

CONTENTS

Disponibilité du nickel dans les sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie.

T. BECQUER, E. BOURDON, L. L'HUILLIER

ORSTOM, Laboratoire d'Agropédologie B.P. A5, 98848 Nouméa Cedex,

Nouvelle-Calédonie.

RESUME

Les sols développés sur les roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie contiennent des teneurs très élevées en nickel (environ 1 % de NiO) susceptibles d'induire une toxicité lors de leur mise en valeur agricole. Une étude visant à évaluer la disponibilité du nickel dans ces sols a donc été réalisée sur une toposéquence comprenant les principaux faciès de sols utilisables pour l'agriculture. Des extractions chimiques par KCl 1 M et DTPA 0.005 M + CaCl₂ 0,01M à pH 5,3 ont été effectuées sur les différents échantillons de sol de la toposéquence afin de déterminer les quantités de nickel échangeable (Ni KCl) et adsorbé (Ni DTPA) par la phase organo-minérale du sol et de les comparer avec le nickel total extrait par une attaque triacide. Ces analyses ont été complétées par une étude en serre visant à évaluer l'importance des prélèvements de nickel par du maïs cultivé sur ces sols et à observer les conséquences induites sur la croissance et le développement de ce dernier. Les résultats montrent que pour des teneurs similaires en nickel total, les teneurs en Ni KCl et Ni DTPA sont très faibles sur piedmont, respectivement de 0 à 1 µg g⁻¹ et 0 à 4 µg g⁻¹ de sol, alors qu'elles peuvent atteindre 120 µg g⁻¹ de sol dans les horizons de surface sur terrasse alluvio-colluviale. Ces différences sont retrouvées au niveau des teneurs en Ni dans les parties aériennes du maïs, celles-ci étant très faibles sur piedmont (2 à 4 µg g⁻¹ de MS) tandis qu'elles sont 2 à 4 fois plus élevées sur terrasse alluvio-colluviale. Toutefois, contrairement au Ni DTPA et au Ni KCl, le maïs absorbe davantage de Ni dans les horizons de profondeur sur la

Fonds Documentaire ORSTOM



010015616

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : B* 15616 Ex : 1

terrasse alluvio-colluviale. Par ailleurs, la plus forte absorption de Ni correspond à la plus faible croissance du maïs, ce qui suggère un problème de phytotoxicité.

INTRODUCTION

Les écosystèmes développés sur les massifs de roches ultramafiques ont été largement étudiés en raison des particularités biologiques et écologiques qu'ils présentent (Brooks, 1987; Jaffré, 1980 ; Proctor et Woodell, 1975 ; Whittaker et al., 1954). La spécificité des sols, en particulier les teneurs très élevées en certains métaux (Ni, Cr, Co, Mn) et en fer (Latham, 1985), est souvent mise en cause pour expliquer l'originalité de la flore et la faible fertilité du milieu. L'effet phytotoxique du nickel, connu depuis longtemps (Haselhoff, 1893), est souvent incriminé. Toutefois, cet effet est parfois mis en doute dans les sols à forte teneur en nickel d'origine géologique car ce dernier se trouve sous des formes peu disponibles pour les plantes. Il est essentiellement inclus dans des minéraux résistant à l'altération et il est en outre peu mobile dans les conditions de pH-Eh des sols (Angelone et al., 1993). On constate toutefois, dans certains biotopes sur roches ultramafiques, une adaptation au nickel chez les espèces naturelles qui sont capables de l'accumuler (Jaffré et Schmid, 1974 ; Jaffré et al., 1976) et de limiter son influence grâce à des adaptations physiologiques (Kersten et al., 1980). Il n'en va pas de même pour les espèces cultivées qui peuvent être extrêmement sensibles même à des doses très faibles de Ni (L'Huillier, 1994 ; Sauerbeck et Hein, 1991). La volonté de développer des cultures maraîchères et fruitières sur ces sols, qui représentent environ 30 % de la surface totale de la Nouvelle-Calédonie, nécessite donc de pouvoir évaluer la disponibilité du nickel dans les différents faciès de sols susceptibles d'être cultivés.

Cette étude a donc pour objectifs, (i) d'évaluer la disponibilité du nickel dans les différents faciès d'une toposéquence de sols représentative de ces milieux et (ii) de déterminer, par une expérimentation en serre sur les deux faciès les plus contrastés au point de vue de la disponibilité du nickel, la croissance et le développement du maïs sur ces deux sols, ainsi que l'accumulation du nickel par cette plante.

CONDITIONS PEDOLOGIQUES

La toposéquence étudiée, située dans la station forestière de Ouénarou (coordonnées : E 166°44' - S 22°8') (fig. 1a), a été choisie à partir des résultats des études cartographiques menées préalablement (Bourdon et Becquer, 1992). Elle se compose de sols ferrallitiques ferritiques ou ferrallisols (R.P.F., 1992) avec en amont un piedmont, en aval une terrasse alluviale et, faisant la transition entre les deux, un glacis alluvio-colluvial (fig. 1b). Quatre profils représentatifs des sols de la toposéquence ont été décrits (fig. 1c). D'un point de vue morphologique, on peut différencier deux types d'horizons : d'une part, les horizons très compacts, limono-sableux du piedmont (profils 1 et 2 au-delà de 55 cm de profondeur) et, d'autre part, les horizons colluvio-alluviaux constitués d'une succession d'apports, d'épaisseur plus ou moins aléatoire, de texture limono-argileuse, parfois sableuse (profil 2 de 0 à 55 cm de profondeur, et profils 3 et 4). Dans l'ensemble du profil 4, on distingue aussi de nombreux volumes ferro-manganiques qui témoignent de l'existence de phénomènes d'engorgement dans le bas de la toposéquence.

