MESURE DE FLUX D'EAU ET D'ÉLÉMENTS CHIMIQUES AU SEIN DE PETITS HYDRO-SYSTÈMES CONTINENTAUX PAR L'OBSERVATION À HAUTE FRÉQUENCE TEMPORELLE

FOVET Ophélie

09 / 07 / 2019

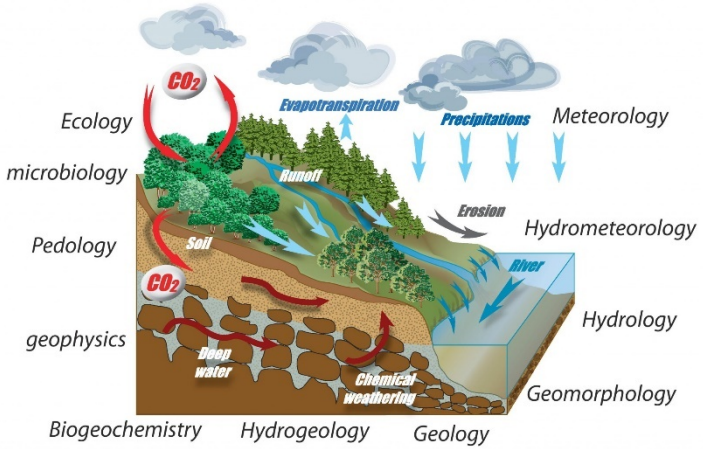
CRITEX: Equipements innovants pour comprendre la zone critique

- **Un projet equipex 2011-2022**

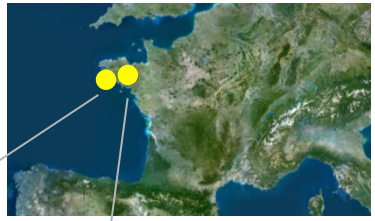
(IPG Paris, Géosciences Rennes)

- **Un challenge sur l'observation à haute fréquence des flux d'eau et d'éléments chimiques**

- **S'appuyant sur les Observatoires de la Zone Critique**



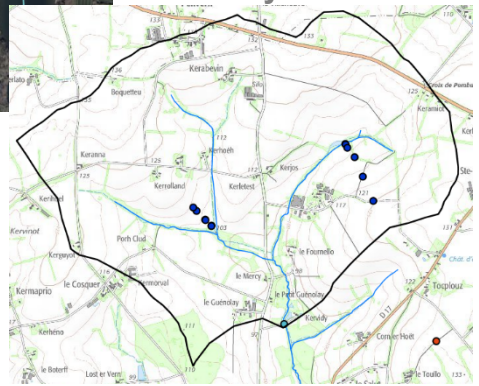
3 instruments CRITEX déployés sur l'Observatoire AgrHyS



