

DES AVANCÉES SCIENTIFIQUES SUR LES CONTAMINANTS CHIMIQUES :

origines, transferts et impacts dans les milieux aquatiques

LUNDI 12
DÉCEMBRE
2022

9H30 > 17H00

LYON
L'EMBARCADÈRE

SAUVONS !
L'EAU !

Transferts de résidus de médicaments et biocides liés aux épandages de produits résiduaux organiques (projet Telesphore, bassin versant de l'Arve)

- Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI
Professeur des Universités, INSA Lyon

TRANSFERTS DE RÉSIDUS DE MÉDICAMENTS ET BIOCIDES LIÉS AUX ÉPANDAGES DE PRODUITS RÉSIDUAIRES ORGANIQUES

Projet Telesphore, bassin versant de l'Arve - Premiers résultats



Noémie PERNIN, Doctorante – DEEP, INSA Lyon

Pierre BENOIT, Dir. de Recherche – ECOSYS INRAE Thiverval-Grignon

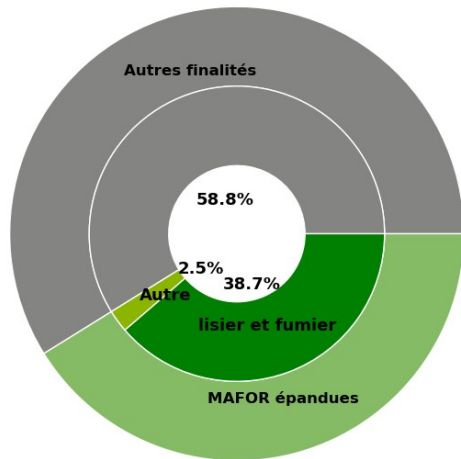
Dominique PATUREAU, Dir. de Recherche - LBE INRAE Narbonne

Laure WIEST, Ing. de Recherche – Institut des Sciences Analytiques, Villeurbanne

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, Prof. des Universités, DEEP INSA Lyon

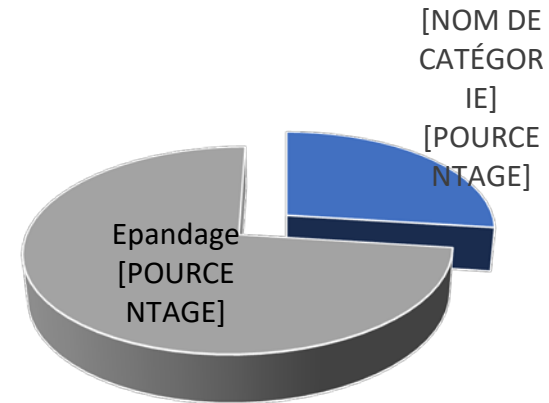
Contexte : épandages et résidus pharmaceutiques

En France : 729 millions de tonnes /an de produits organiques résiduaire
→ 300 millions de tonnes utilisés en épandage



Utilisation des produits organiques résiduaire

Source : Agence de la Transition Ecologique, 2018



Epannage des boues de STEP

Source : Agence de la Transition Ecologique, 2018



Résidus pharmaceutiques et biocides

- Détectés dans les boues de STEP et lisiers
- Pas de régulation sur l'épandage de ces composés
- Leurs métabolites sont rarement étudiés



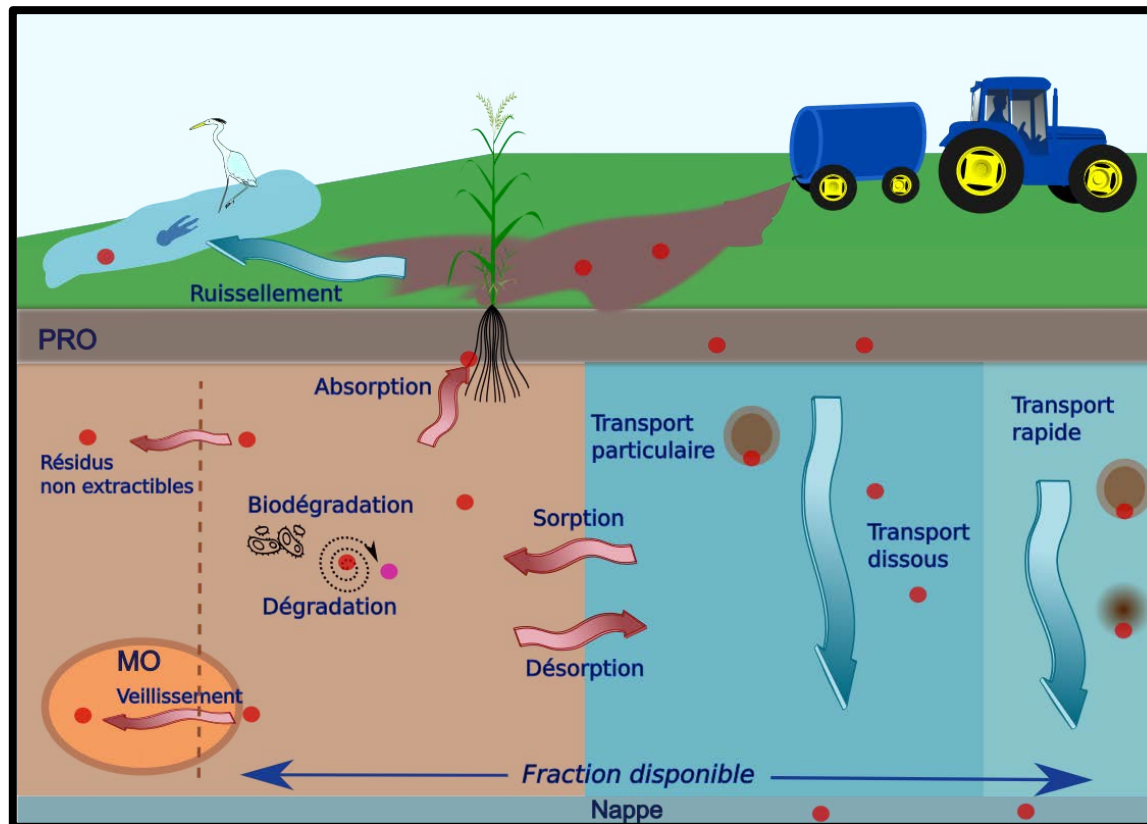
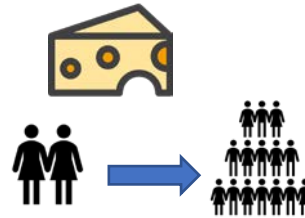
Quel est le devenir des résidus pharmaceutiques et des biocides dans les sols après épandage ?

Contexte : projet Telesphore

Objectifs : Evaluer la contamination éventuelle par les résidus pharmaceutiques et les biocides des sols et des eaux souterraines due aux épandages agricoles de boues de STEP et de lisiers (PRO).

