

Ecodynamique d'éléments traces en contexte de phytostabilisation aidée par des laitiers dans un sol sableux contaminé en cuivre

Lydie Le Forestier, Mikael Motelica-Heino, Philippe Le Coustumer, Michel Mench

▶ **To cite this version:**

Lydie Le Forestier, Mikael Motelica-Heino, Philippe Le Coustumer, Michel Mench. Ecodynamique d'éléments traces en contexte de phytostabilisation aidée par des laitiers dans un sol sableux contaminé en cuivre. 24e Réunion des Sciences de la Terre à Pau, Oct 2014, Pau, France. , 542 p., 2014, Résumés de la 24e Réunion des Sciences de la Terre à Pau. insu-01094293

HAL Id: insu-01094293
https://insu.hal.science/insu-01094293

Submitted on 12 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ecodynamique d'éléments traces en contexte de phytostabilisation aidée par des laitiers dans un sol sableux contaminé en cuivre

Lydie LE FORESTIER[1], Mikael MOTELICA-HEINO[1], Philippe LE COUSTUMER[2], Michel MENCH[3]

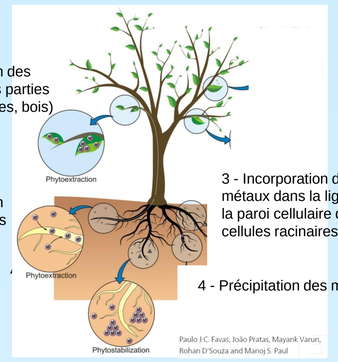
[1]ISTO, UMR7127, Université d'Orléans, CNRS/INSU, 45071 Orléans; lydie.leforestier@univ-orleans.fr

[2]Géoressources & Environnement, EA 4592, Université Bordeaux 3, 33607 Pessac ; [3]BIOGECO, UMR INRA 1202, Université de Bordeaux, 33615 Pessac.

Problématique

Contamination diffuse aux métaux

Stratégies de phytoremédiation d'un sol contaminé aux éléments traces :



Cas du cuivre:
- investigation recommandée si $[Cu]_{sol}$ > 35 mg/kg
- phytotoxicité potentielle si $[Cu]_{feuille}$ > 25-30 mg/kg MS

Objectif: Effet de la phytostabilisation aidée par des amendements (laitiers) sur des sols sableux contaminés au Cu. Le but est d'acquérir des connaissances sur les mécanismes réactionnels dans le sol, les concentrations et spéciations des contaminants dans des sources d'exposition

Site

❑ Historique:

L'écodynamique d'éléments traces est étudiée dans des sols fortement contaminés au Cu issus d'un ancien site industriel de traitement du bois situé à Saint Médard d'Eyrans (Gironde, France) *(Mench and Bès, 2009)*. Il s'agit de sols sableux de la terrasse alluviale de la Garonne.

Contamination :
- **Sulfate de cuivre** (utilisé entre 1913 et 1980)
- **Arséniate de Cuivre Chromé (CCA)** (utilisé de 1980 à 2006)



Ce site constitue la plateforme BIOGECO: les sols sont gérés par des solutions de phytoremédiation, dont la phytoextraction (tournesol, tabac) et la phytostabilisation (saule, peuplier, graminées) aidée ou non par des amendements organiques (compost) et minéraux (dolomie, fer zérovalent et laitiers).

Cette étude se focalise sur l'écodynamique du Cu dans ces sols gérés par phytostabilisation aidée par ajout de laitiers d'aciérie, qui peuvent contribuer à l'immobilisation d'éléments du fait de leurs propriétés alcalines.

❑ Sols sélectionnés:

UNT = sol contaminé et non traité

PLDS = sol contaminé, végétalisé avec *Agrostis gigantea* et un peuplier (*Populus trichocarpa* x *deltoides* cv Beaupré) (= végétaux de type excluders, stockant Cu dans leurs racines) et amendé avec des laitiers d'aciérie enrichis en phosphore (P-spiked LD slag)

CARMEUSE= sol contaminé, végétalisé avec la rotation tournesol/tabac et amendé avec des laitiers d'aciérie de l'entreprise Carmeuse

M = sol prélevé dans la prairie à proximité du site

CTRL = sol de jardin non contaminé, prélevé à quelques kms sur la même terrasse alluviale à Gradignan, qui servira de sol de contrôle

Vue des lysimètres sur le site



Les horizons de sol en surface UNT et PLDS ont été échantillonnés en triplicats dans les lysimètres du site