Stations:
- météorologique
- en cours d'eau
- piézomètriques

Kerbernez 10 bassins de 10 ha

Kervidy-Naizin 5 km²

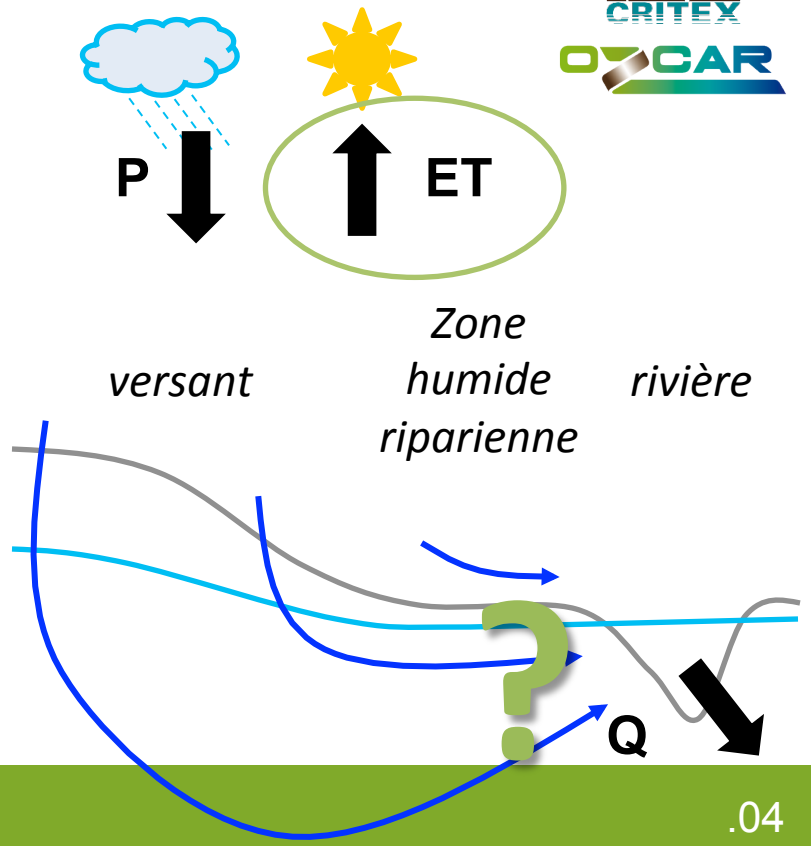


- Un observatoire agro-hydrologique depuis 1993
  - Des connaissances capitalisées
  - Une base de données de « référence »

Climat tempéré humide
Socle ancien granite/schiste
Polyculture-élevage (lait, porc, volaille) intensif Remembrement 1975

Mesure des flux dans les bassins versants

- Mesure de l'ETR - Tour à flux
- Traçage thermique des flux d'eau par fibre optique DTS
- Traçage chimique dans la rivière – River Lab



Mesure des flux surface-atmosphère par la méthode des covariances turbulentes

Mesure des composants 3D des turbulences depuis une tour

Burba, G. (2013). Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications. LI-COR® Biosciences. www.licor.com.

Vitesse

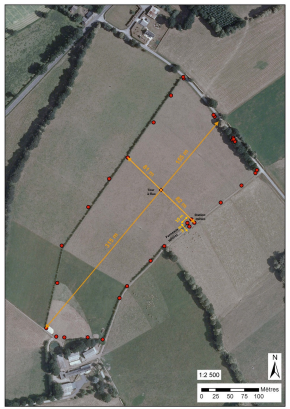
Flux surface-atmosphère

Concentration de l'air (H_2O, CO_2…)

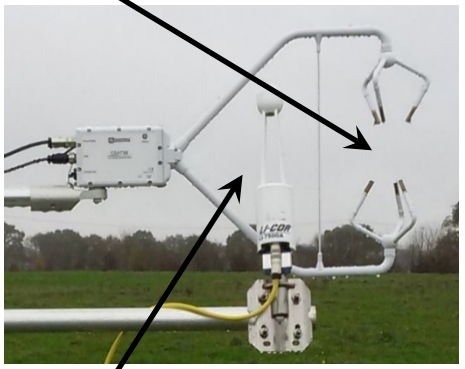
$$\overline{F_C} = \overline{w'C'} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(w_i - \overline{w}\right)\left(C_i - \overline{C}\right)$$

La tour à flux CRITEX Observatoire AgrHyS

- 1 mat de 2m, 1 prairie permanente, haut de versant, vaches laitières AB
- Alimentation électrique réseau