Site pilote en Haute Savoie

- ❖ Région de production laitière : reblochon
- ❖ Augmentation de la population
> augmentation des capacités des STEP



- Colloïdes et MO dissoute
- Particules
- Résidus pharmaceutiques et biocides

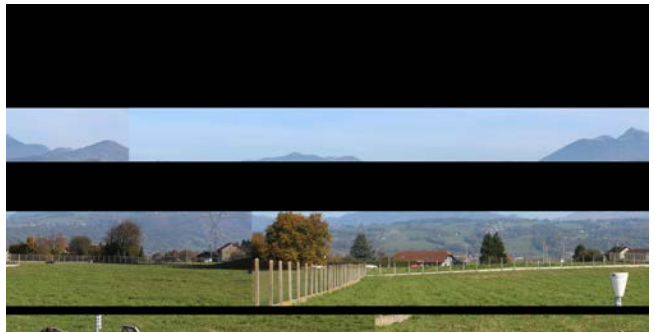
Méthodologie : trois échelles expérimentales

Etude préliminaire et revue bibliographique

Sélection de PRO (boues et lisiers)
Liste de composés à suivre

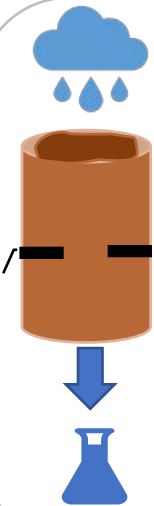
Sélection de composés selon critères environnementaux (Kow, Koc, DT50, EC50, BCF, H)

Lysimètres *in situ*



- ❖ Conditions réelles, pratiques locales
- ❖ PRO locaux (lisiers, boues STEP)

Colonnes de sol en laboratoire



- ❖ Conditions contrôlées
- ❖ Dopage de boues / lisiers

Essai de sorption en batches

Comparaison de données
Estimation de paramètres

Estimation de paramètres

Modélisation – écoulement et transport réactif

Méthodologie : trois échelles expérimentales

Sélection de PRO
(boues et lisiers)
Liste de composés à suivre

Lysimètres in situ

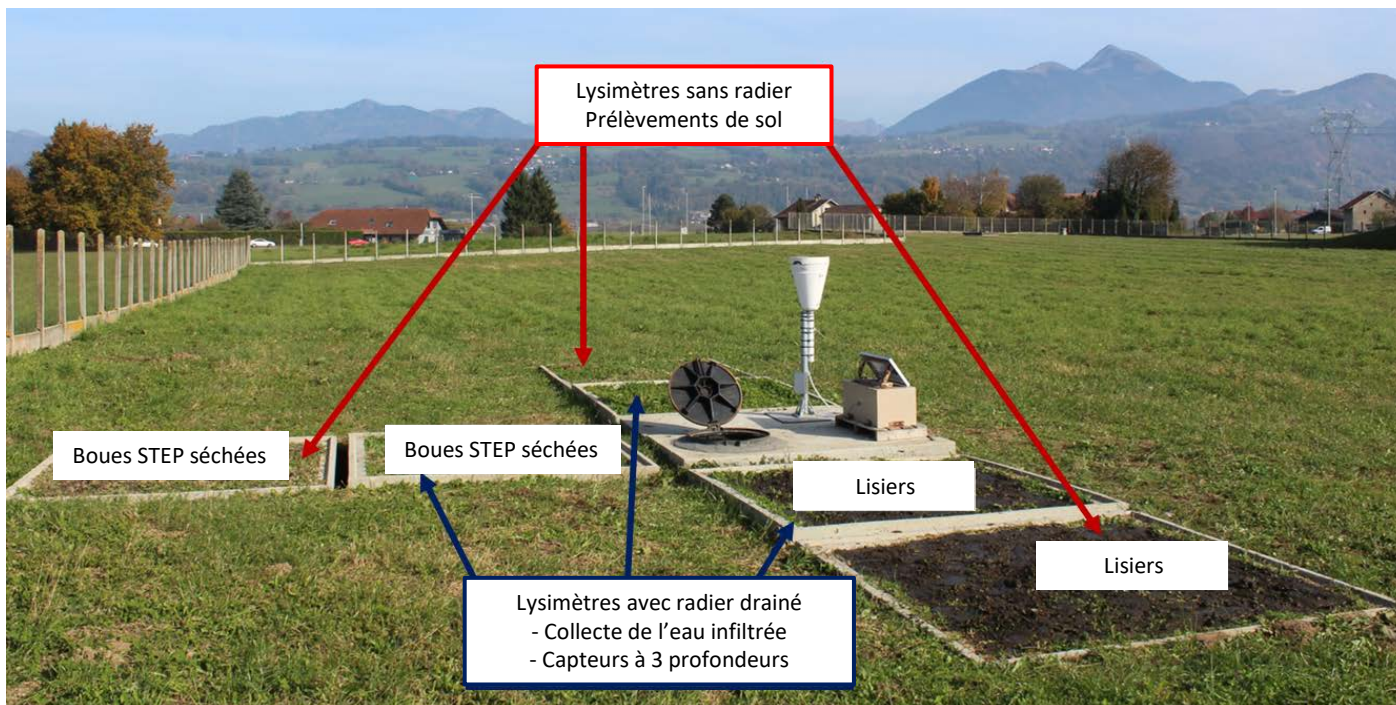


- ❖ Conditions réelles, pratiques locales
- ❖ PRO locaux (lisiers, boues STEP)