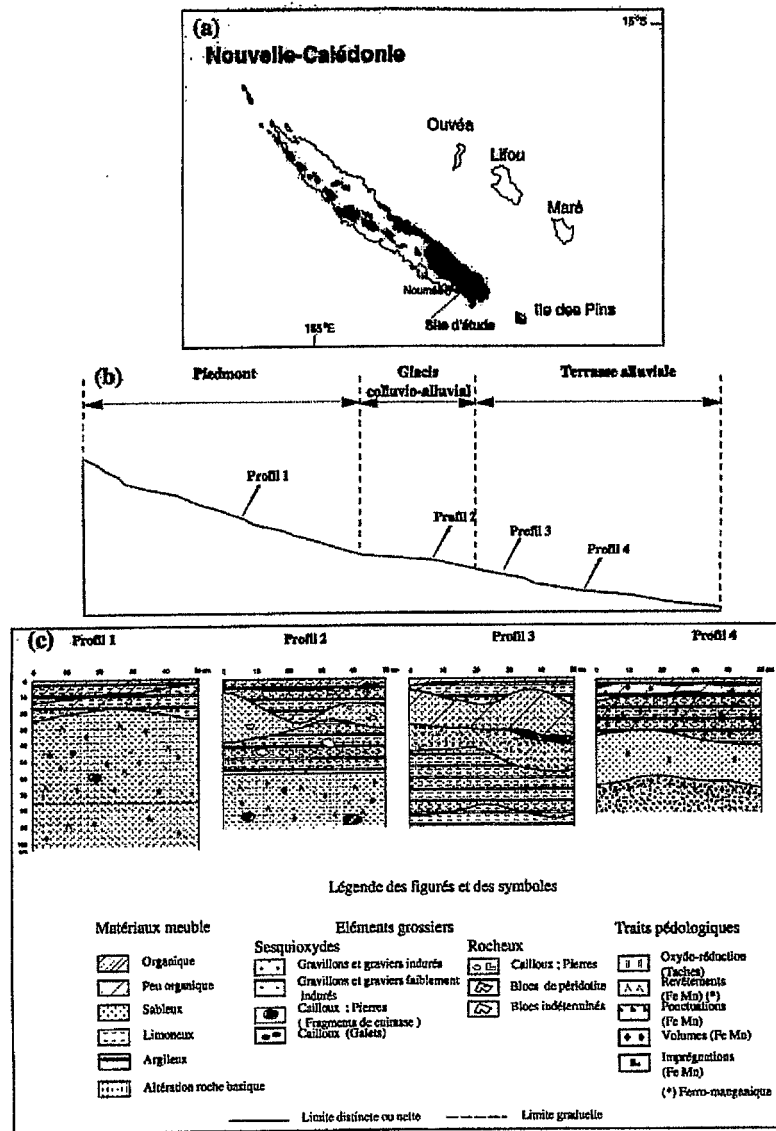


Figure 1: (a) Carte de situation des massifs de roches ultramafiques en Nouvelle Zelande et localisation de la zone d'étude; (b) localisation des profils; © des différents tomopsequences; © description morphologique des profils pédologiques

MATERIEL ET METHODES

Des échantillons de sol ont été prélevés dans chacun des horizons des profils de sol, séchés à l'air, tamisés à 2 mm et analysés. La granulométrie est déterminée par la méthode de la pipette Robinson. Le carbone organique est dosé par titrage selon la méthode de Walkley et Black (1934). Le pH est mesuré dans une suspension de sol dans de l'eau ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) ou du KCl 1M (pH_{KCl}) dans un rapport 1 : 2,5. Les bases échangeables et la capacité d'échange cationique sont déterminées par la méthode de Tucker (1954 modifiée, à pH 7,0). Les éléments totaux sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique après attaque à l'acide perchlorique.

Pour étudier la disponibilité du nickel, deux extractants ont été employés : i) le KCl 1M (NiKCl) [5 g de sol sont agités dans 50 ml de solution de KCl 1M, filtré et dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme] et ii) le DTPA 0,005 M + CaCl_2 0,01 M ajustée à pH 5,3 (Lindsay et Norvell, 1978, modifié) (NiDTPA) [5 g de sol sont agités avec 25 ml de solution de DTPA 0,005 M + CaCl_2 0,01 M ajustée à pH 5,3 pendant 1 heure, centrifugés à 2 000 tours mn⁻¹ pendant 15 mn, filtrés et dosés comme précédemment].

Parmi les deux extractants utilisés, le premier (KCl) permet d'extraire les cations échangeables au pH du sol (Rouiller *et al.*, 1980), le second (DTPA) est considéré comme l'agent chélatant le mieux adapté pour évaluer la biodisponibilité de différents métaux, tels que Ni, Cu, Zn, Cd, pour les plantes (Baker et Amacher, 1982 ; Lindsay et Norvell, 1978). Le pH a été ajusté à 5,3 au lieu de 7,3, la Triethanolamine (TEA) n'est pas utilisée, contrairement à la méthode de Lindsay et Norvell (1978) afin de nous rapprocher des conditions de pH du sol.

Pour étudier la biodisponibilité du nickel, du maïs (*Zea mays* L. cv GH 5010) a été cultivé pendant 28 jours en serre - sur vase de végétation - sur des sols prélevées dans un site différent mais sur des faciès similaires aux profils 1 et 4 de la figure 2. En outre, deux horizons ont été prélevés : 0-20 cm et 40-60 cm. Chaque sol a reçu la même fumure minérale complète visant à éviter toute carence. Les résultats présentés sont les moyennes de 12 répétitions \pm SE.

RESULTATS

Les principaux résultats analytiques des échantillons de sol sont présentés dans le tableau 1. Les teneurs en nickel total varient peu dans la toposéquence, les horizons de piedmont étant légèrement appauvris par rapport aux matériaux d'apport, avec des teneurs moyennes respectives de 0,95 et 1,09 % de NiO. L'extraction de nickel par KCl et DTPA (fig. 2) montre que les teneurs en NiKCl et NiDTPA sont très faibles sur piedmont, respectivement de 0 à 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ et 0 à 4 $\mu\text{g g}^{-1}$ de sol (soit 0 à 0,016 % et 0 à 0,064 % du Ni total), alors qu'elles peuvent atteindre respectivement 60 et 120 $\mu\text{g g}^{-1}$ de sol dans les horizons de surface de la terrasse alluviale (soit 0,64 % et 1,28 % du Ni total).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols de l'étude.

	Profondeur (cm)	Granulométrie			C (g.kg ⁻¹)	pH		Bases échangeables				C.E.*	Éléments traux		
		A+LF	LG+S	SC+G		H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO
		F (%)						(cmol.kg ⁻¹)					(%)		
Profil 1	0-5	70,5	11,9	17,6	27,4	4,6	5,1	0,3	0,3	0,1	0,1	4,8	2,2	62,3	0,8
	5-20	73,3	15,5	11,2	20,7	4,6	5,5	0,1	0,1	0,0	0,1	1,6	2,2	62,4	0,9
	23-33	25,0	53,2	21,8	4,5	4,7	5,8	0,0	0,0	0,1	0,1	-4,1	2,1	64,0	1,0
	38-57	64,1	13,7	22,2	1,7	4,8	5,8	0,1	0,2	0,1	0,1	-4,2	1,7	64,8	0,9
Profil 2	68-85	50,5	24,8	24,6	0,4	4,5	5,8						1,8	65,4	0,8
	0-5	59,4	7,2	33,4	24,6	5,3	5,6	1,5	1,1	0,2	0,1	5,2	4,6	61,0	1,0
	7-17	68,9	14,1	17,0	25,0	4,8	5,5	0,2	1,1	0,1	0,1	4,4	5,8	58,6	1,1
	14-34	39,9	35,0	25,1	4,0	5,1	6,5	0,1	0,9	0,0	0,1	0,5	7,5	56,3	1,1
	40-54	57,2	19,8	23,0	4,9	5,4	6,7	0,2	1,0	0,0	0,0	1,4	8,8	53,9	1,1
	58-62	62,0	15,5	22,5	7,3	5,1	6,7						1,6	67,0	0,8
	67-80	71,8	12,3	15,9	9,1	4,9	6,7						1,9	66,1	1,0
Profil 3	98-100	61,5	25,4	13,1	0,4	4,9	6,8						2,8	65,4	1,4
	0-4	76,9	17,5	5,6	34,1	5,1	5,1	2,8	1,8	0,2	0,1	12,8	9,1	53,9	1,2
	4-10	83,2	11,7	5,2	29,0	4,9	5,2	1,1	1,2	0,1	0,1	8,1	7,9	54,5	1,2
	18-27	54,2	42,9	2,9	11,7	5,0	6,0	0,1	0,3	0,2	0,1	2,9	5,5	56,8	1,3
	40-51	72,0	14,7	13,4	13,7	5,0	6,1	0,0	0,4	0,0	0,0	-1,2	7,5	52,1	1,1
	60-74	54,0	22,1	23,9	3,2	5,1	6,6						5,9	53,9	1,1
	83-96	66,1	27,5	6,4	10,0	5,2	6,5						5,0	59,6	1,3
Profil 4	>110	52,0	45,9	2,1	3,3	5,5	6,7						3,9	55,7	1,1
	0-4	78,7	13,2	8,1	47,2	4,6	4,7	0,9	1,1	0,2	0,1	11,2	7,3	56,3	1,2
	8-9	82,9	10,1	7,0	32,1	4,7	5,4	0,1	0,5	0,1	0,1	6,2	5,4	60,0	1,2
	26-39	33,9	27,0	39,0	10,4	5,0	6,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	4,2	57,9	1,0
	49-67	30,8	52,8	16,4	7,1	5,1	6,5						4,1	52,3	1,0
	74-80	16,8	17,6	65,6	5,3	4,8	6,2						0,9	64,9	0,4
	Piedmont	0-20	64,1	19,5	16,3	18,3	5,1	5,7	0,2	0,2	0,1	0,1	2,5	2,1	73,8
40-60		62,4	9,5	27,1	4,2	4,6	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,5	73,9	0,9
Terrasse	0-20	61,0	32,2	6,8	21,0	6,6	6,2	1,2	4,5	0,4	0,2	12,0	12,2	48,5	1,1
	40-60	61,4	35,7	2,8	14,5	6,6	6,2	0,5	4,5	0,2	0,1	11,0	13,6	50,8	1,2