Anémomètre ultra-sonique

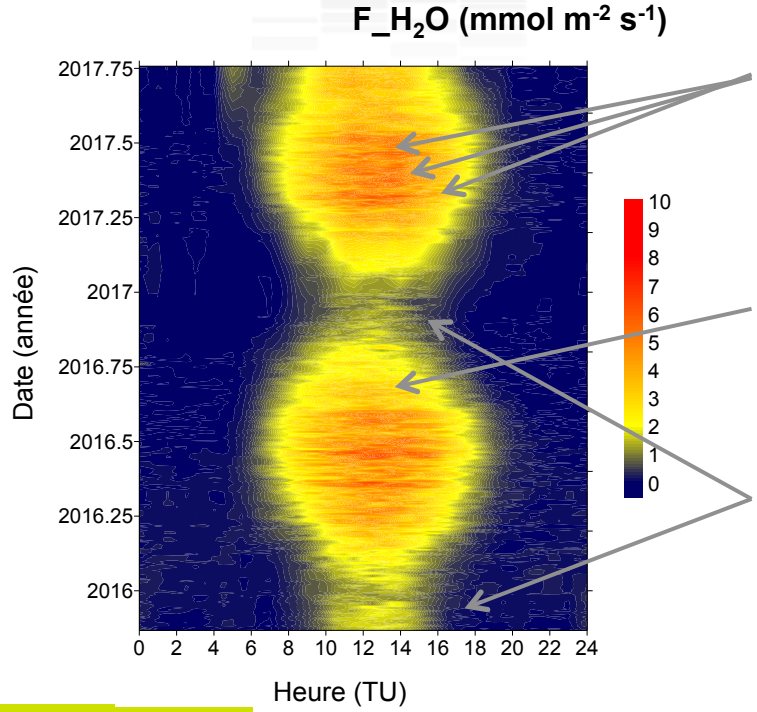


Analyseur infrarouge

Spectromètre IR Li-7500
« open-path »

Evolution de l'ETR mesurée

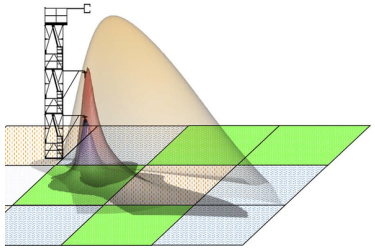
Variations diurnes et saisonnières



- ETR affectée par phases de pâturage / croissance de l'herbe
- Sécheresse estivale
- ETR significative en hiver (croissance continue de l'herbe; visible aussi sur F_{CO2})

Discontinuité des mesures

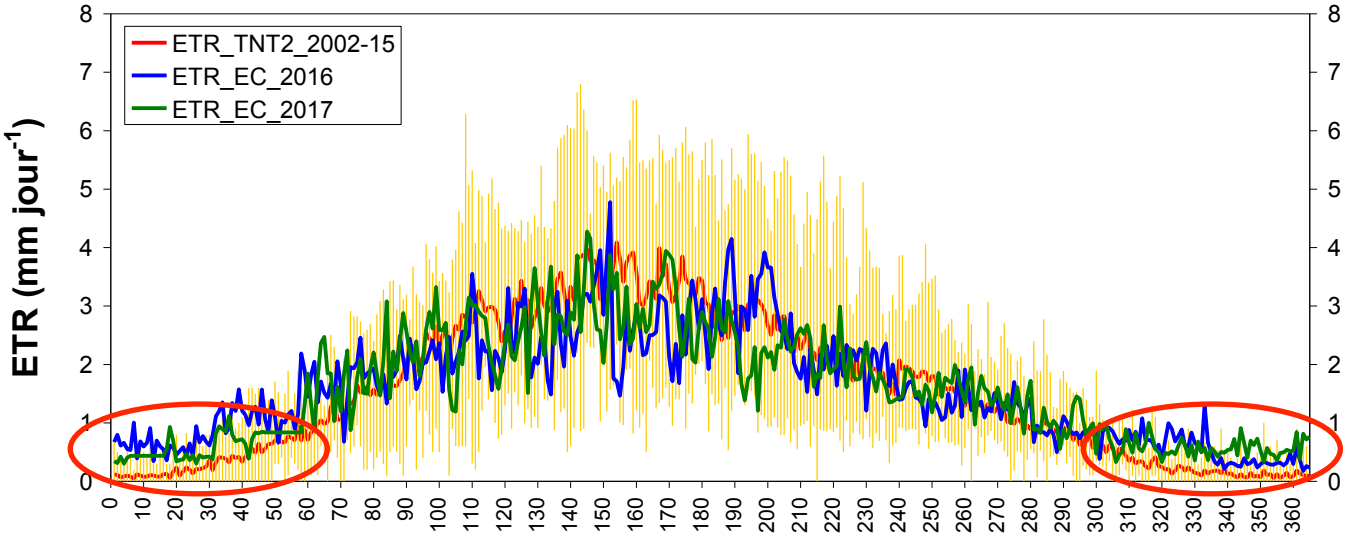
- Spectromètre IR « open-path »: ne fonctionne pas si les lentilles sont mouillées (pluie, rosée, neige, brouillard, givre)
- Méthode non applicable en conditions atmosphériques stables (faible turbulence, inversion de température nocturne, absence de vent)
- Mesures de flux rejetées si l'empreinte de la tour est hors de la parcelle d'intérêt