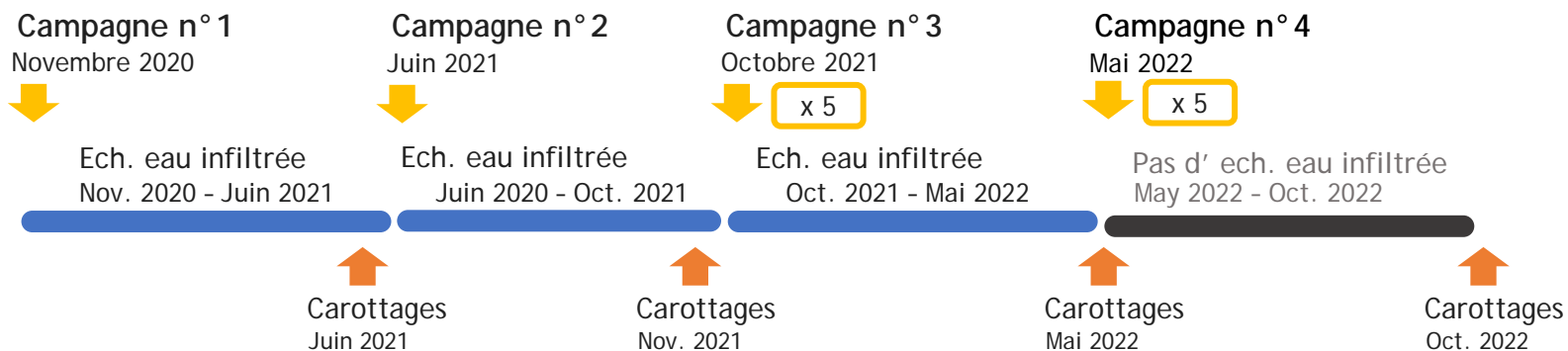


Aujourd'hui

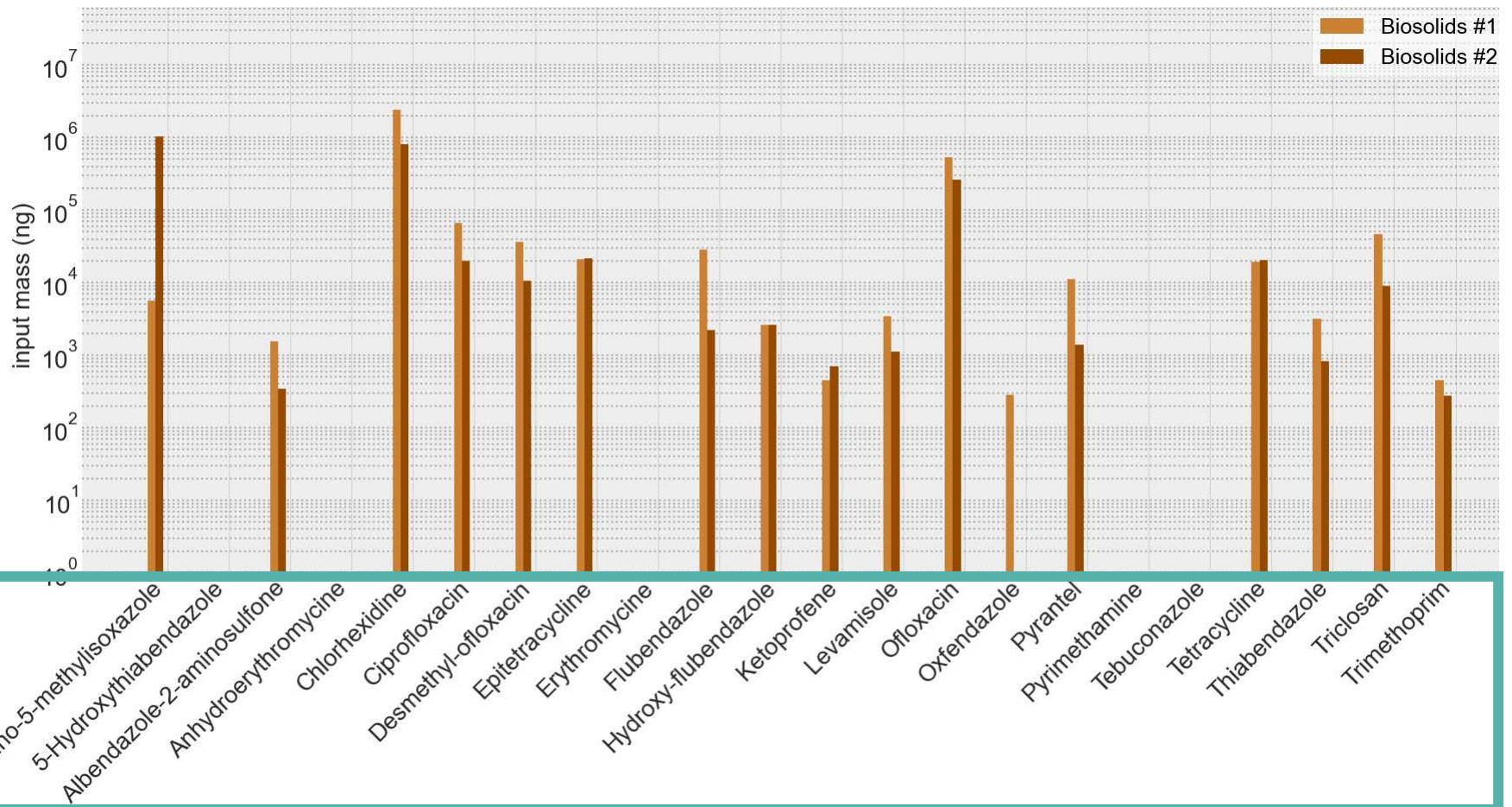
Lysimètres *in situ*



Mesurages de la température et de teneur en eau du sol à 3 profondeurs,
mesurage des précipitations, collecte des volumes infiltrés