*C.E. : charge nette à pH 7; les valeurs négatives correspondent à un excès de charges positives lié aux oxy-hydroxydes de fer.

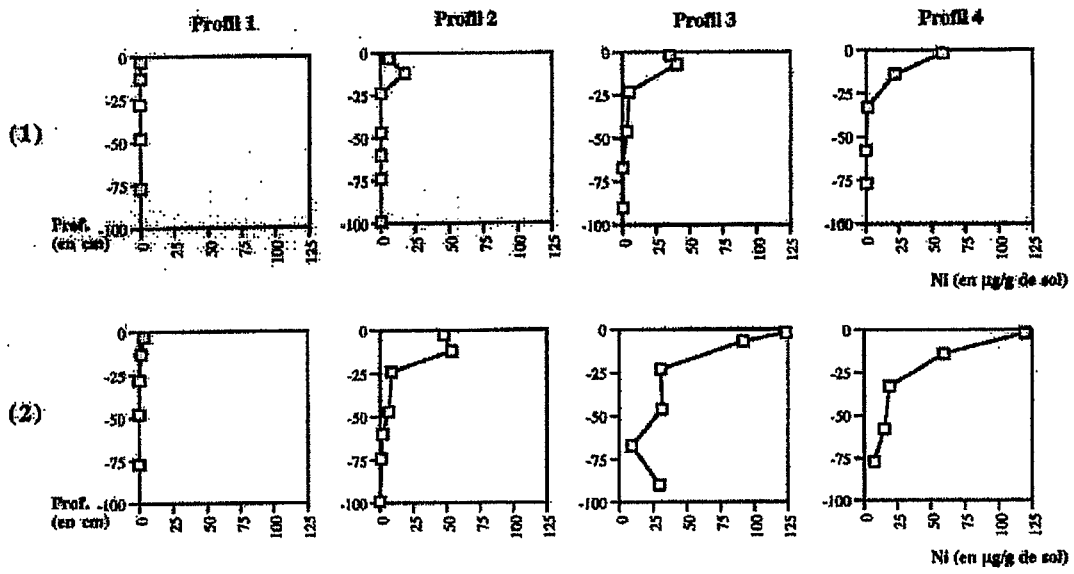


Figure 2 : Disponibilité du nickel dans les différents profils de sol à la suite d'une extraction par (1) du KCl 1M et (2) du DTPA 5mM + CaCl₂ 0,01M à pH 5,3.

Par ailleurs, on constate, d'après l'analyse des solutions des sols de l'essai en serre (tabl. 2), que Ni est très peu soluble sur piedmont, contrairement à la terrasse alluviale, surtout sur l'horizon 40-60 cm. La culture du maïs en serre (fig. 3) montre de la même façon que les meilleures croissances ont lieu en piedmont et qu'elles sont associées à de faibles absorptions de Ni, et inversement sur la terrasse alluviale, notamment sur l'horizon 40-60 cm.

Par ailleurs, on constate, d'après l'analyse des solutions des sols de l'essai en serre (tabl. 2), que Ni est très peu soluble sur piedmont, contrairement à la terrasse alluviale, surtout sur l'horizon 40-60 cm. La culture du maïs en serre (fig. 3) montre de la même façon que les meilleures croissances ont lieu en piedmont et qu'elles sont associées à de faibles absorptions de Ni, et inversement sur la terrasse alluviale, notamment sur l'horizon 40-60 cm.

Tableau 2. Analyse des solutions des sols utilisés pour l'étude en serre. Solutions prélevées à partir des percolats issus des vases de végétation. Moyennes de 12 solutions réunies entre elles.

	Piedmont 0-20 cm	Piedmont 40-60 cm	Terrasse 0-20 cm	Terrasse 40-60 cm
Concentration en Ni (mg.l ⁻¹)	0,09	0,04	0,71	0,44

