Les flux d'éléments traces minéraux dans les agrosystèmes

Impact sur la qualité des produits végétaux consommés

***Christophe Nguyen**, Jean-Yves Cornu, Laurence Denaix, Valérie Sappin-Didier, André Schneider*
Laetitia Anatole-Monnier (doc)

UMR 1391 ISPA Interactions Sol Plante Atmosphère
INRA Bordeaux Sciences Agro.
*Equipe **Biog**éochimie des **E**léments **T**races (BiogET)*

Accueil › Monde › Vu de Chine

En Chine, 20 % des terres arables sont polluées

PHILIPPE GRANGEREAU DE NOTRE CORRESPONDANT À PÉKIN 17 AVRIL 2014 À 16:48

Une paysanne chinoise dans son champ, à la périphérie d'un quartier résidentiel récent à Hefei, dans la province de Anhui. (Photo Jianan Yu. Reuters)

Selon les statistiques du ministère, 19,4% du 1,4 million de kilomètres carrés de terres arables du pays sont contaminés par la pollution à des degrés divers.
L'étude précise que 82,8% des échantillons des sols contaminés contiennent des polluants non organiques tels le cadmium, le mercure, l'arsenic, le chrome et le plomb.

Une autre étude réalisée par des chercheurs de l'Université d'agriculture de Nankin, et publiée en 2011 par le magazine chinois Nouveau siècle, affirmait qu'au moins 10% du riz produit en Chine contient du cadmium à des concentrations supérieures aux normes en vigueur (0,2mg/kg). Dans trois provinces − Guangdong, Jiangxi et Hunan −, 60% du riz serait contaminé, selon ces scientifiques.

RÉGLEMENTATION

Les seuils de cadmium toxiques pour le blé dur

13 juin 2012 Gabriel Omnès

Le durcissement annoncé de la réglementation européenne sur le cadmium pourrait exclure du débouché alimentaire une partie significative de la production française.

...Nécessité de poursuivre les efforts pour réduire les exposition alimentaires...

Chez les non fumeurs 90% de l'exposition au Cd = Alimentation (légumes et céréales)

***The EFSA Journal*(2009) 980, 18-139**

RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATION DE LA COMMISSION

du 4 avril 2014

sur la réduction de la présence de cadmium dans les denrées alimentaires

(Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)

(2014/193/UE)

A ADOPTÉ LA PRÉSENTE RECOMMANDATION:

1. Les États membres devraient veiller à ce que les mesures existantes de réduction des teneurs en cadmium des denrées alimentaires, en particulier les céréales, les légumes et les pommes de terre, soient progressivement appliquées par les agriculteurs et les exploitants du secteur alimentaire, par exemple en expliquant et en recommandant aux agriculteurs et aux exploitants du secteur alimentaire les méthodes de réduction connues.

2. Lorsqu'il s'avère nécessaire de disposer de connaissances supplémentaires pour déterminer les mesures de réduction appropriées, par exemple pour une culture ou une zone géographique données, les États membres devraient veiller à ce que des enquêtes ou des travaux de recherche soient effectués pour que ces lacunes dans les connaissances soient comblées.

Quelques caractéristiques des ETM

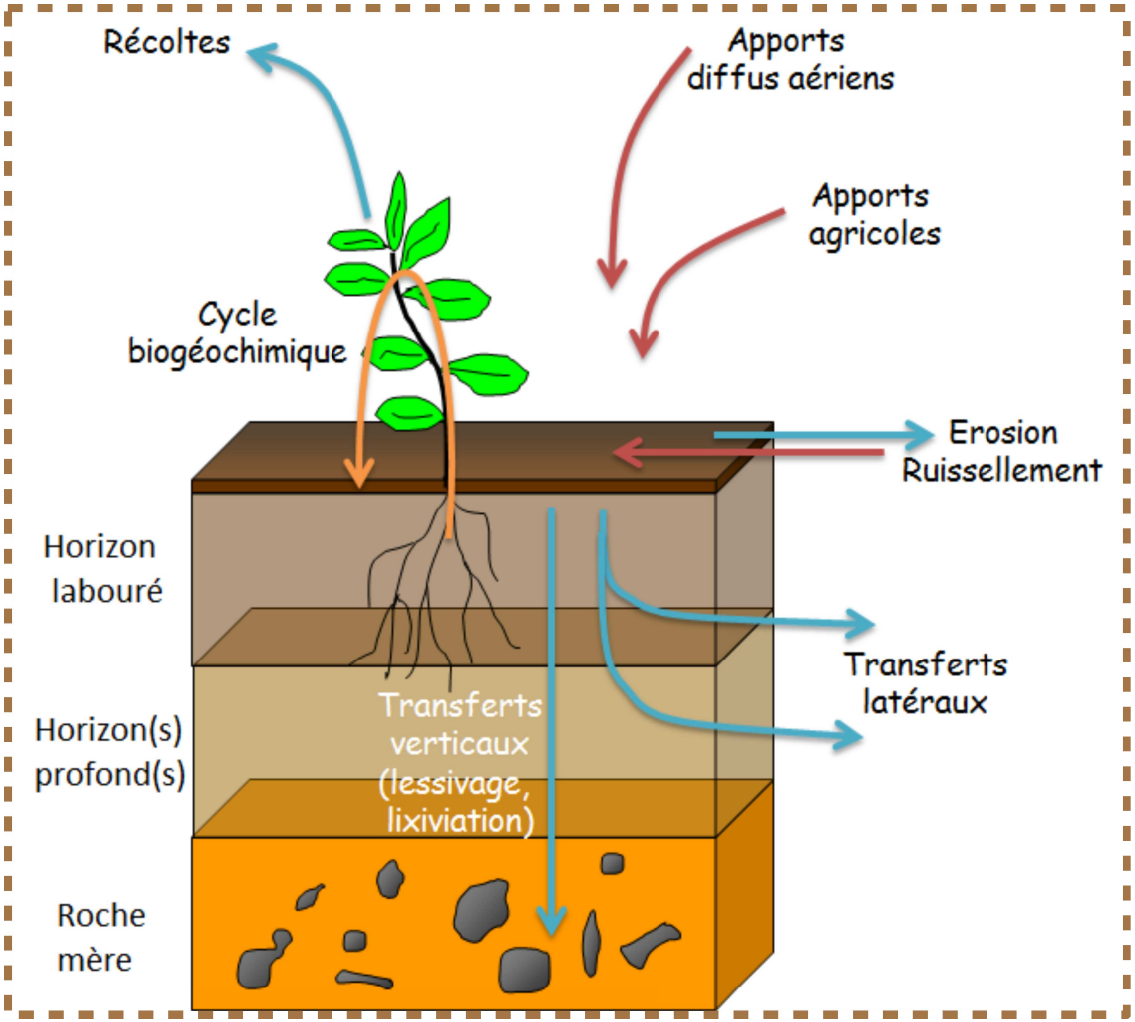
- ET(M) : Elément Trace (Métallique)
  - Trace = <0.1 % dans la croûte terrestre
  - (Métallique) : As= métalloïde
  - Métaux lourds : > 5 g cm^{-3}

- Essentiels (Cu, Zn, Mn...) → Carence, Toxicité
- Non essentiels (Cd, Pb...) → **Toxicité**
- Faibles concentrations environnementales : ppm, ppb

	Médiane sols agricoles (mg/kg)*	Conc. seuil potabilité eau (µg/L)**	Teneur classique végétaux (mg/kg)***	Concentration toxique végétaux (mg/kg)***
Cd	0.3	5	0.05-2	>5-700
Cu	13.8	2000	3-30	>20-100

* Baize, D., Saby, N., Deslais, W., 2007. http://www.gissol.fr/programme/bdetm/bdetm.php)
** Arrêté du. 11/01/2007
*** Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., 2007. Water, Air, and Soil Pollution 184, 105–126.