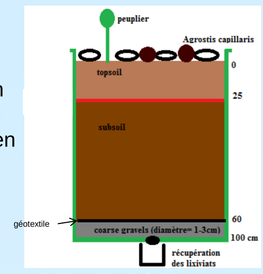


Schéma d'un lysimètre en coupe

❑ Caractéristiques des sols

Horizon 0 – 0,25 m

	Sol UNT	Sol M	Sol CTRL
pH	6,4	5,4 ± 0,4	7,01
EC (µS cm^{-1})	61,2 ± 19,8	86,3	169 ± 22
C total (g kg^{-1})	32,6 ± 3,5	83,9 ± 26,2	
COT (g kg^{-1})	4,9 ± 0,4	10,4	40,4
SiO_2 (g kg^{-1})	661,4 ± 55,9	673,1 ± 149,2	
Al_2O_3 (g kg^{-1})	165,1 ± 29,3	132.1 ± 66,8	
Fe_2O_3 (g kg^{-1})	40,8 ± 7,9	41,8 ± 20,7	
CaO (g kg^{-1})	15,8 ± 21,8	3,2 ± 0,4	
MgO (g kg^{-1})	3,9 ± 0,6	4,3 ± 1,9	
Na_2O (g kg^{-1})	1,3 ± 0,9	1,9 ± 1,1	
TiO_2 (g kg^{-1})	2,7 ± 0,2	10,5 ± 14,2	
P_2O_5 (g kg^{-1})	2,4 ± 0,3	2,2 ± 0,9	

EC = conductivité électrique
Carbone total dosé par analyseur élémentaire LECO
COT = carbone organique total dosé par Rock Eval
Eléments majeurs dosés par ICP-ES

	Sol UNT	Sol M	Sol CTRL	Réf. sol sableux *(Baize, 1997)*
Cu (mg kg^{-1})	**3003 ± 719**	**888**	**21,5**	3,2 – 8,4
As (mg kg^{-1})	18 ± 2	9 ± 2	3,6	1
Cr (mg kg^{-1})	38 ± 6	27 ± 2	17,9	14,1 – 40,2
Zn (mg kg^{-1})	118 ± 13	77 ± 14	50,9	17 - 48

Cu, As, Cr, Zn dosés par ICP-MS

❑ Caractéristiques des amendements

Deux **laitiers d'aciérie** ont été utilisés comme amendement:

- **PLDS** (P-spiked Linz-Donawitz Slag): laitier enrichi en phosphore *(Negim et al., 2012)*
- **CARMEUSE** : laitier de la société Carmeuse

L'amendement a consisté à ajouter 1 g de laitier dans 100 g de sol

	Laitier PLDS	Laitier CARMEUSE
pH	11,6	12,7
EC (µS cm^{-1})	2700	10700
SiO_2 (g kg^{-1})	146	111
Al_2O_3 (g kg^{-1})	56	14
Fe_2O_3 (g kg^{-1})	214	366
CaO (g kg^{-1})	307	448
MgO (g kg^{-1})	95	64
Na_2O (g kg^{-1})	n.d.	2
MnO (g kg^{-1})	25	42
P_2O_5 (g kg^{-1})	140	12
Cu (mg kg^{-1})	< 5	< 5
As (mg kg^{-1})	< 5	< 5
Cr (mg kg^{-1})	511	900
Zn (mg kg^{-1})	24	< 5

	Sol PLDS	Sol CARMEUSE
pH	8,3 ± 0,1	8,0 ± 0,1
EC (µS cm^{-1})	184 ± 11,9	201,3 ± 5,5