Résultats : masse épanchée – boues STEP

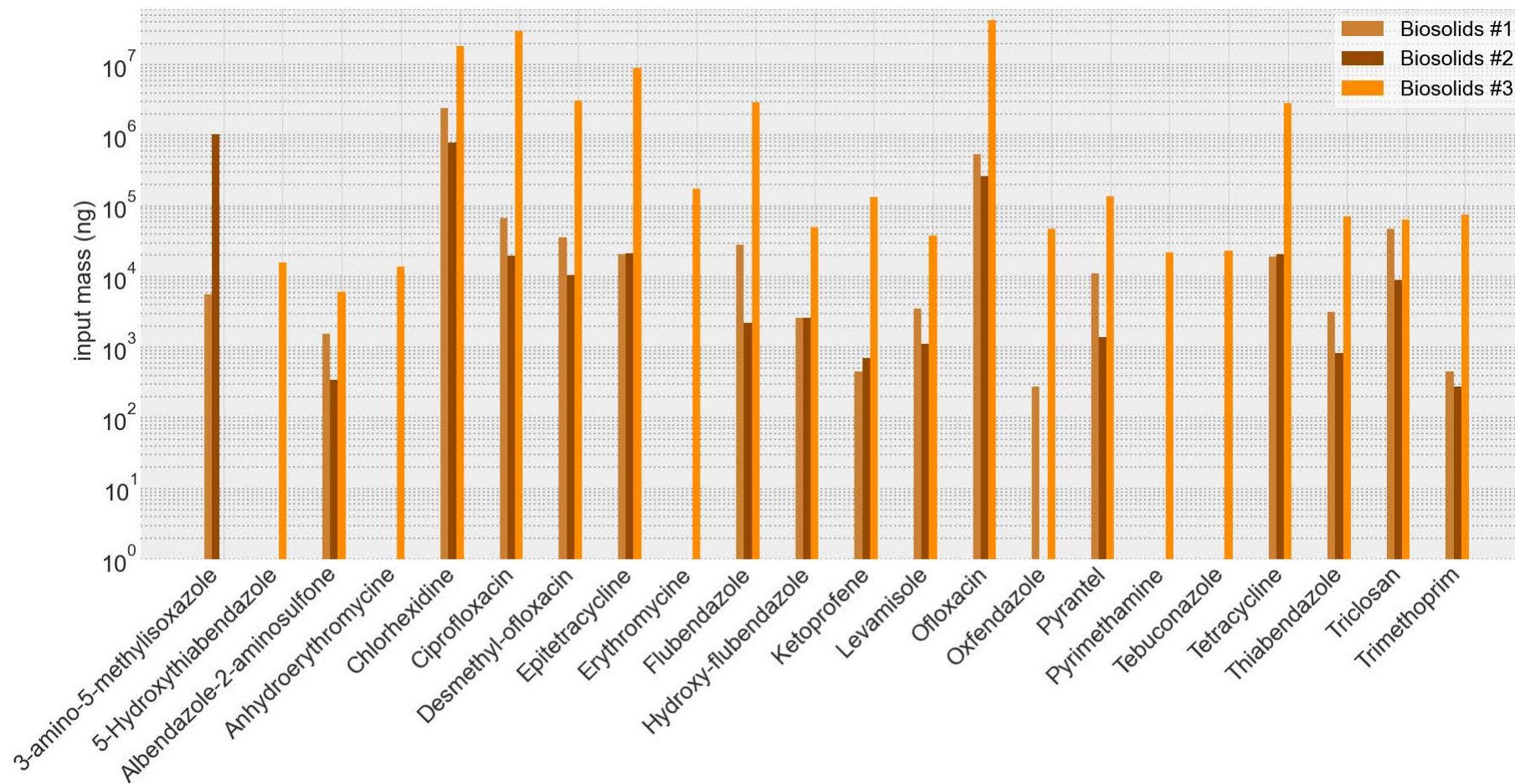


→ Seulement 23/33 composés détectés

→ Concentrations très variables pour les boues d'une même STEP

→ Moindres concentrations et moindre diversité des composés dans le lisier

Résultats : masse épanchée – boues STEP

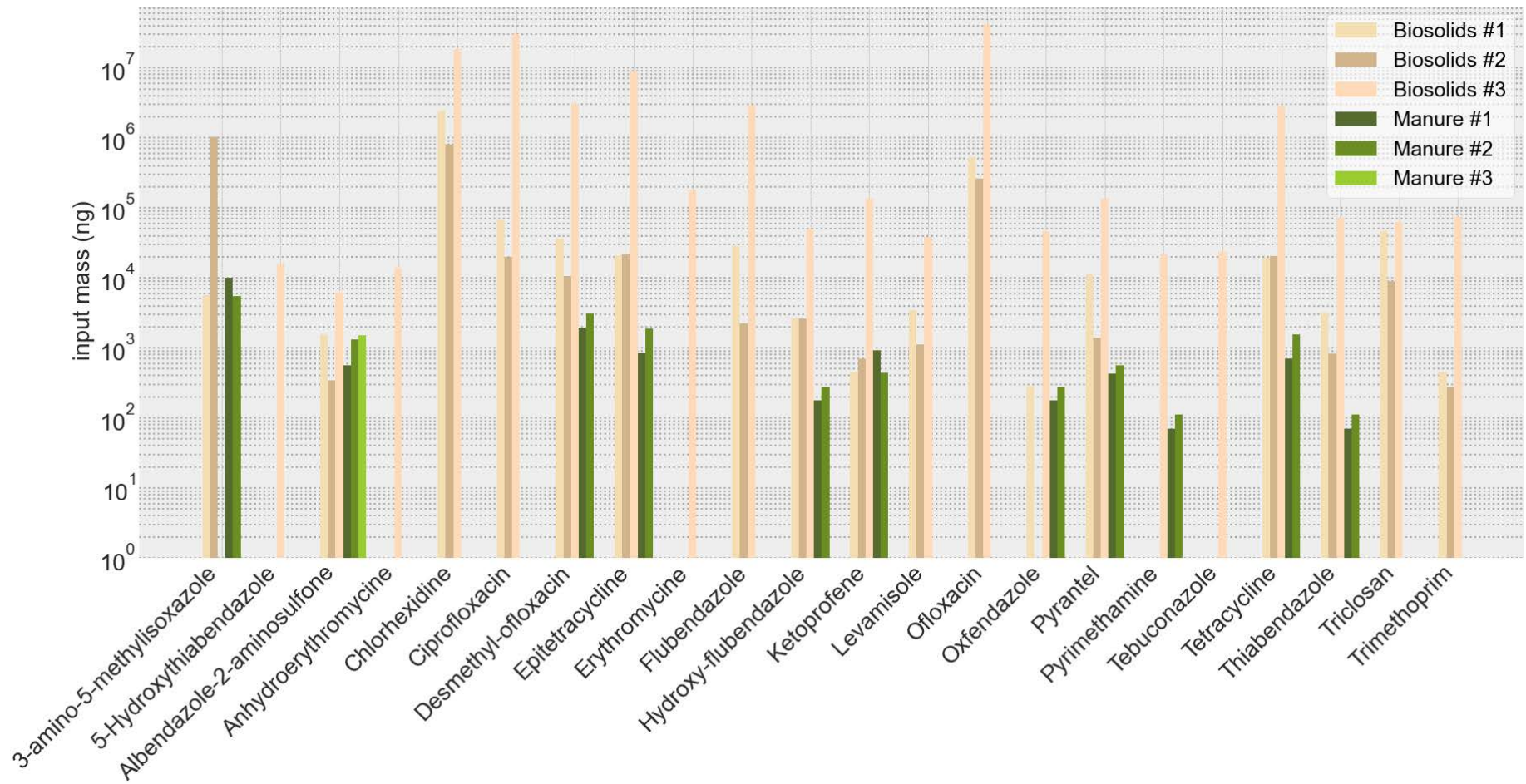


→ Seulement 23/33 composés détectés

→ Concentrations très variables pour les boues d'une même STEP

→ Moindres concentrations et moindre diversité des composés dans le lisier

Résultats : masse épandue – boues STEP & lisiers



→ Seulement 23/33 composés détectés

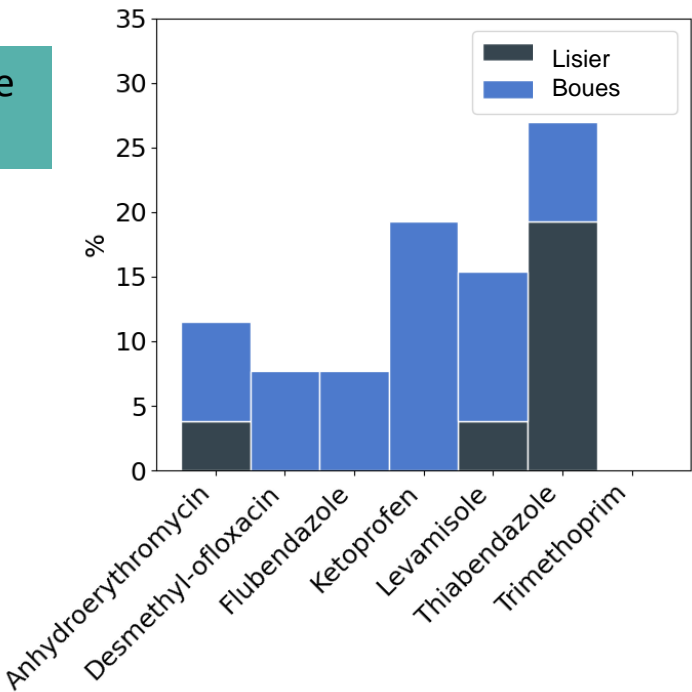
→ Concentrations très variables pour les boues d'une même STEP

