

CONTRIBUTION BIOGEOCHIMIQUE A LA THEORIE DE LA BIODISPONIBILITE DES ELEMENTS NUTRITIFS ET DES CONTAMINANTS DU SOL POUR L'EVALUATION AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES AGROECOSYSTEMES

Réflexion **épistémologique** et **hétérodoxe** sur une démarche scientifique

Matthieu N. BRAVIN

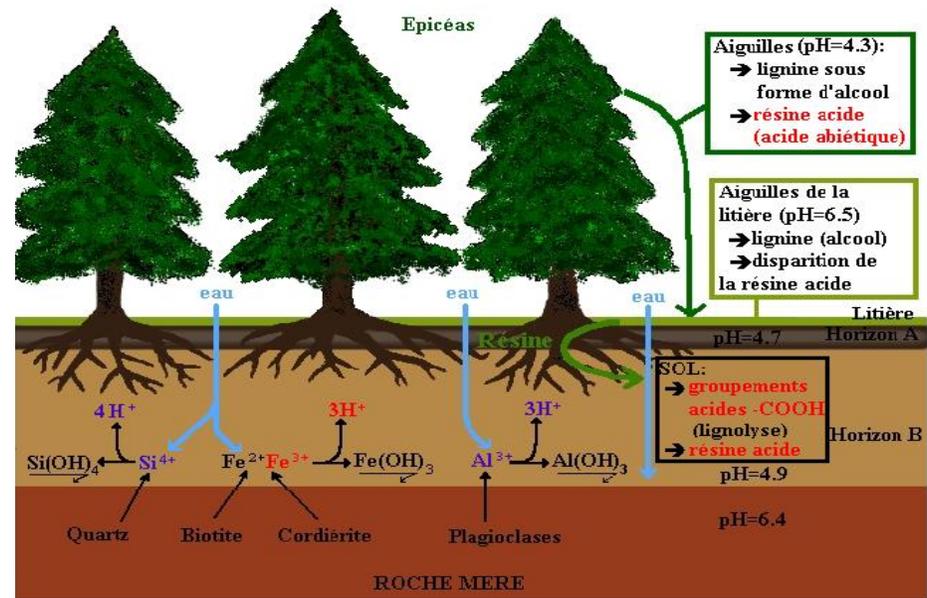
UR

Recyclage
et risque

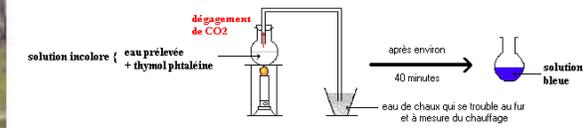
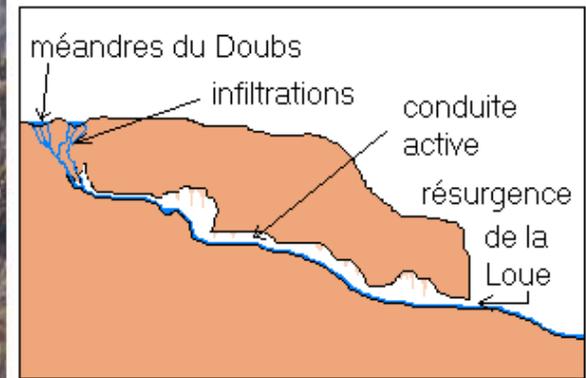
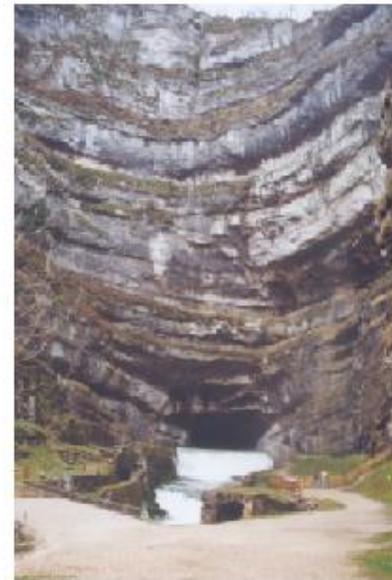
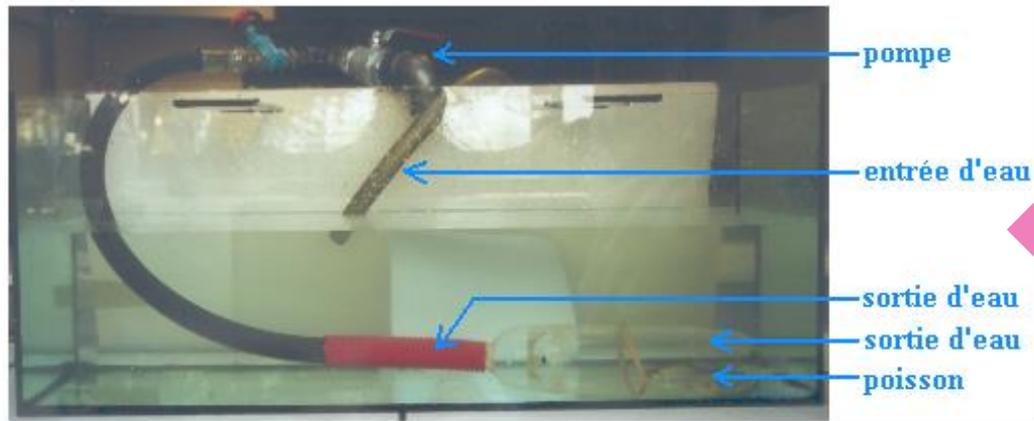


Biodiversité
Agriculture
Alimentation
Environnement
Terre
Eau





Bravin et al. (1999, 2000 et 2001) TIPE, CPGE BCPST



Expérience de mise en évidence des ions carbonates

CONTRIBUTION BIOGEOCHIMIQUE A LA THEORIE DE LA BIODISPONIBILITE DES ELEMENTS NUTRITIFS ET DES CONTAMINANTS DU SOL POUR L'EVALUATION AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES AGROECOSYSTEMES

Réflexion **épistémologique** et **hétérodoxe** sur une démarche scientifique

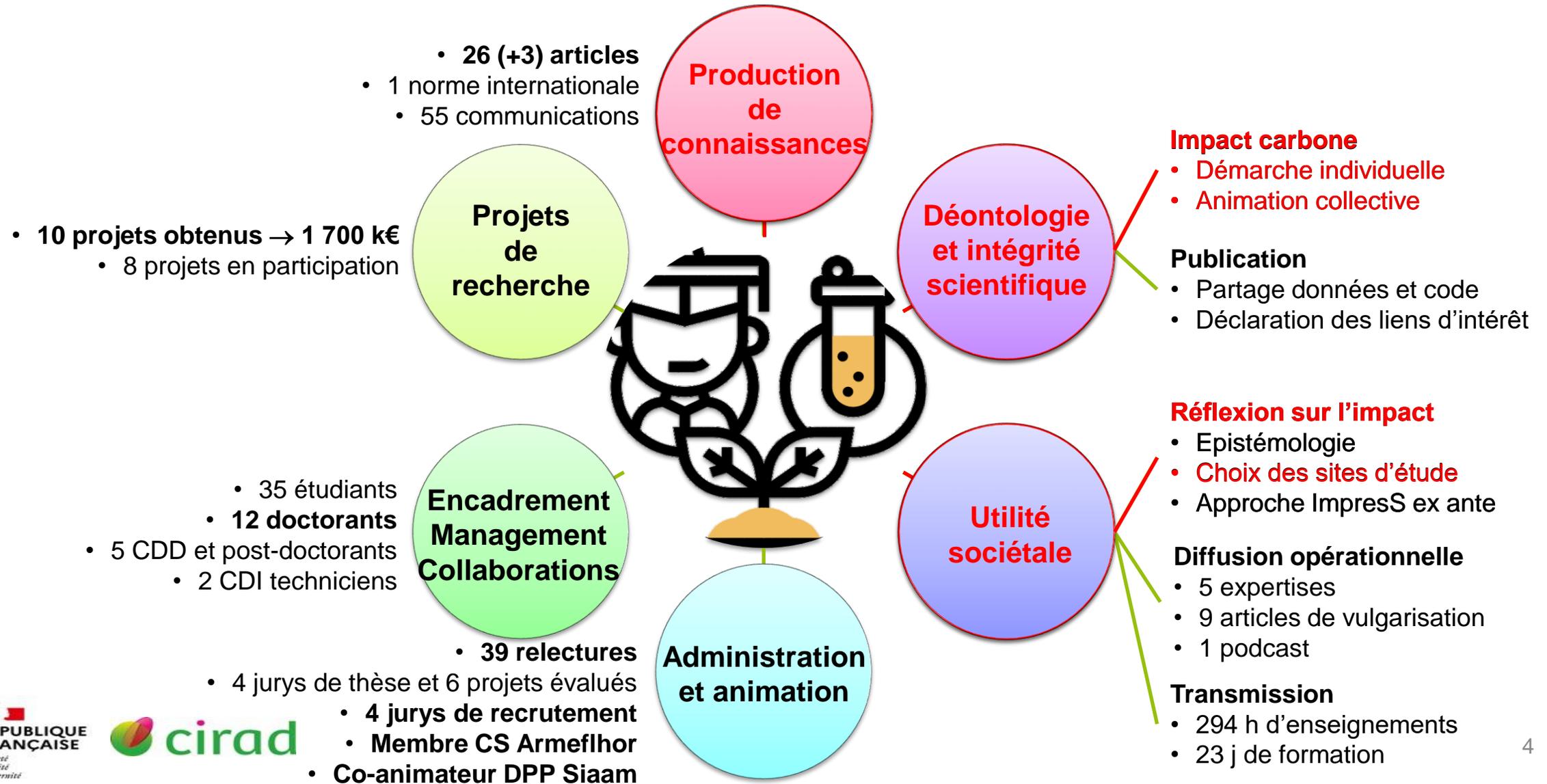
Matthieu N. BRAVIN

UR

Recyclage
et risque



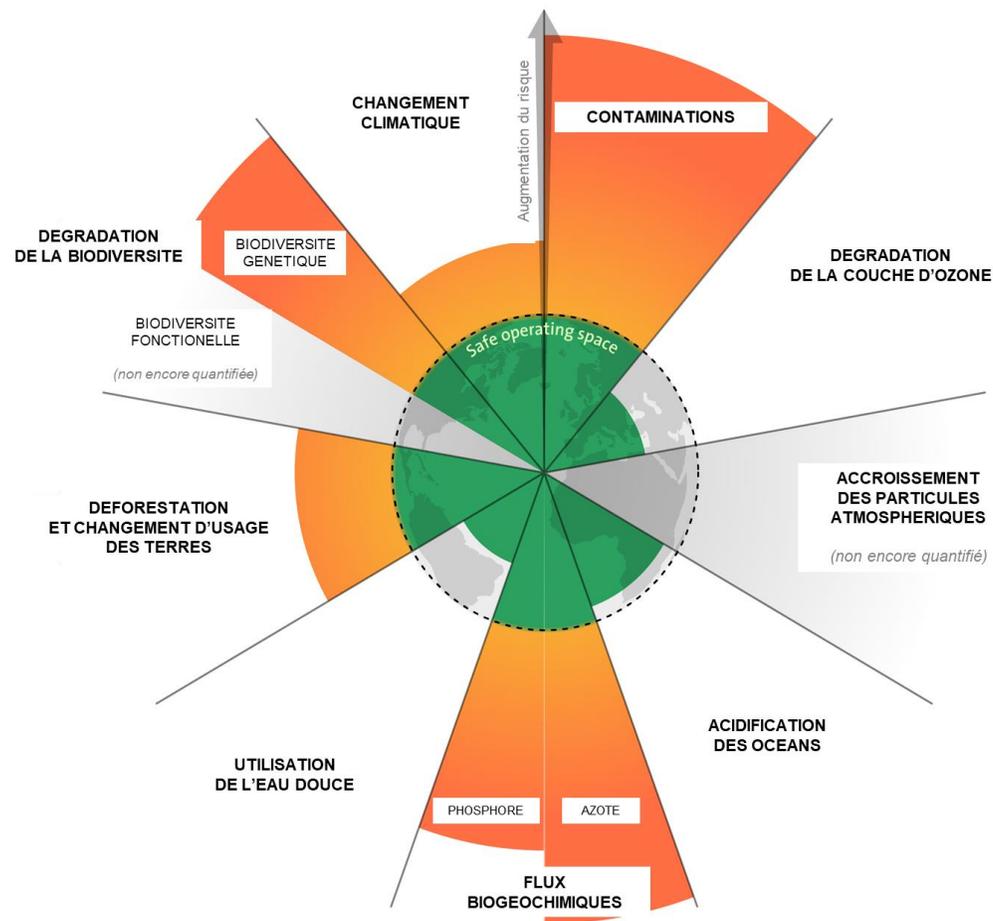
Dimensions du métier de chercheur



Partie 1. Production de connaissances scientifiques originales

Des déterminants biogéochimiques
de la biodisponibilité des contaminants du sol
à l'évaluation environnementale des agroécosystèmes

Une limite planétaire dépassée ?



