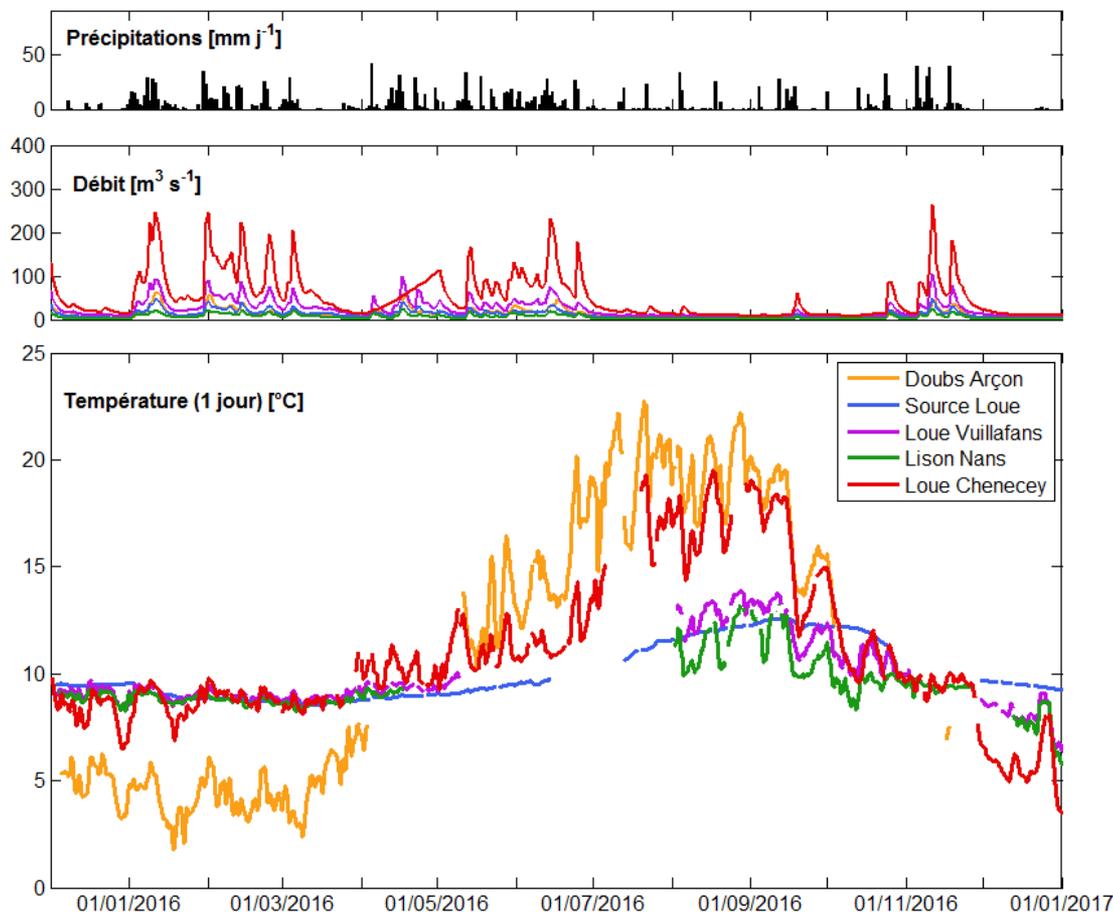
> Exemple des nitrates



➤ Quel impact des activités agricoles sur les évolutions à long terme de la qualité des eaux?

Evolution à court terme

> Evolution de la température de l'eau



Eaux souterraines entre 8.5 et 12.5 °C)

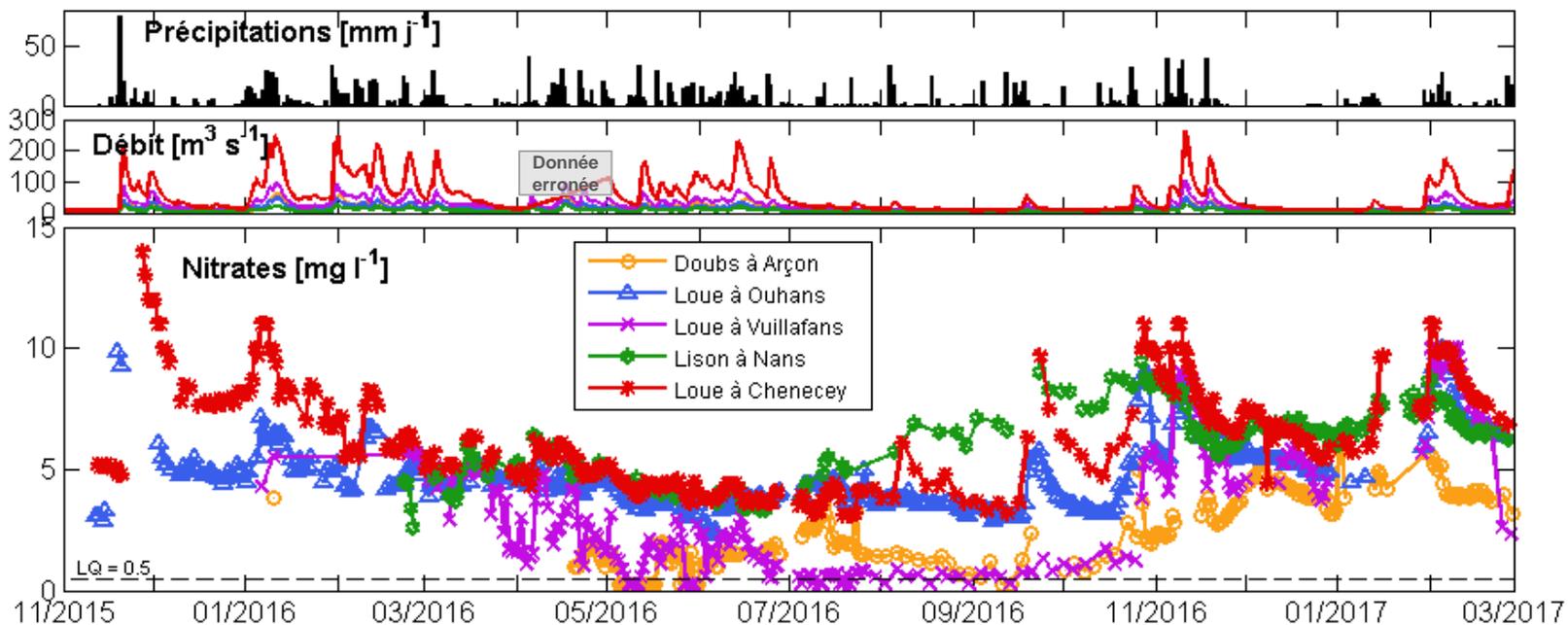
Loue à Vuillafans régulée par les eaux souterraines