⇒ Taux de capture des flux mesurés ETR 2016-2017 : 71%

⇒ Données manquantes estimées par modélisation empirique

Comparaison ETR mesurée/simulée

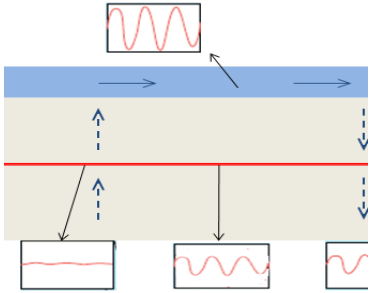


TNT2: ETR modélisé pour 2002-2015 (toutes parcelles prairie avec pâturage) 500-700mm

EC : ETR mesurée par Eddy covariance pour 2016-2017 ~ 580mm

Mesure Distribuée de Température par Fibre optique

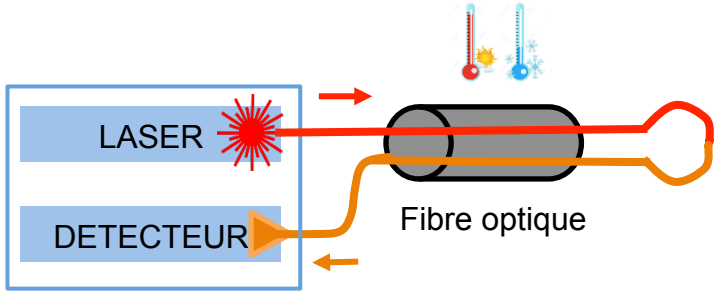
- La chaleur, traceur naturel des écoulements



- Mesure par FO :

Fréquence de la lumière rétrodiffusée à travers la fibre modifiée par la T° (effet Raman)

Distribuée et dans le temps (dx≥25cm, dt≥5s)



Unité **DTS**
(*Ditributed Temperature System*)

Implantation de la Fibre optique – observatoire AgrHyS

Bains de calibration

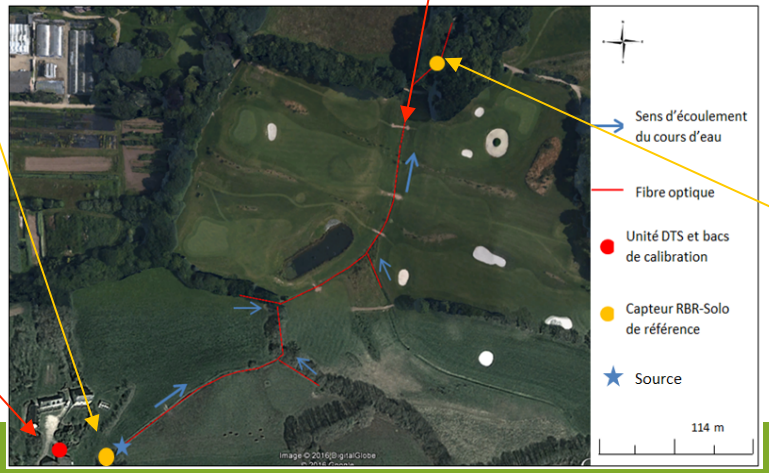
froid (≈ 3°C)
chaud (≈ 30°C)

Implantation de la fibre dans le lit du cours d'eau et métrage

500 m de cours d'eau

DTS Ultima XT (Silixa)

