



Distribution et comportement des elements traces metalliques dans les cambisols manganesiferes des sites volcano-sedimentaires de Cote d'Ivoire

Yves Nangah Krogba¹, Nestor Kouakou Yao Kouman², Ferdinand Zro Bi Gohi³, Eugen Rusu⁴, Albert Yao-Kouamé²

¹Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

²Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Université Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Universite Alexandru Ioan Cuza, Iasi, Roumanie

To cite this article: Nangah Krogba, Y., Kouakou Yao Kouman, N., Zro Bi Gohi, F., Rusu, E., Yao-Kouamé, A. (2016). Distribution et comportement des elements traces metalliques dans les cambisols manganesiferes des sites volcano-sedimentaires de Cote d'Ivoire. *Lucrările Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir*, Vol. 43, pp. 125-132. DOI: 10.15551/lsgdc.v43i0.09

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.15551/lsgdc.v43i0.09>





DISTRIBUTION ET COMPORTEMENT DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES CAMBISOLS MANGANESIFERES DES SITES VOLCANO-SEDIMENTAIRES DE COTE D’IVOIRE

Yves Nangah Krogba¹, Nestor Kouakou Yao Kouman², Ferdinand Zro Bi Gohi³, Eugen Rusu⁴, Albert Yao-Kouamé²

Résumé : L’accumulation des ETM dans les sols est une préoccupation en production agricole et pour la santé de l’environnement. Les Cambisols manganésifères des complexes volcano-sédimentaires ayant des teneurs élevées en ETM, il apparaît opportun de mettre en exergue de la distribution des éléments traces métalliques et de définir leur relation avec les paramètres physicochimiques des sols. Quatre sites de sols développés sur formations volcano-sédimentaires été caractérisée à travers une étude pédologique détaillée. Les résultats ont montré que le pH (4,6 à 5,1) des sols est acide avec un ordre d’abondance des éléments qui est le suivant : $Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd$ à l’exception de Korhogo où $Ni > Cr$. Les teneurs en Cu (118,07 à 206,4 $mg.kg^{-1}$), Zn (73,88 à 142,19 $mg.kg^{-1}$), Cd (0,75 à 1,48 $mg.kg^{-1}$) et Mn (6131,12 à 13924,18 $mg.kg^{-1}$) se situent, toutes, dans la zone des teneurs critiques pour les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité. La répartition et les expressions des ETM restent variables selon la zone d’étude. Une contamination d’origine anthropique a été observée à Bondoukou.

Mots clés : ETM, Volcano-sédimentaires, Cambisols manganésifères, Côte d’Ivoire

Introduction

Les sols manganésifères sont le résultat des interactions leur conférant une forte concentration en manganèse. En raison de leur caractère chimiquement réactif, les oxydes de manganèse jouent un rôle important dans les sols, car, ils ont une grande surface spécifique, qui leur confère un potentiel de sorption important, de sorte qu’ils ont tendance à retenir les éléments nutritifs et les éléments traces métalliques (ETM) (Dixon et White, 2002 ; Kabata-Pendias et Pendias, 2001). La rétention des éléments traces dans certains sols manganésifères (Oxisols manganésifères) a été si fortes qu’ils ont été considérés comme contaminés (Dowding et Fey, 2007). En effet, les éléments traces métalliques sont réputés toxiques (Redon, 2009). L’accumulation des ETM dans les sols est une préoccupation en production agricole en raison de leurs effets néfastes sur la croissance des cultures, la qualité des produits alimentaires et la santé de l’environnement (Agusto, 2001).

¹ Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo- Côte d’Ivoire, nangahk@yahoo.fr

² Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan-Côte d’Ivoire

³ Université Lorougnon Guédé, Daloa- Côte d’Ivoire

⁴ Universite Alexandru Ioan Cuza, Iasi, Roumanie

En Côte d'Ivoire, lessols manganésifères sont principalement formés sur les complexes volcano-sédimentaires qui sont des formations présentant des concentrations importantes en éléments traces métalliques (ETM), avec des teneurs importantes dans les sols qui en résultent (Many et Maboko, 2008 ; Brandt *et al.*, 2009). Ces sols sont observés dans les zones à fortes productions agricoles. Or la plupart des chercheurs ont trouvé les risques potentiels de transfert des ETM dans le corps humain à travers les plantes comestibles dans les sols contaminés (Dumat *et al.*, 2006).

Quatre sites de sols développés sur formations volcano-sédimentaires, riches en manganèse, soumis à différentes conditions microclimatiques, prenant en compte des disparités régionales ont été choisis pour conduire l'étude.

L'objectif de cette étude est de mettre en exergue de la distribution des éléments traces métalliques et de définir leur relation avec les paramètres physicochimiques du sol qui sont responsable de leur mobilité.

Matériel et méthode

Choix des sites

Le choix des différentes zones d'étude a été essentiellement basé sur les critères lithologiques et pédoclimatiques. Nous avons procédé à l'inventaire des zones à occurrence de manganèse, puis, en fonction des différentes facettes climatiques, quatre (4) zones ont été sélectionnées (Korhogo, Bondoukou, Attiégouakro et Guitry). Tous les sites sont développés sur matériau volcano-sédimentaire. Les caractéristiques des sites sont indiqués au tableau I.