Les flux d'ETM au niveau des parcelles agricoles

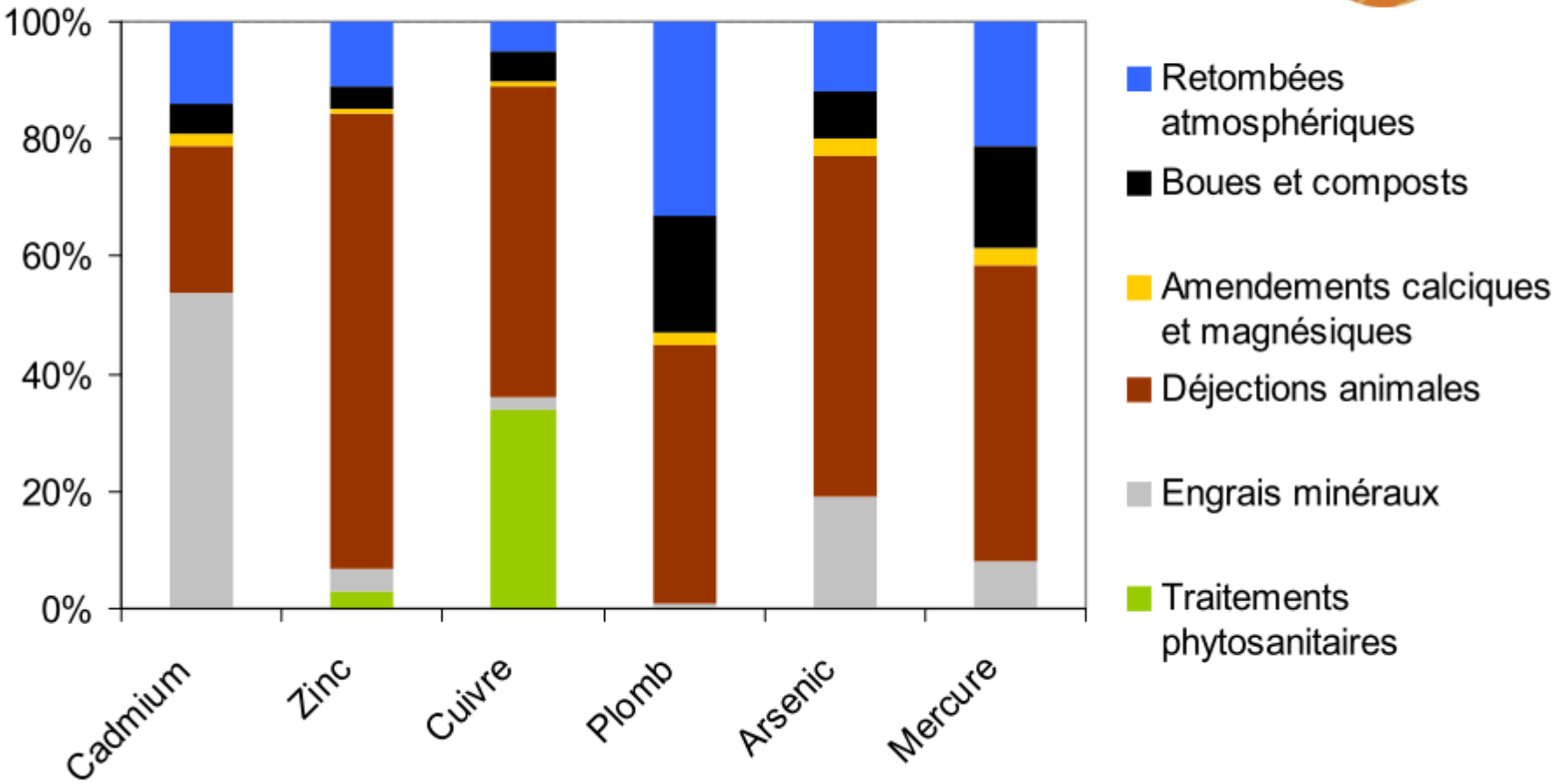


ETM du sol:

- naturellement présents dans les sols en lien avec la pédogénèse (fond pédogéochimique)
- apports naturels anthropiques

Ce qui arrive sur les parcelles agricoles

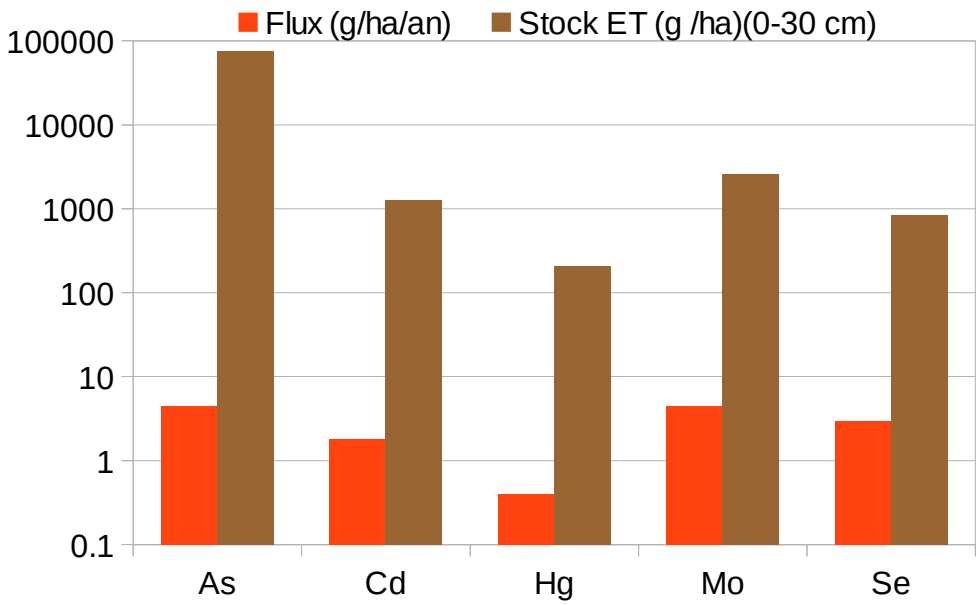
Les déjections animales sont une source importante d'ETM avec les engrais et les boues/composts

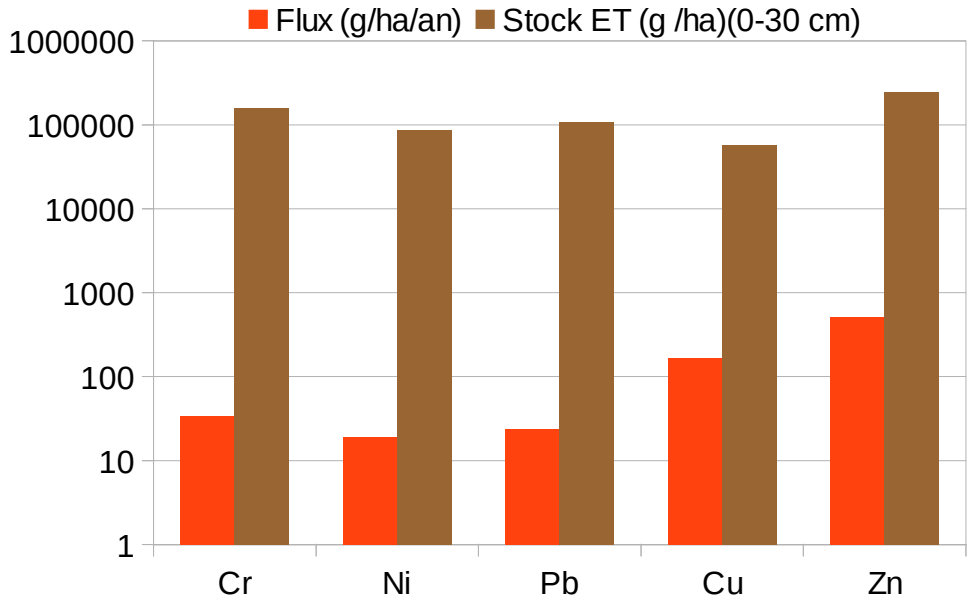


SOGREAH, 2007. Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Bilan qualitatif de la contamination par les éléments tracés métalliques et les composés tracés organiques et application quantitative pour les éléments tracés métalliques (Rapport Final). Ademe.

Ce qui arrive sur les parcelles agricoles

Flux : estimation Sogreah-Ademe (2007)
Stock : estimation selon les teneurs médianes en ETM, base de données Aspitet-BDETM, RMT Quasaprove, profondeur 0-30 cm, densité moyenne du sol 1.4 kg/l

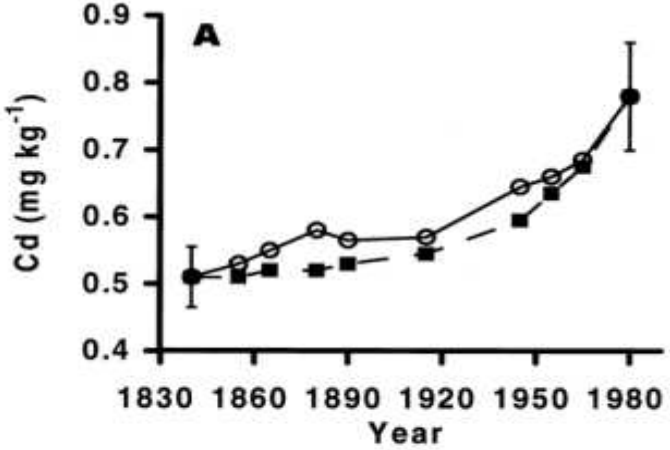




- Apports : inférieurs de 2 à 3 ordres de grandeurs au stock
- ***Mais les ETM ne se dégradent pas et peuvent s'accumuler***

Accumulation du Cd dans les sols et impact sur la qualité des récoltes

Evolution du Cd du sol résultant des dépôts atmosphériques et des engrais P (Essai Rothamsted, UK)