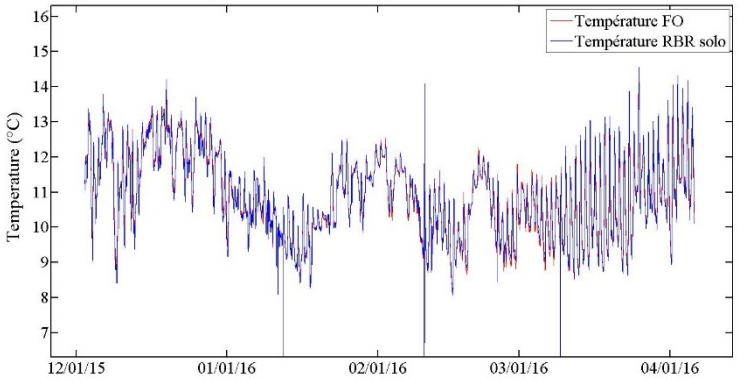
dt=10min
dx=25cm



Capteur de référence

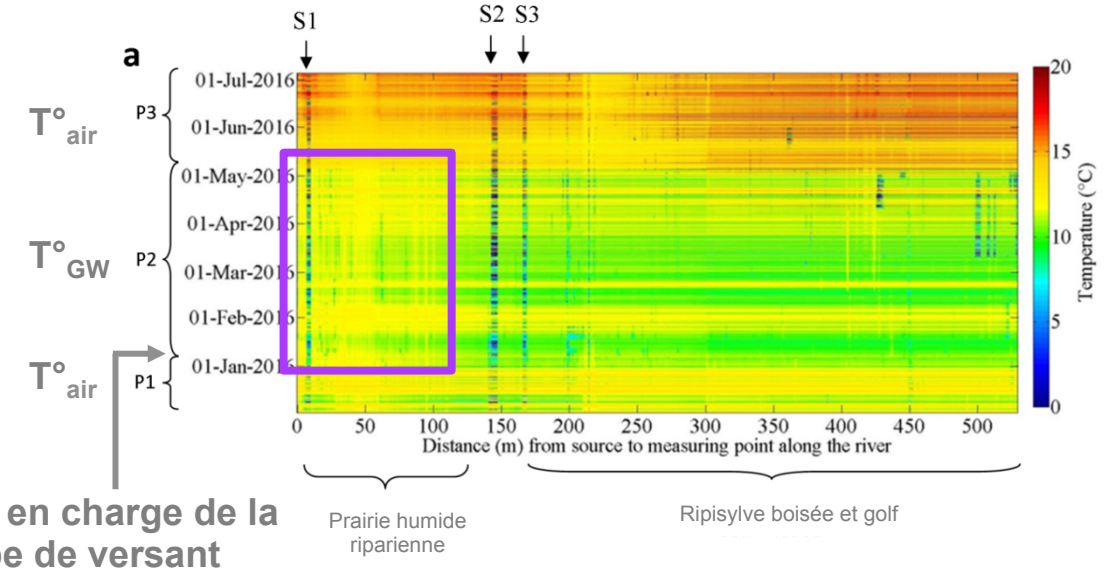
Mesure passive de nov. à avr. 2016

Evolution spatio-temporelle de la température du lit du ruisseau



Incertitude
Absolue: 0.1-0.2°C
Relative: 0.05°C

Zones d'anomalies thermiques



Mise en charge de la nappe de versant

Apports de nappe dans les 100 m amont et lorsque la nappe est haute, et très localisés

Limites & perspectives

- **Estimation des flux par modélisation inverse (FLUX –BOT)**

> vitesse des flux nappe vers rivière à travers les sédiments saturés du lit

Zone amont riparienne :
Capteurs : 0 à 2.10^{-5} m/s et FO-DTS : 0 à 10^{-5} m/s

Zone aval bois/golf:
Pas d'échange mesurés

- **Localisation de la fibre**
  - **Méthode intrusive**
  - **Sédiments meubles**
  - **Estimation difficile de la profondeur d'enfouissement mais nécessaire**

- **Données complémentaires**
  - **Profils & mesures ponctuelles de T°**
  - **Traçage actif (principe « anémomètre à fil chaud »)**

