



HAL
open science

Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de boue résiduaire de station d'épuration urbaine sur l'absorption et le transfert en temps court du cadmium par des plantules de maïs (*Zea mays* L.)

A. Gomez, Christian Juste

► To cite this version:

A. Gomez, Christian Juste. Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de boue résiduaire de station d'épuration urbaine sur l'absorption et le transfert en temps court du cadmium par des plantules de maïs (*Zea mays* L.). *Agronomie*, 1981, 1 (6), pp.463-466. hal-02722514

HAL Id: hal-02722514

<https://hal.inrae.fr/hal-02722514v1>

Submitted on 1 Jun 2020

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.

Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de boue résiduaire de station d'épuration urbaine sur l'absorption et le transfert en temps court du cadmium par des plantules de maïs (*Zea mays* L.).

Alain GOMEZ & Christian JUSTE

I.N.R.A., Station d'Agronomie, Centre de Recherches agronomiques de Bordeaux, F 33140 Pont de la Maye

RÉSUMÉ

*Electroséparation,
Boue,
Cadmium,
Absorption,
Transfert,
Maïs.*

Deux échantillons de boue traités par voie anaérobie (déshydratés par centrifugation ou autoclavage) ont été mis en suspension dans de l'eau bipermutée et soumis de manière continue pendant 4 jours à un courant constant de 30 mA dans une cuve à électroséparation. Les fractions anodiques ($< 30 \mu\text{M}$) ont été enrichies à raison de 5 ou 25 mg/l de Cd (ajouté sous forme de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) et utilisées comme milieu de culture liquide pour des plantules de maïs placées pendant 48 h dans une enceinte climatique. En comparaison avec des solutions nutritives contenant les mêmes niveaux de Cd, les extraits anodiques ne changent pas la quantité totale de métal absorbée mais augmentent considérablement le rapport $\frac{\text{Cd dans les parties aériennes}}{\text{Cd dans les racines}}$ dans le maïs, en raison d'une stimulation du transfert de Cd vers les parties aériennes. L'extrait anodique de la boue autoclavée a exercé un effet beaucoup plus net que celui issu de la boue conditionnée par centrifugation. On a émis l'hypothèse que des substances organiques (de nature protéinique ou des acides aminés) concentrées dans l'extrait anodique par le champ électrique sont impliquées dans l'absorption et le transfert en temps court du Cd dans les plantules de maïs.

SUMMARY

*Electroseparator,
Sewage sludge,
Cadmium,
Uptake,
Translocation,
Maize.*

*Effect of the anodic fraction of sewage sludge aqueous extracts on short term uptake and translocation of Cd in maize (*Zea mays* L.) seedlings*

Two anaerobic sewage sludge samples (deshydrated by centrifuging or thermic process) were suspended in distilled water and continuously treated for 4 days in an electroseparator cell with a constant current of 30 mA. The anodic fractions (particles $< 30 \mu\text{M}$) were enriched with 5 or 25 ppm of Cd (as $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) and used as nutrient liquid medium for maize seedlings cultivated in growth chamber during 48 hours. In comparison with the control nutrient solution culture containing the same levels of Cd, the anodic extracts do not change the total metal uptake but increase sharply the ratio $\frac{\text{shoot Cd}}{\text{root Cd}}$ in the maize seedlings as a result of the improvement of the Cd translocation towards the aerial part of the plant. The anodic extract of the thermally treated sludge was more effective for this purpose than the anodic extract of the centrifugated sludge. It was hypothesized that organic substances (probably proteins or amino-acids) concentrated in the anodic extract by the electric field are involved in the short term uptake and translocation of Cd in the maize seedlings.

I. INTRODUCTION

Un des principaux obstacles qui s'opposent à l'utilisation de boues de stations d'épuration des villes comme amendements organiques des terres est leur contenu souvent élevé en métaux lourds, dont certains comme le cadmium (20 à 25 mg/kg de matière sèche en moyenne) peuvent s'avérer

dangereux pour la chaîne alimentaire. En fait, si l'on se rapporte à une enquête récente effectuée au Danemark (HANSEN & TJELL, 1980), le cadmium ajouté dans les sols de ce pays par l'épandage des boues ne représenterait que 5 p. 100 environ de la totalité qui y est incorporée chaque année par l'emploi des engrais et par retombées atmosphériques. La pollution des sols par ce métal, due à l'utilisation

agricole des boues, ne peut être cependant négligée car, pour de simples raisons d'ordre économique (coût et difficultés de transport), ce type de déchet organique est appelé à être épandu sur une faible partie du territoire et sa contribution à la pollution métallique du sol peut devenir alors prépondérante.