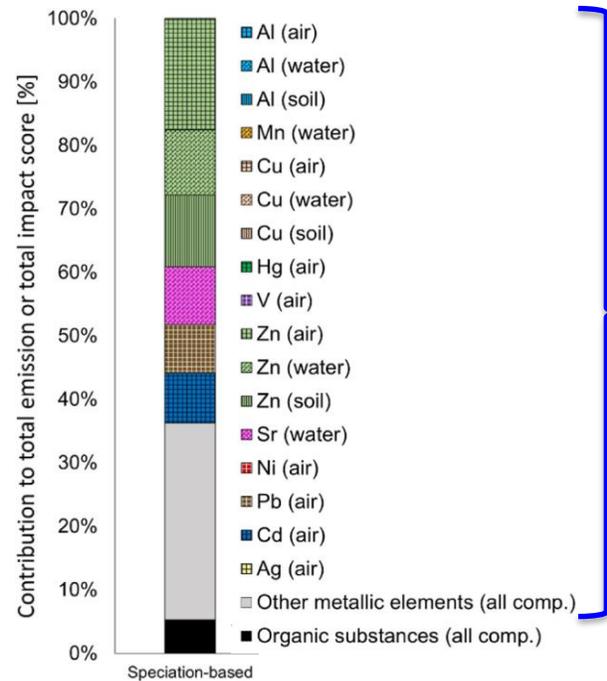
- **> 350 000 substances** produites et utilisées dans le monde

- **< 10% substances** dont le devenir et l'impact ont été étudiés

⇒ ↗ connaissances et capacité d'évaluation des risques environnementaux

Impact prédominant des éléments traces

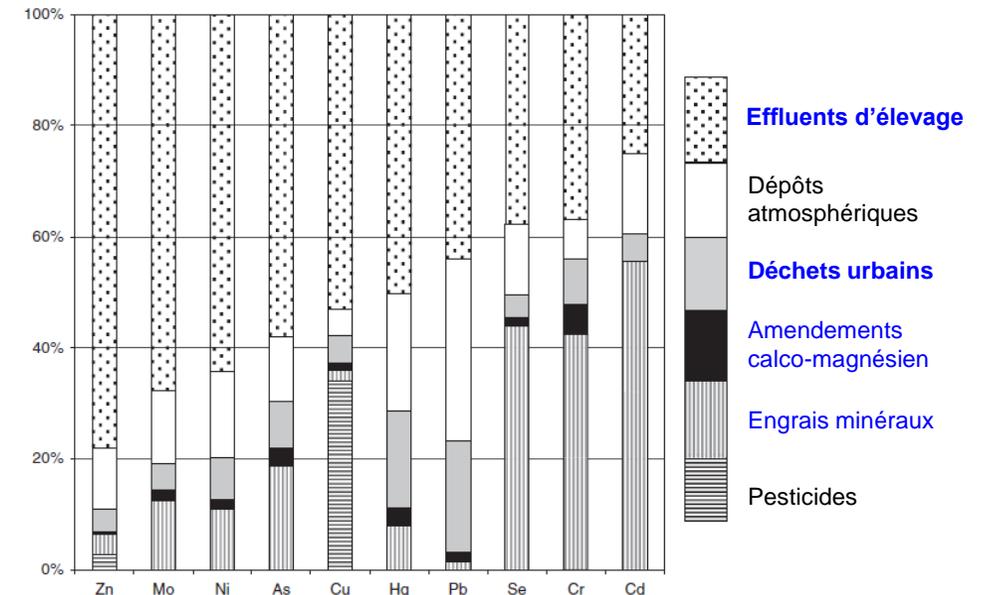
- **Impact écotoxicologique des contaminants du sol en Analyse du Cycle de Vie**



Eléments traces
présence naturelle
 $\leq 100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sol}$

Sydow et al. 2020. *J. Environ. Manage.*, 266, 110611

- **Contaminants majoritaires des sols agricoles en lien avec pratiques de fertilisation**

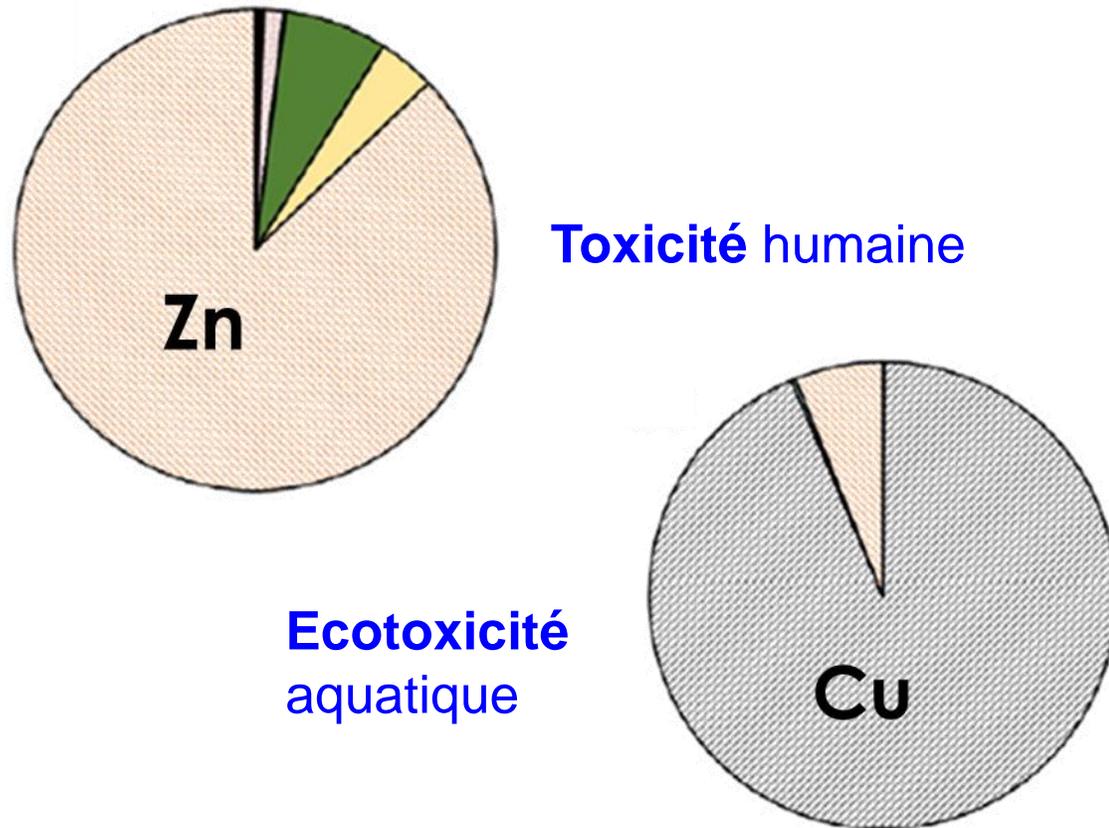


Zn > **Cu** >> Cr > Pb > Ni > As >> Mo > Se > Cd > Hg
500 g ha⁻¹ an⁻¹ 0,5

Belon et al. 2012. *Sci. Tot. Environ.*, 439, 87-95

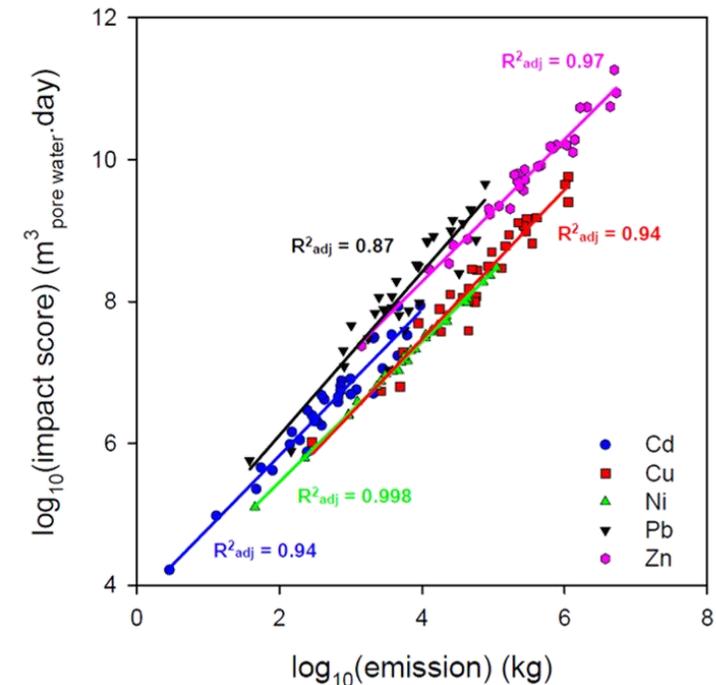
Impacts éco-toxicologiques liés au Mafor

- Impact prédominant de **Cu** et **Zn**

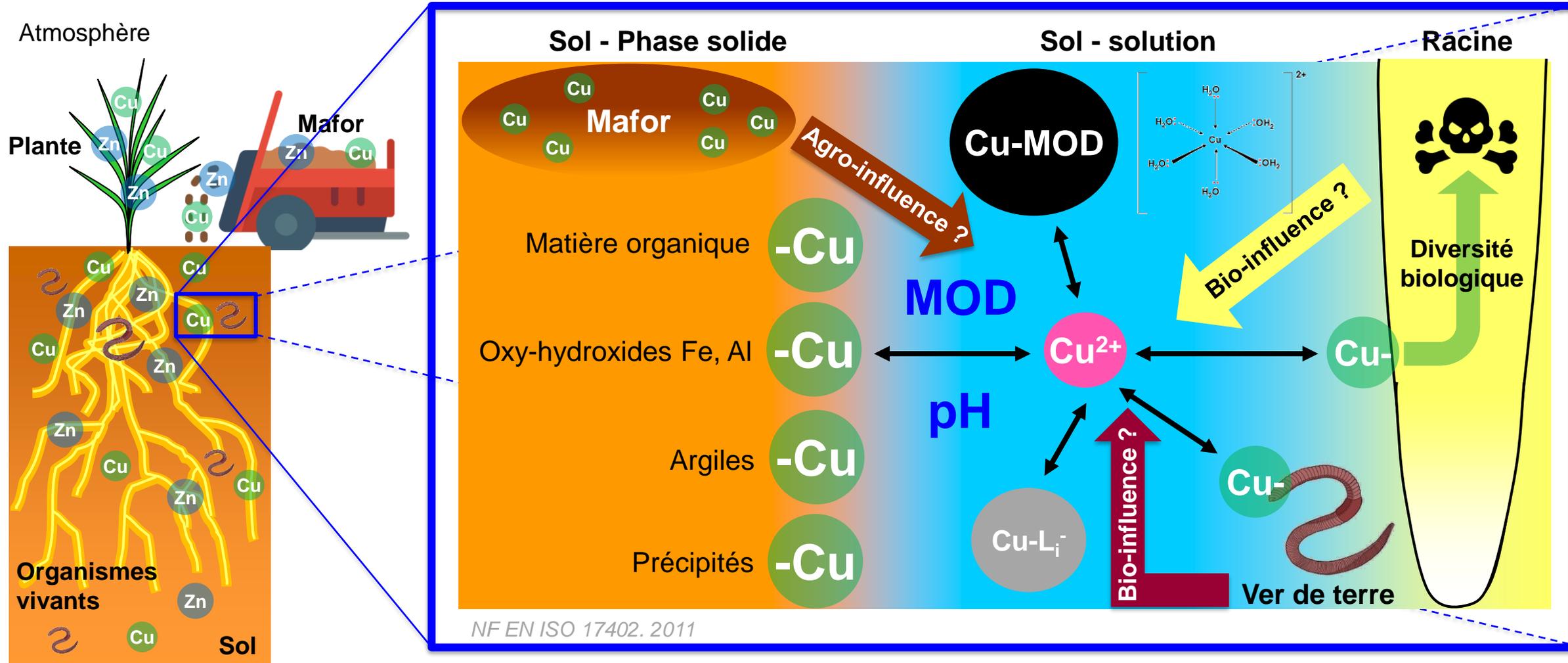


- Impact déterminé par la **quantité d'éléments traces** apportés

Ecotoxicité terrestre



Désaccord avec la théorie de la biodisponibilité



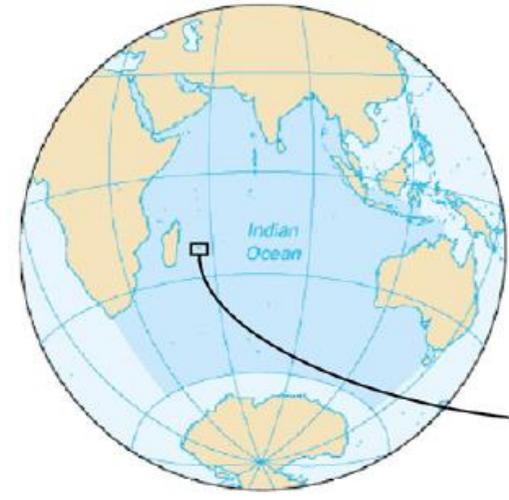
- ⇒ Elucider les principaux déterminants biogéochimiques
- ⇒ Considérer leur intégration dans les méthodes d'évaluation