des valeurs estivales qui dépassent 18 °C sur l'aval des rivières (Doubs à Arçon et Loue à Chenecey)

- > **Fort réchauffement des rivières sur les tronçons aval** (la contribution des eaux souterraines ne suffit pas à leur régulation)
- > **Pose la question des caractéristiques physiques des cours d'eau sur ces secteurs** (seuils, berges, ripisylves)

Evolution à court terme

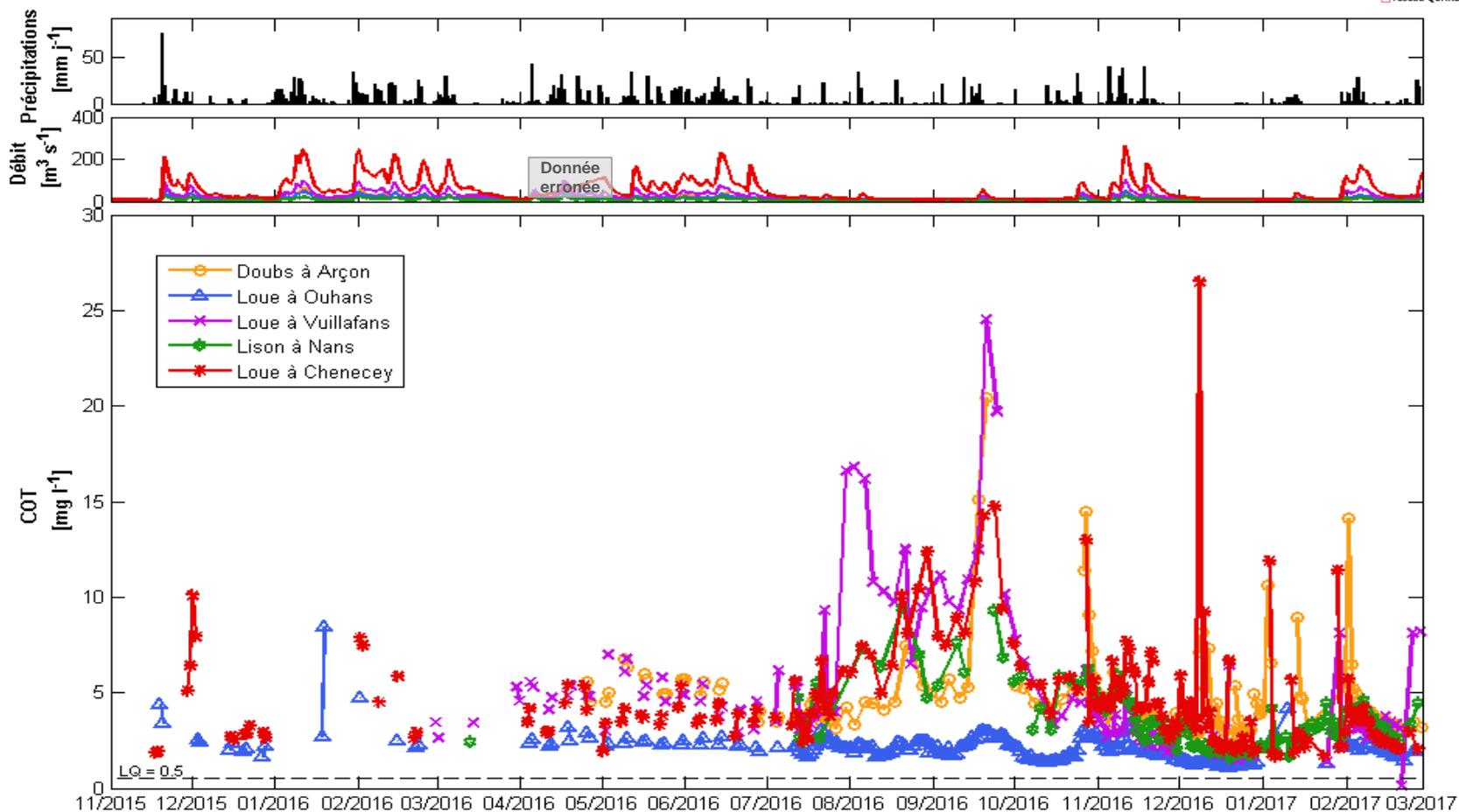
> Evolution des nitrates



- **Plus fortes concentrations lors des crues d'automne et hiver**
- **Diminution au cours du printemps et période estivale, avec des valeurs proches de la limite de quantification pour Vuillafans et Arçon**
- **La comparaison inter-sites met en évidence les tronçons les plus impactés**