P E Rasmussen et al. Science 1998;282:893

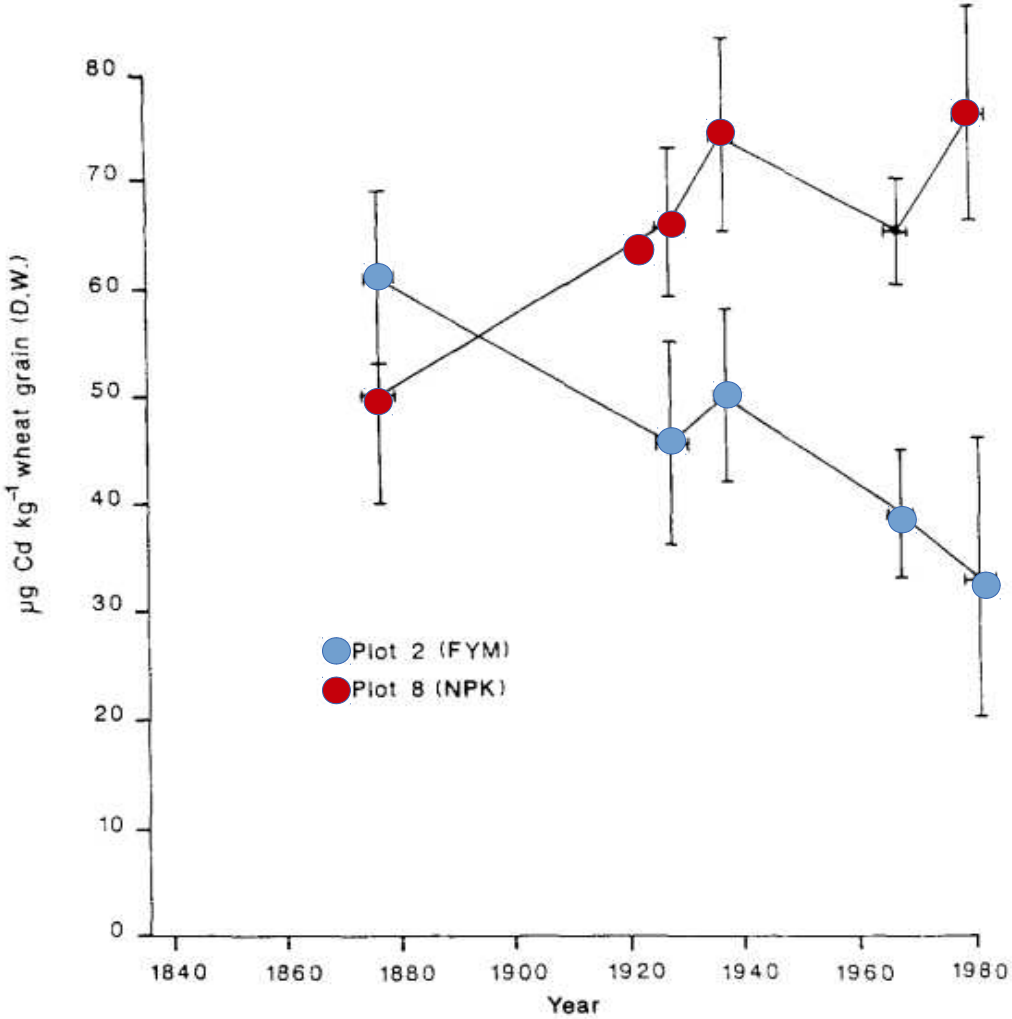
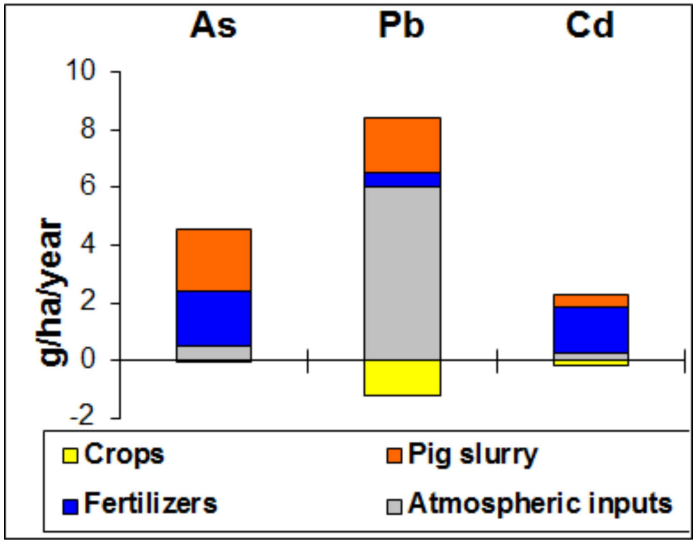
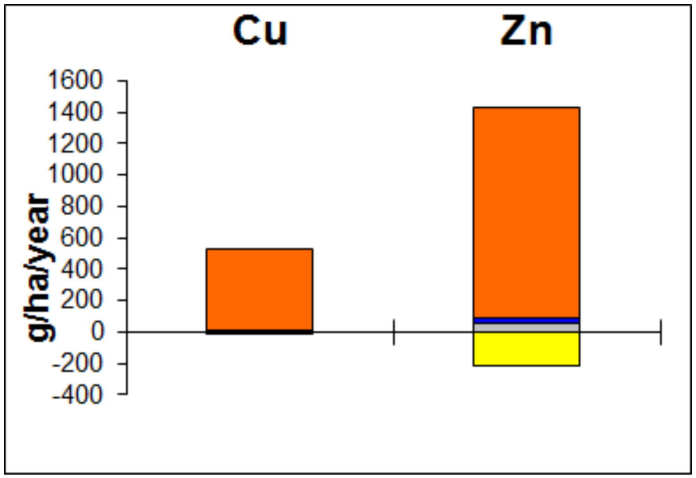


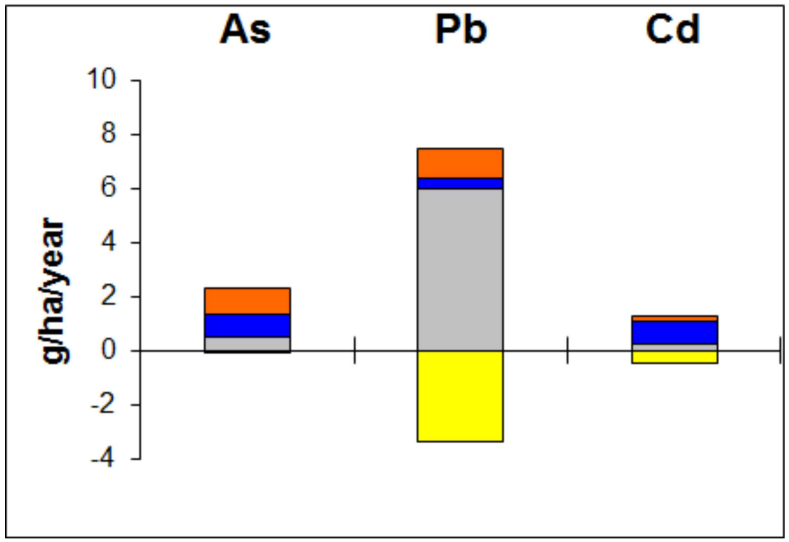
Fig. 2. Changes in wheat grain Cd at Broadbalk with time. Error bars are ± Std. Dev.

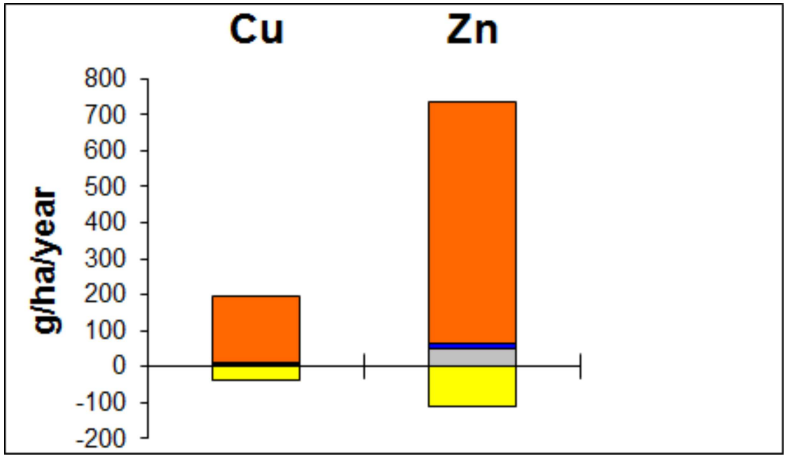
K. C. Jones, A. E. Johnston Environmental Pollution **57** (1989) 199–216