Mécanismes biogéochimiques

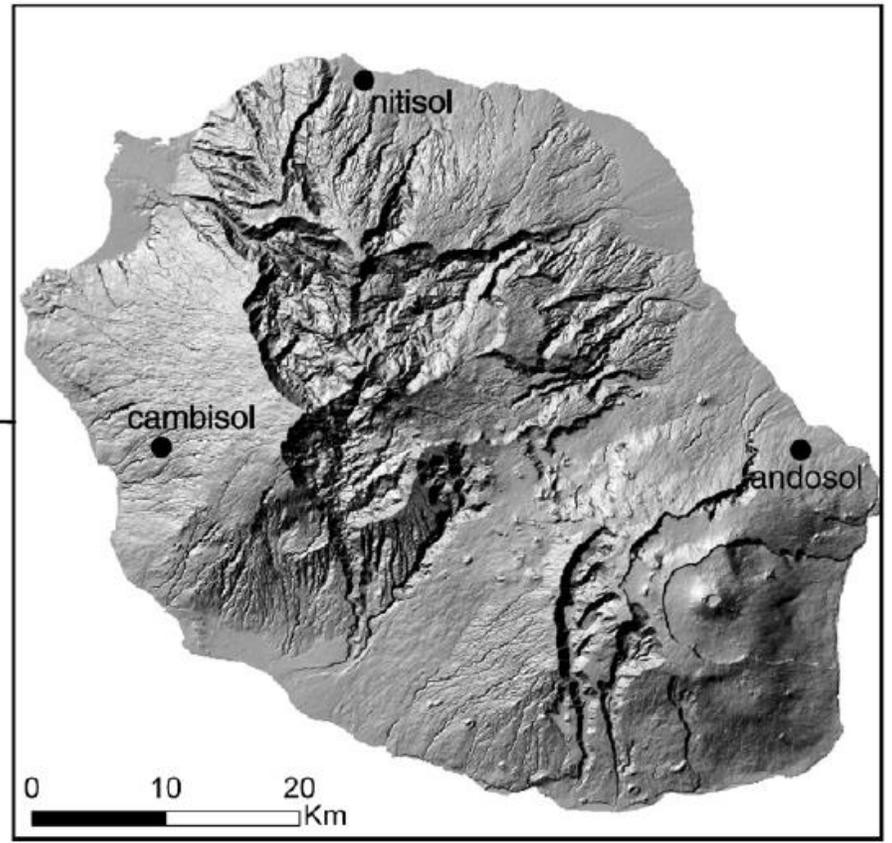
Sites de terrain à La Réunion

- Essais
- Essais

E. Doelsch, Cirad ©



Doelsch et al. 2010. Geoderma, 155, 390-400



Evaluation environnementale

Rhizotest

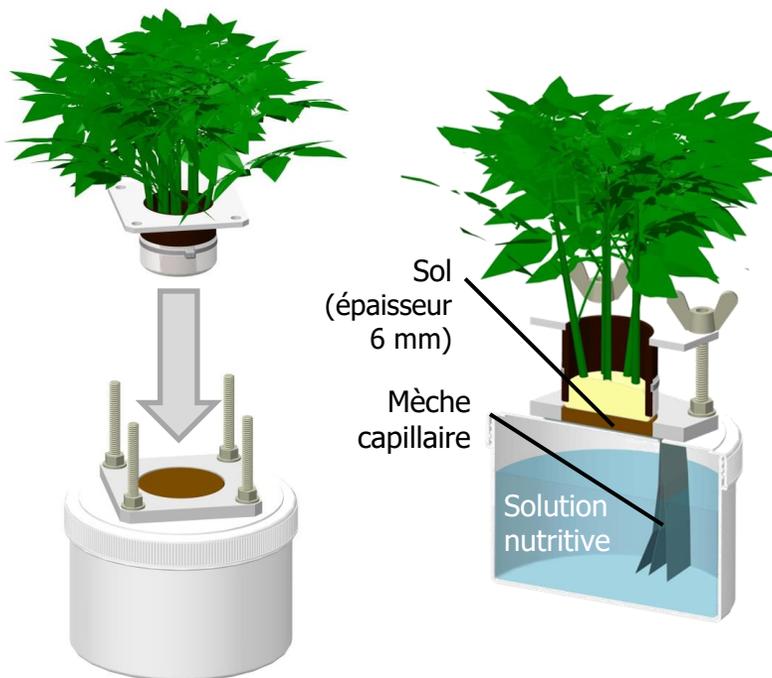
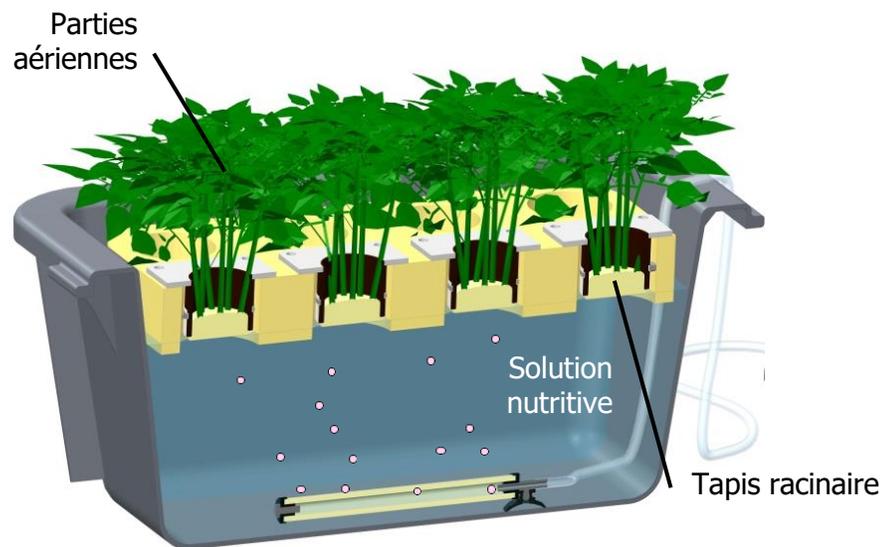


■ Une approche aux multiples facettes

1 **Préculture**
en hydroponie – 14 jours



2 **Exposition**
Contact sol-plantes – 8 jours



ISSN 0335-3931
norme française **NF EN ISO 16198**
28 Février 2015
Indice de classement : X 31-616
ICS : 13.080.30

Qualité du sol — Test végétal pour l'évaluation de la biodisponibilité environnementale des éléments traces pour les végétaux

E : Soil quality — Plant-based test to assess the environmental bioavailability of trace elements to plants
D : Bodenbeschaffenheit — Pflanzenbasierter Test zur Beurteilung der umweltrelevanten Bioverfügbarkeit von Spurenelementen für Pflanzen

Norme française homologuée
par décision du Directeur Général d'AFNOR.

Correspondance La Norme européenne EN ISO 16198:2015 a le statut d'une norme française et reproduit intégralement la Norme internationale ISO 16198:2015.

Résumé
Le présent document spécifie le test végétal, ci-après dénommé «biotest». Il permet d'estimer la biodisponibilité environnementale des éléments traces pour les végétaux, soit simplement sous la forme de concentrations dans les parties aériennes et racinaires, soit de façon plus globale sous forme de flux de prélèvement net dans les végétaux. Le mode opératoire du biotest comprend deux étapes successives : (i) une phase de pré-croissance des végétaux en hydroponie et (ii) une phase de croissance des végétaux en contact avec des échantillons de sol. La concentration dans les parties aériennes et racinaires ainsi que le flux de prélèvement d'éléments traces dans les végétaux sont déterminés à l'issue de la seconde étape du mode opératoire du biotest.

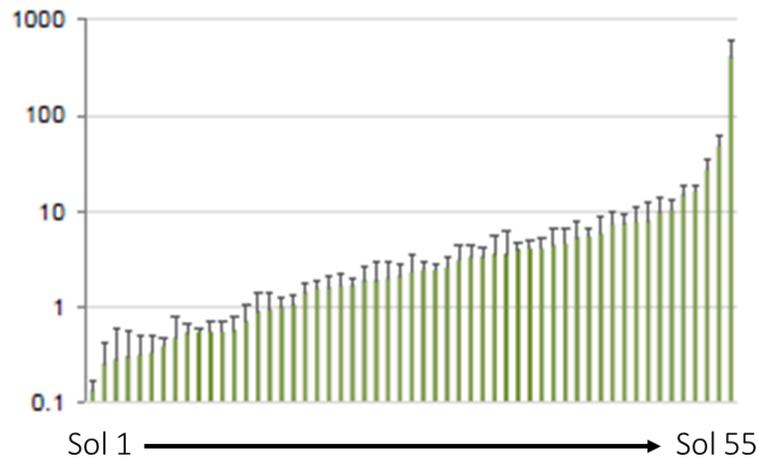
Rhizotest



■ Hiérarchie des principaux déterminants

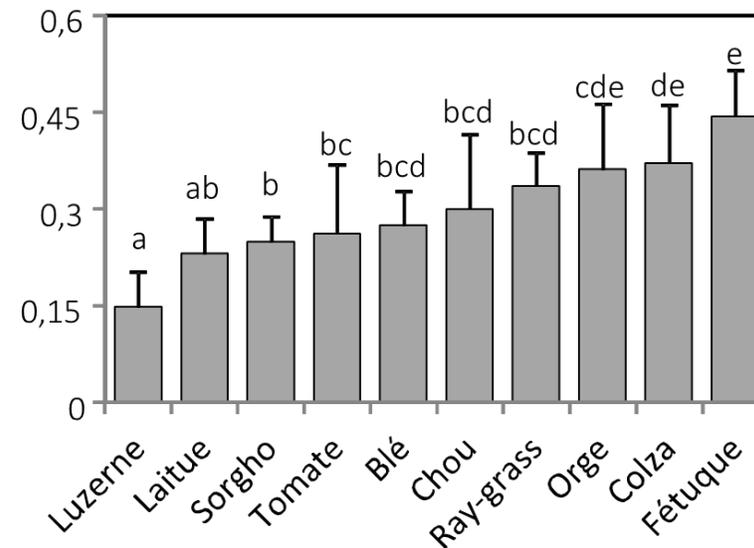
Sol

Flux de prélèvement de As, $\text{ng m}^{-2} \text{s}^{-1}$



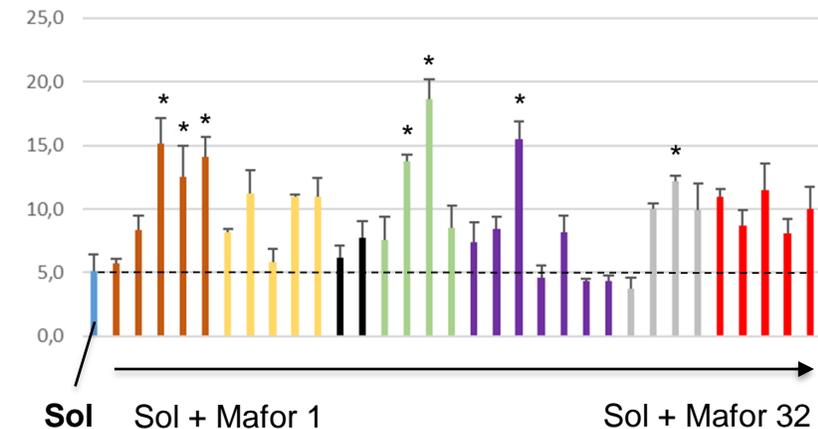
Espèce végétale

Flux de prélèvement de Cd, $\text{ng m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Mafor