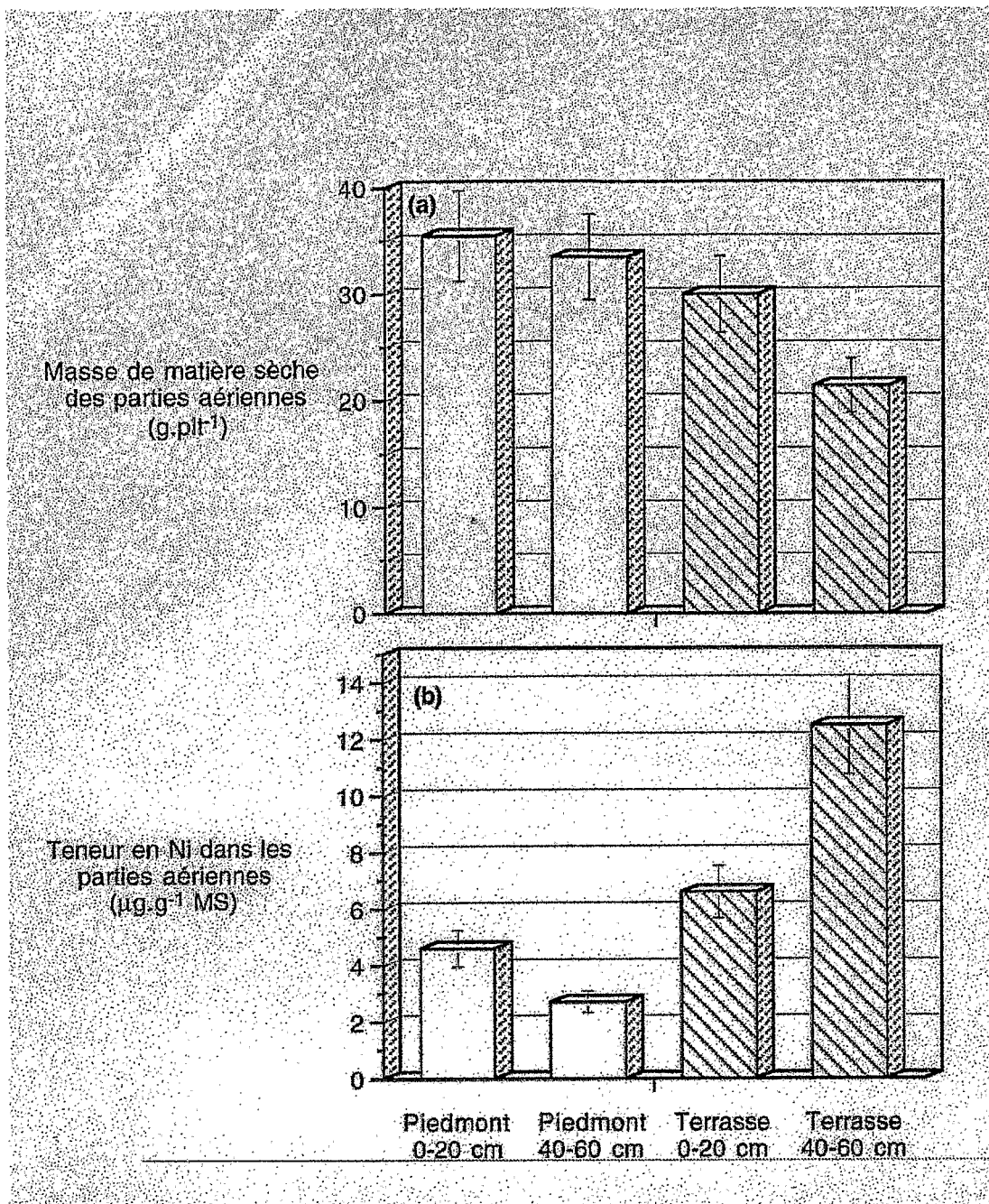


Figure 3 : (a) Poids de matière sèche des parties aériennes et (b) teneurs en nickel des parties aériennes du maïs cultivé sur les quatre sols de l'étude en serre.

DISCUSSION

La toxicité du nickel pour les plantes est un phénomène bien établi. Toutefois, son évaluation est difficile du fait de l'absence de symptômes très caractéristiques pour des intoxications modérées (Hunter et Vergnano, 1952 ; L'Huillier, 1994 ; Vanselow, 1966). La mesure de la disponibilité du nickel dans les sols peut donc être un bon outil pour diagnostiquer le risque de toxicité. Les prélèvements de métaux par les plantes sont généralement très faiblement corrélés avec la teneur totale du métal dans le sol. Des extractants chimiques variés ont donc été employés pour quantifier les fractions du sol les plus réactives. Ainsi, divers sels, des acides dilués, des complexants... ont été utilisés pour évaluer la disponibilité du nickel (Juste, 1988 ; Uren, 1992). Toutefois, de nombreuses corrélations entre l'extractibilité du nickel par ces réactifs et les prélèvements par les plantes se sont révélées peu satisfaisantes du fait de la variabilité importante des types de sols. Haq *et al.* (1980) ont montré, cependant, que l'introduction de variables indépendantes, telles que le pH, les teneurs en matière organique ou en argile, était susceptible de donner des résultats beaucoup plus satisfaisants. L'utilisation de sels non tamponnés, tel que KCl (Sauerbeck et Hein, 1991), ou de complexants, tel que le DTPA (Baker et Amacher, 1982), semble être actuellement les méthodes les plus intéressantes pour évaluer la disponibilité du nickel dans les sols.

Les études antérieures sur les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie, ont porté essentiellement sur les processus pédogénétiques (Latham, 1985 ; Schwertmann et Latham, 1986) et, en ce qui concerne plus précisément le nickel, sur sa localisation au sein de la phase minérale (Manceau, 1984 ; Nalovic et Quantin, 1972) sans que sa biodisponibilité ou sa toxicité soient réellement abordées. En fait, dans ces milieux, c'est en premier lieu la biodisponibilité du nickel pour les espèces endémiques qui a fait l'objet de diverses observations botaniques. De nombreuses espèces contiennent des teneurs importantes de nickel et un certain nombre d'entre elles sont de remarquables plantes hyperaccumulatrices. C'est le cas, par exemple, de *Sebertia acuminata* qui a un latex pouvant avoir 25 % de Ni (Jaffré *et al.*, 1976). Toutefois, ces études n'ont pas été menées en liaison avec des études pédologiques visant à évaluer la mobilité du Ni en fonction des conditions de sol.

Les résultats présentés montrent que les teneurs en Ni extrait par KCl ou DTPA diminuent fortement, dans tous les profils, avec la profondeur (fig. 2). Ceci suggère que cet élément est fortement associé à la matière organique. Toutefois, les différences de teneur en carbone ne permettent pas d'expliquer l'extractibilité beaucoup plus importante sur les faciès de bas de pente. La disponibilité du Ni est sans doute largement influencée par les mécanismes régissant la libération, puis l'adsorption et la désorption, avec la phase minérale. Dans nos conditions d'études, différentes hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la plus grande disponibilité du Ni dans les matériaux d'apports alluvio-colluviaux : i) l'existence de matériaux plus riches en goethite, cette dernière ayant généralement une teneur plus élevée en nickel et étant plus réactive du fait de sa plus grande surface spécifique (Schwertmann et Latham, 1986) ; ii) l'existence d'un engorgement temporaire, de plus en plus accentué vers le bas de la toposéquence, pouvant induire la réduction des oxy-hydroxydes de fer ; iii) la présence de minéraux silicatés susceptibles de libérer du nickel.

Même si les quantités de Ni solubilisées par les deux extractants choisis sont relativement faible en regard des quantités de NiO totales des sols et des teneurs susceptibles d'être prélevées par les plantes accumulatrices, les conséquences sur les plantes cultivées peuvent être importantes. Ces dernières sont en effet intoxiquées avec des teneurs en Ni très faibles dans leur tissus, de l'ordre de $50 \mu\text{g g}^{-1}$ MS pour la plupart (Vanselow, 1966). Des essais réalisés sur maïs montrent que dès $12 \mu\text{g Ni g}^{-1}$ MS dans les parties aériennes de la plante, on observe une diminution de croissance liée à divers désordres physiologiques (L'Huillier, 1994). Dans cette étude, des prélèvements de Ni sont associés à une diminution de croissance sur terrasse alluviale par rapport au piedmont (fig. 3). Ce résultat est en conformité avec les différences de Ni extractible pour les différents types de sol. Toutefois, les concentrations en Ni dans les parties aériennes du maïs cultivé sur l'horizon 40-60 cm de la terrasse alluviale sont plus élevées que sur l'horizon 0-20 cm, ce qui est en contradiction avec les résultats des extractions chimiques, et elles atteignent $12 \mu\text{g Ni g}^{-1}$ MS (fig. 3), soit de l'ordre du seuil de toxicité. Cela pourrait s'expliquer par des phénomènes de réduction qui pourraient apparaître lors de la culture sous serre pendant laquelle les sols sont à la capacité au champ pendant plus d'un mois. Par conséquent, la faible croissance constatée dans ce cas est probablement due à une intoxication par le nickel.

Par ailleurs, l'analyse des solutions des sols de l'essai en serre (tabl. 2) montre que Ni est relativement soluble sur terrasse alluviale, ce qui est en accord avec les résultats précédents. De plus, les concentrations atteintes dans l'horizon 40-60 cm (0,77 mg l⁻¹) se situent dans une gamme de concentration pouvant être toxique pour le maïs (Gerzabeck et Ullah, 1990; L'Huillier, 1994).