Evolution à court terme

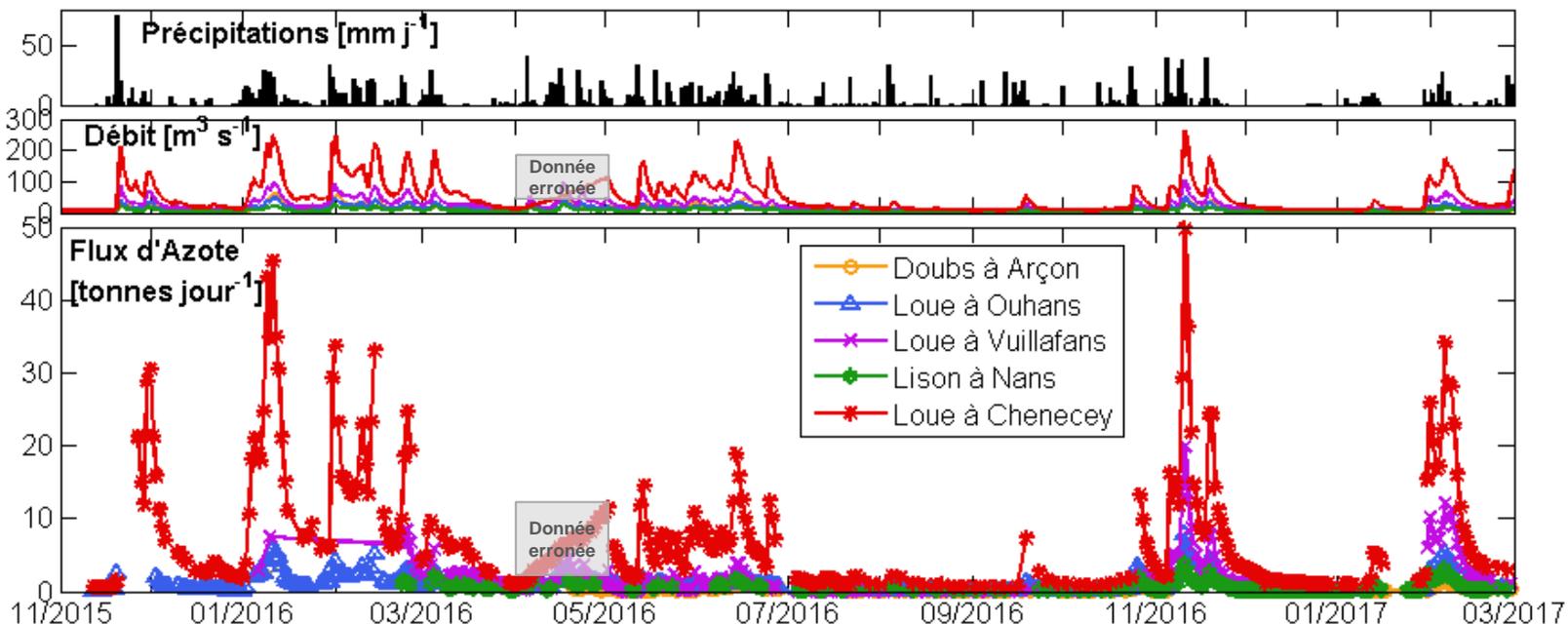
> Evolution du COT



- COT **sources** << COT en rivière
- Production de biomasse lors des étiages estivaux

Evolution à court terme

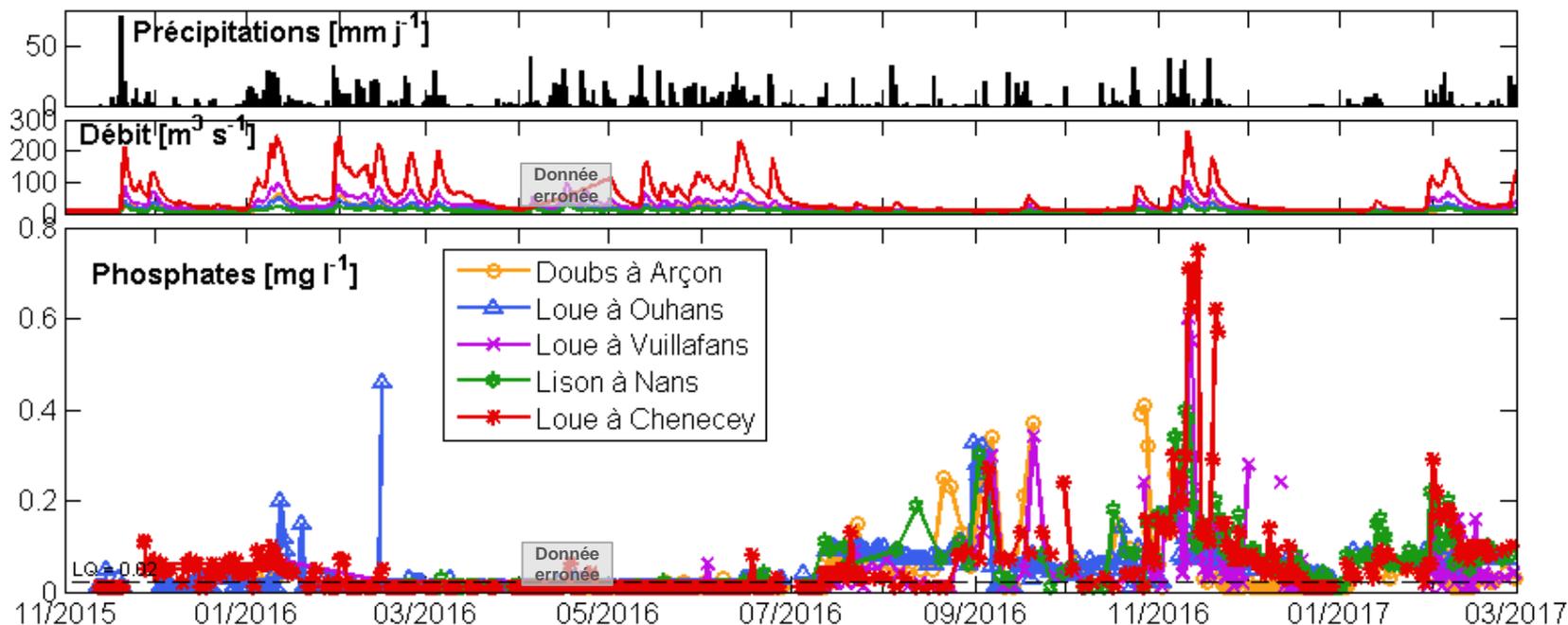
> Evolution des flux d'azote des nitrates