Sols

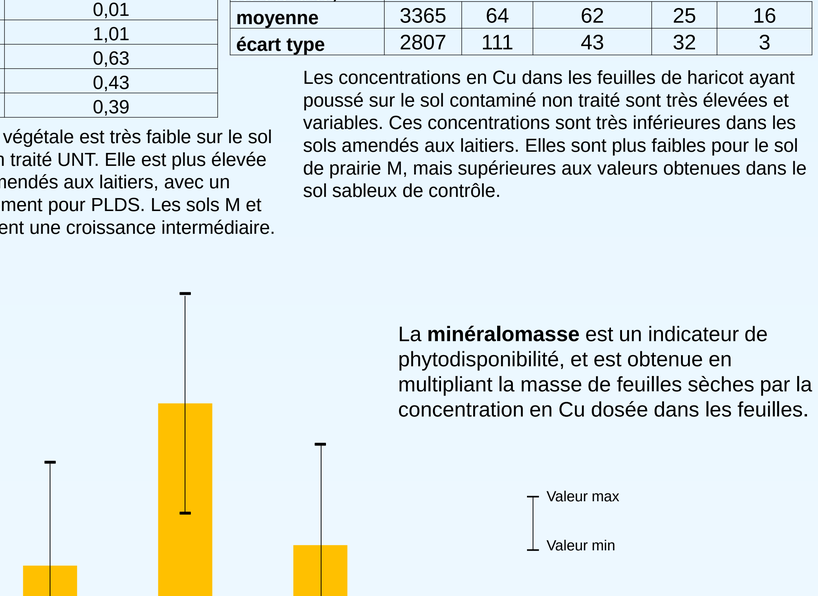
❑ Mésocosmes

- 450 g de sol équivalent sec par pot
- Sol maintenu à 50% de WHC (Water Holding Capacity), i.e. de la capacité de rétention maximale en eau du sol, par ajout d'eau déionisée
- 4 graines de haricot nain (préalablement germés dans du coton humide) plantés dans chaque pot
- Eclairage avec lampe: 21°C, cycle journalier 16h éclairage / 8h nuit
- Durée de la croissance = 21 jours
- 3 réplicats pour chaque type de sol



❑ Spéciation du Cu dans les sols

Extractions séquentielles: *(Tessier et al., 1979)*
- **fraction échangeable**: extraction n°1 avec 8mL 1M $MgCl_2$, 1h, pH 7
- **fraction acido-soluble:** extraction n°2 avec 18mL 1M NaOAc, 1h, pH 5
- **fraction oxydable:** extraction n°3 avec 50mL de la solution 0,267M $Na_3C_6H_5O_7$ et 0,111M $NaHCO_3$, 80°C, puis 3mL 200g/L $Na_2S_2O_4$, 30mn, 80°C
- **fraction réductible:** extraction n°4 avec 5mL 30% H_2O_2 et 3mL 0,02M HNO_3, 2h, pH 2, 85°C, puis 3mL 30% H_2O_2, 3h, 85°C, puis 5mL 3,2M NH_4OAc, 1h



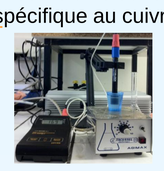
- Dans les sols non amendés UNT et M, le Cu est surtout associé à la fraction oxydable donc aux oxyhydroxydes de Fe et Mn, puis à la fraction résiduelle, et enfin associé à la fraction réductible donc à la matière organique.
- Dans les sols amendés aux laitiers, le Cu se trouve surtout dans la fraction résiduelle. **L'ajout de laitiers permet d'augmenter significativement la fraction non remobilisable.**

Spéciation du Cu en solution

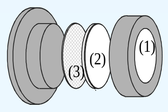
❑ Techniques de prélèvement



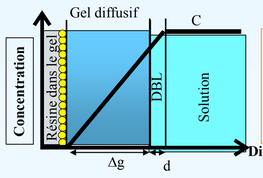
- **Rhizon** (0,15 µm) pour prélever l'eau Interstitielle du sol
  - Mesures pH, EC
  - Dosage COD (Carbone Organique Dissous)
  - Dosage ICP-MS ⇒ **Total dissous** (= dissous vrai + dissous colloïdal)
  - Mesure à l'électrode spécifique au cuivre ⇒ **Dissous vrai**



- **DGT** (Diffusive Gradient in Thin film) et dosage ICP-MS ⇒ **Pool labile**



(1) Filtre à 0,45 µm
(2) gel diffusif
(3) Gel de résine (Chelex 100)



F = DC/Dg
F = M / At
C_{DGT} = MΔg / DAt (loi de Fick)
Où F=flux, M=masse
Δg=épaisseur du gel diffusif
t=24h d'insertion

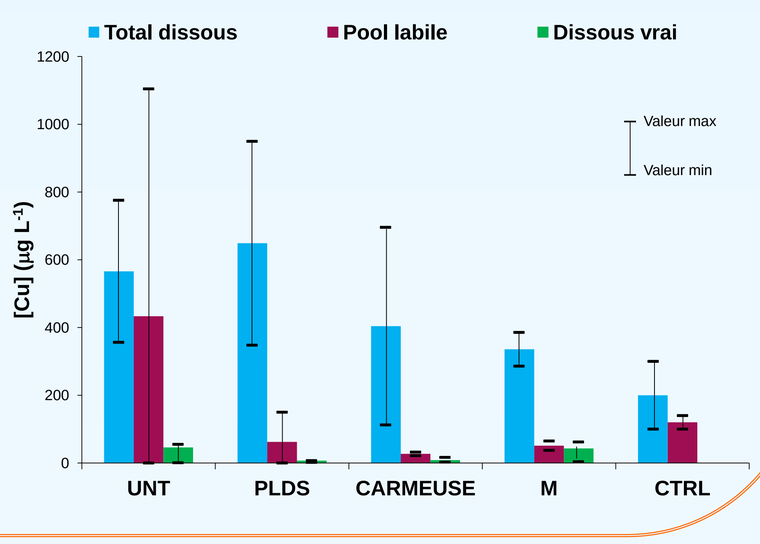
❑ Caractéristiques des solutions de sols