CONCLUSION

Au niveau de la toposéquence étudiée, les extractions de nickel par le KCl et le DTPA font apparaître des divergences importantes entre les différents faciès de sols ferrallitiques ferritiques. Dans la zone de piedmont, caractérisée par la présence de matériaux très évolués, le nickel extrait est pratiquement nul. Au niveau du glacis et de la terrasse alluviale la disponibilité du nickel est nettement plus importante. Divers mécanismes peuvent agir conjointement pour expliquer la plus grande mobilité du nickel depuis la phase minérale vers des formes plus facilement assimilables par les plantes dans ces derniers faciès. Le prélèvement par les plantes du nickel qui a été solubilisé, puis son retour au sol sous forme de litière, conduit à son accumulation dans les horizons humifères sous des formes plus facilement biodisponibles. Les essais réalisés en serre, sur maïs, montrent également que les plantes prélèvent davantage de nickel sur terrasse alluviale que sur piedmont. Toutefois, sur terrasse alluviale, les prélèvements sont plus importants au niveau de l'horizon 40-60 cm que dans l'horizon 0-20 cm et ils induisent une diminution significative de la croissance. Il est possible que cette différence de biodisponibilité de Ni entre les deux horizons soit due à des phénomènes de réduction, mais cela mérite de plus amples investigations. Des problèmes de phytotoxicité sur des plantes non adaptées à ces milieux sont donc à craindre sur les zones alluvio-colluviales qui sont, par ailleurs, les plus propices à une utilisation agricole (faible pente, faible compacité, caractéristiques chimiques moins défavorables...). L'amélioration de ces sols par des itinéraires techniques adaptés fait l'objet de recherches complémentaires.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Province Sud de Nouvelle-Calédonie pour l'aide financière apportée dans le cadre de la Convention de recherche entre la Province Sud et l'ORSTOM pour l'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre.

REFERENCES

- ANGELONE M., VASELLI O., BINI C., CORADOSSI N., 1993. Pedogeochemical evolution and trace elements availability to plants in ophiolitic soils, *Sci. Tot. Environ.*, 129, 291-309.
- BAKER D.E., AMACHER M.C., 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium *In* A.L. Page, R.H. Miller et D.R. Keeney (eds) : *Methods of soil analysis*, Part 2, 2nd ed., Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI, 323-336.
- BOURDON E., BECQUER T., 1992. Etude de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre : zones de la Coulée et de la Lembi. Caractérisation physico-chimique des sols. *Con. Sci. Vie Agropédol.*, 16, ORSTOM, Nouméa, 88 p.
- BROOKS R.R., 1987. *Serpentine and its vegetation : a multidisciplinary approach*, Diocorides Press, Portland, OR, 454 p.
- GERZABEK M.H., ULLAH S.M., 1990. Influence of fulvic and humic acids on Cd- and Ni-toxicity to *Zeamays* (L.), *Bodenkultur*, 41, 115-124.
- HAQ A.U., BATES T.E., SOON Y.K., 1980. Comparison of extractants for plant-available zinc, cadmium, nickel and copper in contaminated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 772-777.
- HASELHOFF E., 1893. Versuche über die schädliche Wirkung von nickel-haltigem Wasser auf Pflanzen, *Landw. Jahrb.*, 22, 1862-1868.
- HUNTER J.G., VERGNANO O., 1952. Nickel toxicity in plant, *Ann. Appl. Biol.*, 39, 279-284.
- JAFFRE T., 1980. *Végétation des roches ultrabasiqes en Nouvelle-Calédonie*, Travaux et Documents, ORSTOM 124, 275pp.
- JAFFRE T., BROOKS R.R., LEE J., REEVES R.D., 1976. *Sebertia acuminata* : a hyperaccumulator of nickel from New Caledonia, *Science*, 193, 579-580.
- JAFFRE T., SCHMID M., 1974. Accumulation du nickel par une rubiacée de Nouvelle-Calédonie, *Psychotria douarrei* (G. Beauvisage) Däniker, *C. R. Acad. Sci.*, Paris, sér. D, 278, 1727-1730.
- JUSTE C., 1988. Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces du sol. *Sci. Sol* 26: 103-112.
- KERSTEN W.J., BROOKS R.R., REEVES R.D., JAFFRE T., 1980. Nature of nickel complexes in *Psychotria douarrei* and other nickel-accumulating plants, *Phytochem.*, 19, 1963-1965.
- LATHAM M., 1985. *Altération et pédogenèse sur roches ultrabasiqes en Nouvelle-Calédonie. Genèse et évolution des accumulations du fer et de silice en relations avec la formation du modelé*, Thèse de Doctorat, Université de Dijon, 331pp.
- L'HUILLIER L., 1994. *Biodisponibilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie. Effets toxiques de Ni sur le développement et la physiologie du maïs*, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 249pp.
- LINDSAY W.L., NORVELL W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 421-428.

- MANCEAU A., 1984. *Localisation du nickel dans les phyllosilicates. Applications aux minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie*, Thèse de l'Université de Paris VII, 23 février 1984.
- NALOVIC L., QUANTIN P., 1972. Evolution géochimique de quelques éléments majeurs et traces dans un sol ferrallitique ferritique de Nouvelle-Calédonie issu de péridotites. Interprétation d'observations à l'aide de la microsonde de Castaing, Cah. ORSTOM, sér. Pédol., X, 389-410.
- PROCTOR J., WOODDELL S.R.J., 1975. The ecology of Serpentine Soils, Adv. Ecol. Res., 9, 255-366.
- ROUILLER J., GUILLET B., BRUCKERT S., 1980. Cations acides échangeables et acidités de surface : approche analytique et incidences pédogénétiques, Sci. Sol, 2, 161-175.
- R.P.F., 1992. Référentiel Pédologique Français. Principaux sols d'Europe, AFES, INRA, Paris, 222 pp.
- SAUERBECK D., HEIN A., 1991. The nickel uptake from different soils and its prediction by chemical extractions, Water, Air Soil Pollu., 57-58, 861-871.
- SCHWERTMANN U., LATHAM M., 1986. Properties of iron oxides in some New Caledonian oxisols, Geoderma, 39, 105-123.
- TUCKER B.M., 1954. The determination of exchangeable calcium and magnesium in carbonate soils, Aust.J. Agric. Res., 5, 706-715.
- UREN N.C., 1992. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. Adv. Agron. 48: 141-203.
- VANSELOW A.P., 1966. Nickel. In H.D. Chapman (ed.) : Diagnostic criteria for plants and soils, pp. 302-309. University of California, Citrus Research Center and Agric. Experiment Station., Riverside, CA.
- WALKLEY A., BLACK I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, Soil Sci., 37, 29-38.
- WHITTAKER R.H., WALKER R.B., KRUCKERBERG A.R., 1954. The ecology of serpentine Soils : a symposium, Ecology, 35, 258-288.