- Evolution des flux contrôlée par les débits
- Total d'environ 2000 t/an pour $\text{NO}_3\text{-N}$ à Chenecey-Buillon en 2016
- *Pose la question de l'impact des 2 phases d'épandage agricole au printemps et à l'automne*

Evolution à court terme

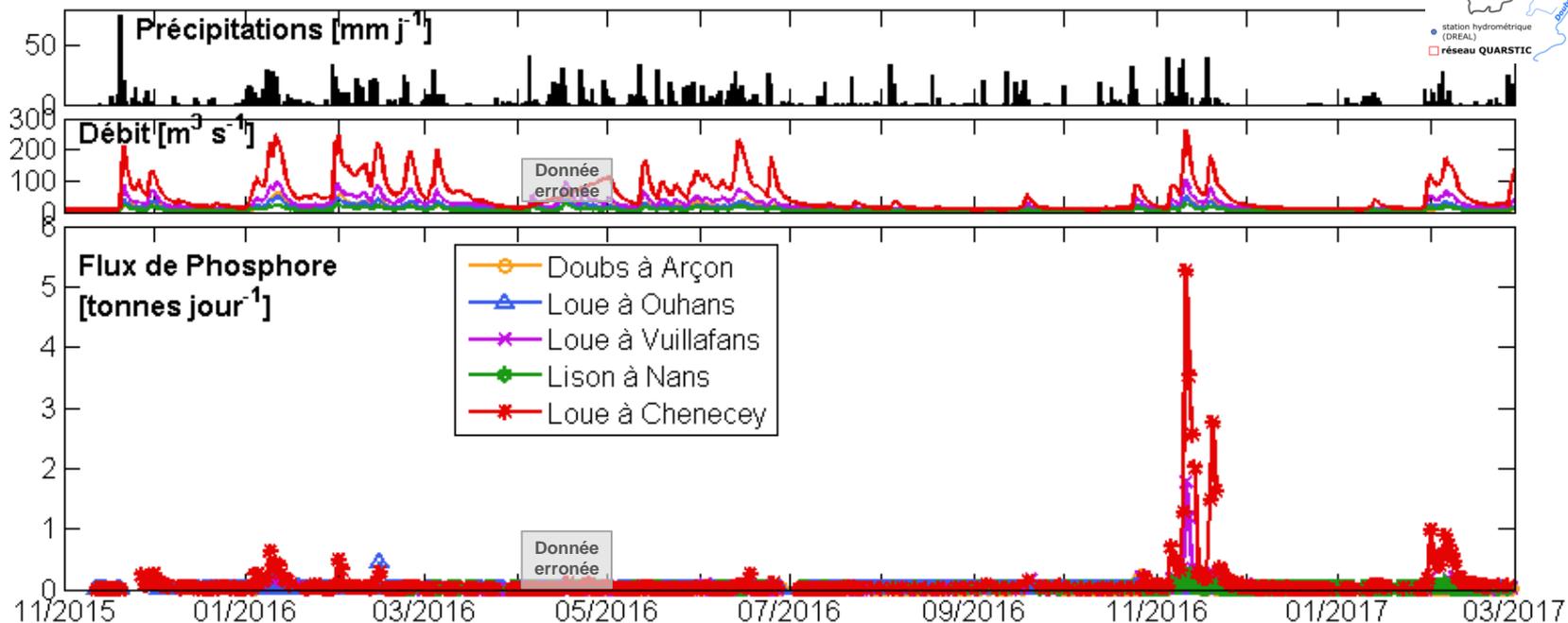
> Evolution des phosphates



- **Pics les plus élevés en automne et hiver**
- **Valeurs proches de la limite de quantification au printemps et en été, avec des pics < 0,1 mg/l**
- **La comparaison inter-sites** met en évidence l'apparition de pics isolés dans le temps et dans l'espace

Evolution à court terme

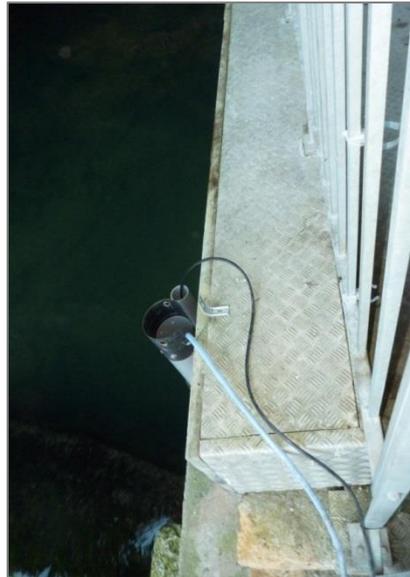
> Evolution des flux de phosphore des phosphates



- Estimation des flux de phosphore à partir des PO_4 et des débits
- Evolution des flux en lien avec de fortes concentrations hivernales lors des crues
- Total d'environ 33 t/an pour $\text{PO}_4\text{-P}$ à Chenecey-Buillon en 2016
- Pose la question de l'origine du phosphore au cours de l'année (pics erratiques hors crues = domestique ? ; forts flux en hiver = sol ?)