Flux de prélèvement de Zn, $\text{ng m}^{-2} \text{s}^{-1}$

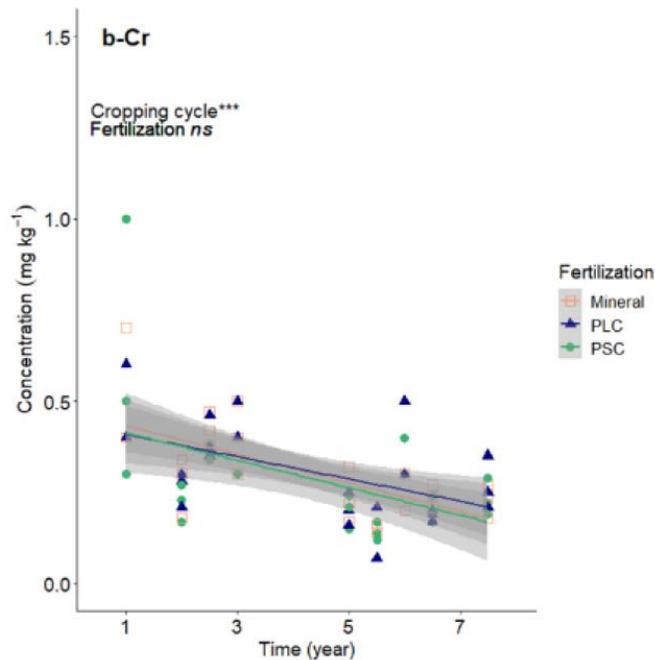


Rhizotest

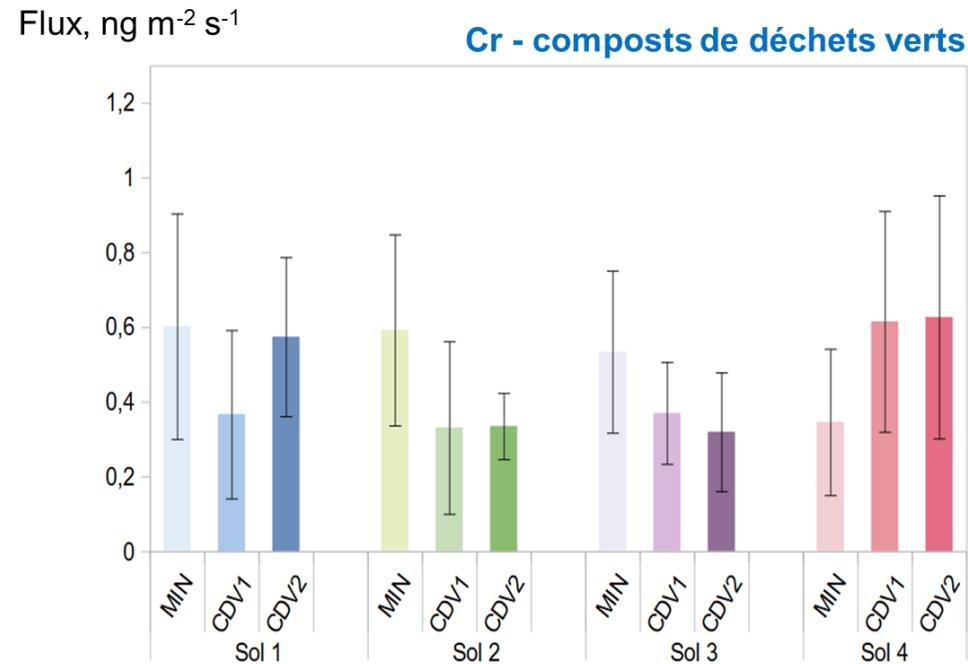


■ Complémentarité avec le terrain

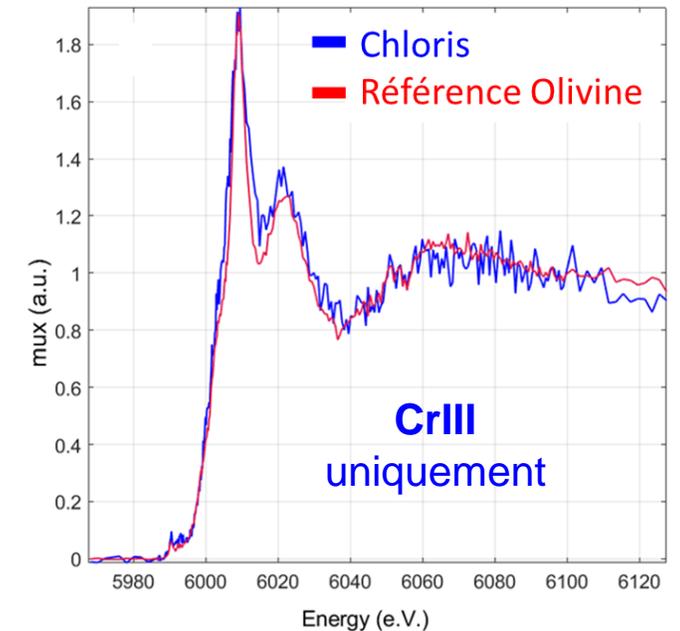
Tomate sur le terrain



Tomate en Rhizotest



Plantes au synchrotron



Rhizotest



■ Perspectives

Projet **DUNE**

Thèse **N. MASTARI** → 2027

- Cerege, Cirad, **UM6P** et **OCP**
- Phytodisponibilité **Cd engrais phosphatés**
- Sol x fertilisants x co-facteurs
- Approche **statistique**

Elargissement

aux **contaminants organiques**

- **Pharmaceutiques**
Thèse A. Spauldo → 2025
- **Persistances (PBDE)**
- **Nanoparticules plastiques**
Beggio et al. 2024. Chemo.
- PFAS → **FluorAgro**
- Recrutement **F. Ouedraogo**

Projet **Physalis** → 2028

Thèse **A. MILLE-EGEA** → 2026

- **Ginger Burgeap, Inrae LBE**
- Evaluation **risque sanitaire** en maraîchage périurbain
- **Outil d'aide à l'interprétation** des mesures Rhizotest
- 1^e **conférence Rhizotest** → septembre 2025

Ecotoxicologie Cu-Zn

E. Doelsch, Cirad ©



■ Du terrain au laboratoire

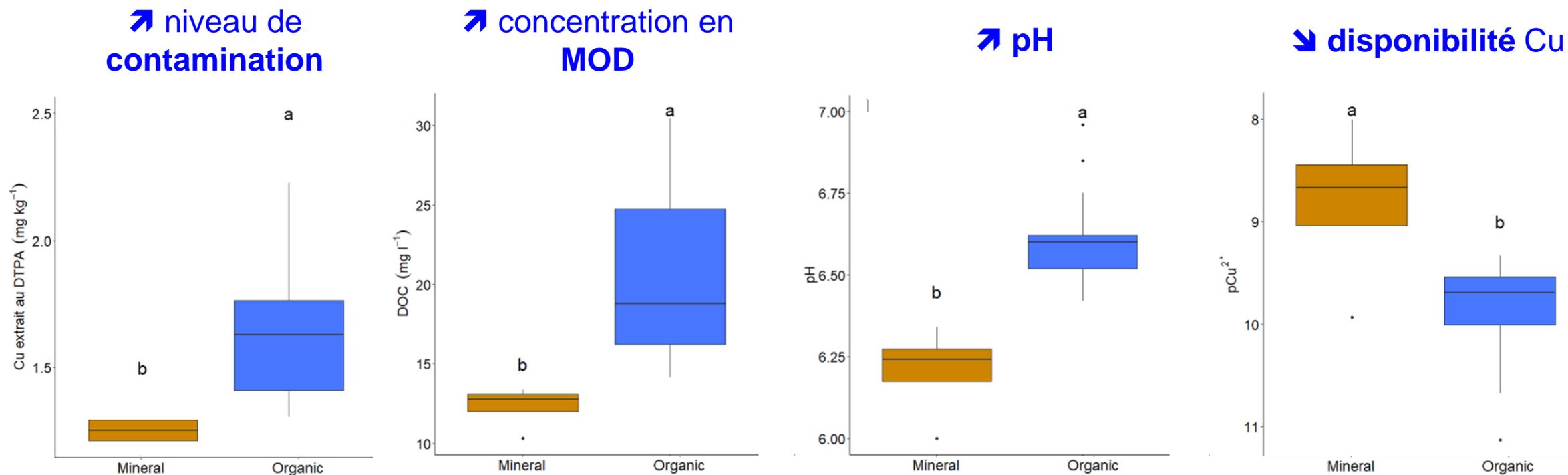
- **Pédothèque**
d'essais de fertilisation **décennaux**
255 échantillons **sol**
- Mesures de la **disponibilité** de **Cu** et **Zn**
Phase **solide** et **solution**
Modélisation géochimique
74 échantillons **sol**
- Mesures de la **biodisponibilité** de **Cu** et **Zn**
Biotests de **laboratoire**
30 échantillons de **sol**



Ecotoxicologie Cu-Zn



■ Agro-influence sur la disponibilité dans le sol

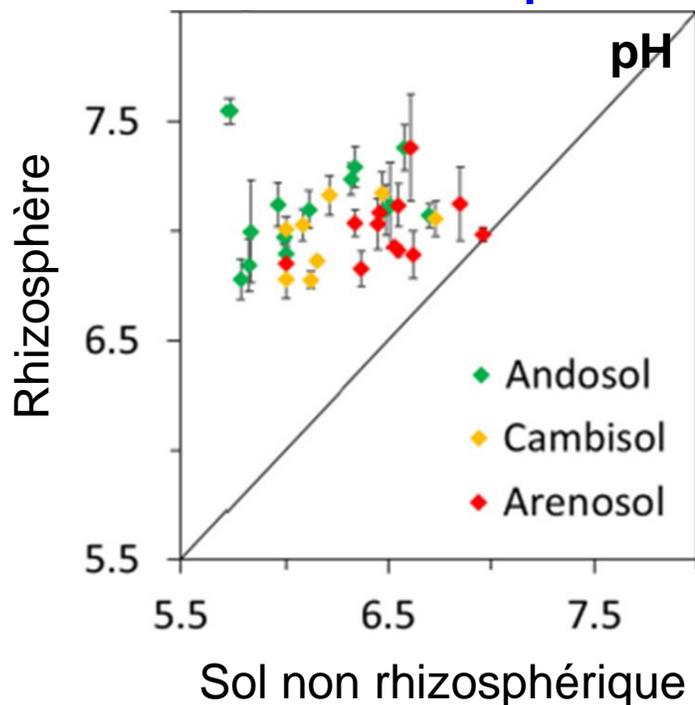


Ecotoxicologie Cu-Zn

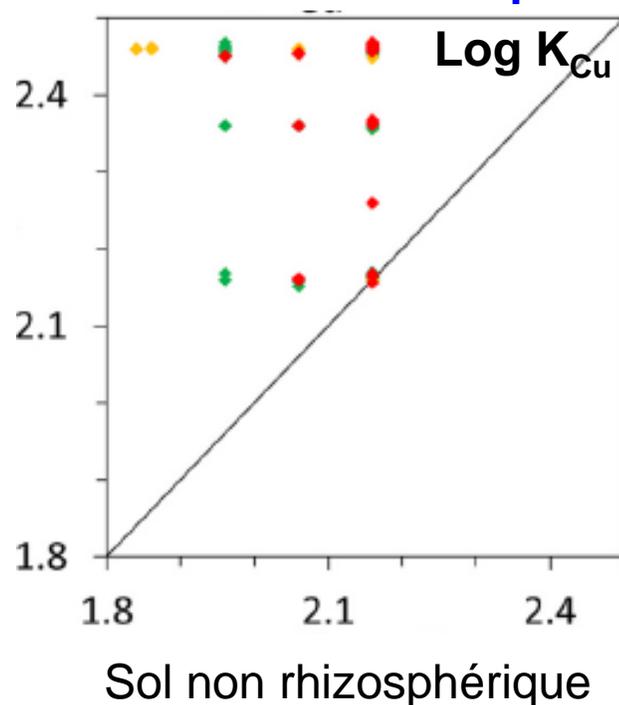


■ Bio-influence sur la disponibilité dans le sol

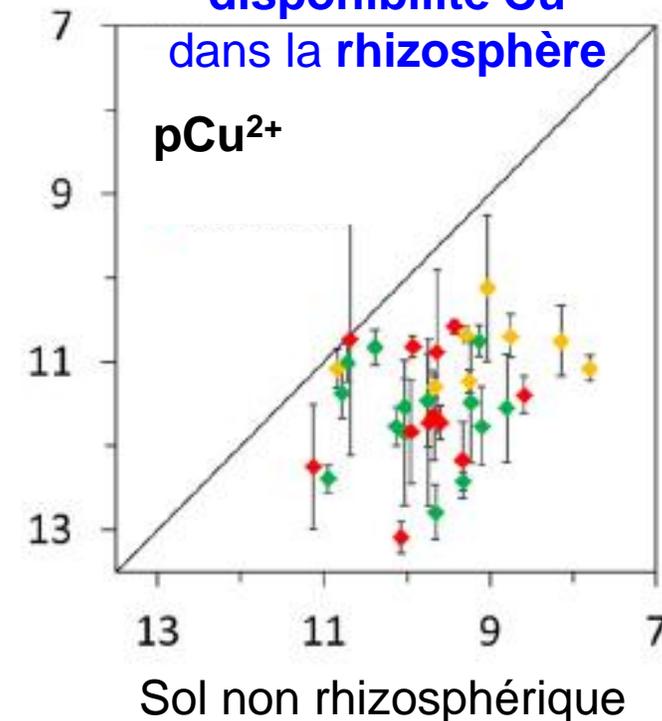
↗ et homogénéisation pH dans la rhizosphère