→ Moindres concentrations et moindre diversité des composés dans le lisier

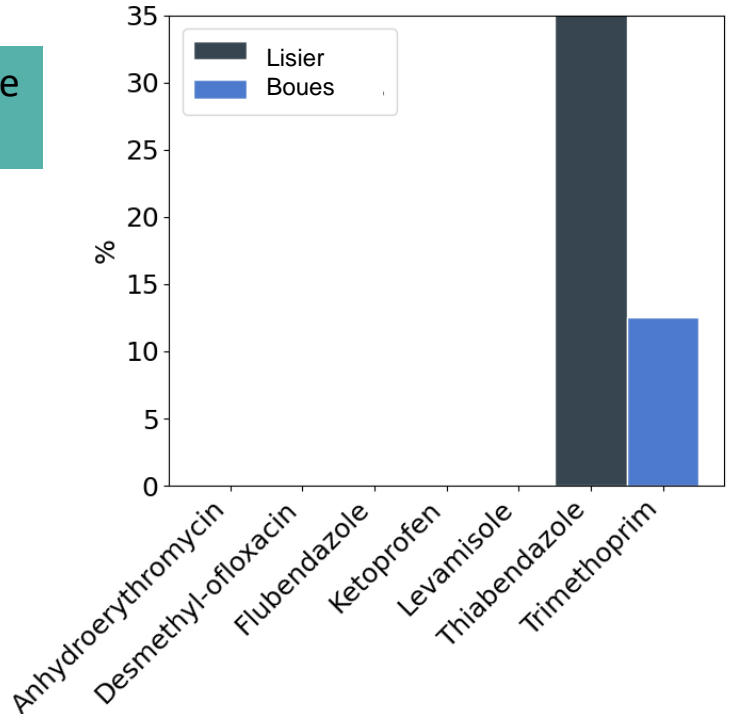
Résultats : lixiviation des composés

Fréquence de détection (%) dans les eaux infiltrées

Campagne n°1



Campagne n°2



Faibles concentrations

Thiabendazole, levamisole, anhydroerythromycine, flubendazole	< 1 ng/L
Ketoprofen, desmethyl-ofloxacin	< 100 ng/L
Trimethoprim	~ 100 ng/L



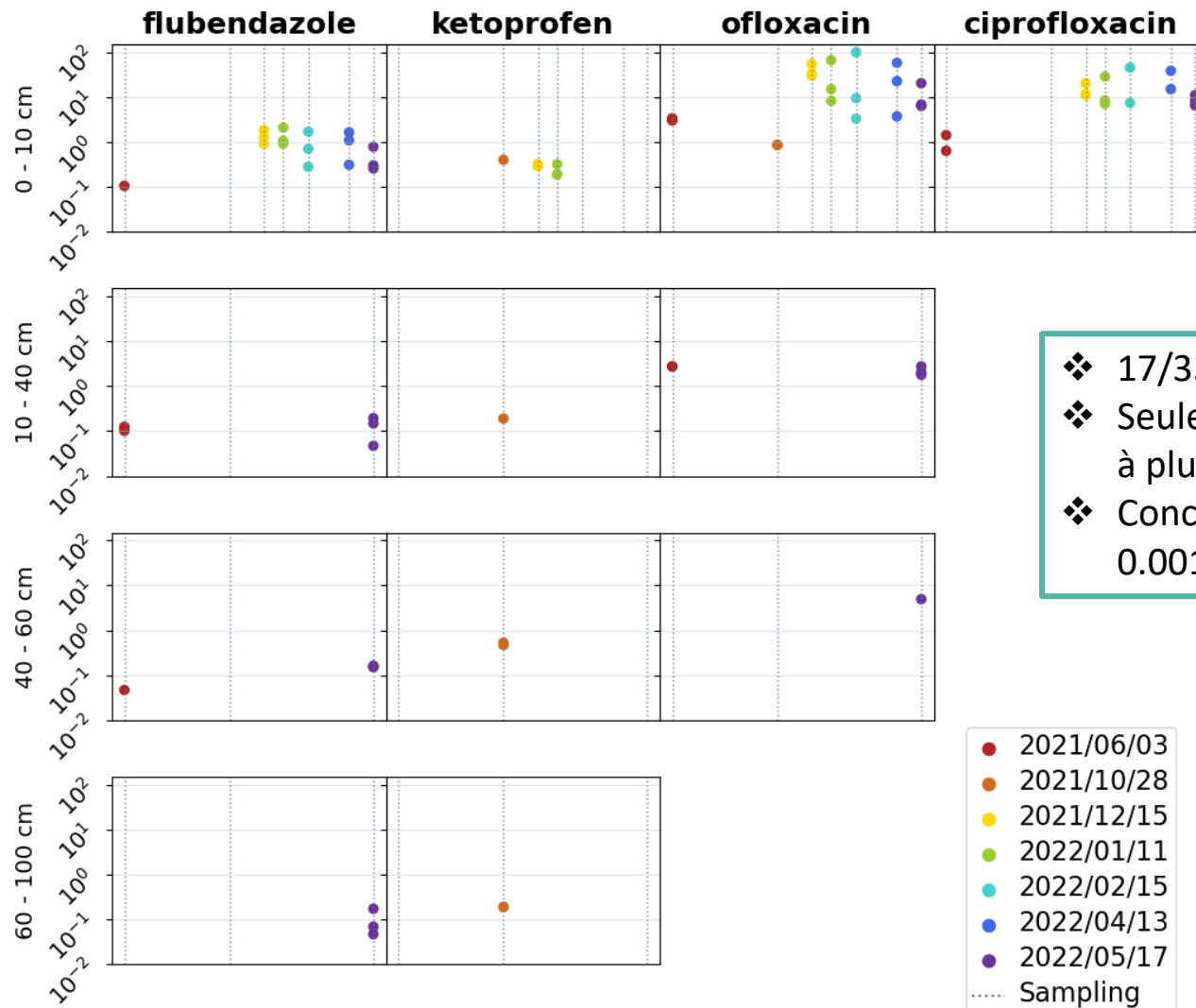
Desmethyl-ofloxacine (métabolite ofloxacine) → mobile
 ≠
 Ofloxacine → peu mobile



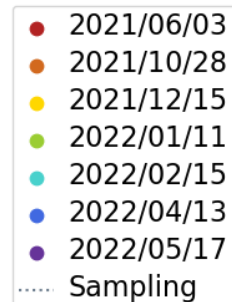
Transfert moindre pour la campagne n°2
 → Temps sec, davantage d'évapotranspiration
 → Susceptible d'augmenter la dissipation
 [Merthens et al 2020]