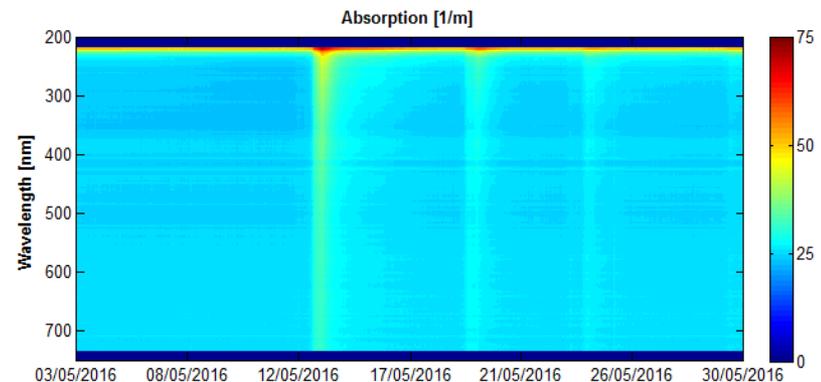
Suivi chimique automatique : développement sonde s::can

- > Test d'un dispositif plus simple et moins couteux que les échantillonneurs



- > Mise en place à la source de la Loue

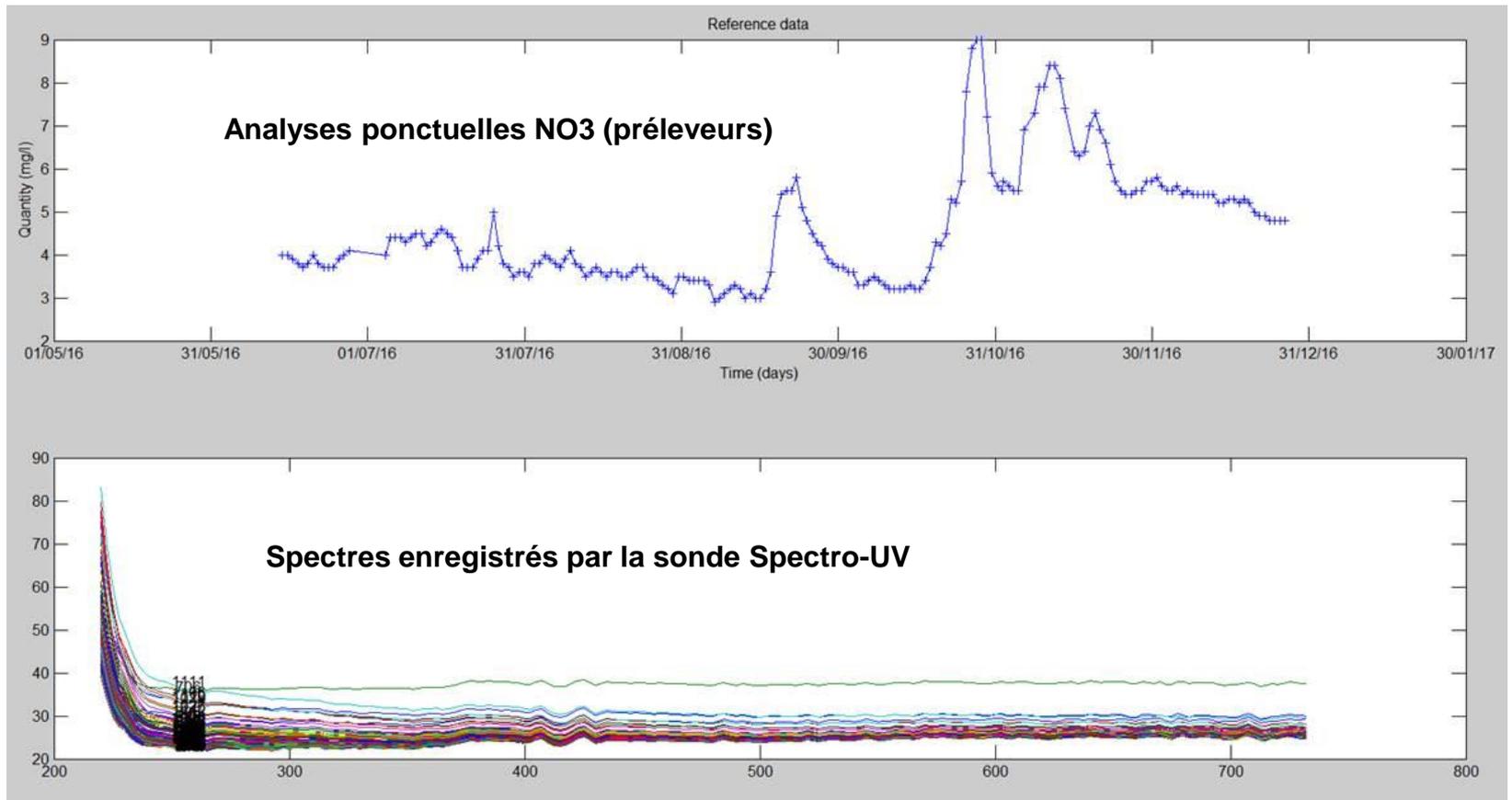
- Eaux moyennement turbides
- Concentrations en NO₃ légèrement plus faibles (bruit de fond ~ 4mg/L)



Suivi chimique automatique : développement sonde s::can

Problématique: 206 variables colinéaires

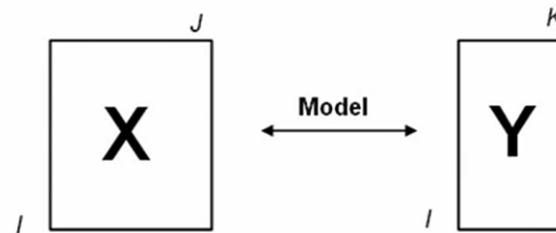
(longueur d'onde sonde scan [220:2.5:732.5]) → 1 paramètre chimique