Les Colloques , n°85

Contaminated Soils

3rd International Conference
on the Biogeochemistry of Trace Elements

Paris (France), May 15-19, 1995

Full Proceedings on CD-Rom



27 MAI 1998

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147, rue de l'Université - 75338 Paris Cedex 07

EG
INR

010002429

Editeur / Editor

R. PROST
INRA - Science du Sol
Route de St-Cyr -78026 Versailles Cedex, France

En vente / For sale















INRA Editions
Route de St Cyr, 78026 Versailles Cedex, France

© INRA, Paris, 1997
ISBN : 2-7380-0775-9

© Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 3, rue Hautefeuille, Paris 6ème.

presen
publist
thank
specch
sympos

Contents Table des matières

	 VOLUME Pages	 CD-ROM Name of the file in D:\DATA\communic\
  1. Effects of heavy metals in the environment on human health A.M. BERNARD	21	001.PDF
  2. Behaviour of trace elements in terrestrial ecosystems S.P. MCGRATH	35	002.PDF
  3. In situ procedures for measuring chemical speciation and availability of trace metals in soils and sediments W. DAVISON, H. ZHANG, S. MILLER	57	003.PDF
  4. Critical evaluation of selective extraction methods for soils and sediments M.I. SHEPPARD, M. STEPHENSON	69	004.PDF
 5. Estimating Cu^{2+} and Pb^{2+} activities in soils T.A. TAWFIC, W.L. LINDSAY		005.PDF
 6. Speciation of dissolved selenium in soil solutions K.J. REDDY, Z. ZHANG, S.P. GLOSS		006.PDF
 7. Determination of Cr(VI) in soils by differential pulse polarography - Influence of pH and organic matter content on Cr(VI) reduction S. CRAM, W.R. FISCHER, B.S. CASTILLO, M. GUTIERREZ, V.L. FLORES		007.PDF
 8. Measurement and behavior of indigenous levels of the free-hydrated cations of Cu, Zn and Cd in the soil-water system P. A. HELMKE, A.K. SALAM, Y. LI		008.PDF

9. Extended X-ray absorption fine structure study of mercury speciation in a flood plain soil
Z. WANG, D. HESTERBERG, W. ZHOU, D.E. SAYERS, W.P. ROBARGE
009.PDF
10. Direct determination of heavy metal speciation in soils by EXAFS spectroscopy
A. MANCEAU, J.C. HARGÉ, G. SARRET, J.L. HAZEMANN, M.C. BOISSET, M. MENCHI, PH. CAMBIER, R. PROST
99
010.PDF
11. The structure of nickel surface precipitates on pyrophyllite
A.M. SCHEIDEGGER, G.M. LAMBLE, D.L. SPARKS
011.PDF
12. Differential FTIR study of pyrophosphate extractable material of soils: implication in Cd-bonding sites and availability
G.S.R. KRISHNAMURTI, P.M. HUANG, K.C.J. VAN REES, L.M. KOZAK, H.P.W. ROSTAD
012.PDF
13. Sequential chemical extraction of trace elements: Development and use in remediating contaminated soils
W.R. BERTI, S.D. CUNNINGHAM, L.W. JACOBS
121
013.PDF
14. Determination of mercury-phases in contaminated soils and sediments by solid-phase-Hg-pyrolysis
H. BIESTER, G. MÜLLER
014.PDF
15. Sequential extraction of trace metals in a contaminated dredged sludge in Northern France
V. RUBAN
015.PDF
16. Characterisation of Pb-, Zn-, Cd-, and Cu-bearing phases in river sediments by combined geochemical and mineralogical techniques
K. HUDSON-EDWARDS, M. MACKLIN, C. CURTIS, D. VAUGHAN
016.PDF
17. Determination of the acid extractable metal fraction in a sediment with a high carbonate content: a critical evaluation
F.M. TACK, M.G. VERLOO
017.PDF

18. Solid-phase forms of cadmium in sewage sludge treated soils during a two-year residual period
P.S. HOODA, B.J. ALLOWAY
018.PDF
19. Residual effect of organic matter on cadmium uptake by plants and its distribution in soils
B.R. SINGH, R.P. NARWAL, A. ALMAS
019.PDF
20. Spéciation du sélénium dans les sols
Cas d'un sol Irlandais sélénifère
F. SEBY, M. POTIN GAUTIER, M. ASTRUC
020.PDF
21. Speciation of lead in a soil amended with an urban compost
N. VALENTIN, P. PRUDENT, A. PRONE, M. DOMEIZEL, C. MASSIANI
021.PDF
22. An efficient method for estimating bioavailability of arsenic in soils: a comparison with acid leachates
J.C. NG, A. HERTLE, K.W. MCDUGALL, A.A. SEAWRIGHT
022.PDF
23. PGAUSS: A computer program to evaluate stability constants of proton and metal-humates from potentiometric titration data
B. MANUNZA, S. DEIANA, C. GESSA
023.PDF
24. Human impact on coral reef ecosystem at Mauritius island (Indian Ocean) : Trace elements in littoral ecosystem
S. BROCCERO, C. BECK
024.PDF
25. Biogeochemistry of the trace elements in the landscapes of the Wooded Steppe within the Central Chernozemic District of Russia
N.A. PROTASOVA
025.PDF
26. The mobilisation of trace elements in soils
B.J. ALLOWAY
133
026.PDF
27. Migration of Cd, Cu, Ni and Pb in low-permeable clay-type solids in presence of acid complexants
M. SAGER
027.PDF

28. Ni and Al mobilization along a soil pH transect in forest soils of the Günser Mountains, Austria
W.W. WENZEL, W.E.H. BLUM, A. BRANDSTETTER, R.S. SLETTEN, G. WIESHAMMER
028.PDF
29. Modeling the fate of heavy metal ions in soil: competition between humic acids and olive mill wastes for the binding of Cu(II), Pb(II), Mn(II), and Zn (II) ions. A study with the bimodal gaussian distribution model.
B. MANDUNZA, V. SOLINAS, S. DEIANA, C. GESSA
029.PDF
30. Evidence for the leaching of surface deposited cadmium in agricultural soils
F.A. NICHOLSON, K.C. JONES, A.E. JOHNSTON
030.PDF
31. Possibilities for predicting mobility of trace elements in soils via modeling.
W.H. VAN RIEMSDIJK, M.F. BENEDETTI, T. HIEMSTRA
147
031.PDF
32. Isotherms for sorption of cadmium onto soil, as functions of soil water composition
V. PALM
032.PDF
33. Humic substances and the bioavailability of metal ions: from the model to the field.
M.F. BENEDETTI, W.H. VAN RIEMSDIJK, L.K. KOOPAL, D.G. KUNNBURGH, C.O.J. MILNE
033.PDF
34. Disponibilité du nickel dans les sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie.
T. BECQUER, E. BOURDON, L. L'HUILLIER
034.PDF
35. Cadmium and zinc sorption by tropical soils as affected by chemical degradation
M.T. PARDO, M.E. GUADALIX, C. LÓPEZ-FANDO
035.PDF
36. Behaviour of zinc sulphide in absence and presence of humic acid and / or cadmium
P. CAUVENBERG, A. MAES
036.PDF
37. Copper and lead sorption by different fractions of two Sardinian soils
G. ALBERTI, A. CRISTINI, A. IOI, P. MELIS, G. PLO
037.PDF

38. Mobilization of trace metals in contaminated soils under anaerobic conditions
R. CHARLATCHKA, P. CAMBIER, S. BOURGEOIS
159
038.PDF
39. Soil pollution and crop contamination by antimony from historical mine dumping - Analysis and assessment of mobility -
W. HAMMEL, R. DEBUS, L. STEUBING
039.PDF
40. Determination of trace elements in peat soils by X-Ray fluorescence spectroscopy
J. OMOTE
040.PDF
41. Effets à long terme de la minéralisation des Zostères sur les concentrations en métaux des sédiments.
J.C. WASSERMAN, J.C. DUMON, M.A.M. WASSEMAN
041.PDF
42. Plant uptake and geochemical phase distribution of Cd, Pb and Zn from soils after application of baghouse dust from the electric arc furnace production of steel.
J.H. RULE, D.C. ADRIANO
175
042.PDF
43. Heavy metal uptake by *Lolium italicum* and root mortality as affected by salt water irrigation
H. M. HELAL, A. RAMADAN, F. AZAM
189
043.PDF
44. Plant uptake of Cd through arbuscular mycorrhiza, an important group of symbiotic fungi
E.J. JONER, C. LEYVAL
195
044.PDF
45. Effect of sewage-sludge on heavy metals accumulation in soil and wheat (*Triticum aestivum* L.)
A. FIGLIOLA, D. MANGIONE, C. IZZA, L. LETTA, G. BRAGATO, M. DE NOBILI
045.PDF
46. Accumulation of trace metals in crop cultivated on polluted soil after herbicide treatment
E.MITEVA, SV.MANEVA, P.BOJINOVA, J.IVANOVA
046.PDF
47. Rare earth elements and titanium in plants, soils and groundwaters in the alkaline-ultramafic complex of Salitre, MG, Brazil.
G. CECCANTINI, A.M.G. FIGUEROA, F. SONDAQ, F. SOUBIÈS
047.PDF