Un certain nombre d'études récentes ont montré que, par opposition au chrome, au plomb et même au mercure, le cadmium des boues est relativement mobile dans les sols qui reçoivent ces dernières (JUSTE & SOLDA, 1977, 1979 ; JUSTE & GOMEZ, 1979) ; les hypothèses avancées pour expliquer cette relative mobilité sont peu nombreuses mais il est vraisemblable qu'une partie de la fraction organique des boues joue un rôle important dans cette mise en circulation du cadmium, notamment par formation de complexes organo-métalliques solubles (LUND *et al.*, 1976), ainsi que sur les conséquences éventuelles qui en résultent pour la mise de ce métal à la disposition de la plante. Le but de ce travail est de vérifier si la fraction soluble des boues dans laquelle on a concentré, par une technique d'électroséparation, les substances négativement chargées, donc les plus aptes à se lier avec les métaux, est susceptible de modifier l'absorption du cadmium et son transport dans les plantules de maïs.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A) Boues

Deux types de boues ont été utilisées. La 1^{ère} (boue A) provient d'une station située dans l'agglomération bordelaise (Ambarès), traitant des effluents d'origine essentiellement résidentielle ; après digestion anaérobie, cette boue est partiellement déshydratée par centrifugation, laquelle est précédée de l'ajout d'un polyélectrolyte flocculant cationique (Sédipur CE 5006 BASF). La 2^e (boue B), issue de la station d'Achères près de Paris, est conditionnée par voie thermique après digestion anaérobie (procédé Porteous). Les caractéristiques de ces 2 produits sont indiquées dans le tableau 1.

TABLEAU 1

Principales caractéristiques physico-chimiques des boues utilisées
Selected physico-chemical parameters of the sewage sludge used in the study

	Boue A	Boue B
Humidité	85.5	41.9
pH	7.5	7.7
% de mat. sèche		
C	26.52	21.17
N	1.56	1.0
mg/kg de matière sèche		
Fe	16 728	26 836
Zn	2 400	6 850
Mn	457	377
Cu	332	1 807
Pb	899	1 132
Cd	40	161
Ni	53	206
Cr	50	1 183

B) Préparation des extraits aqueux anodiques

La technique d'électroséparation utilisée a été décrite en détail dans une publication antérieure (GOMEZ, 1977).

L'échantillon de boue maintenu en suspension (équivalent de 30 g de matière sèche dans 1 500 ml d'eau bipermutée) est recyclé durant 4 j dans le compartiment central d'une cuve à électroséparation cylindrique parcourue par un courant continu de 30 mA. Le compartiment anodique, isolé du compartiment central par une toile en étamine de porosité moyenne de 30 μ m, est balayé en continu par un courant d'eau bipermutée qui est recueillie dans un béccher ; les caractéristiques principales des extraits anodiques ainsi séparés figurent dans le tableau 2.

TABLEAU 2

Caractéristiques des fractions anodiques
Characteristics of the anodic fractions

	Boue A	Boue B
pH	2.73	2.52
N(NO ₃)	24.6	7.8
Eléments totaux		
P ₂ O ₅	68.0	29.4
Cd	0	traces
K	traces	0
Mg	0.11	0.03
Ca	0.88	0.24
Mat. sèche % mat. brute	0.016	0.038
Matière organique (perte au feu) % mat. sèche	67	94