Résultats : concentrations dans le sol

Concentrations dans le sol (ng/g MS) après épandage de boues STEP

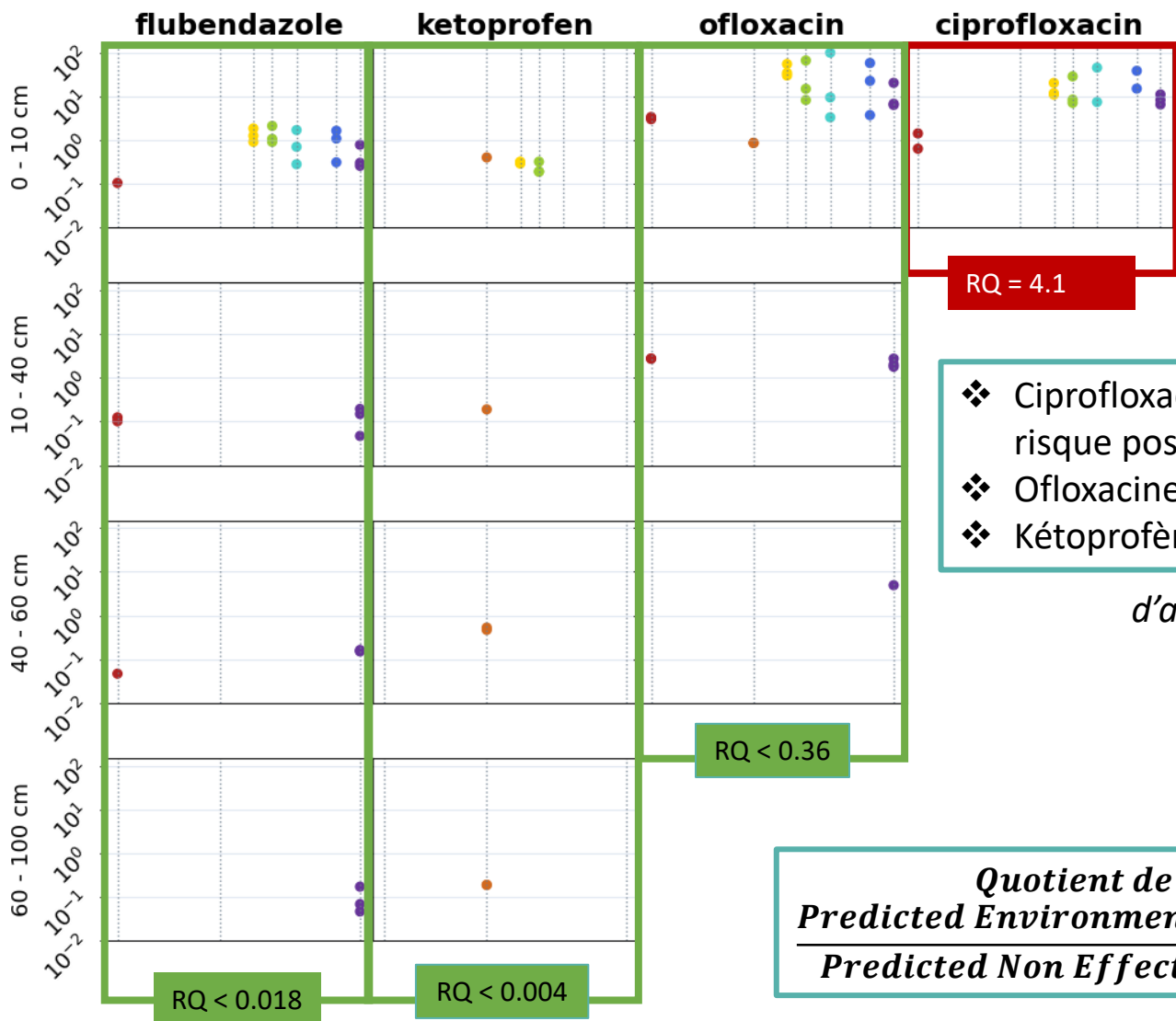


- ❖ 17/33 composés détectés
- ❖ Seulement 7/33 composés détectés à plus de 10 cm de profondeur
- ❖ Concentrations faibles : 0.001 – 100 ng/g MS



Résultats : concentrations dans le sol

Concentrations dans le sol (ng/g MS) après épandage de boues STEP



- ❖ Ciprofloxacine : risque possible pour les organismes du sol
- ❖ Ofloxacine : plus mobile qu'attendu
- ❖ Kétoprofène : plus persistant qu'attendu

d'après la bibliographie

$$\text{Quotient de risque (RQ)} = \frac{\text{Predicted Environmental Concentration (PEC)}}{\text{Predicted Non Effect Concentration (PNEC)}}$$

Conclusions lysimètres

Les expérimentations sur lysimètres ont reproduit les processus de transfert et de devenir des résidus pharmaceutiques et biocides en conditions réelles puis augmentées

❖ **Les transferts de résidus pharmaceutiques et biocides observés vers les sols et les eaux souterraines sont faibles**

❖ **La plupart des composés sont retenus dans la première dizaine de cm du sol**

Comprendre et quantifier les mécanismes reste difficile à ces faibles concentrations



Expérimentations en colonnes et en batch en conditions contrôlées, épandages dopés avec une sélection de 4 composés

❖ **Concentrations très variables spatialement dans les lysimètres**

Sur la base des premiers résultats, établir les bilans de masse sera difficile



Etape finale : étude de l'hétérogénéité des concentrations dans le sol des lysimètres (à l'autopsie)

Expérimentations sur colonnes de sol en labo

Objectif : simuler les processus des lysimètres *in situ* en conditions contrôlées

- colonnes de laboratoire avec sol du site expérimental
- apports connus et **dopés** en composés pharmaceutiques et biocides
- pluviométrie artificielle accélérée
- absence de végétation

Sélection de **4 composés aux propriétés différentes** :

- Ofloxacine
(antibiotique, groupe des fluoroquinolones)
- Flubendazole et hydroxyflubendazole
(antihelminthique, humain et véto)
- Lévamisole
(prophylaxie & traitement véto, affections gastro-intestinales + pulmonaires)
- Pyrantel
(antihelminthique, surtout véto)