Bilan ETM : épandage de lisier de porc dans le sud ouest de la France



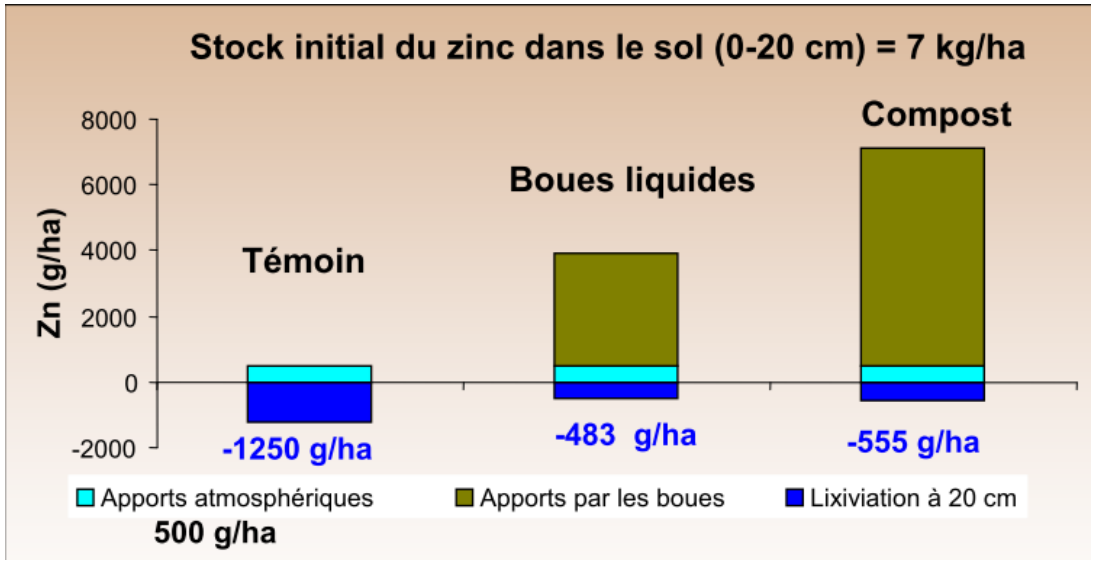


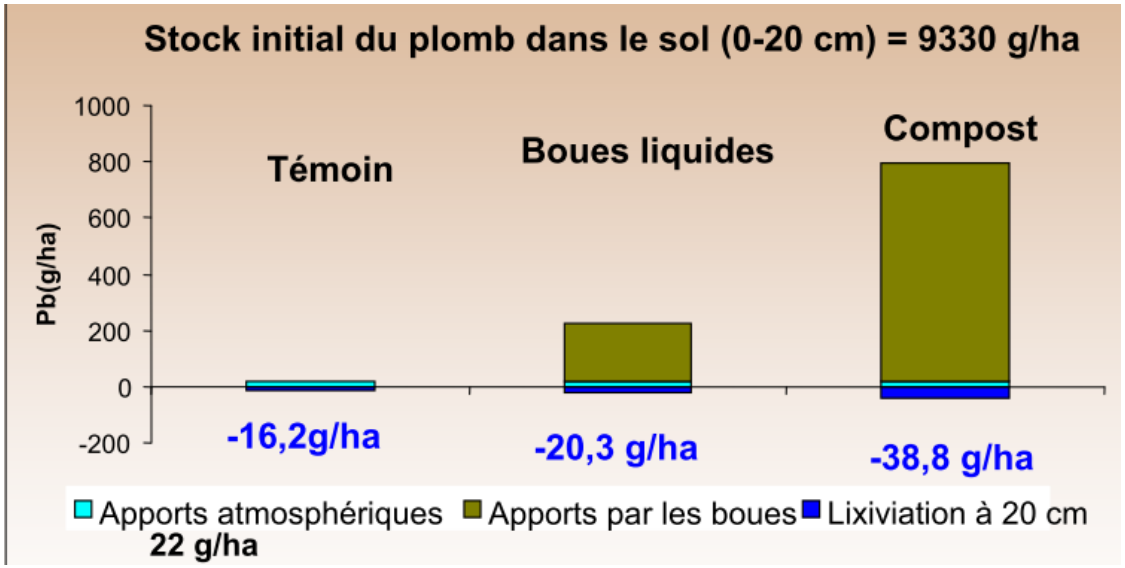




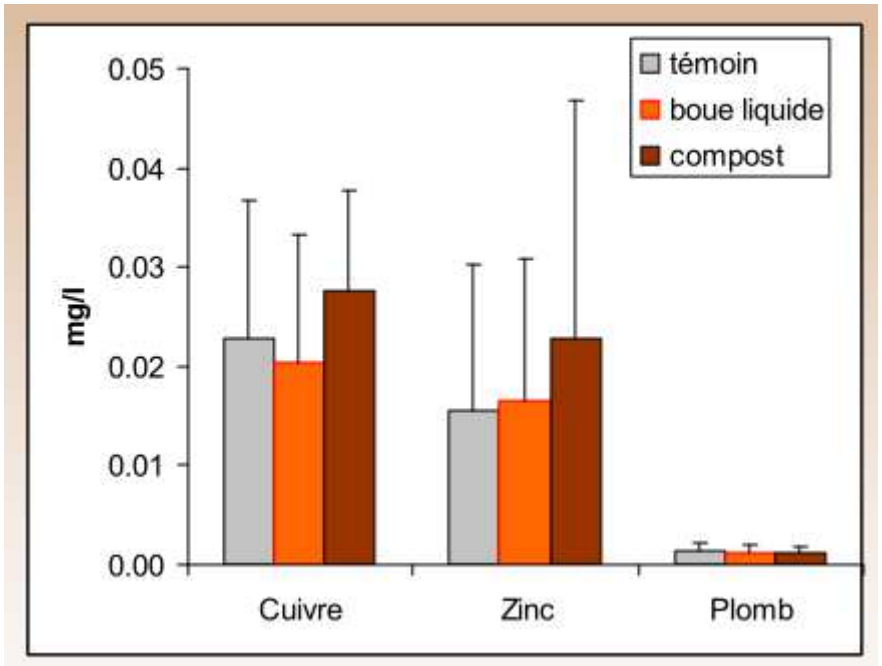
Denaix et al. 2013. Quantification of Trace Elements fluxes (As, Cd, Cu, Pb, Zn) into agricultural fields amended with pig slurry

Estimation de la lixiviation des ETM Cas de l'épandage de produits résiduaires en forêt



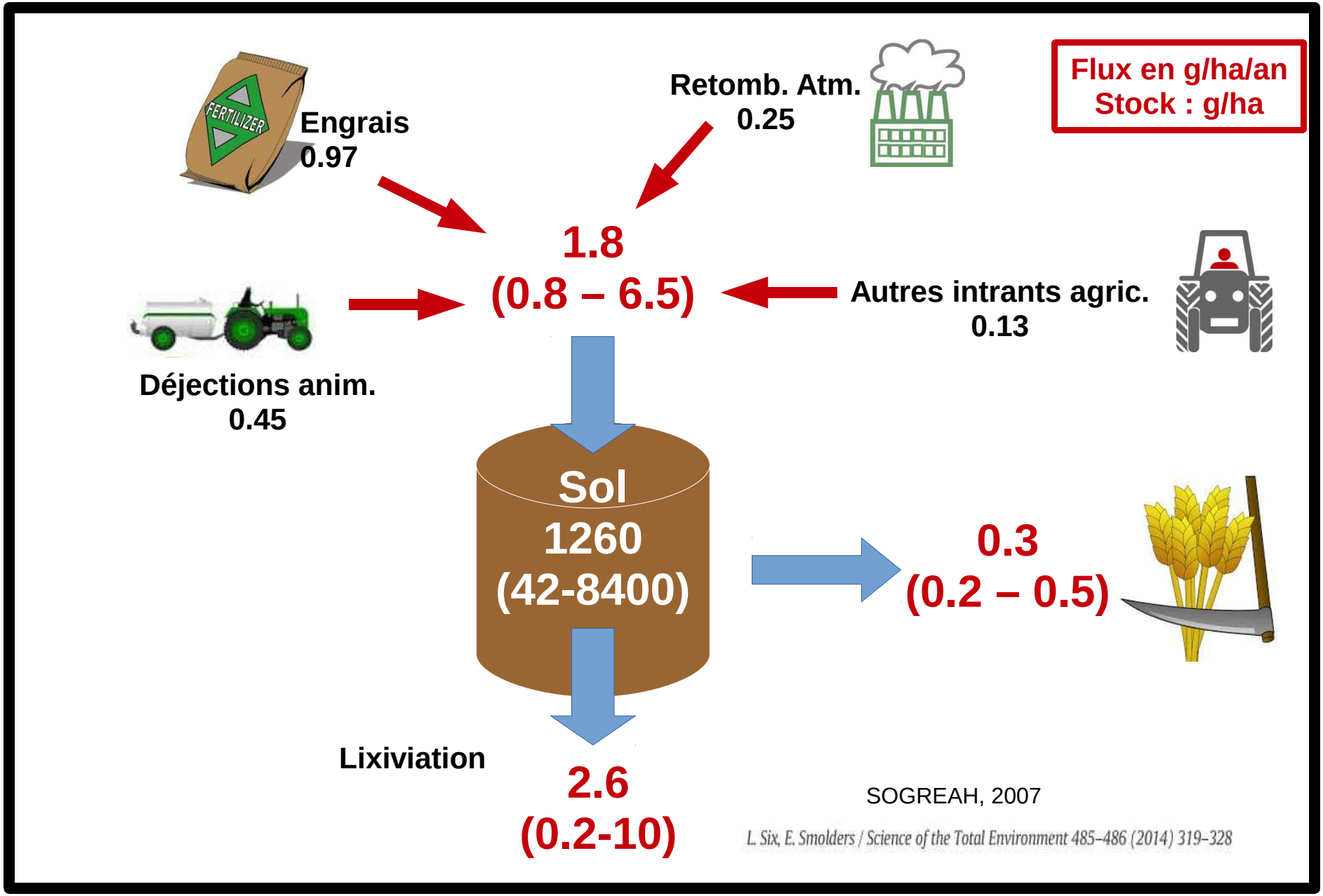


- Sol sableux des landes, acide. Pin maritime
- Apport annuels boues liquide & boues compstées
- Fosses lysimétriques
- Bilan après 2 ans d'apports



(Denaix et al.)

Cadmium



SOGREAH, 2007

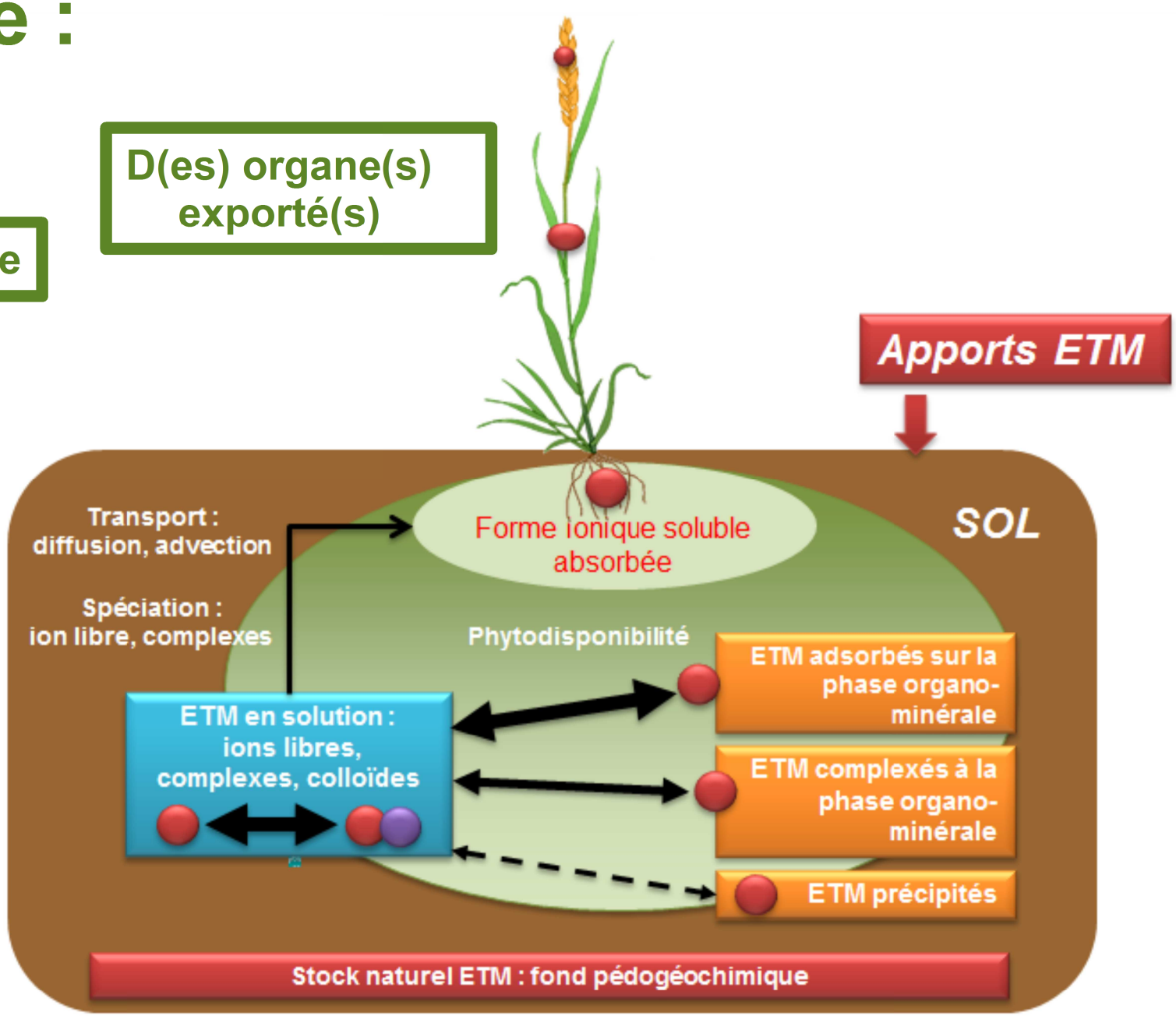
L. Six, E. Smolders / Science of the Total Environment 485–486 (2014) 319–328