C) Culture expérimentale

Les graines de maïs (variété « I.N.R.A. 260 ») sont mises à germer en enceinte climatique dans du sable fin jusqu'au stade déroulement-de-la-3^e-feuille. Les plantules sont alors extraites du sable et, après rinçage des racines dans l'eau bipermutée, placées dans un erlenmeyer de 100 ml contenant les solutions expérimentales. Les récipients, dans lesquels on insuffle en permanence de l'air par bullage, sont disposés durant 48 h dans une enceinte climatique (16 h de jour à 24 °C — 8 h de nuit à 15 °C — humidité atmosphérique 70 p. 100). Au terme de ce séjour, les plantules sont rincées successivement dans 3 bacs d'eau bipermutée puis séparées en parties aériennes et racines. Les solutions expérimentales sont constituées, soit par une solution nutritive simplifiée (KNO₃ 200 mg/l — KH₂PO₄ 150 mg/l — MgSO₄ 100 mg/l) contenant ou non du cadmium introduit sous forme de Cd(NO₃)₂, soit par les extraits anodiques issus des 2 boues et préparés comme indiqué précédemment. Ces extraits reçoivent un complément d'azote, de phosphore, de potasse et de magnésium tenant compte de leur richesse initiale, de manière à ce que le niveau en éléments fertilisants soit partout le même. Toutes les solutions sont ajustées à pH 3,8 par addition, selon le cas, d'une solution d'acide sulfurique ou de soude N/10.

D) Protocole

Pour chacun des 2 extraits anodiques de boue on a appliqué les traitements suivants :

1) plantules de maïs placées au contact de la solution nutritive témoin = traitement S.N. ;

2) plantules de maïs placées au contact de la solution nutritive additionnée de 5 mg/l de Cd = traitement S.N. + 5 mg/l Cd ;

3) plantules de maïs placées au contact de la solution

nutritive additionnée de 25 mg/l de Cd = traitement S.N. + 25 mg/l Cd ;

4) extrait anodique complémenté en N, P, K et Mg + 5 mg/l de Cd = traitement E.A. + 5 mg/l Cd ;

5) extrait anodique complémenté en N, P, K et Mg et additionné de 25 mg/l de Cd = traitement E.A. + 25 mg/l Cd.

En raison des concentrations négligeables en Cd des extraits anodiques, de la brièveté du séjour des plantules dans ces derniers et de l'objet même de l'étude (suivi de l'absorption et du transfert du cadmium), on n'a pas jugé utile de mettre en œuvre un traitement témoin supplémentaire comportant un extrait anodique dépourvu du métal.

E) Déterminations réalisées

Les racines et les parties aériennes de chaque plante sont pesées après séchage à 105 °C et minéralisées par voie

sèche ; après reprise des cendres par de l'acide chlorhydrique concentré, on procède au dosage du cadmium par absorption atomique avec correction de fond continue.

Après enlèvement des plantules, les solutions expérimentales sont reconstituées à 100 ml, si besoin, et caractérisées (détermination du pH et de leur concentration en cadmium résiduel).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats, traités statistiquement selon la méthode des comparaisons orthogonales, sont indiqués dans les tableaux 3 et 4.

Malgré la brièveté du temps de séjour (48 h) des plantules dans la solution nutritive, il apparaît que la production de matière sèche est affectée : dans le cas de la boue A, cette production est significativement abaissée par la présence

TABLEAU 3

Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de la boue A (conditionnée par floculation après addition d'un polyélectrolyte) sur l'absorption de Cd par des plantules de maïs
Effect of the anodic fraction of the aqueous extract of the sewage sludge A (centrifugated sludge) on the uptake and Cd translocation in maize seedlings

Traitement	Caractéristiques finales de la solution nutritive		Matière sèche mg/plante		Cd feuilles µg/g mat. sèche	Cd racines µg/g mat. sèche	Cd total mg/plante	Cd feuill. Cd racines (en %)
	pH	Cd (mg/l)	racines	parties aériennes				
S.N.	3.80	0	140.5 ^Δ	135.9 ^Δ	0	0	0	—
S.N. + 5 mg/l Cd	4.90	3.6	124.2 [°]	132.1 [°]	43 [°]	439 [°]	0.060	9.8 [°]
S.N. + 25 mg/l Cd	4.20	22.0	116.7 ^{°°}	111.6 ^{°°}	87 ^{°°}	681 ^{°°}	0.089	12.7 ^{°°}
E.A. + 5 mg/l Cd	4.50	3.8	106.7 ^x	122.4 ^x	61 ^x	376 ^x	0.048	16.2 ^x
E.A. + 25 mg/l Cd	4.50	21.0	103.9 ^{xx}	108.8 ^{xx}	179 ^{xx}	879 ^{xx}	0.111	20.4 ^{xx}
Interprétation statistique			Δ	} 1 %	o + oo } 1 %	oo } 1 %	x + xx } 1 %	x + xx } 1 %
			o + oo					
			x + xx	} 1 %	Δ	xx	} 5 %	} 5 %
			Δ					

E.A. = extrait anodique ; S.N. = solution nutritive.