Mesure à haute fréquence et en continu de la composition chimique de l'eau de rivière

- Les éléments chimiques : qualité de l'eau (NO3, PO4, COD..) et traceurs (Li, Cl, Si…) des écoulements

- Concept du « Lab on the field » :

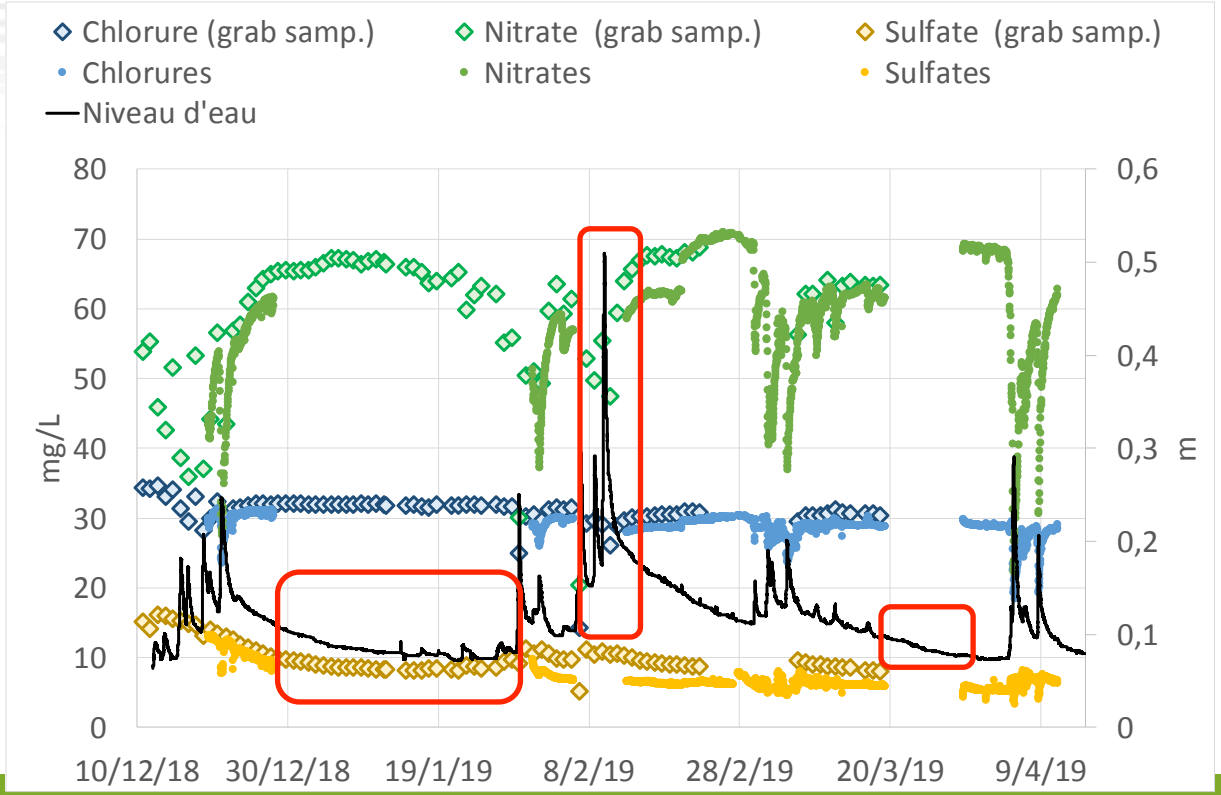
Capturer les dynamiques à haute fréquence (journalière et évènementielle)