Ce qui est exporté par les récoltes dépend de :

L'espèce végétale

D(es) organe(s) exporté(s)

La physico-géochimie



Contamination du grain de blé dur par le Cd

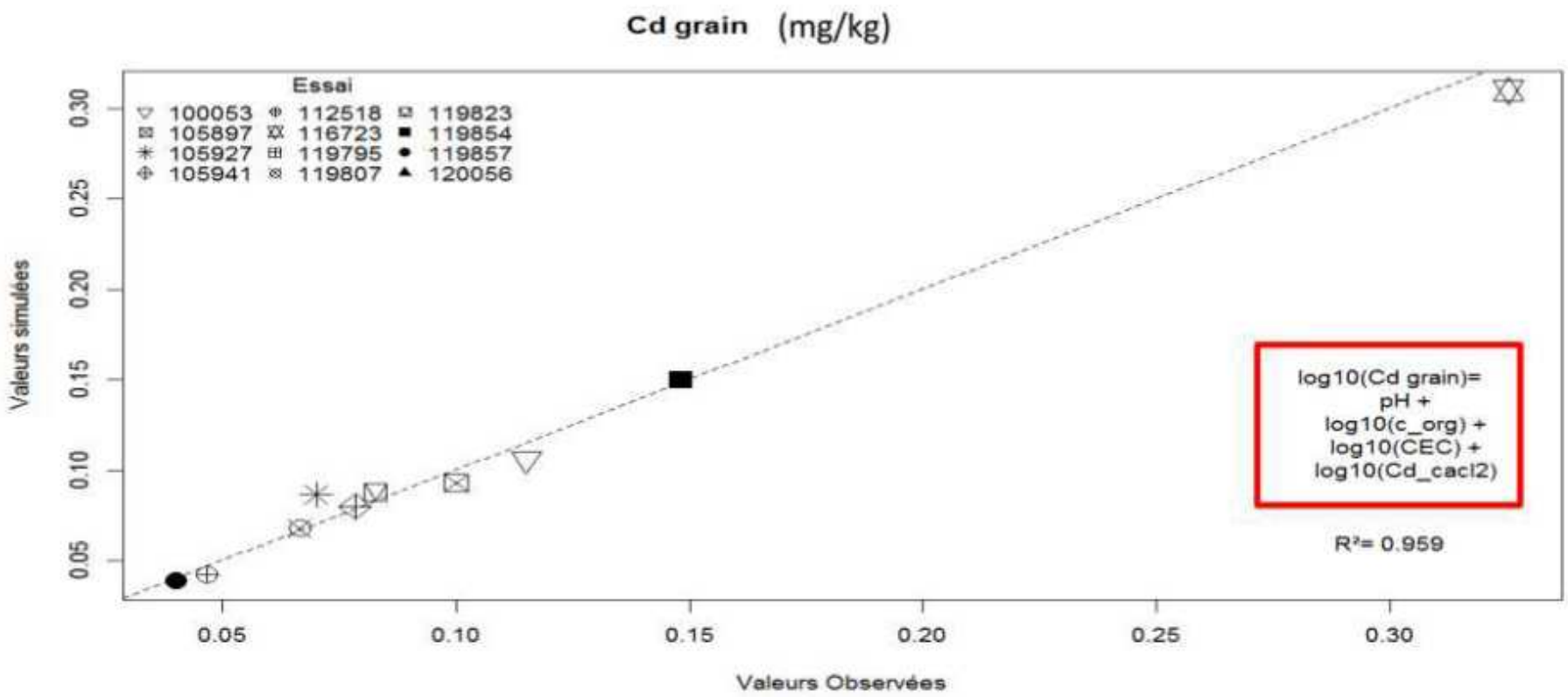
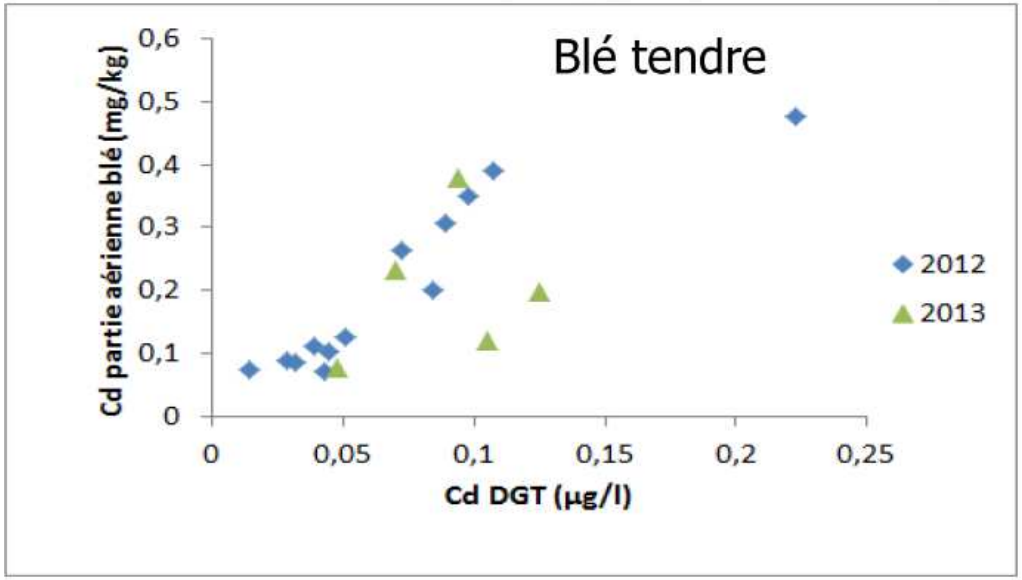


Figure 17 : Modèle prédictif des teneurs moyennes en Cd dans les grains de blé dur en fonction de variables du sol (toutes variétés confondues)

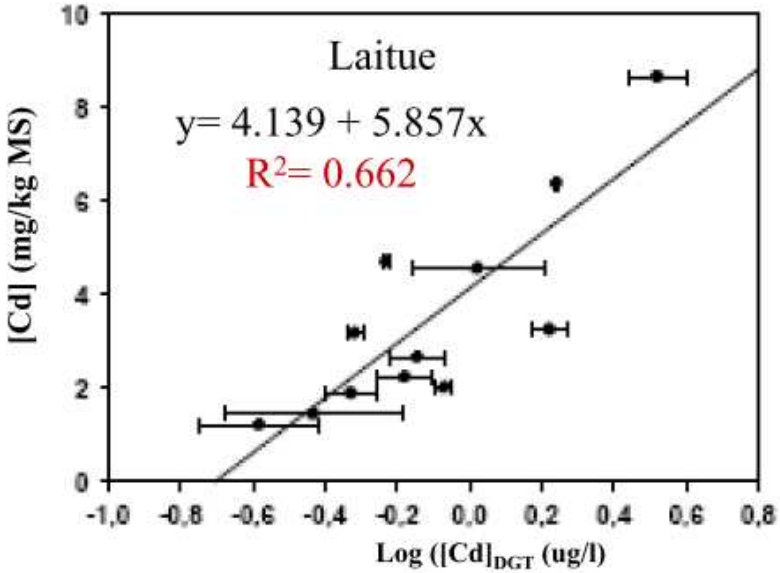
Nguyen et al., Projet Cadur, INRA-Arvalis

Estimation de la mobilité des ETM

Capteur passif 'DGT'