TABLEAU 4

Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de la boue B (conditionnée par voie thermique) sur l'absorption de Cd par des plantules de maïs
Effect of the anodic fraction of the aqueous extract of the sewage sludge B (thermically treated sludge) on the uptake and Cd translocation in maize seedlings

Traitement	Caractéristiques finales de la solution nutritive		Matière sèche mg/plante		Cd feuilles µg/g mat. sèche	Cd racines µg/g mat. sèche	Cd total mg/plante	Cd feuill. Cd racines (en %)
	pH	Cd (mg/l)	racines	parties aériennes				
S.N.	5.27	0	94.8 ^Δ	121.9 ^Δ	0	0	0	0
S.N. + 5 mg/l Cd	4.00	4.2	95.7 [°]	111.2 [°]	23 [°]	303 [°]	0.032	7.6 [°]
S.N. + 25 mg/l Cd	4.11	22.0	72.3 ^{°°}	97.2 ^{°°}	45 ^{°°}	925 ^{°°}	0.071	4.9 ^{°°}
E.A. + 5 mg/l Cd	4.54	4.0	109.2 ^x	124.1 ^x	65 ^x	216 ^x	0.032	30.1 ^x
E.A. + 25 mg/l Cd	3.92	22.5	102.2 ^{xx}	121.6 ^{xx}	97 ^{xx}	575 ^{xx}	0.071	16.9 ^{xx}
Interprétation statistique			o + oo	} 1 %	o } 1 %	oo } 1 %	o + oo	} 1 %
			x + xx					
			Δ	} 1 %	Δ	xx	} 1 %	} 1 %
			oo					

E.A. = extrait anodique ; S.N. = solution nutritive.

simultanée du cadmium et de l'extrait aqueux anodique. Tout à l'inverse, dans le cas de la boue B, le cadmium introduit dans les solutions nutritives abaisse la production de matière sèche des plantules uniquement en l'absence de l'extrait anodique, ce dernier supprimant l'effet phytotoxique du métal.

On observe par ailleurs que l'introduction des extraits aqueux anodiques modifie relativement peu la quantité totale de Cd prélevée par les plantules de maïs. Par contre, cette addition entraîne un changement important dans la répartition du métal : on constate en effet que pour la dose la plus élevée de cadmium, la concentration de ce métal est significativement abaissée dans les racines et non moins significativement augmentée dans les parties aériennes. Il en résulte que le rapport $\frac{\text{Cd dans les parties aériennes}}{\text{Cd dans les racines}}$

(assimilable à un indice de transfert du métal dans la plantule), est toujours très significativement accru par la présence de l'extrait anodique dans le milieu nutritif. L'importance de cet accroissement paraît dépendre de la nature de la boue, le facteur de multiplication étant de l'ordre de 4 pour la boue B (conditionnée par voie thermique) et de l'ordre de 2 pour la boue A (conditionnée par addition de polyélectrolyte et centrifugée).

Cet effet des extraits anodiques ne peut s'expliquer par un changement sensible de certaines caractéristiques du milieu nutritif qui pourraient jouer un rôle important dans l'absorption et le transfert du métal — comme par exemple le pH qui a été ajusté à une même valeur pour tous les traitements et a peu varié au cours de l'expérience. Il faut donc admettre qu'il existe dans cette fraction anodique des substances qui ont facilité le transfert du cadmium vers les parties aériennes des plantules. L'abondance relative des matières organiques dans les extraits (tabl. 2) et le fait que la stimulation du transfert soit la plus importante en présence de l'extrait issu de la boue B, qui est précisément le plus riche en composés organiques (94 p. 100 de la matière sèche), permet d'émettre l'hypothèse que ce sont vraisemblablement des composés de nature organique qui sont à l'origine du phénomène observé. Ces substances n'ont pas été identifiées au cours de la présente expérience, mais leur très faible rapport C/N, mis en évidence au cours d'expériences antérieures (GOMEZ, 1977), peut laisser supposer qu'il s'agit de substances à caractère protéinique, voire des acides aminés.