Limiter les incertitudes liées aux temps de stockage et d'analyse

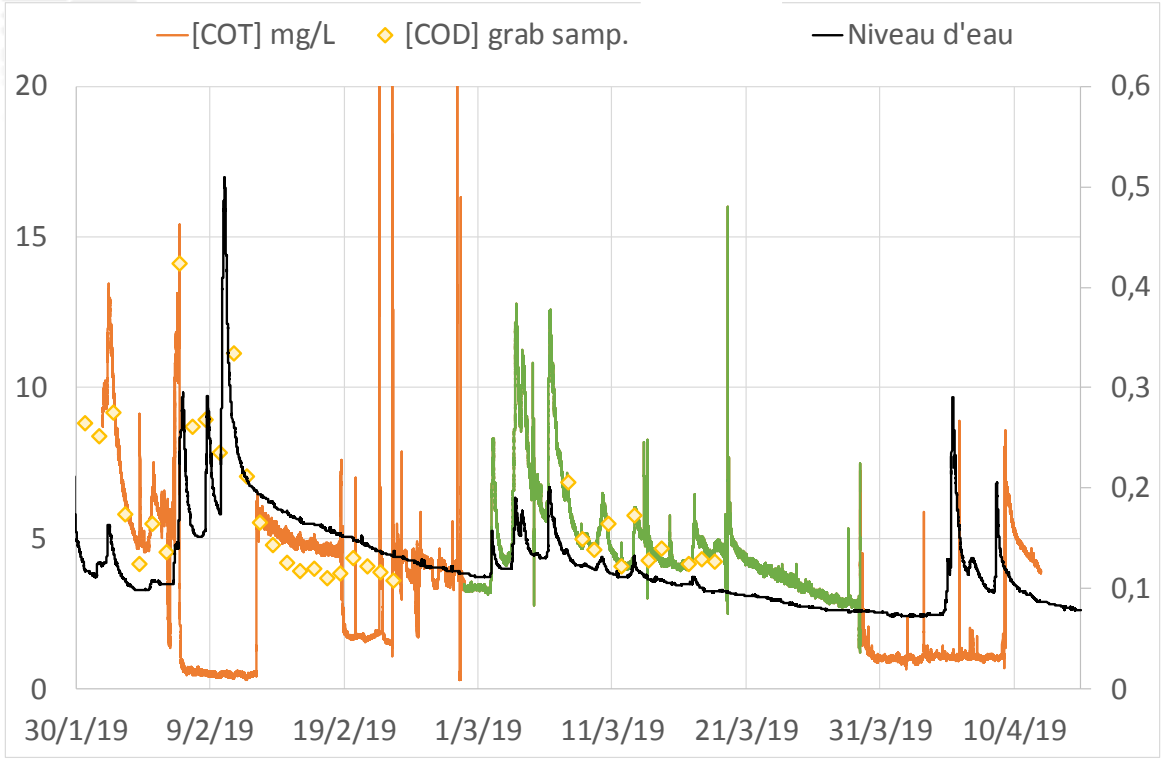
River Lab critex – Observatoire AgrHyS

1 : Capteurs élémentaires sur eau brute (T°, pH, EC, O_2)
2 : Chromatographie ionique sur eau filtrée 0.2 µm (anions & cations majeurs)
3 : Analyseur de Carbone organique en flux continu sur eau brute
4 : Analyseur de SiO_2 en ligne sur eau filtrée 0.5 µm

Mesure des ions majeurs en continu



Mesure du COT en continu



Les défis du river lab

Filtration en ligne et stabilité

Maintenance & alimentation électrique

Gestion des déchets de laboratoire

Alimentation en eau ultra-pure

Caractérisation et re-calibration des analyseurs en ligne

Conclusions

De nouveaux outils pour l'étude des flux dans la zone critique

Des **équipes technico-scientifiques pluridisciplinaires** pour les mettre en œuvre

Production de jeux de données conséquents

- Tour à flux: turbulence et concentration à 20 Hz
- Fibre optique: T° tous les 25 cm sur 500 m et 10 min
- River lab: 1 à 30 min, 20 paramètres + paramètres de contrôle

Nécessitant des traitements

nettoyage, gap filling, …

Estimation des flux par modélisation basée sur les mesures passives

- Eq. 1D propagation verticale de la chaleur dans les sédiments saturés

$$\partial T/\partial t = D_T \partial^2 T/\partial z^2 - u C_w / C_{SS} \partial T/\partial z$$