	UNT	M	CTRL
pH	6,0 ± 0,8	5,4 ± 0,4	7,4 ± 0,5
EC (µS cm^{-1})	406 ± 91	1050	410 ± 20
COD (mg L^{-1})	3,78 ± 0,37	5,40 ± 0,15	63,06 ± 1,70
pCu^{2+}	5,62 ± 1,18	5,71 ± 0,59	11,63 ± 0,73

$pCu^{2+} = 3,20 + 1,47pH – 1,84log_{10}([Cu]_{sol})$ (Sauvé, 2003)

❑ Résultats de la spéciation du Cu en solution

- Dans les sols non traités et amendés, Cu se trouve surtout sous forme colloïdale (colloïdes inorganiques et colloïdes complexés à la matière organique).
- Les amendements (laitiers) permettent d'abattre la fraction disponible de Cu (pool labile et dissous vrai).
- Le sol de prairie présente des valeurs en total dissous plus faibles, mais supérieures au sol de contrôle.



Phytodisponibilité du Cu

Haricot = indicateur de biodisponibilité du Cu

Premières feuilles de haricot séchées à l'étuve à 70°C puis pesées ⇒ Minéralisation par voie humide *(Hattab et al., 2013)* ⇒ Dosage des métaux par ICP-MS

	Masse cumulée des feuilles sèches (g)
UNT	0,01
PLDS	1,01
CARMEUSE	0,63
M	0,43
CTRL	0,39

Cu (mg kg^{-1} de masse sèche de haricot)	UNT	PLDS	CARMEUSE	M	CTRL
moyenne	3365	64	62	25	16
écart type	2807	111	43	32	3

La croissance végétale est très faible sur le sol contaminé non traité UNT. Elle est plus élevée sur les sols amendés aux laitiers, avec un meilleur rendement pour PLDS. Les sols M et CTRL présentent une croissance intermédiaire.

Les concentrations en Cu dans les feuilles de haricot ayant poussé sur le sol contaminé non traité sont très élevées et variables. Ces concentrations sont très inférieures dans les sols amendés aux laitiers. Elles sont plus faibles pour le sol de prairie M, mais supérieures aux valeurs obtenues dans le sol sableux de contrôle.

La **minéralomasse** est un indicateur de phytodisponibilité, et est obtenue en multipliant la masse de feuilles sèches par la concentration en Cu dosée dans les feuilles.

La minéralomasse en Cu est la plus faible pour le sol de contrôle CTRL, puis pour le sol de prairie M. Elle est 2 fois plus élevée pour le sol amendé au laitier PLDS que pour CARMEUSE. La minéralomasse en Cu pour le sol UNT est intermédiaire avec une forte variabilité.

Conclusions

- **L'amendement de laitiers permet de réduire la fraction disponible du Cu en solution, le pool labile du Cu dans le sol, la fraction remobilisable du Cu dans le sol, et la phytodisponibilité du Cu.**
- **L'amendement de laitiers augmente le pH du sol, ce qui favoriserait l'adsorption du Cu libre sur les surfaces des laitiers.**
- **La phytodisponibilité du Cu est réduite par l'ajout de laitiers, de façon similaire pour les 2 laitiers (PLDS et CARMEUSE).**
- **L'amendement de laitiers PLDS est plus favorable pour la croissance des plantes que le laitier CARMEUSE.**

⇒ **Les laitiers peuvent donc être utilisés de façon positive en phytostabilisation aidée**

Hattab N., Hambli R., Motelica-Heino M., Bourrat X., Mench M. (2013) JGE 128, 25-34
Mench M., Bès C. (2009) Pedosphere 19, 143-155
Negim O., Mench M., Bès C., Motelica-Heino M., Amin F., Huneau F., Le Coustumer P. (2012) Environ. Sci. Pollut. Res. 19, 847-857
Sauvé S. (2003) In Risk assessment and sustainable land management using plants in trace element-contaminated soils. Ed. M. Mench, B. Mocquot, 69-70, Centre INRA Bordeaux-Aquitaine
Tessier A., Campbell P., Bosson M. (1979) Analyt. Chemist. 51, 844–851