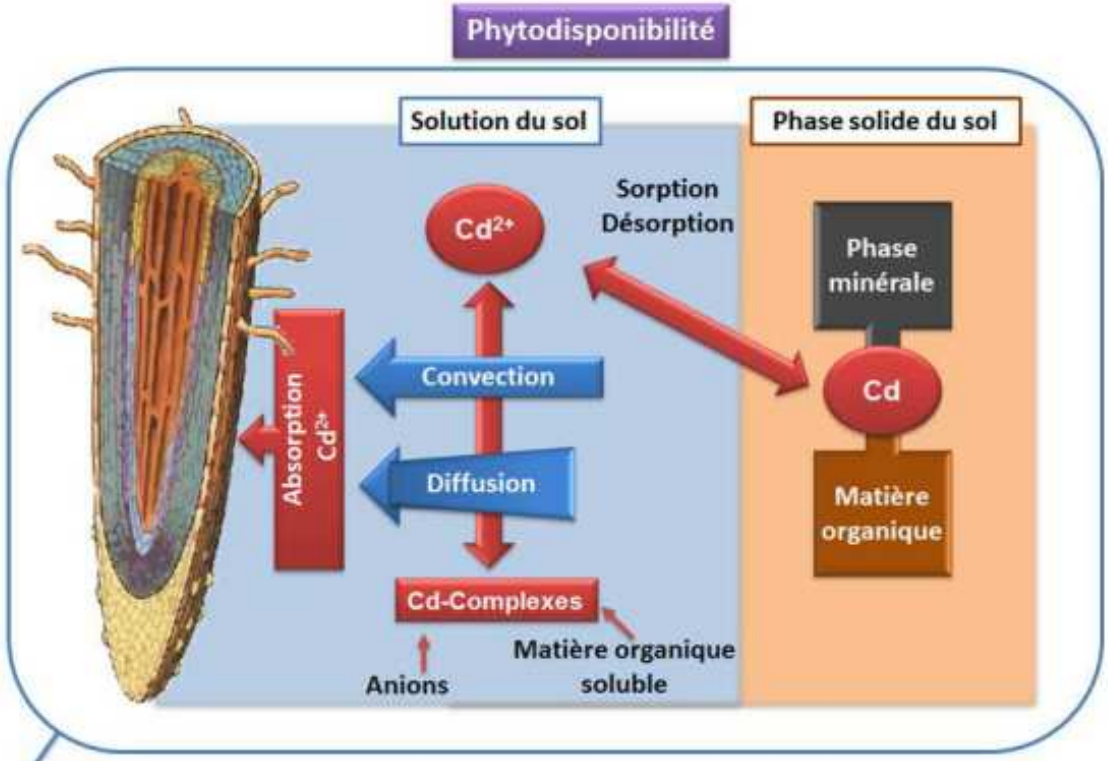


Denaix et al. Programe Casdar Muticontamination, Quasaprove



Sappin et al. Dispositif SOERE PRO, Couhins

Modélisation de la phytodisponibilité

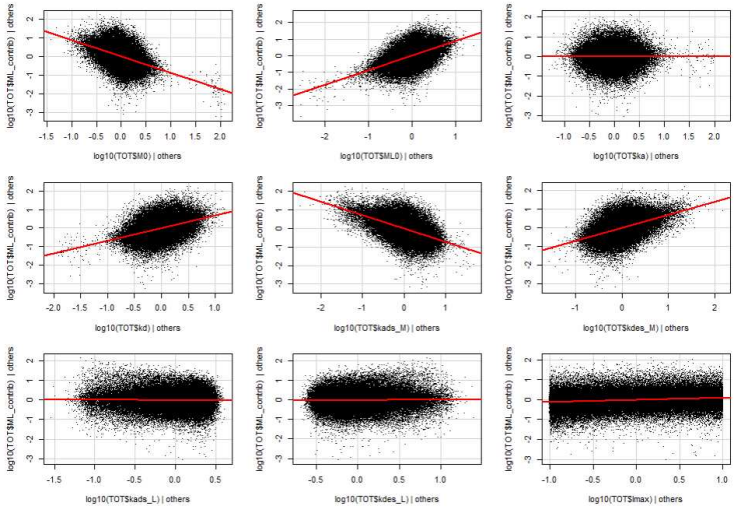


$$\theta\frac{\partial C_M}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rf\theta D_M\frac{\partial C_M}{\partial r}+r_0v_0C_M\right)+\theta\left(k_dC_{ML}-k_{a(cond)}C_MC_L\right)+\left(k_{desM}C_{MS}-\theta k_{adsM}C_M\right)$$

$$\theta\frac{\partial C_{ML}}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rf\,\theta D_L\frac{\partial C_{ML}}{\partial r}+r_0v_0C_{ML}\right)+\theta\left(k_{a(cond)}C_MC_L-k_dC_{ML}\right)\left(k_{desML}C_{MLS}-\theta k_{adsML}C_{ML}\right)$$

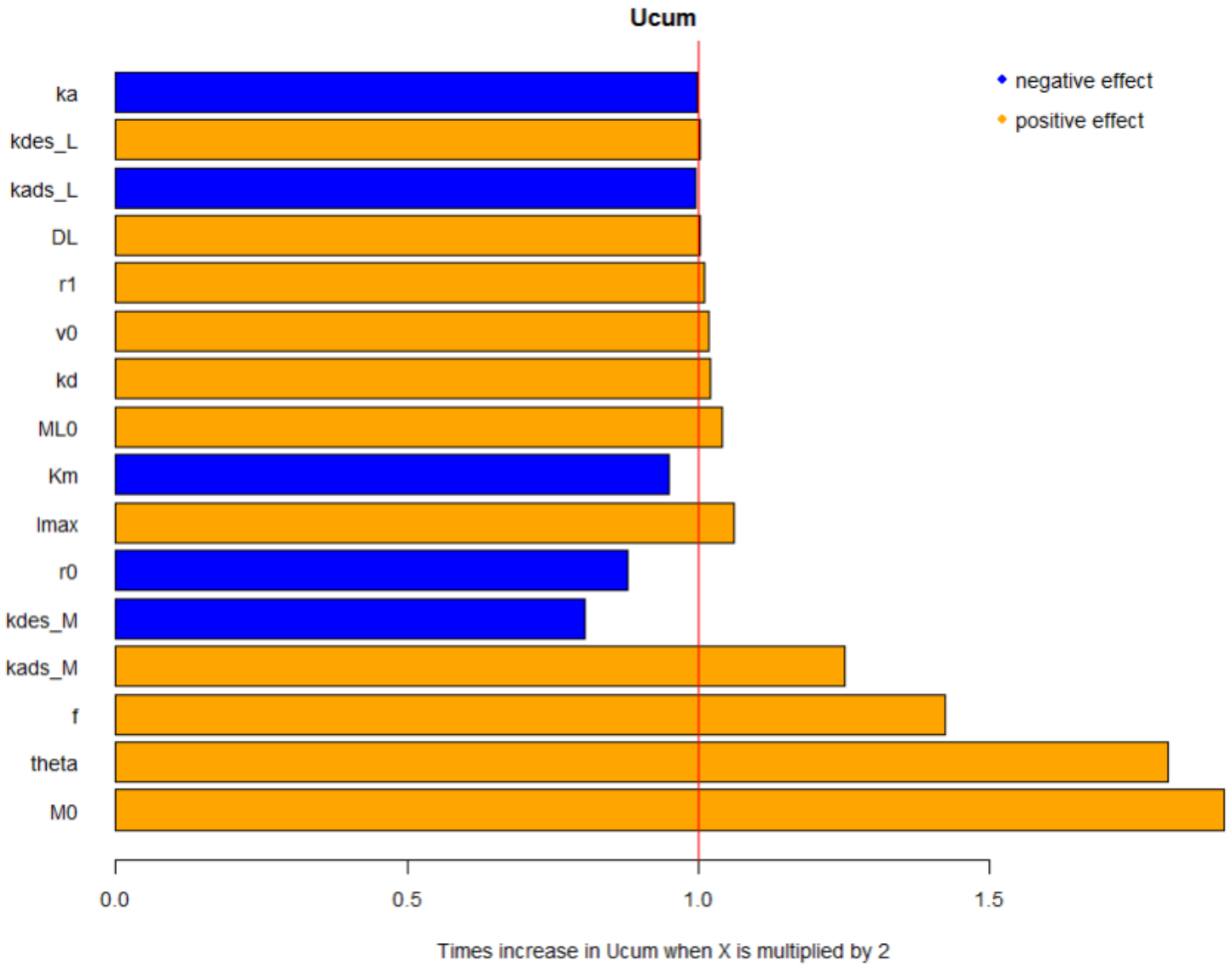
$$\theta\frac{\partial C_L}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rf\,\theta D_L\frac{\partial C_L}{\partial r}+r_0v_0C_L\right)+\theta\left(k_dC_{ML}-k_{a(cond)}C_MC_L\right)\left(k_{desL}C_{LS}-\theta k_{adsL}C_L\right)$$

Simulations numériques
Analyse de sensibilité,
Compréhension des mécanismes
Classement des variables



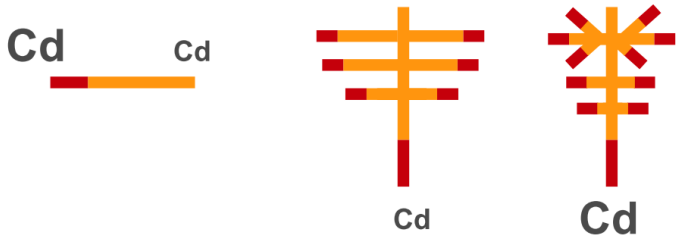
Lin, Schneider, Nguyen : ANR SimTraces

Hiérarchisation des facteurs gouvernant la phytosdisponibilité (Cd)



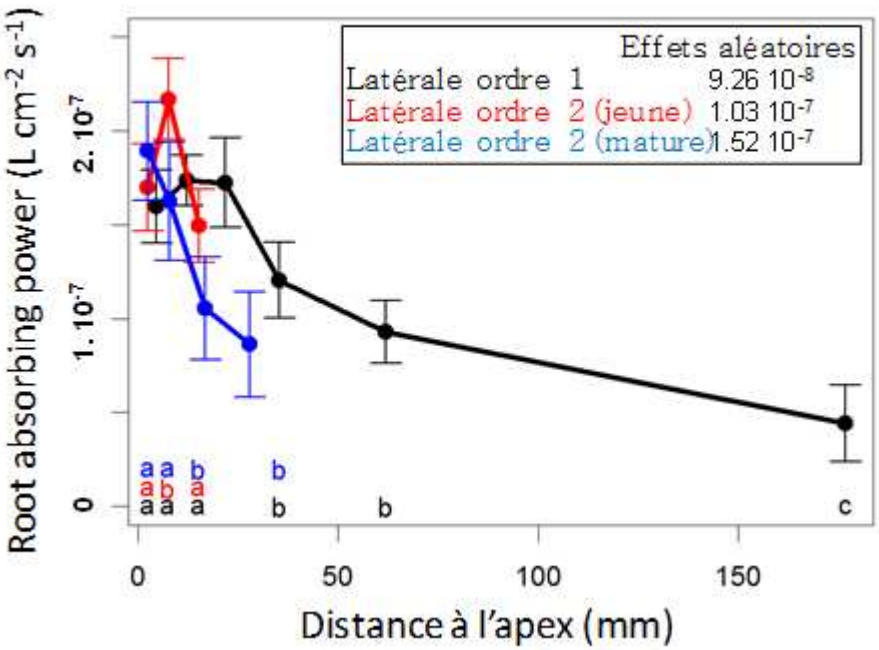
Absorption du Cd et architecture racinaire