↗ Propriétés complexantes MOD dans la rhizosphère



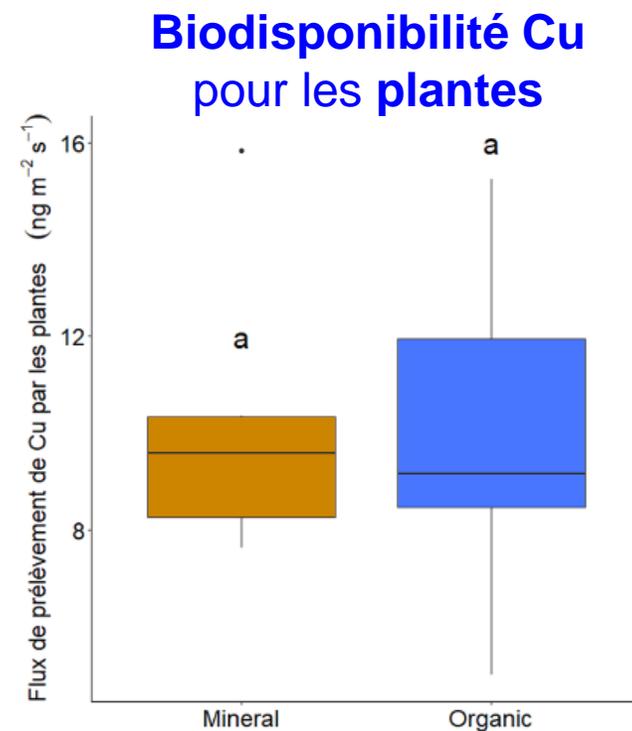
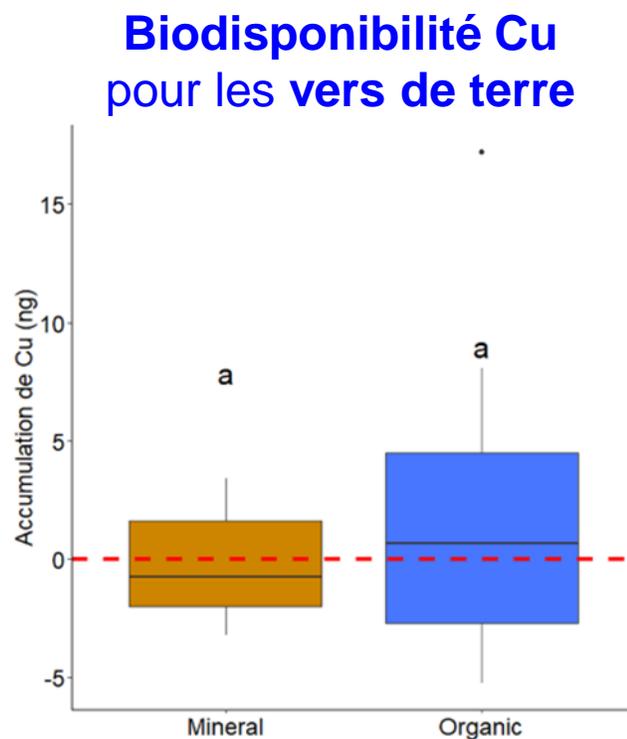
↘ et homogénéisation disponibilité Cu dans la rhizosphère



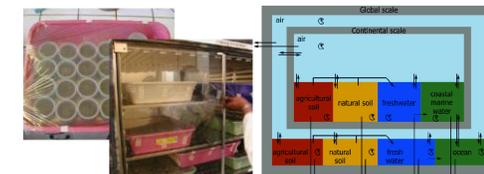
Ecotoxicologie Cu-Zn



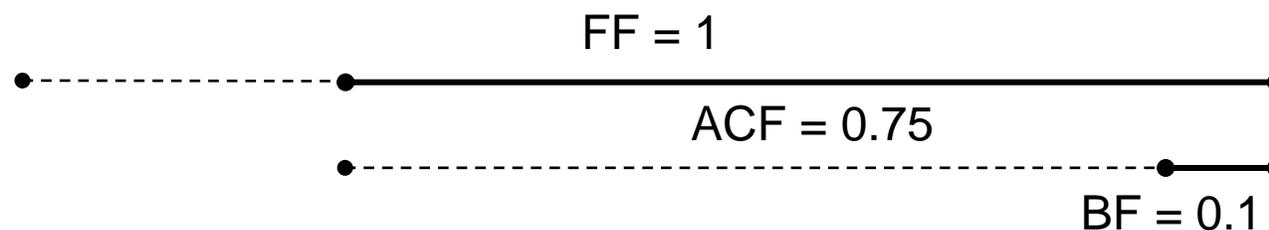
■ Effet protecteur sur la biodisponibilité



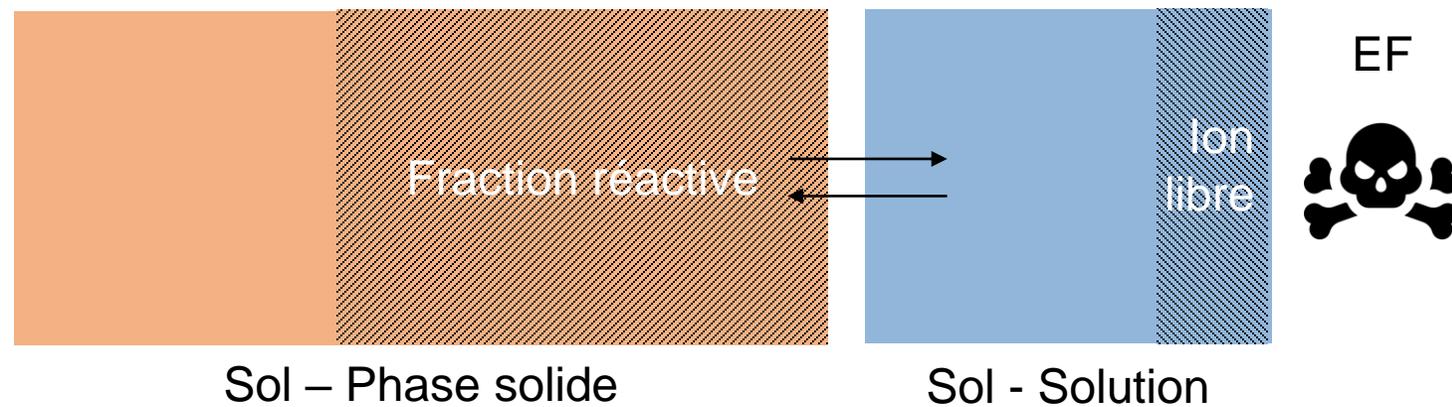
De l'écotoxicologie à l'ACV



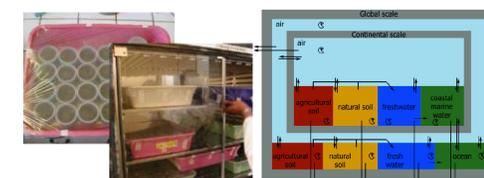
- **ACV** : conceptuellement **cohérente** avec principes de la **biodisponibilité**
 - **Impact** = **Emission** x Potentiel de toxicité comparée (**CTP**)



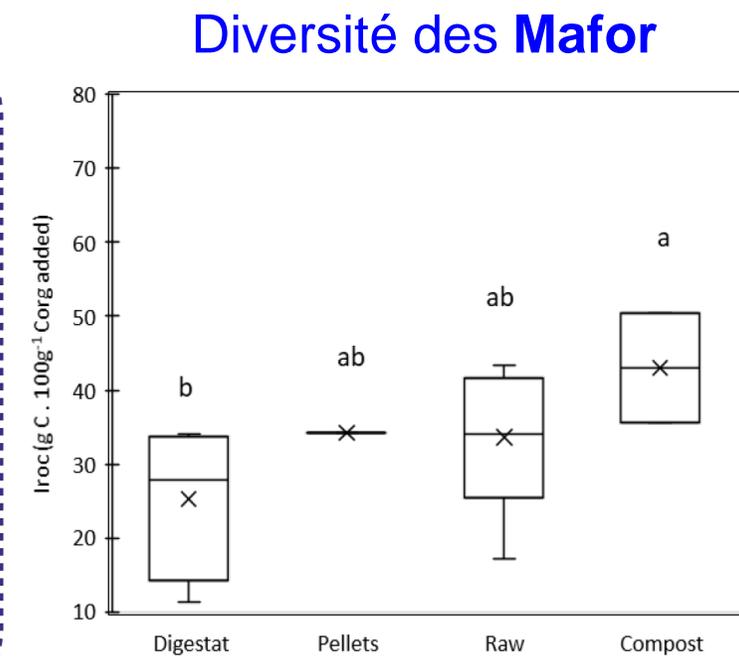
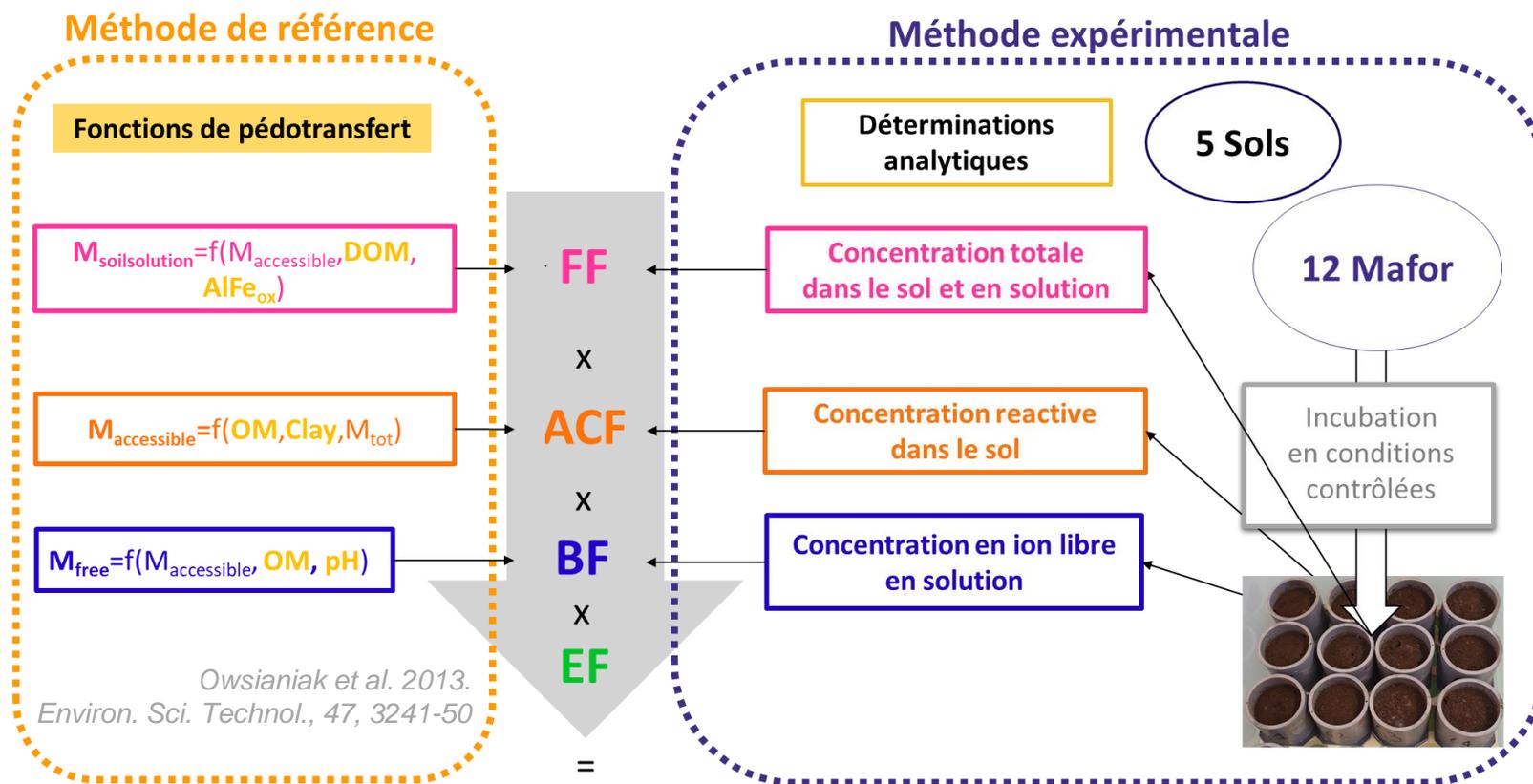
$$CTP_{sol} = FF \times ACF \times BF \times EF$$