48. Modelling subsurface element fluxes and concentrations
G. DESTOUNI
209
048.PDF
49. Adsorption-desorption and transport of copper in soils.
H.M. SELIM, L. MA, H. ZHU, M. C. AMACHER,
I.K. ISKANDAR
223
049.PDF
50. Mobility of cadmium in sandy soils; effects of complexation and competition
E.J.M. TEMMINGHOFF, S.E.A.T.M. VAN DER ZEE,
F.A.M. DE HAAN
233
050.PDF
51. Arsenic in Swiss soils and waters and their relation to rock composition and mining activities
H.-R. PFEIFER, J. HANSEN, J. HUNZIKER, D. REY,
M. SCHAFER, V. SERNEELS
051.PDF
52. Cut-off effect of water movement by hydrophobic sand on metal migration in soil
C. MIZUNO, Y. AMEMYA, S. YABASHI, M. CHINO
052.PDF
53. Caractérisation et analyse de la mobilité et de la biodisponibilité du nickel dans les sols agricoles : Le cas du Pays de Gex, Ain, France
C. BUATIER, J. WIART
053.PDF
54. Use of microcosms for studies of heavy metal transport in the soil - plant system
B.O. BERTHELSEN, E. STEINNES, A. FJELLVIKAAS
054.PDF
55. Origin and spacial and vertical distribution of Cd and Cr in sediment cores in Vigo Ria (Spain).
M.L. ANDRADE, P. MARCET, M.J. MONTERO
055.PDF
56. Selenium uptake and partitioning in tomato plants in relation to sulphate concentration in soil
B. PEZZAROSSA, G. PETRUZZELLI, D. PICCOTINO,
F. MALORGIO, C.J. HILLHOUSE, J. JONES, C. SHENNAN
056.PDF
57. Effects of decreased cellular glutathione levels on growth, membrane integrity and lipid peroxidation in roots of copper-stressed *Sitene vulgaris*
H. SCHAT, R. VOOLIS
057.PDF

58. Metals and trees: impacts, responses to exposure and exploitation of resistance traits
N.M. DICKINSON, N.W. LEPP
247
058.PDF
59. Patterns of soil copper contamination and temporal changes in vegetation found in the vicinity of a copper rod-rolling factory
N.W. LEPP, J. HARTLEY, M. TOTI, N.M. DICKINSON
059.PDF
60. Trace elements in plants and soils of urban parks (Florence, Italy)
C. BINI, L. GENTILI, L. MALECCIBINI, O. VASELLI
060.PDF
61. Instrumental multielement analysis of environmental samples
B. MARKERT
061.PDF
62. Effects of abandoned mercury mines on terrestrial and aquatic ecosystems
R. BARGAGLI
255
062.PDF
63. Teneurs foliaires en métaux lourds de Peuplier, Frêne, Robinier en présence de boues d'épuration : valeur comme bioindicateurs de pollution
M. BONNEAU, J. GARBAYE, F. LE TACON, J. BOUCHARD,
M. BITSCH
267
063.PDF
64. Lead and cadmium distribution in urban soil and plants in the city of Rome: a preliminary study.
M. ANGELONE, C. TEOFILI, G. DOWGIALLO
064.PDF
65. Soil microbial biomass content of sewage sludge-treated agricultural land
S.R. SMITH
065.PDF
66. Chicory (*Cichorium intybus* L.) as bioindicator of heavy metal contamination
L. SIMON, J. PROKISCH, B. KOVÁCS
066.PDF
67. Some secondary metabolites altered by heavy metals
A.M. ZOBEL, K. WIERZCHOWSKA-RENKE, S.A. BROWN,
B. PRIMEAU, J. LYNCH, M. KURAS, R. CRANG,
J.E. NIGHSWANDER
067.PDF

68. Cellulase activity in heavy-metal polluted soils
S. KANAZAWA
068.PDF
69. Extractable fractions of heavy metals in forest soil pedons, Ontario, Canada
A. CHLOPECKA, T. HUTCHINSON
069.PDF
70. Compound pollution of Cd, Pb, Zn, As, in plant soils system and its prevention
Y. WU
070.PDF
71. Factors influencing heavy metal concentrations in small lakes
E. STEINNES
279
071.PDF
72. Biogeochemical cycling of trace elements in a meromictic lake
M. TAILLEFERT, E. ROSE, J.-F. GAILLARD
289
072.PDF
73. Early diagenesis of contaminated Seine river sediments: a laboratory experiment
A.-L. BUSSY, A. ESTÈBE, A. COMBÈLEZ, J.-M. MOUCHEL, D.R. THEVENOT
073.PDF
74. Lead and cadmium availability in soils under waterlogged and air-dry conditions
I. PHILLIPS, M. GREENWAY
074.PDF
75. Concentration of copper in sediments and fishes from Kaohsiung River and its Harbor area, Taiwan
M.H. CHEN, H.T. WU
075.PDF
76. Metal distribution in a sub-tropical coastal lagoon: a statistical approach
M.A.M. WASSERMAN, C. LATOUCHE, J.C. WASSERMAN
076.PDF
77. An experimental study on cadmium accumulation in water fern (*Sagvinia rotundifolia* Willd.) plants
W.H.ORNES, K.S. SAWWAN
077.PDF
78. Teneurs métalliques et organiques dans les sédiments et effets sur les communautés benthiques dans deux cours d'eau représentatifs de la Région Nord/Pas-de-Calais
F. GRUMAUD, S. DEMUYNCK, A. LEBRETTE, N. DHAINAUT-COURTOIS
078.PDF

79. Indicateurs écologiques et bioaccumulateurs en milieu marin : invertébrés benthiques des zones estuariennes et portuaires de la région Nord/Pas-de-Calais
R. ROMONT, N. DHAINAUT-COURTOIS
079.PDF
80. Cadmium in soil and plants and its cycling in sheep-grazed hill country pastures
A. ROBERTS, R. LONGHURST, M. BROWN
303
080.PDF
81. Cadmium and lead elimination through milk in the ewe
P. HOUPERT, S. MEHENNAOUI, B. FEDERSPIEL, G. MILHAUD
317
081.PDF
82. Transfer of radiocaesium, plutonium and americium to sheep after ingestion of contaminated soil
A.I. COOKE, D.L. RIMMER, T.E.C. WEEKES, N. GREEN, B.T. WILKINS
082.PDF
83. Teneurs élevées en cadmium dans des chevaux polonais
F. JANIN, G. SCHNITZER
083.PDF
84. The potential pathways of plants contamination in the emission region of Copper Foundry "Glogów"
I. ROSADA, B. CHUDZINSKI
084.PDF
85. Pollution par des métaux et du fluor décolorants d'établissements industriels d'extraction, dans une aire agricole.
P. MELIS, C. SENETTE
085.PDF
86. Accumulation of Pb, Cd and Zn from contaminated soil to various plants and evaluation of soil remediation with indicator plant (*Plantago lanceolata* L.)
M. ZUPAN, V. HUDNIK, F. LOBNIK, V. KADUNC
325
086.PDF
87. Transfer of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from sewage sludge-treated soils into the edible parts of wheat, carrots and spinach
P.S. HOODA, B.J. ALLOWAY
087.PDF