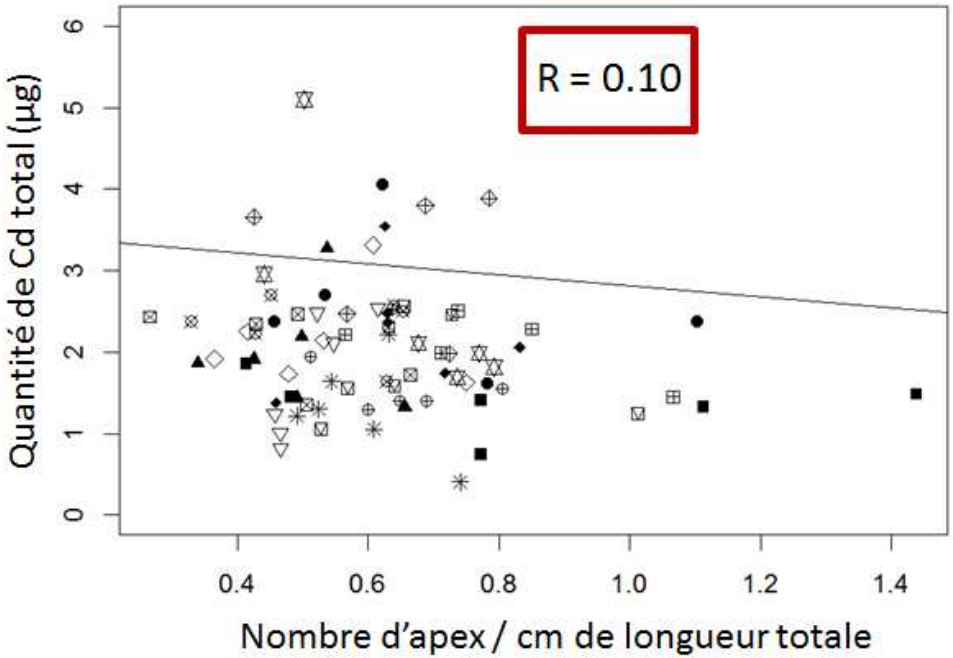
Laporte et al., 2013, 2014



Variabilité longitudinale d'absorption du Cd chez le tournesol

Absorption du Cd par 14 cultivars de tournesol

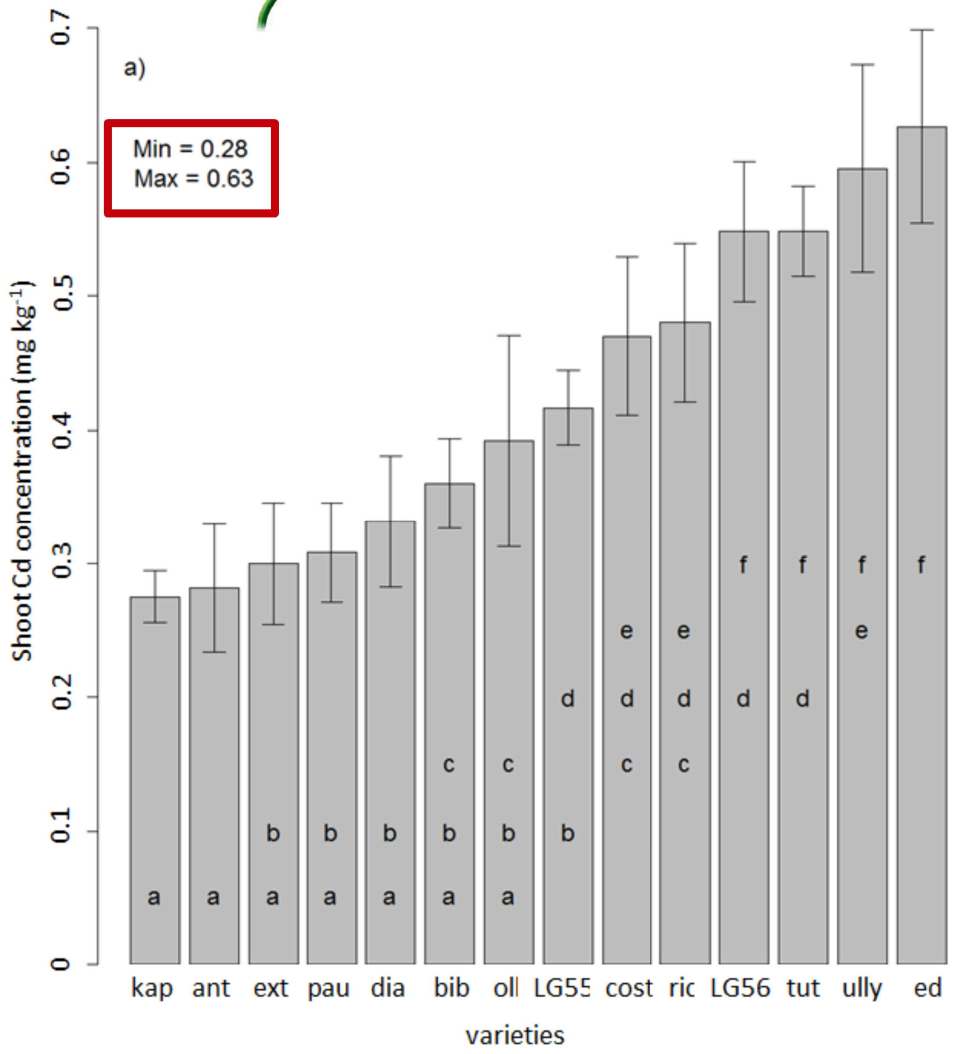


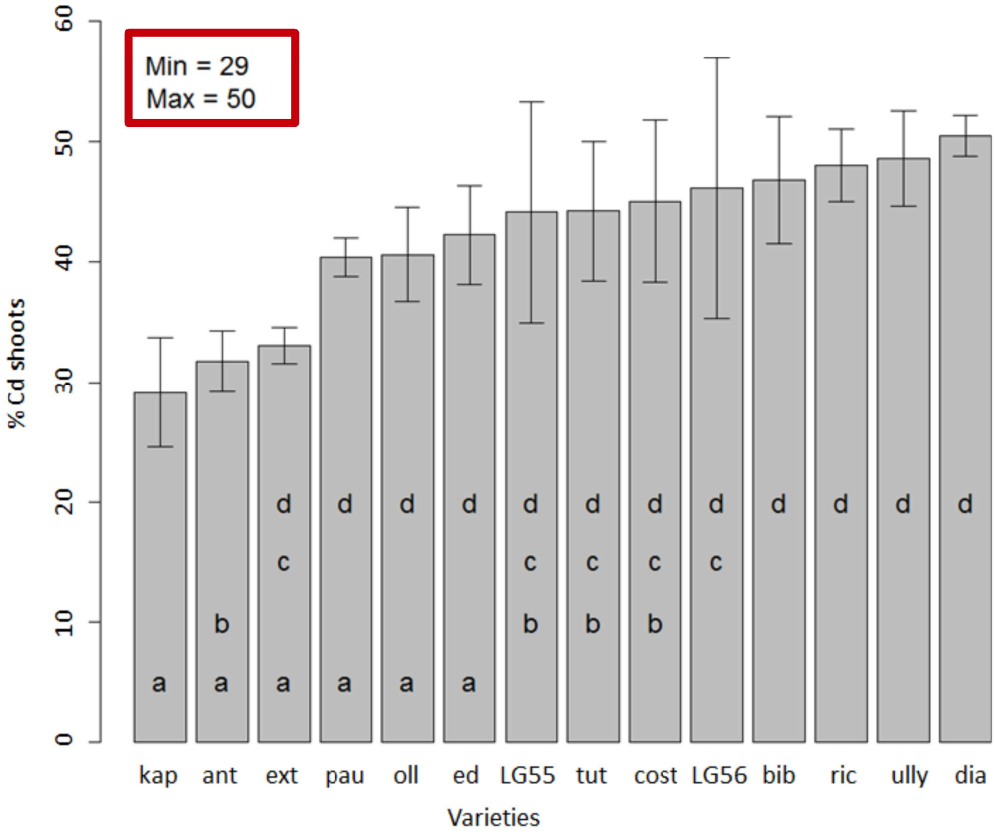


Pas d'effet du nombre d'apex/cm de longueur totale

Variabilité d'allocation du Cd aux parties aériennes

14 variétés de tournesol cultivées en solution nutritive à 20 nM Cd



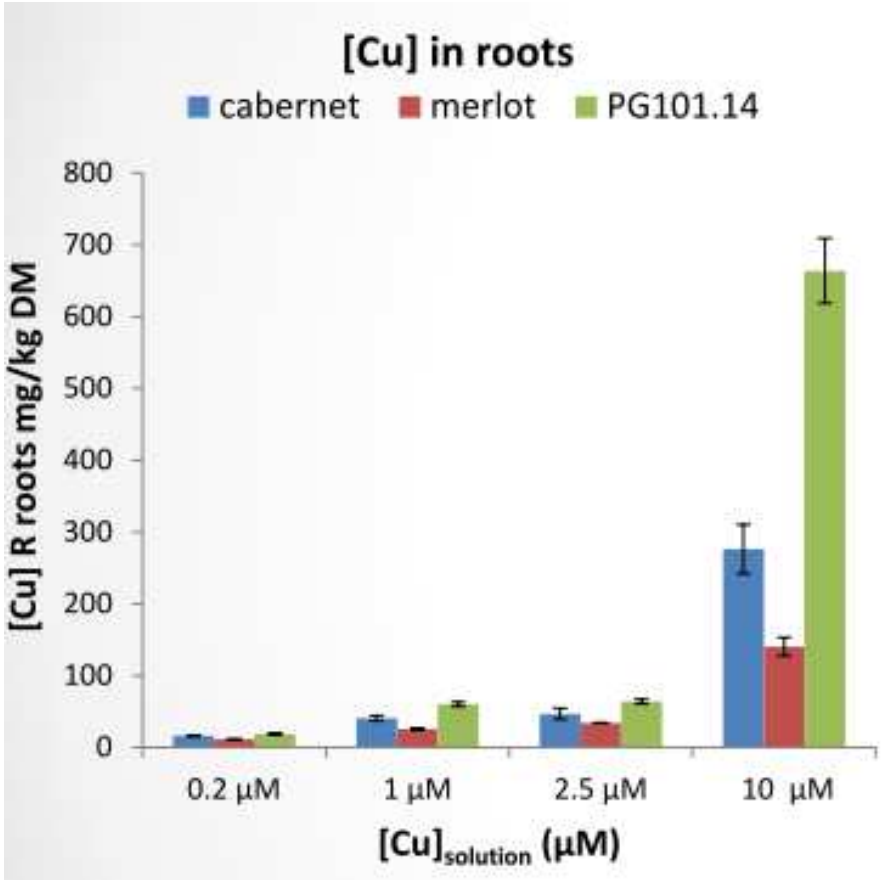


Laporte et al., 2014

Répartition des ETM dans la plante

Vigne : variabilité de la séquestration racinaire du Cu suivant les cépages

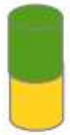
(Thèse L. Anatole-Monnier)