Cette aptitude de la fraction anodique d'un extrait hydro-soluble de boue à stimuler le transfert du cadmium vers les

parties aériennes de plantules de maïs pour une disponibilité donnée du métal dans le milieu, pourra avoir des conséquences variables en fonction de la rémanence et de l'activité de cette fraction dans le sol. S'il s'agit en effet de substances rapidement biodégradables, l'impact du phénomène mis en évidence au cours de cette étude sur la contamination de la chaîne alimentaire (accroissement de la teneur en Cd des parties aériennes des végétaux) pourra être considéré comme négligeable ; il en ira tout autrement s'il apparaît que ces substances ont une durée de vie importante et que leur efficacité n'est pas modifiée après incorporation dans un sol.

IV. CONCLUSION

La transposition dans la pratique agricole courante des résultats obtenus grâce au modèle expérimental mis en œuvre au cours de cette étude doit être faite avec prudence : un comportement analogue du cadmium, après épandage de boues sur des sols cultivés, ne pourrait en effet être escompté que dans la mesure où coexisteraient assez longtemps dans ces derniers les substances organiques solubles des boues et également suffisamment de métal susceptible d'entrer en réaction avec ces substances. Les observations réalisées par HINESLY *et al.* (1977, 1979) faisant état d'une diminution de l'assimilabilité de Cd au cours du temps dans des champs expérimentaux ayant reçu des boues pendant plusieurs années laissent peu de crédit à une telle hypothèse. Il n'en reste pas moins que celle-ci ne doit pas être totalement écartée, notamment dans le cas d'épandages massifs de boues dans des sols sableux acides à faible capacité de fixation pour les métaux : cette observation souligne l'intérêt que pourrait représenter l'identification de ces substances organiques et l'étude de leur devenir dans les milieux récepteurs de boues résiduaires.

Reçu le 10 décembre 1980.

Accepté le 27 février 1981.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie de l'aide financière apportée à la réalisation de ce travail (convention d'étude n° 75-23).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gomez A., 1977. Mise en évidence, par une technique d'électroséparation, du pouvoir complexant des boues issues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. *Sci. Sol.*, 141-146.
- Hansen J. A., Tjell J. C., 1980. Land application of sludge combined with controlled human uptake of heavy metals. *Agricultural use of sewage sludge*. E.A.S. Seminar, Basle 24-26 sept. 1-6 ; 1-18.
- Hinesly T. D., Jones R. L., Ziegler E. L., Tyler J. J., 1977. Effect of annual and accumulative applications of sewage sludge on assimilation of zinc and cadmium by corn (*Zea mays* L.). *Environ. Sci. Technol.* 11, 182-188.
- Hinesly T. D., Ziegler E. L., Barrett G. L., 1979. Residual effects of irrigation corn with digested sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 8, 35-38.
- Juste C., Solda P., 1977. Effets d'applications massives de boues de stations d'épuration urbaines en monoculture de maïs : action sur le rendement et la composition des plantes et sur quelques caractéristiques du sol. *Sci. Sol.*, 147-155.
- Juste C., Solda P., 1979. Effets d'applications massives de boues urbaines riches en cadmium et en nickel sur une monoculture intensive de maïs. *1^{er} Symposium européen sur la caractérisation et l'utilisation des boues*, Cadarache, févr. 1979. C.E.E. Cost 68.
- Juste C., Gomez A., 1979. *Etude des associations formées entre le cadmium, le plomb, le nickel, le mercure et la matière organique des sols. Contribution éventuelle de ces associations à la contamination de la chaîne trophique*. C.R. contrat d'étude n° 153-77. C.E.E., Direction XII, 58 p.
- Lund L. J., Page A. L., Nelson C. J., 1976. Movement of heavy metals below sewage disposal ponds. *J. Environ. Qual.* 5, 330-334.