Suivi chimique automatique : développement sonde scan

Problématique: 206 variables colinéaires

(longueur d'onde sonde scan [220:2.5:732.5]) → 1 paramètre chimique

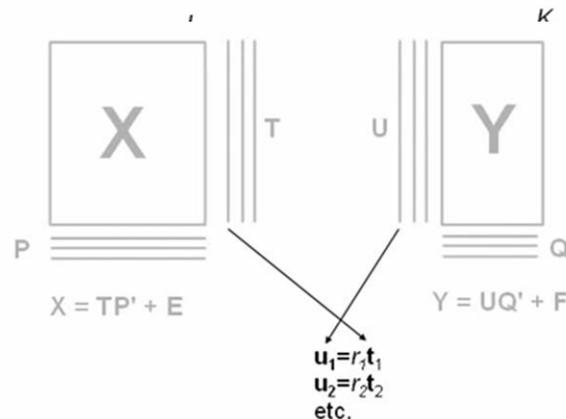


Suivi chimique automatique : développement sonde s::can

Problématique: 206 variables colinéaires

(longueur d'onde sonde scan [220:2.5:732.5]) → 1 paramètre chimique

Modèle: PLSR (Partial least square regression): ACP couplée de X et de Y pour maximiser la relation linéaire entre les composantes de X et Y (maximum covariance)

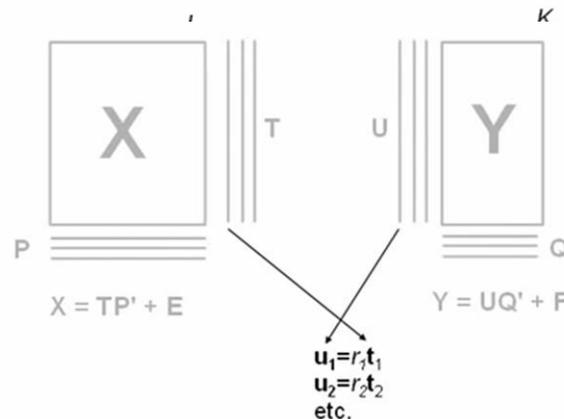


Suivi chimique automatique : développement sonde s::can

Problématique: 206 variables colinéaires

(longueur d'onde sonde scan [220:2.5:732.5]) → 1 paramètre chimique

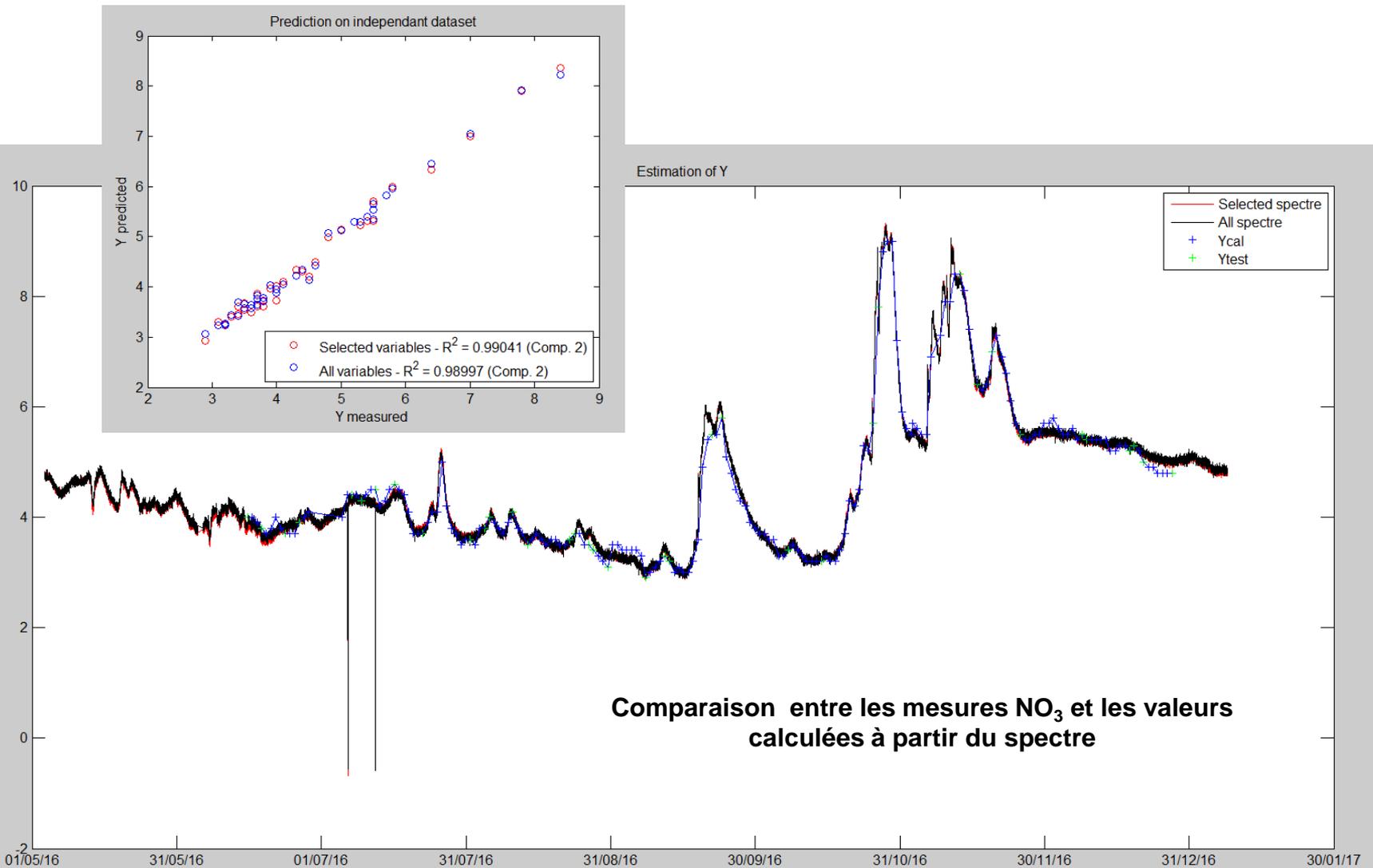
Modèle: PLSR (Partial least square regression): ACP couplée de X et de Y pour maximiser la relation linéaire entre les composantes de X et Y (maximum covariance)