60 000 ng/g MS

10 000 ng/g MS

10 000 ng/g MS

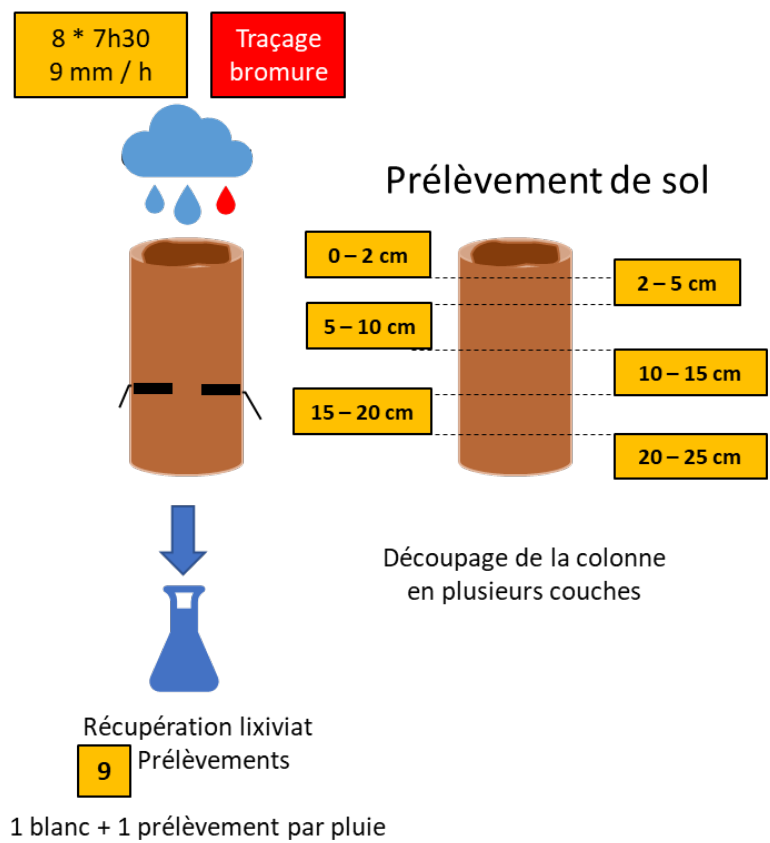
80 000 ng/g MS

et de **3 métabolites** :

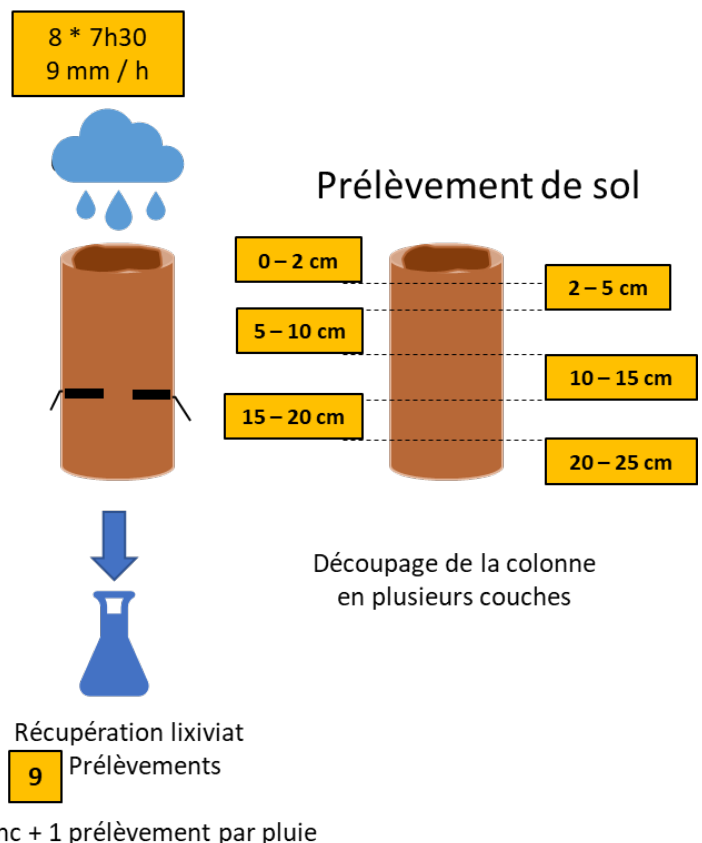
- Desmethyl-ofloxacine
- Hydroxy-flubendazole
- Hydroxy-lévamisole

Expérimentations sur colonnes de sol en labo

Essais sur colonnes 1 Lisier

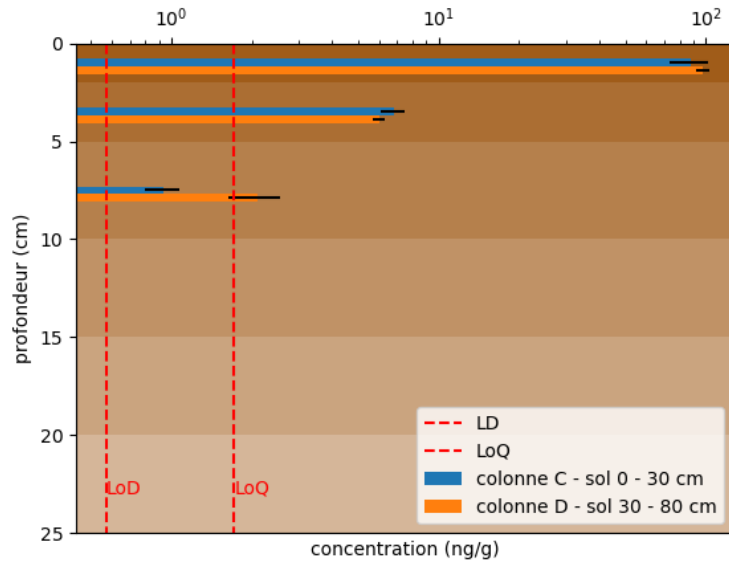


Essais sur colonnes 2 Boues



Expérimentations sur colonnes de sol en labo

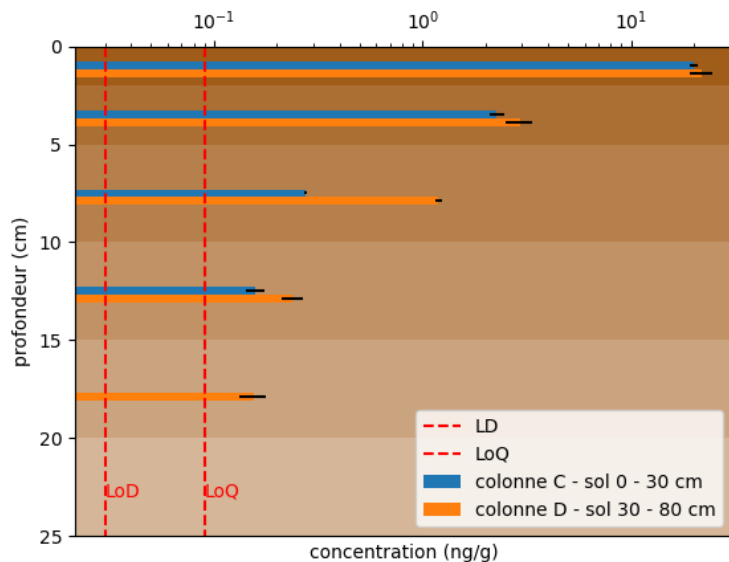
Ofloxacine



Fraction sorbée

Colonne C	Colonne D
FLU 30.7 %	FLU 38.04 %
LEV 12.6 %	LEV 15.31 %
OFL 22.9 %	OFL 25.6 %
PYR 49.2 %	PYR 54.0 %