De l'écotoxicologie à l'ACV

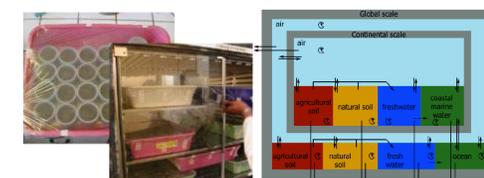


■ Approche confrontant la modélisation à la biogéochimie

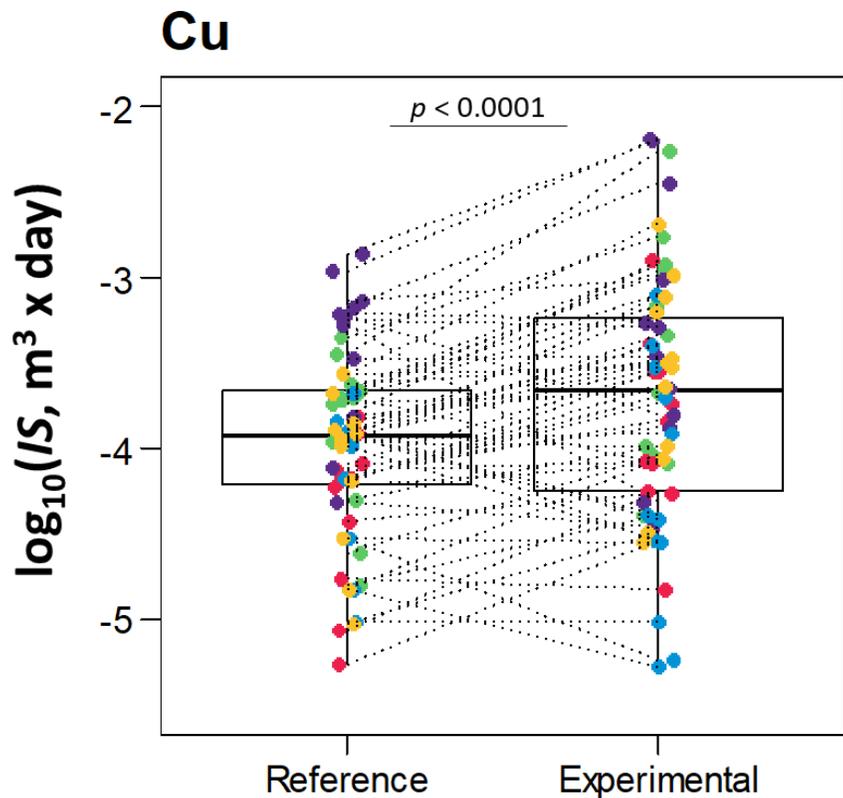


→ Cd Cu Ni Pb Zn

De l'écotoxicologie à l'ACV

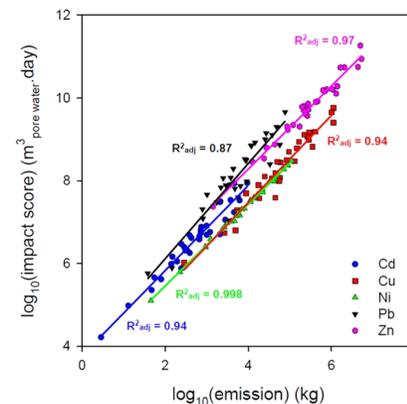
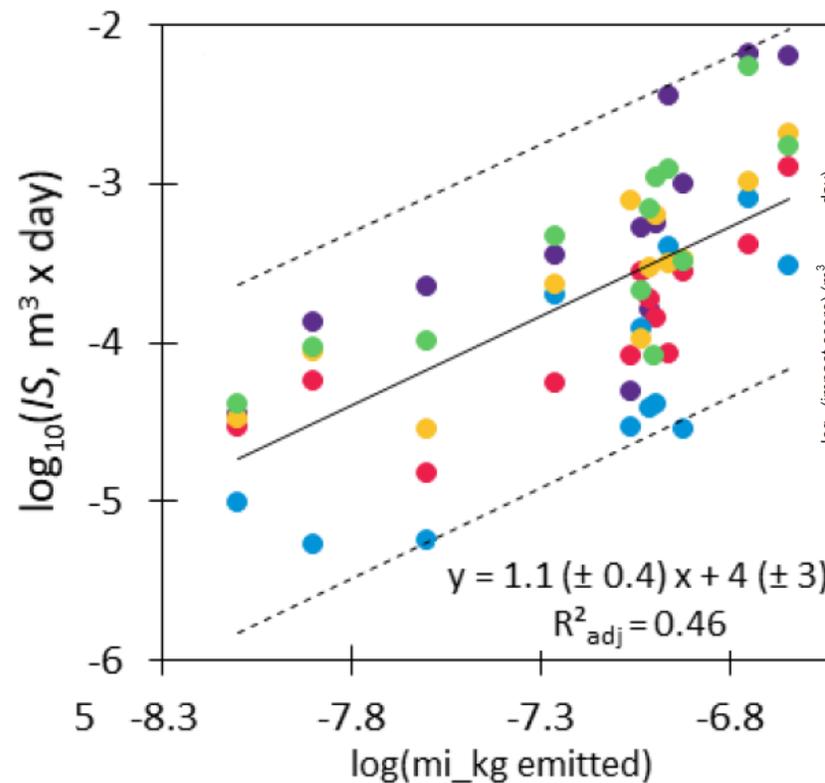


■ Mise en défaut de la méthode de référence



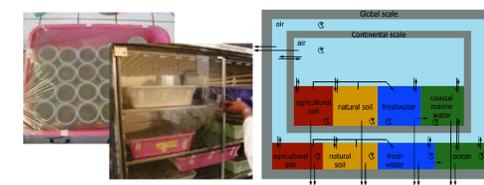
- Arenosol
- Calcisol
- Cambisol
- Luvisol
- Nitisol

Contribution à l'impact
CTP \approx Emission



Sydney et al. 2018.
Sustainability, 10, 4094

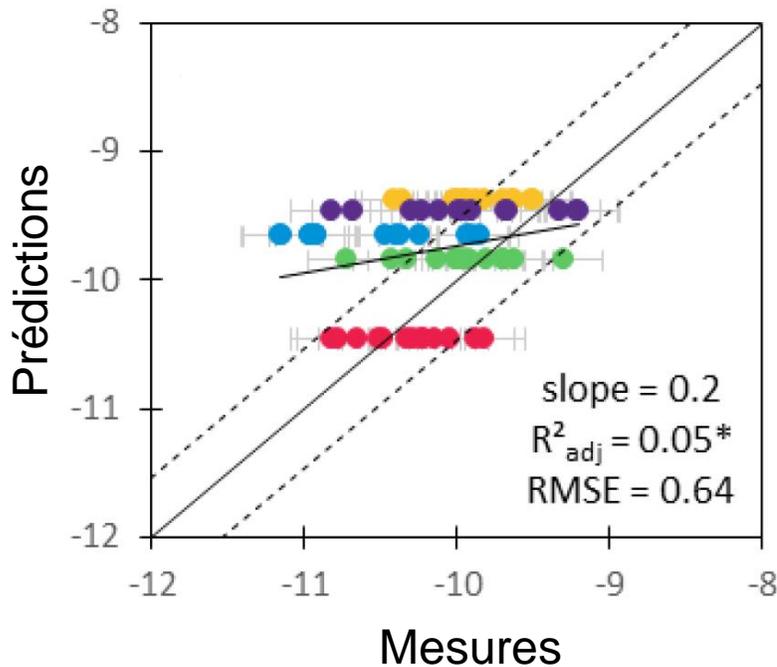
De l'écotoxicologie à l'ACV



■ Proposition de nouvelles équations

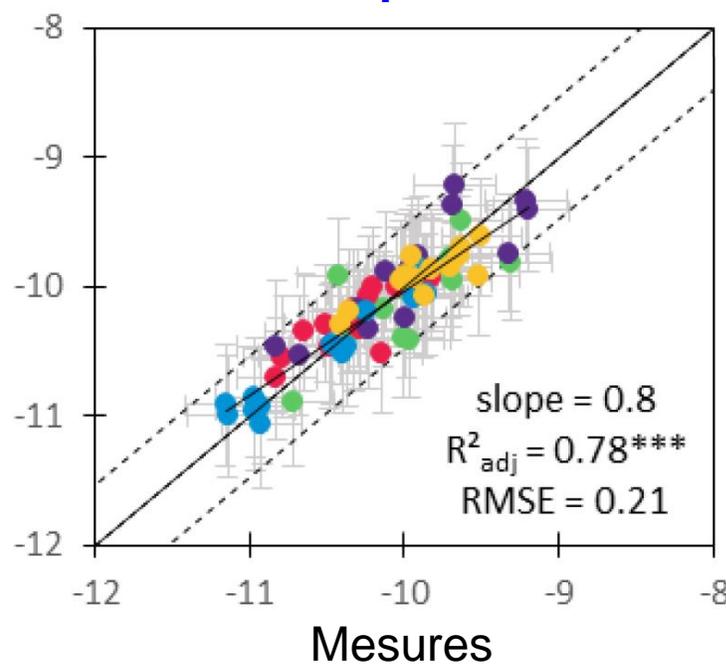
Méthode de référence

Cu^{2+}



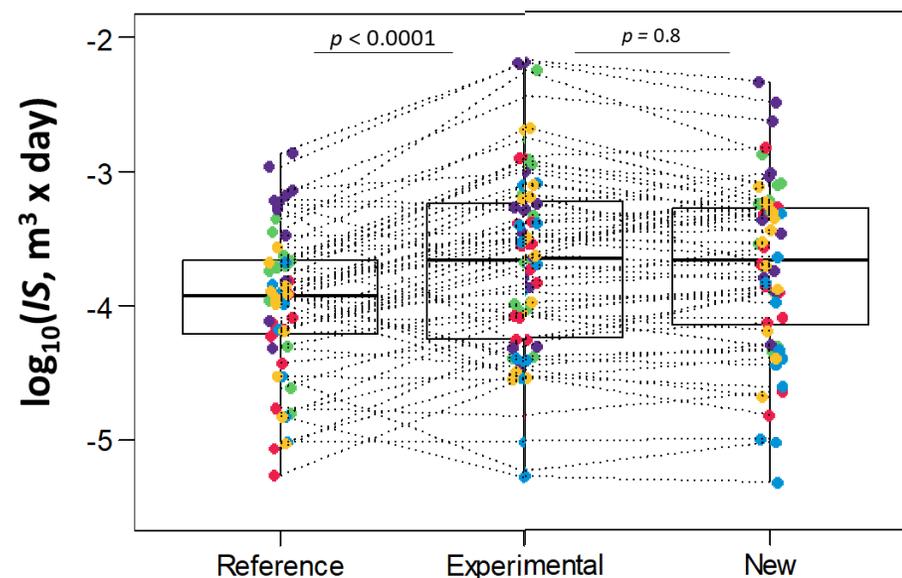
Nouvelles équations

Effet Mafor sur pH et MOD du sol



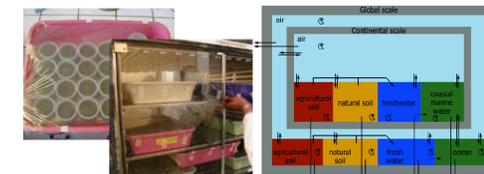
Nouvelle méthode plus adaptée

Cu



- Arenosol
- Calcisol
- Cambisol
- Luvisol
- Nitisol

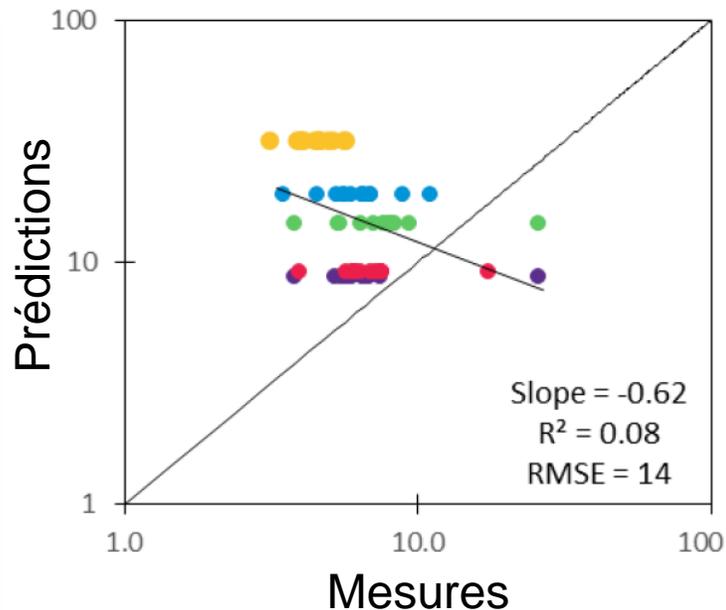
De l'écotoxicologie à l'ACV



■ Perspectives concernant la MOD du sol

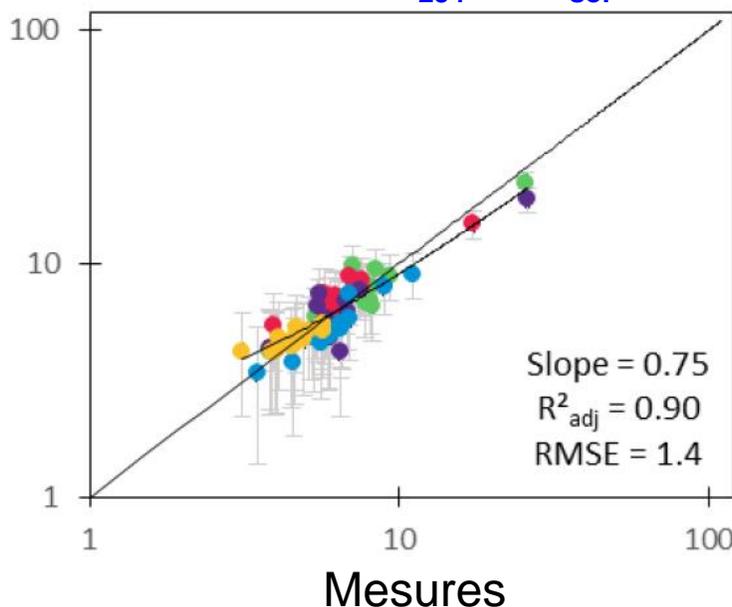
Méthode de référence

DOC (mg C l⁻¹)