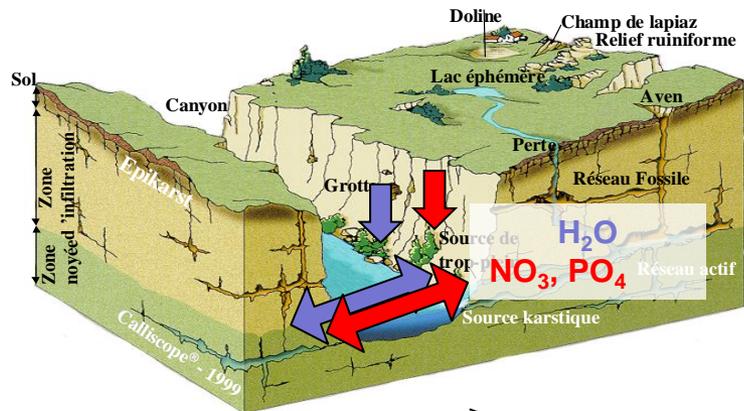
Modèle PLSR sensible au bruit (toutes les longueurs d'ondes n'ont pas le même pouvoir explicatif pour un paramètre donné → sélection de variables (algorithme génétique)

Spectre influencé par la turbidité: test de différentes méthodes pour minimiser cette influence sur la calibration (méthode de régression, dérivé premier ordre, dérivé du second ordre)

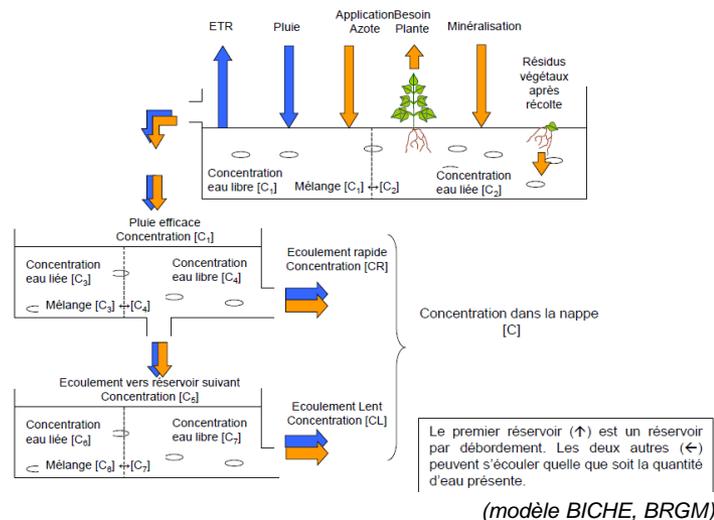
Suivi chimique automatique : premiers résultats sur NO₃



Perspectives

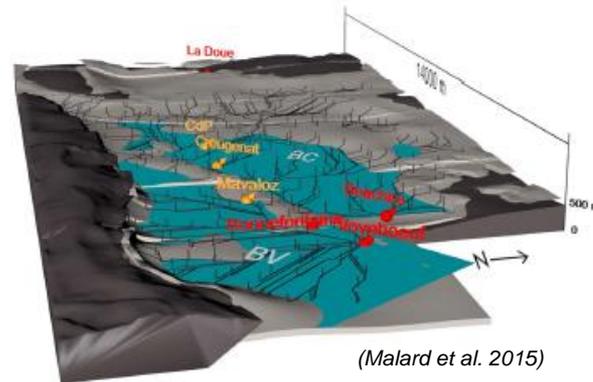
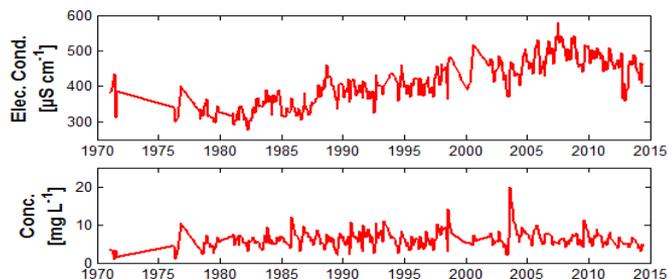


Transfert des nutriments => depuis le sol jusqu'à la source et au BV



Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique => Identification des zones contributives

Evolution de la qualité des eaux sur le long terme => Relations climat/anthropique vs. hydrologie/contamination