Flubendazole



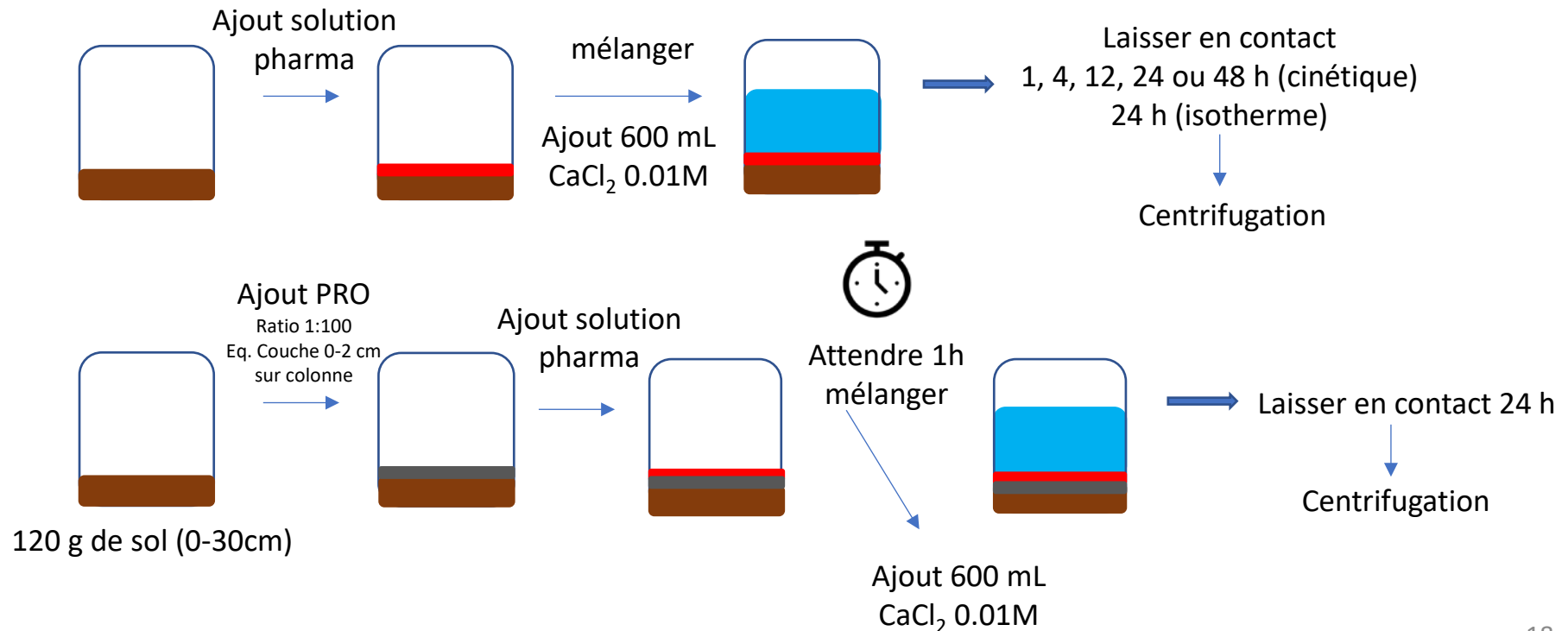
- ❖ Détection de desmethyl-OFL et d'hydroxy-FLU dans la couche 0 – 2 cm
- ❖ Pas de composés détectés dans les lixiviats

Expérimentations en batch

Objectif : déterminer les cinétiques de sorption de 4 composés sur le sol des lysimètres

Sélection de **4 composés aux propriétés différentes** :

- ❖ Ofloxacin (antibiotique, groupe des fluoroquinolones)
- ❖ Lévamisole (prophylaxie et traitement véto, affections gastro-intestinales + pulmonaires)
- ❖ Pyrantel (antihelminthique, surtout véto)
- ❖ Flubendazole et hydroxyflubendazole (antihelminthique, humain et véto)



Expérimentations en batch

Modalités testées

2 sols : 0 – 30 cm et 30 – 80 cm

2 sols + lisier

2 sols + boues

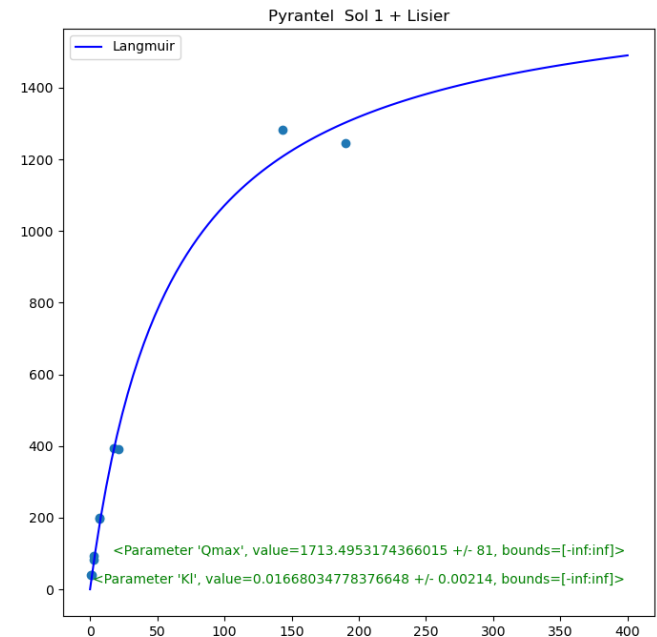
5 niveaux de concentrations

Coefficient $K_d = C_{\text{solide}} / C_{\text{liquide}}$

Kd (cm ³ /g)	FLU	LEV	OFL	PYR
Sol 1	114.58	7.44	553.86	5.19
Sol 2	49.81	6.87	1311.03	6.96
Sol 1 + lisier		10.48	622.93	7.62
Sol 2 + lisier	122.44	15.74	466.99	9.15
Sol 1 + boues	141.96	9.80	609.42	6.30
Sol 2 + boues	263.68	10.72	1761.56	6.97

Capacités de sorption

LEV ~ PYR < FLU < OFL



Conclusions colonnes + batch

- ❖ Aide à la compréhension des processus et phénomènes en conditions contrôlées
- ❖ Obtention de valeurs de certains paramètres physico-chimiques (sorption, isothermes)
- ❖ Comparaison avec les expérimentations sur les lysimètres



Utilisation de ces résultats pour la modélisation des écoulements et transferts réactifs

- ❖ **En attente des résultats des campagnes sur lysimètres et sur colonnes (Février 2023)**
- ❖ **« Autopsie » des lysimètres**
- ❖ **Modélisation des écoulements et des transferts réactifs avec Hydrus**
 - **Pour les expérimentations sur colonnes**
 - **Essai de changement d'échelle et de conditions expérimentales pour les lysimètres**



Fin du projet et conclusions finales : 2° semestre 2023

Merci pour votre attention