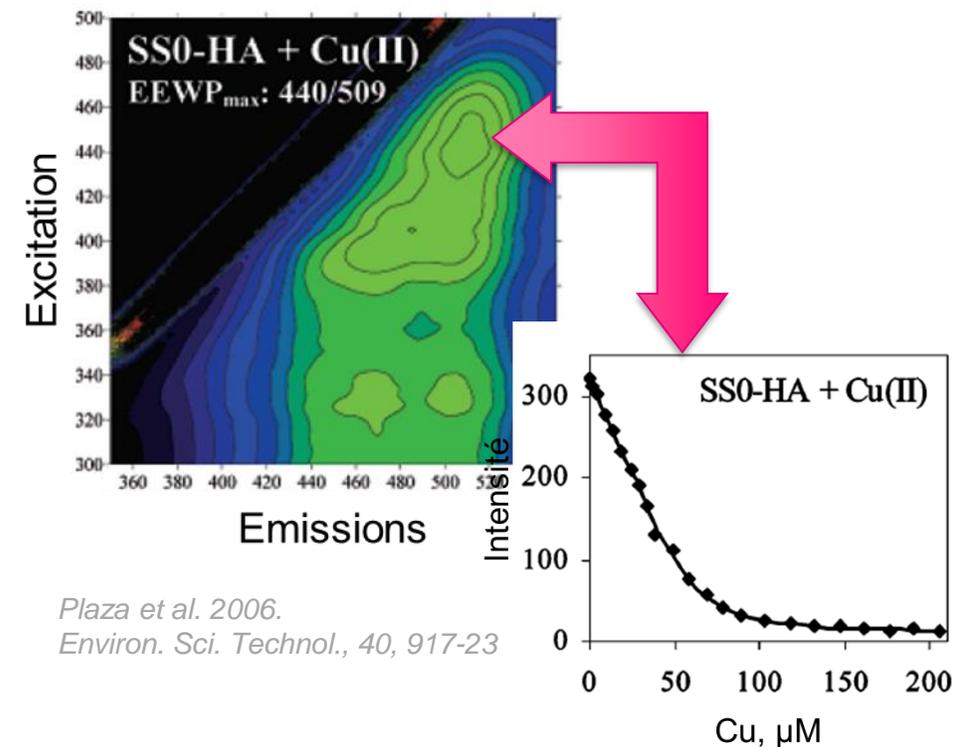


Nouvelle équation performante

DOC = f {E₂₅₄ ; MO_{sol}}



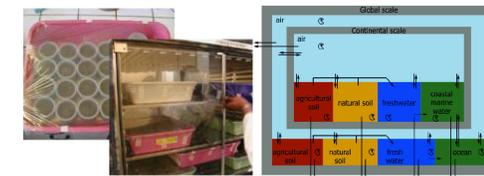
Coupler quenching fluorescence 3D à analyse Parafac



Plaza et al. 2006.
Environ. Sci. Technol., 40, 917-23

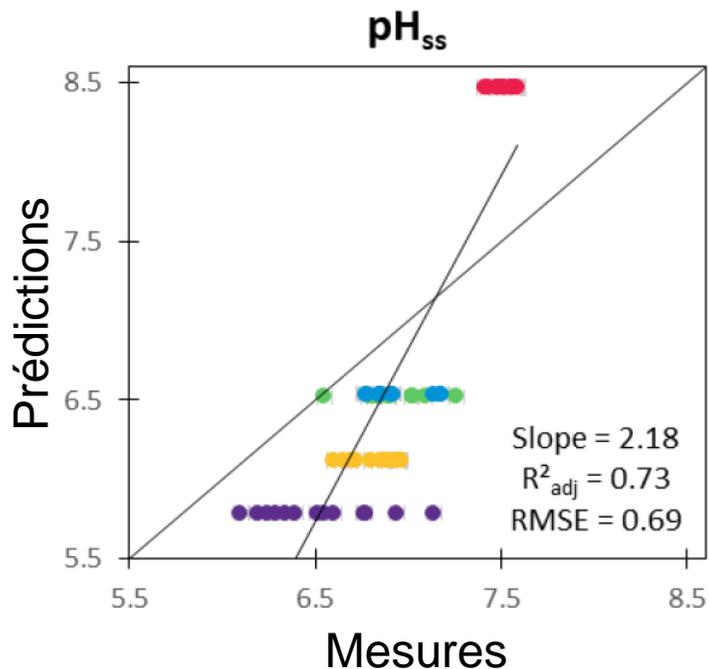
- Arenosol
- Calcisol
- Cambisol
- Luvisol
- Nitisol

De l'écotoxicologie à l'ACV



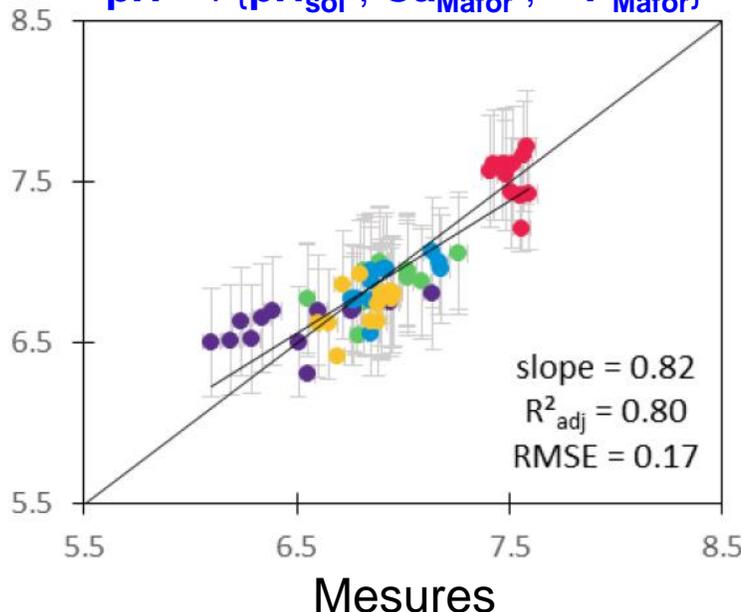
■ Perspectives concernant le pH du sol

Méthode de référence



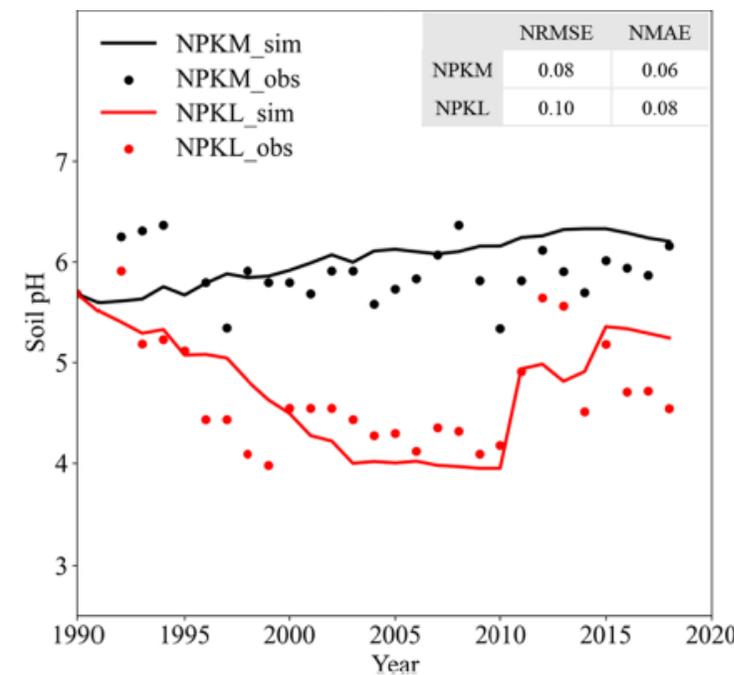
Nouvelle équation performante

$$pH = f\{pH_{sol}; Ca_{Mafor}; -P_{Mafor}\}$$



- Arenosol
- Calcisol
- Cambisol
- Luvisol
- Nitisol

Développer une capacité prédictive de l'écodynamique de H⁺



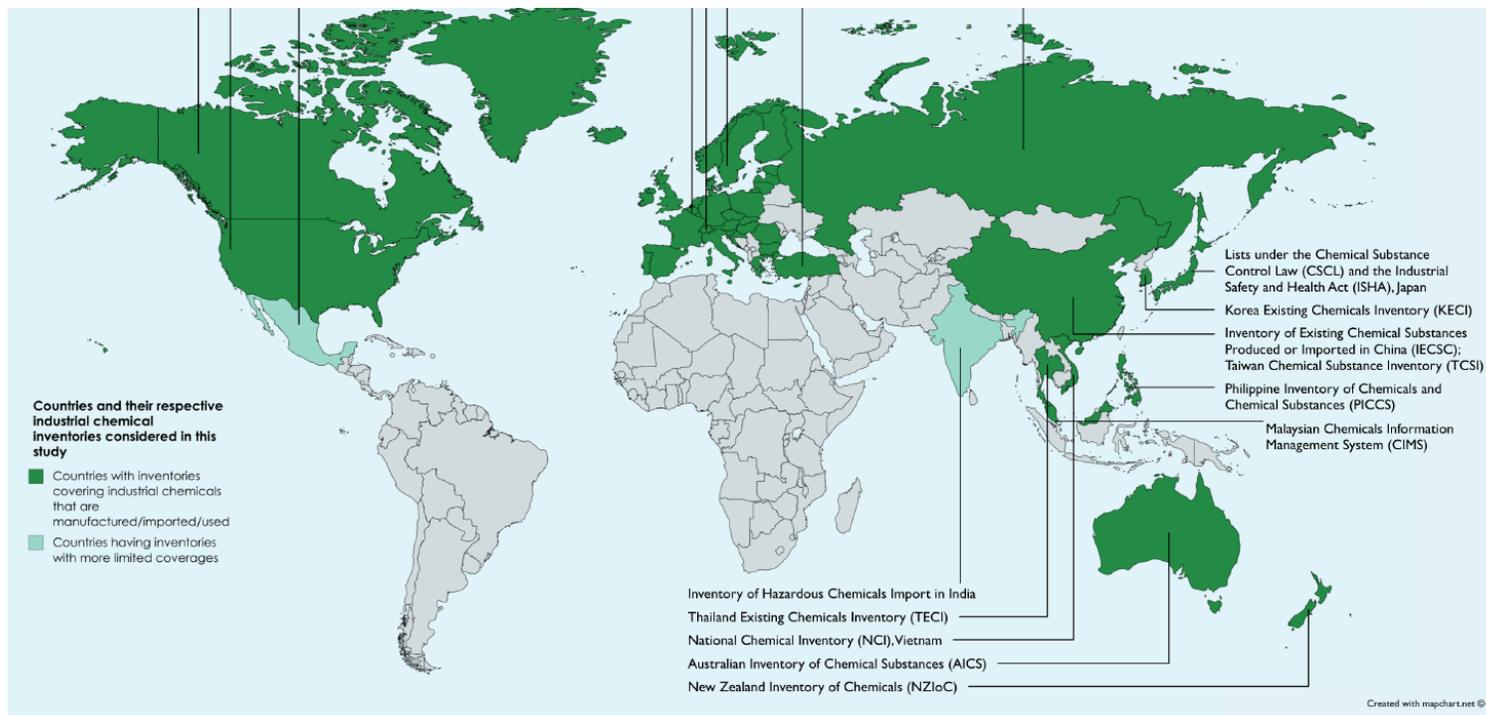
Xu et al. 2023.
Field Crops Res., 292, 108827

Partie 2. De l'utilité sociétale des recherches menées

Choisir les **contextes** et **sites d'étude**
pour avoir de l'**impact** sur les **plans scientifique** et **sociétal**

Contextes et sites d'étude

■ Une thématique trop longtemps oubliée aux Suds



	Mean blood lead level (µg/dL)
World Bank income classification	
Low income	6-6
Lower-middle income	5-4
Upper-middle income	3-3
Low income and middle income	4-6
High income	1-3
Worldwide	4-1

Larsen et Sánchez-Triana 2023. *Lancet Planet. Health*, 7, e831-40

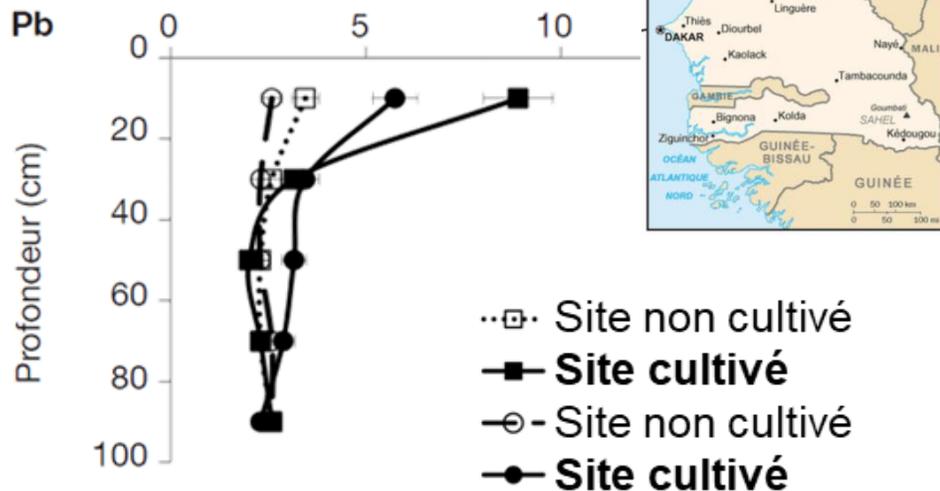
Wang et al. 2020. *Environ. Sci. Technol.*, 54, 2575-84

Contextes et sites d'étude

- Intérêt des agroécosystèmes maraîchers périurbains
 - Biogéochimiquement intensifs, notamment en lien avec apports de Mafor

Hodomihou et al. 2016.

Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 20

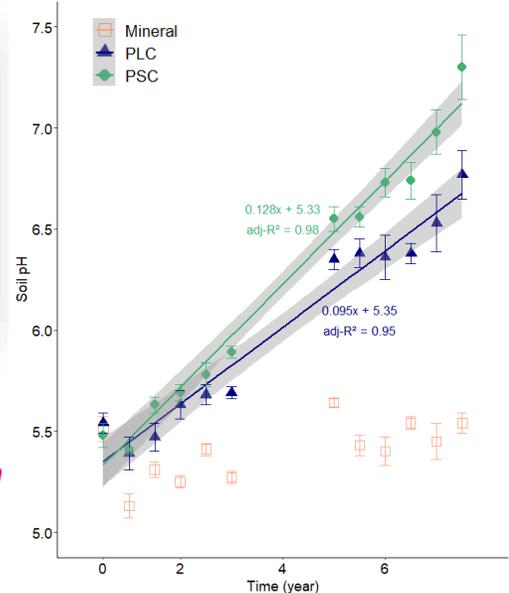


M.-L. Vermeire, Cirad ©



E. Doelisch, Cirad ©

Bravin et al. 2024.
Rapport final PhytAO-Ni/Cr,
en cours de finalisation



Vermeire et al. 2024.
Colloque Soere Pro, Rennes

Minérale | Digestat | Boues | Litière volailles

pH H2O	5.53 a	6.22 b	6.91 c	7.1 c *
C org (g/kg)	5.35 a	5.1 a	10.06 b	6 a *

Contextes et sites d'étude

■ **Géostratégie** institutionnelle en **Afrique de l'ouest**

– Montage **Sol AfricaO**

- Plateforme francophone centrée sur la **santé des sols**
- **Contamination chimique des agroécosystèmes** dans 2/5 des axes thématiques
- **France** : Inrae, Ird et Cirad
- **Sénégal, Bénin, Côte d'Ivoire et Burkina-Faso**
10 partenaires académiques
- **Démarrage** envisagé en **2025**

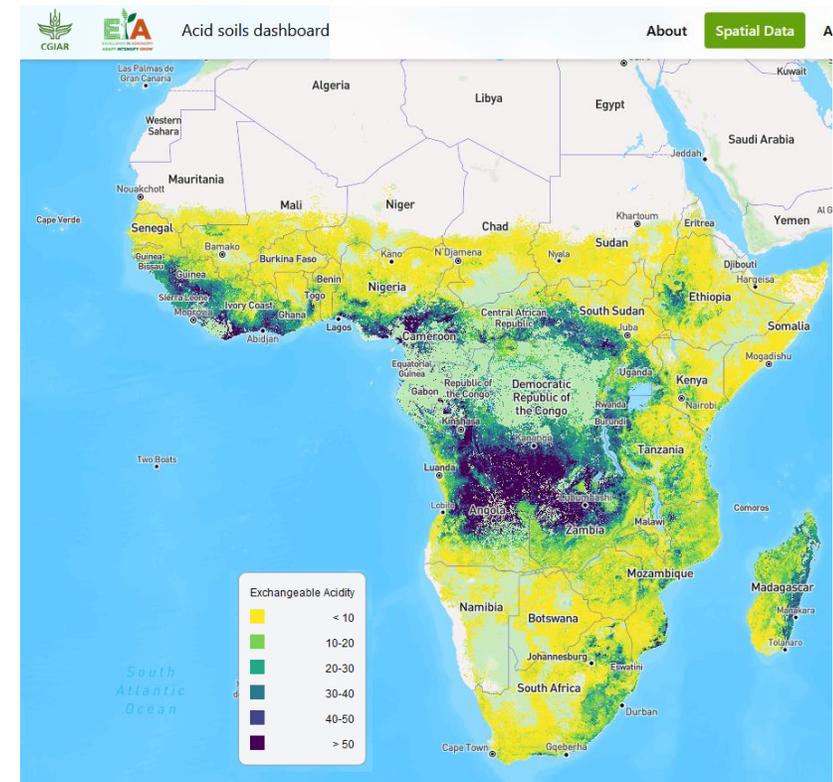
⇒ **Affectation** envisagée en **Afrique de l'ouest**
pour participer à l'**animation**



Sénégal, septembre 2024

Contextes et sites d'étude

- **Opportunité scientifique à l'échelle continentale**
 - Proposition **African Union Soil Observatory**
 - Soumise **octobre 2024**
 - **Coordination contribution Cirad et co-animation lot 3**
 - **Post-doc sur l'indicateur de pollution inspiré de la méthode ACV revisitée**

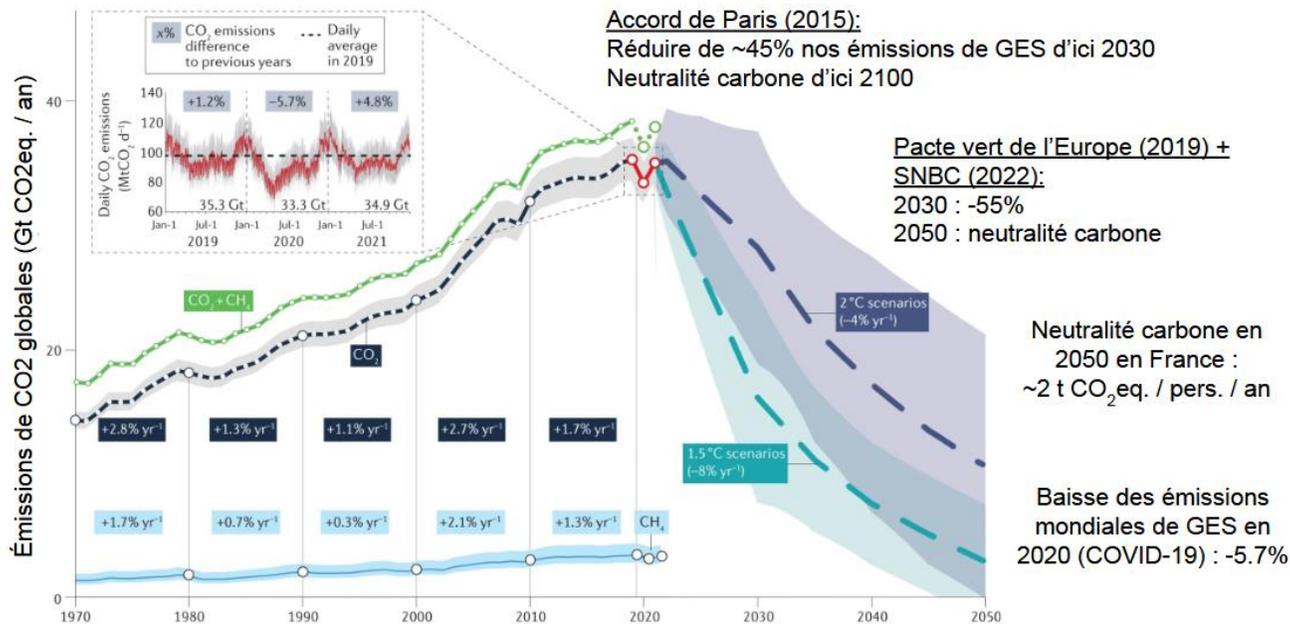


Partie 3. Déontologie et intégrité scientifique

Soulevons le tapis sur l'**impact carbone**
des activités de **recherche aux Suds**

Impact carbone

- Du constat à la nécessité d'un effort de la recherche publique



<https://materre.osug.fr/>

Sur les 80% de réduction nécessaires, 60% ne pourront être réalisable que grâce à une impulsion **politique et collective**



ec éthique en commun Menu

Avis N°15 — Quels droits et devoirs pour les scientifiques et leurs institutions face à l'urgence environnementale ?

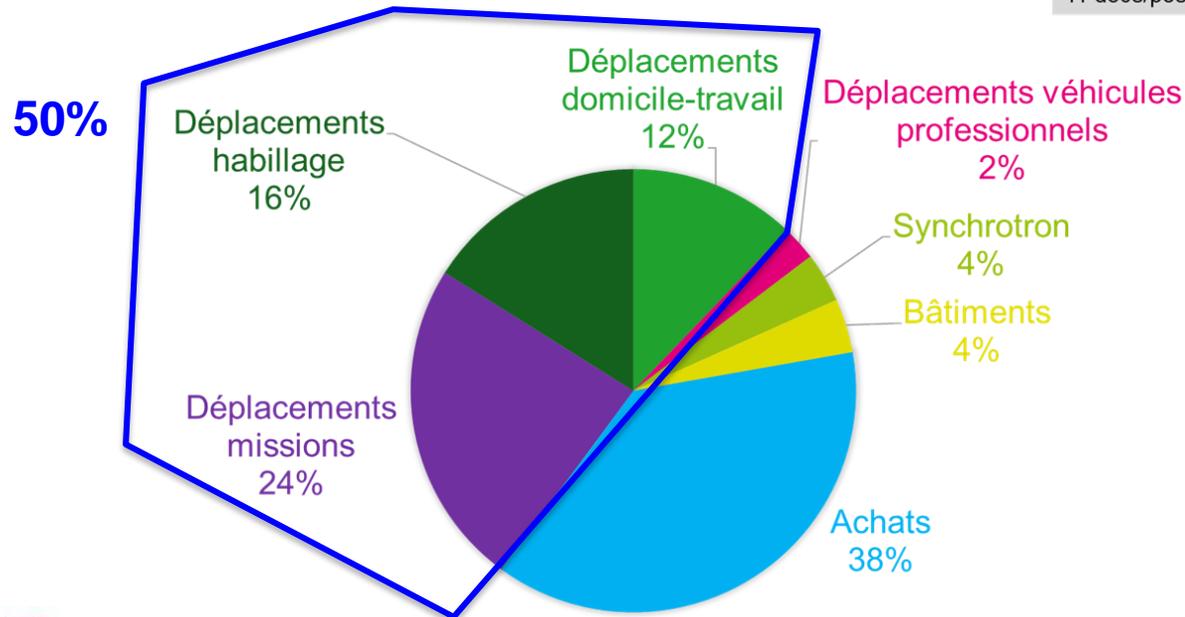
15 octobre 2023

Impact carbone

- De l'évaluation à l'émergence de **choix collectifs** un long mais nécessaire chemin...

467 tCO₂-éq, soit 10,4 tCO₂-éq / ETP

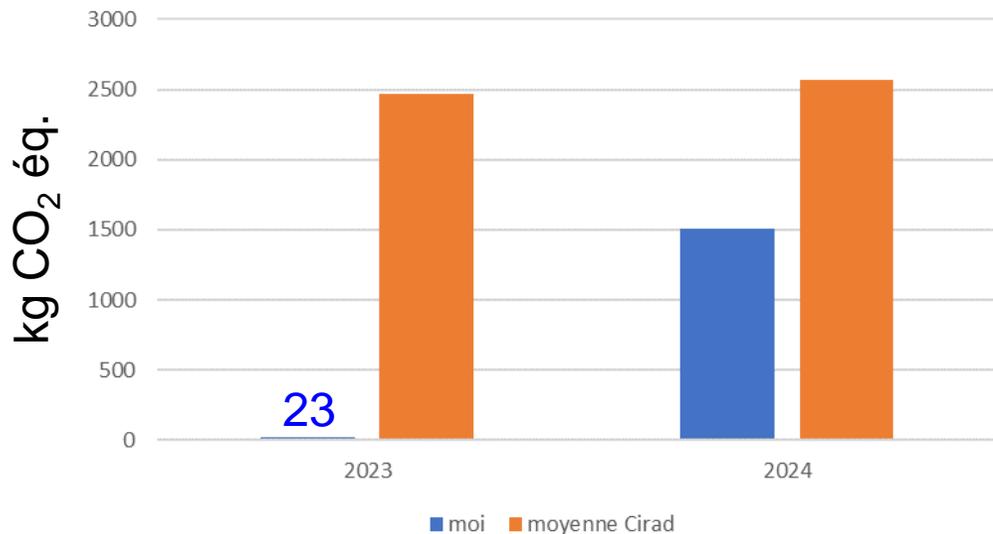
Total 45 ETP
19 Chercheurs
15 ITA
11 docs/postdocs



- **Echanges** en Assemblée Générale
 - 1 objectif de principe
 - 1 méthode de prise de décision
 - Projet de charte et de règlement
- **3 ateliers** de recueil de **propositions**

Impact carbone

■ ... En commençant **par soi-même**



■ Engagements personnels

- 1 conférence hors France hexagonale par an
- Trajet Montpellier ↔ Paris en train
- Trajet domicile travail ≈ 100 % vélo mécanique

■ Bilan très dépendant des missions et plus encore d'une affectation

⇒ Envisager **crédits carbone à partager collectivement**

Conclusion générale

Pour une **approche totale** de la **recherche**

Militer pour une approche totale

- **Produire** des connaissances originales, tout en **respectant** les critères de déontologie et d'intégrité scientifique
 - **Anticiper** les stratégies de recherche pour **favoriser** leur **impact sociétal**
 - **Agir** concrètement pour la **réduction de l'impact carbone** des activités de recherche
- ⇒ Aux niveaux **individuel** et plus encore **collectif**



Dutch National Archives

Une nouvelle opportunité !



Unité de recherche
Recyclage
et risque



Le projet scientifique de l'UMR

RÉFLEXION

EN COURS...

Remerciements

Matthieu N. BRAVIN

UR

**Recyclage
et risque**