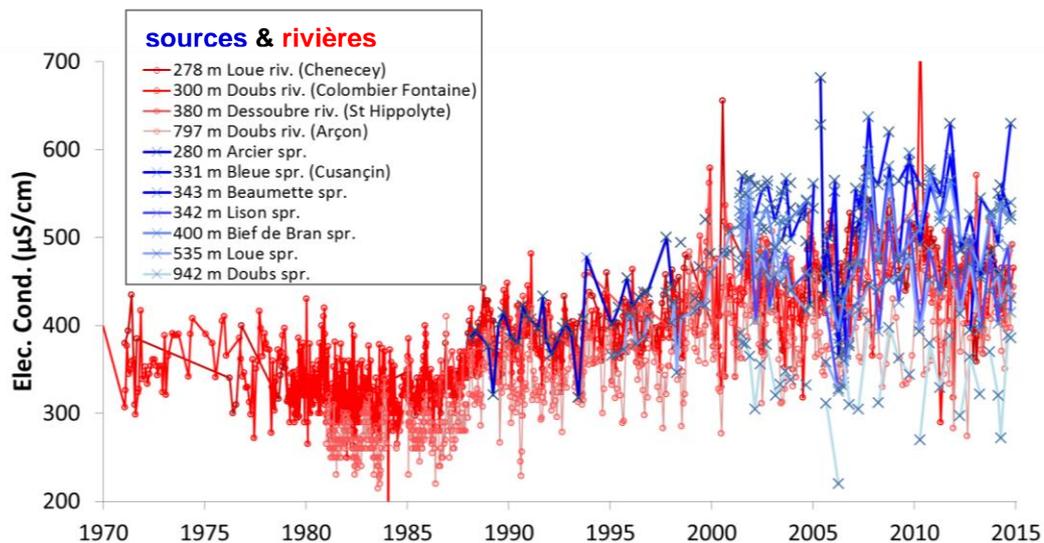


The End



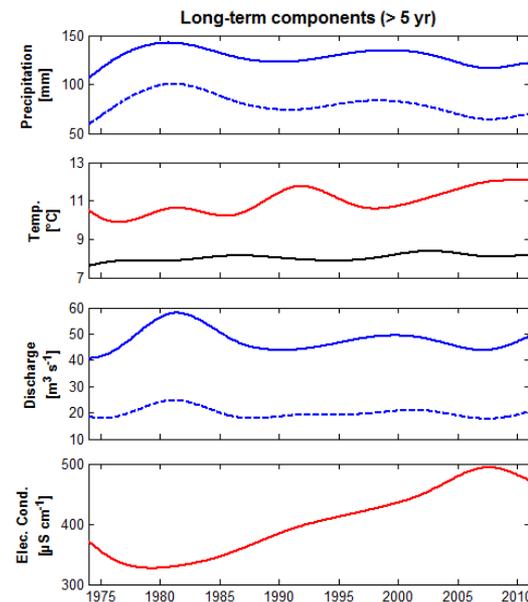
Premiers résultats obtenus

> Evolution à long terme des paramètres physico-chimiques



Analyse en ondelettes

=> Comparaison des oscillations de grande longueur d'onde des variables climatiques, hydrologiques, & physico-chimiques

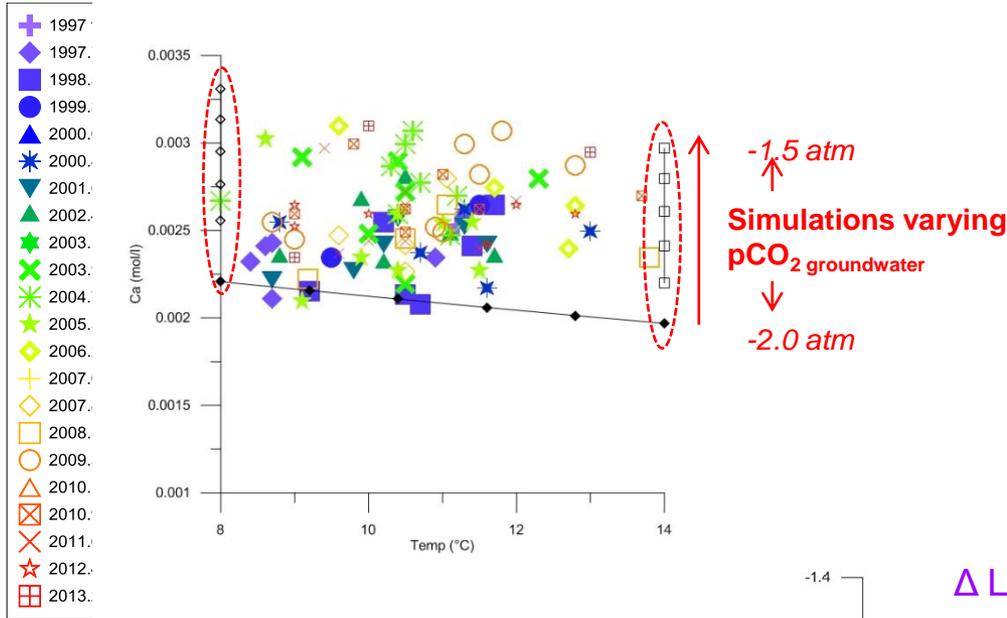


- Effet de l'altitude, mais évolution similaire à l'échelle régionale
- ⇒ L'évolution de la minéralisation est corrélée avec celle de la recharge

(J.B. Charlier, Y. Caballero, J. Lions, B. Ladouche)

Premiers résultats obtenus

> Evolution à long terme des paramètres physico-chimiques



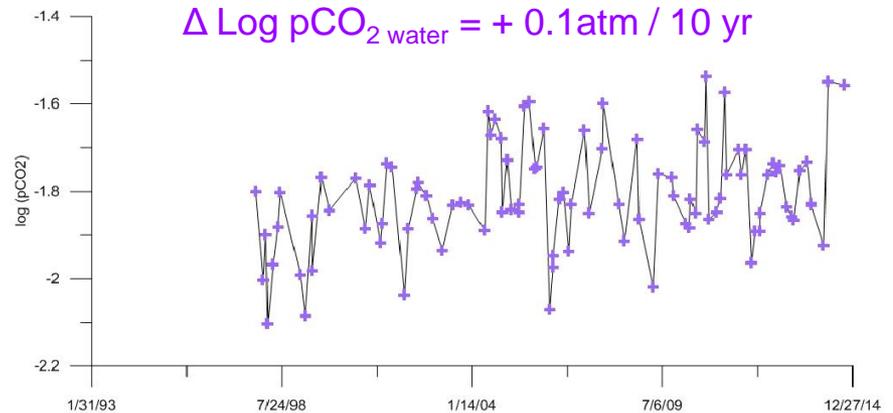
Modélisation géochimique

=> Simulation de l'évolution de la pCO_2 dans les eaux souterraines

⇒ réchauffement climatique :
 $\Delta \text{Log}_{10} pCO_2 \text{ atm} = + 0.02 \text{ atm} / 10 \text{ yr}$
 (Macpherson et al., 2008)

⇒ Facteurs indirects sont favorisés

- sol, activité microbienne
- Occupation du sol, évolution des pratiques



(J.B. Charlier, Y. Caballero, J. Lions, B. Ladouche)