88. Distribution of ^{99}Tc in parts of winter wheat grown on contaminated soil
G. ECHEVARRIA, P.C. VONG, C. VALENTIN-RANC, J.L. MOREL
088.PDF
89. Chronic lead transfer from polluted soils to humans by means of inhalation and ingestion
O. FEENSTRA, G. PRIDNIG, G. ROIDER, G. DRASCH
089.PDF
90. Adverse health effects due to soil and water acidification - A Swedish research program
A. OSKARSSON, M.-L. HEIKENSTEN
090.PDF
91. A study on selenium in tobacco from some area of China
M. WANG
091.PDF
92. Accumulation of heavy metals in soil: The *Sustainability Approach* illustrated with a case-study on SSO-compost application
S.W. MOOLENAAR, F.A.M. DE HAAN, T.M. LEXMOND, S.E.A.T.M. VAN DER ZEE
092.PDF
93. Particulate matter and transfer of K, Cu, Al and Fe in the soil solutions of a podzol: preliminary results on semi-quantitative and qualitative approaches
C. KELLER, D. MAVROCORDATOS
093.PDF
94. A review of the biogeochemistry of tin in soil-plant systems
R. EDWARDS
094.PDF
95. Lead isotope characterization of heavy metal polluted soils in the Harz Mountains, Germany
J. LÉVÉQUE, H. HEINRICHS, U. HAAACK, F. ANDREUX, M. AMIOT
095.PDF
96. Teneurs en Micro-polluants métalliques de sols localisés à Paris (Champ de Mars)
F. LEMAIRE, G. SINTES
096.PDF
97. Bilan et transfert des éléments traces sous écosystème forestier et sous monoculture de maïs
F. JACQUIN, J.-L. MOREL, F. LE TACON, S. SULÇE
097.PDF

98. Use of the dissolved Rb/Sr ratio as a pollution indicator
P.M. NIREL, R. REVACLIER, G. PFISTER
098.PDF
99. On pathways of Mn and Zn deposited in subalpine forests in southern Quebec, Canada
Z.Q. LIN, P.H. SCHUEPP, N.N. BARTHAKUR, G.G. KENNEDY, R.S. SCHEMENAUBER
099.PDF
100. The cumulation and translocation of Cu, Zn, and S in the soils polluted by copper smelter
J. DROZD
100.PDF
101. Contamination and pollution of soils in the Czech Republic
E. PODLEŠÁKOVÁ, J. NEMECEK
101.PDF
102. Trace elements and some problems of medical ecology of Ukraine
L.V. GERBILSKY, V.V. OGORODNY
102.PDF
103. Issues of risk assessment and its utility in development of soil standards: the 503 methodology an example
J.A. RYAN, R.L. CHANEY
103.PDF
104. Action values for mobile (NH_4NO_3 -extractable) trace elements in soils based on the German national standard DIN 19730
A. PRÜEB
104.PDF
105. An approach for predicting trace metal uptake by vegetables grown in contaminated soils
I.D. MARTIN, C.C. FERGUSON
105.PDF
106. Dutch methodology for risk assessment of contaminated soils
R.M.C. THEELEN, A.G. NIHOFF, H. BOMER
106.PDF
107. Factors of contamination of garden soils by heavy metals
C. SCHWARTZ, K.D. FETZER, J.L. MOREL
107.PDF

108. Quantifying community exposure and risk from heavy metals: a source category case study
L. LEVIN, D. PORCELLA
108.PDF
109. Aide multicritère à la décision et hiérarchisation de sites pollués : exemple d'application
B. CÔME, S. EL MAGNOUNI, J. RICOEUR, J. P. SAUTY
109.PDF
110. Assessment of the risk of heavy metal mobilization in calcareous agricultural soils.
C. PÉREZ SIRVENT, J. MARTÍNEZ SÁNCHEZ, C. GARCÍA RIZO
110.PDF
111. Efficacité d'une méthode de digestion par micro-ondes pour la détermination de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr, Al et Cd dans les sédiments
P. MARCET, M.L. ANDRADE, M.J. MONTERO
111.PDF
112. Risk assessment method for soils contaminated by heavy metals. Application to plants as targets.
F. CELARDIN
112.PDF
113. Soil protection in the Netherlands: the continuing story
J.J. VEGTER
433
113.PDF
114. New standards on contaminated soil in Switzerland - comparison with Dutch and German quality criteria
M.K. VOLLMER, S.K. GUPTA, R. KREBS
445
114.PDF
115. Sites et sols pollués
A. STREBELLE
459
115.PDF
116. The regulation of sewage sludge application on land in the Netherlands and in the USA
K. VERLOOP, J. VAN WENSEM, J.J. VEGTER
116.PDF
117. Priority ranking on contaminated sites in France: Definition of danger and mobility scores
J.M. OOSTERBAAN
117.PDF
118. Pollution prevention policies for agricultural soils in the Netherlands
H. SMIT
118.PDF

119. Soil contamination and remediation: philosophy, science and technology
D.C. ADRIANO, A. CHLOPECKA, D.I. KARLAN, H. CLUSTERS, J. VANGRONSVELD
465
119.PDF
120. Plant based soil remediation: preliminary study of Pb phytoextraction from Pb-contaminated soils
J.W. HUANG, S.D. CUNNINGHAM, S.J. GERMANI
120.PDF
121. Potential applications of synthetic zeolites for *in situ* land reclamation
I. REBDEA, R. EDWARDS, N.W. LEPP, A.J. LOVELL
121.PDF
122. Use of willow clones with high Cd accumulating properties in phytoremediation of agricultural soils with elevated Cd levels
M. GRBGER, T. LANDBERG
505
122.PDF
123. Immobilization of contaminants with in-situ calcite precipitation: A preliminary evaluation
E.M.H. VAN PROOSDU, K.J. REDDY
123.PDF
124. Redistribution of Cu, Cr and As in a Portuguese polluted soil during electrokinetic remediation
A. RIBEIRO, A. VILLOMSEN, B. JENSEN, A. RÉFEGA, J.M. VEIRA E SILVA
124.PDF
125. Use of chelating agents for soil-metal decontamination
K. MOBLEY, I.K. ISKANDAR, H.M. SELIM
125.PDF
126. Evaluation du taux de contamination d'un sol pollué et de son assainissement par la valorisation des processus naturels d'autodépuration
P. ARRIZABALAGA, M. DUMAS, J. FAVET, C. DE LODDERE, P. TISSOT
126.PDF
127. Etude préalable à la décontamination d'un sol pollué par un produit de traitement du bois (Mélange Cuivre, Chrome, Arsenic)
F. PERSIN, T. TOULARASTRE, J. SANDEAUX, R. SANDEAUX, C. GAVVACH
127.PDF
- Authors list. 513
Sponsor list. 527
Instructions for CR-ROM use. 528