- inverse numerical computer program FLUX-BOT (Munz and Schmidt, 2017)
  CL: T° cours d'eau (supposée uniforme) et T° nappe

  1. Estimation de la profondeur du câble à partir des capteurs > ~8cm
  2. Estimation de la vitesse du flux vertical: sur 4 points à partir de capteurs vs le long de la fibre

Estimation des flux par modélisation basée sur les mesures passives

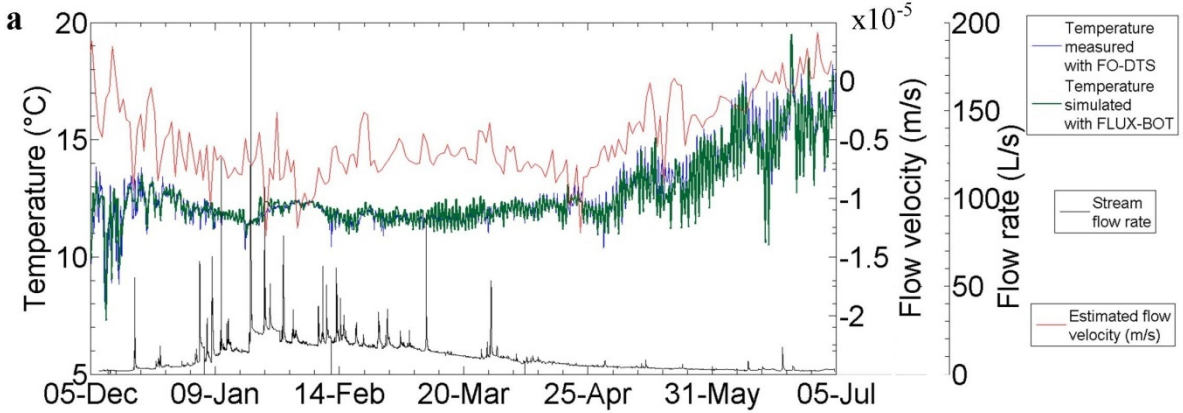
Eq. 1D propagation verticale de la chaleur dans les sédiments saturés
Modélisation inverse avec FLUX-BOT (Munz and Schmidt, 2017)

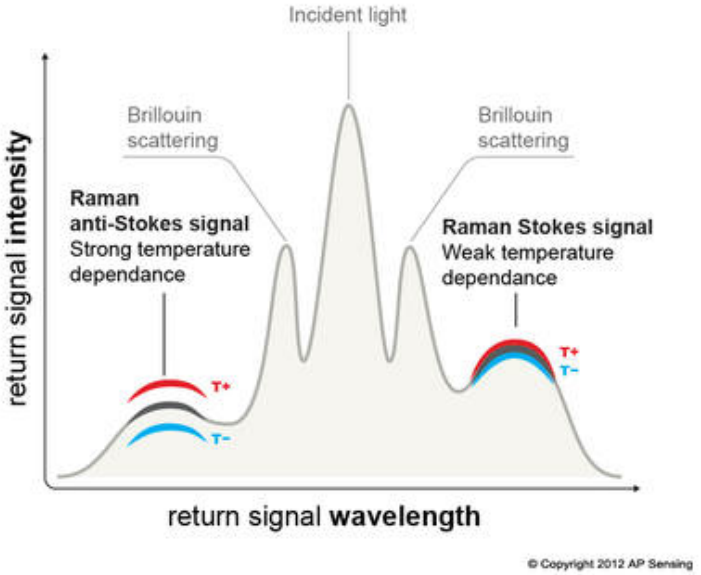
- **Zone amont riparienne :**

Capteurs : 0 à 2.10^{-5} m/s
FO-DTS : 0 à 10^{-5} m/s

- **Zone aval bois/golf:**

Pas d'échange mesurés




Incident light
Brillouin scattering
Brillouin scattering
Raman anti-Stokes signal
Strong temperature dependance
Raman Stokes signal
Weak temperature dependance
T+
T−
T+
T−
return signal intensity
return signal wavelength
© Copyright 2012 AP Sensing