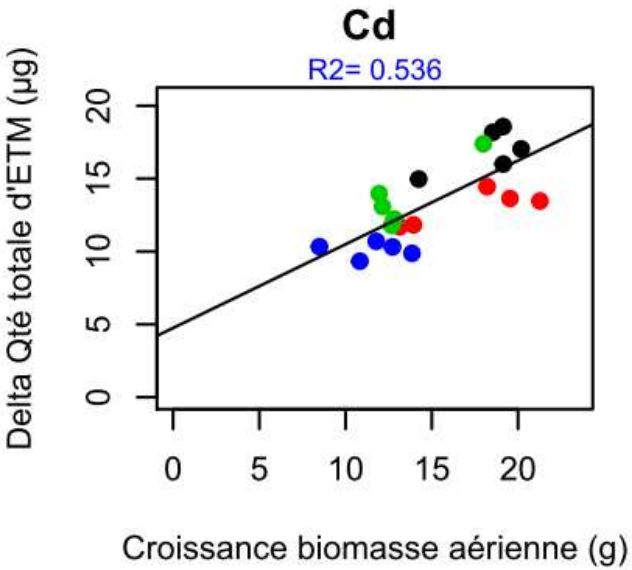


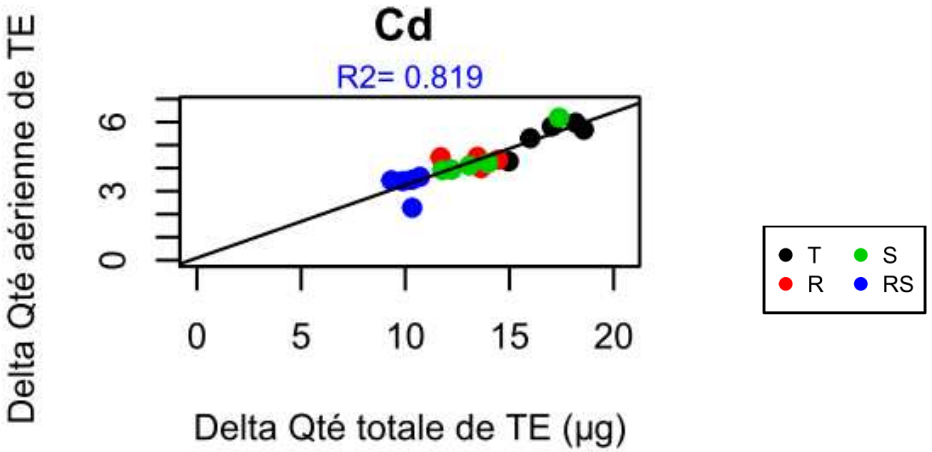
Comprendre le prélèvement et l'allocation du Cd aux parties aériennes

Culture tournesol
hydroponie
Coupes des racines et/ou des feuilles (50%)

Les traitements

			
Témoin	Taille des racines	Tailles des parties aériennes	Tailles des racines et des parties aériennes
T	**R**	**S**	**RS**

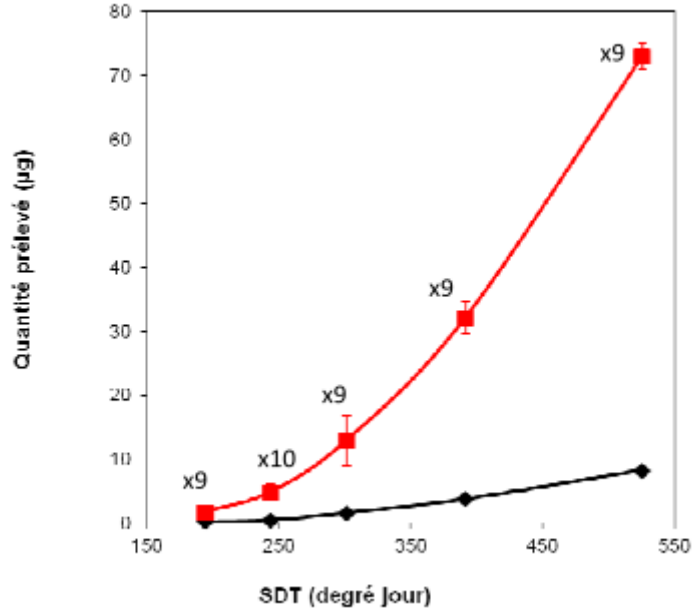




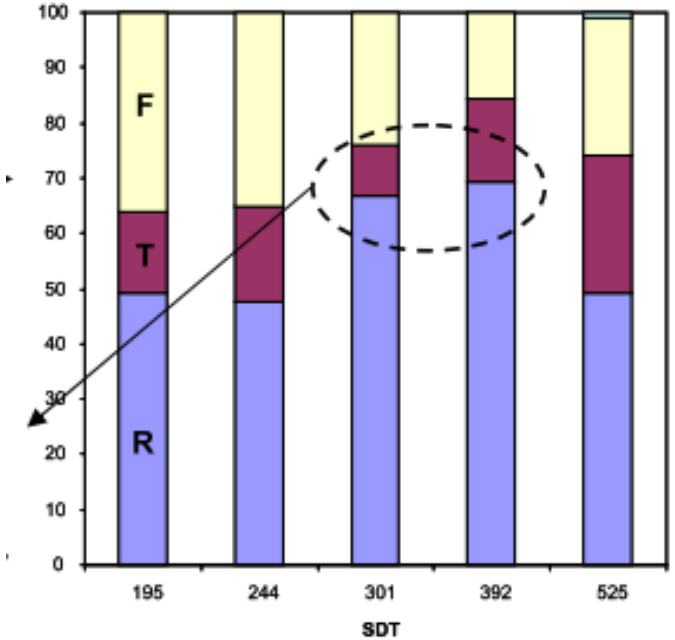
Bakoto, Cornu (2013)

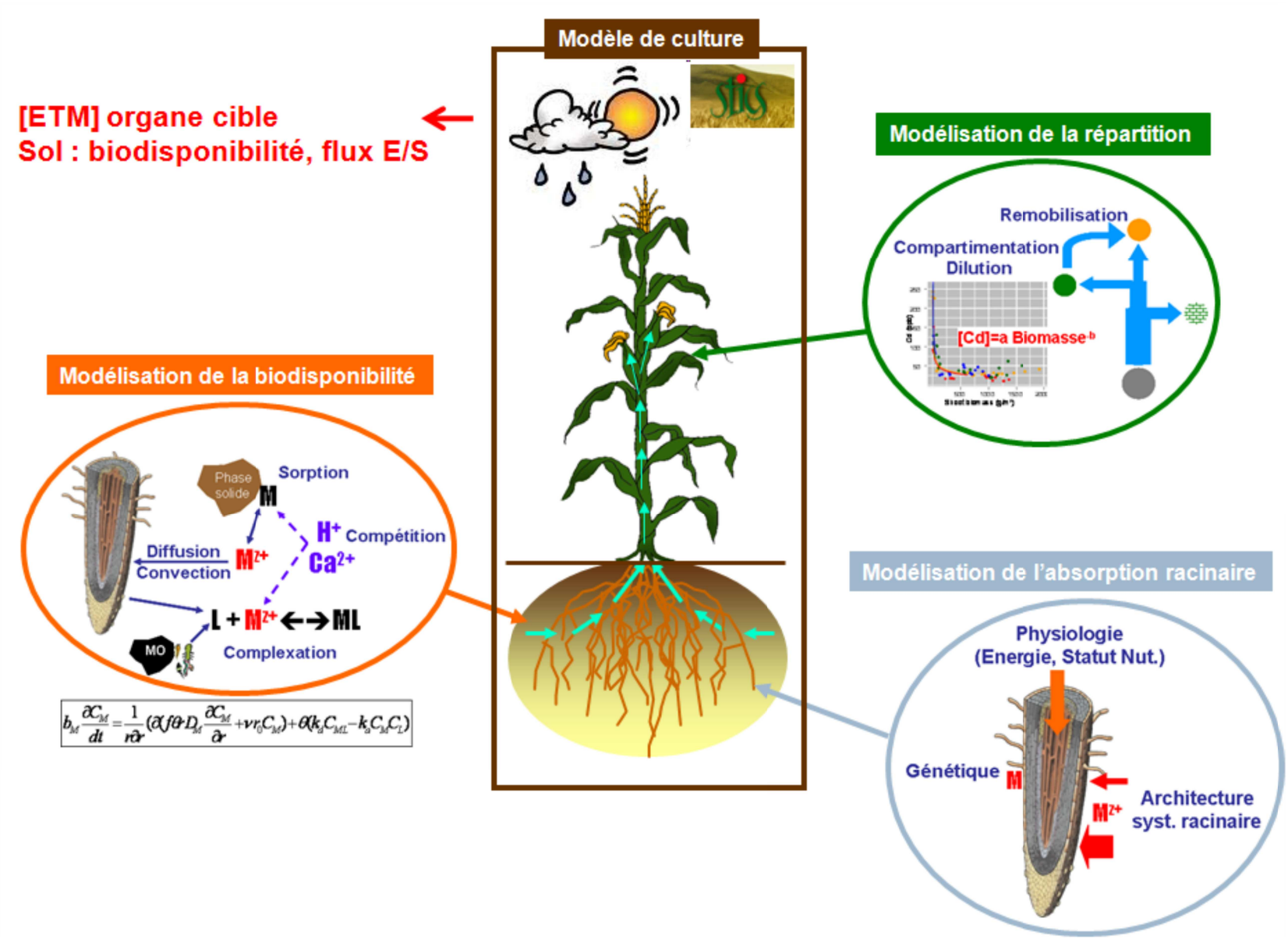
Répartition des ETM dans la plante

	Récolte 1	Récolte 2	Récolte 3	Récolte 4	Récolte 5
SDT	195	244	301	392	525
Stade phénologique	6 feuilles	9 feuilles	14 feuilles	19 feuilles	Bouton floral 30 feuilles
Photos					



Modification de l'allocation du Cd entre organes au cours de la croissance
(Cornu et al. ANR SimTraces)



Bakoto, Cornu (2013)

Vers une modélisation mécaniste intégrative du transfert sol-plante des ETM