Echantillonnage des sols

Une prospection pédologique détaillée a permis de caractériser les différents types de sol des zones d'étude. Au total 56 échantillons de sols ont été convoyés en laboratoire. Les échantillons se répartissent comme suit : 12 échantillons à Korhogo ; 14 échantillons à Bondoukou ; 12 échantillons à Guitry et 18 échantillons à Attiégouakro.

Analyses en laboratoire

Les fractions fines ont été déterminées par la méthode densimétrique, à l'aide de la pipette de Robinson.

Quant au pH, il a été mesuré dans un ratio sol : solution de 1/2,5, à l'aide d'une électrode de verre.

Le carbone a été déterminé par la méthode de Walkley et Black (1934). A pH 7, la capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par extraction à l'acétate d'ammonium (NH₄Ac, pH 7) (Van Reeuwijk, 2002).

La quantification de la teneur en métal total a nécessité une mise en solution du sol. Les échantillons ont été désagrégés, par minéralisation à voies humides, avec des acides forts (HNO₃, HCl et HF). Les éléments traces ont été ensuite déterminés par un Spectromètre d'Emission Optique, Couplé à un Plasma Inductif (ICP-OES).

Le calcul du facteur d'enrichissement est donné par l'équation 1, après choix de l'élément normalisant (Fe) du fait de son affinité pour les ETM et son abondance relative (Schulin *et al.*, 2007 ; N'Guessan *et al.*, 2009). L'horizon le plus profond a été considéré comme matériau de référence.

(Equation 1)

$$FE = \frac{\left(\frac{[ETM]}{[Fe]}\right)_{\text{horizon considéré}}}{\left(\frac{[ETM]}{[Fe]}\right)_{\text{Horizon profond}}}$$

Tableau I : Caractéristiques des sites d'étude

Caractéristiques	Guitry (Lauzoua)	Attégouakro (Tokore-Yaokro)	Bondoukou (Kanguélé)	Korhogo (Dassoumbélé)
Coordonnées géographiques	5°20'5'' N et 5°23' W	6°48' N et 4°58' W	8°6'43'' N et 2°42'23'' W	9°23'27''N et 5°48'49''W
Précipitation moyenne annuelle (mm/an)	1400 à 2500	850 à 1700	1100 à 1700	1000 et 1200
Températures moyennes mensuelle (°C)	25 à 33	16 à 34	22 à 27	26 (12 à 39)
Climat	Attiéen	Baouléen	Baouléen	Soudanais
Humidité relative moyenne (%)	80 à 90	60 à 70	70	65
Végétation naturelle	Forêt sempervirente	Forêt claire / savane arborée	Savane arborée	Savane arbustives
Matériel parental	Volcano-sédimentaire	Volcano-sédimentaire	Volcano-sédimentaire	Volcano-sédimentaire
Type de sol	Cambisols	Cambisols	Cambisols	Cambisols

Analyse statistique

Les corrélations linéaires et les modèles de régression ont été utilisés pour établir les relations quantitatives entre les paramètres pédologiques et les éléments traces métalliques dans le sol. La robustesse du modèle de régression est jugée par la valeur du coefficient de détermination ajustée du modèle (R^2_{aj}), et par l'analyse de la variance du modèle (à l'aide de la probabilité associée au test de Fisher, $Pr > F$). L'analyse de la variance du modèle permet d'évaluer le pouvoir explicatif des variables explicatives. Plus la probabilité (associé au test de Fisher) est faible, plus le pouvoir explicatif du modèle est important. En premier lieu, c'est le paramètre le plus important. Le seuil de signification a été fixé à $\alpha = 0,05$, ce qui indique que le modèle existe pour une probabilité associée au test de Fisher, inférieure à 0,05.

Résultats

Les valeurs moyennes de pH sont présentées dans le tableau II. Les pH sont acides et inférieurs à 5,5 quel que soit le site d'étude et la profondeur du sol. Les sols sont acides quel que soit le site d'étude. Les teneurs en CEC suivent une évolution similaire à ceux du carbone et sensiblement avec l'argile. Les plus fortes teneurs s'observent à Korhogo, alors que les plus faibles sont marquées à Guitry.

Tableau II : Paramètres physico-chimique des sols

Caractéristiques du sol	Korhogo	Bondoukou	Attégouakro	Guitry
pH eau	4,6	5,2	5,1	4,9
C (g.kg ⁻¹)	21,3	13,15	10	10,8
CEC (cmol.kg ⁻¹)	21,01	20,90	12,91	10,59
Argile (g.kg ⁻¹)	366,75	348	358,75	296,5

Les concentrations totales ont été mesurées pour les ETM étudiés (tableau III), dans tous les horizons de sol collectés pour l'étude. L'ordre d'abondance des éléments est le suivant : Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd à l'exception de Korhogo où Ni > Cr.

Tableau III : Moyenne des concentrations en ETM (mgkg^{-1})

	Korhogo	Bondoukou	Guitry	Attiégouakro
Fe	48389,85	46805,38	44630,89	51418,30
Mn	8632,10	6131,12	13924,18	10435,31
Cu	169,11	206,40	150,05	118,07
Zn	142,19	103,47	87,11	73,88
Ni	28,98	27,16	27,00	24,57
Cr	27,43	36,15	27,51	27,64
Pb	13,62	14,28	15,42	26,58
Co	11,22	12,61	12,71	14,11
Cd	0,75	0,90	1,48	0,85

Facteur d'enrichissement

Dans le cadre de cette étude, les facteurs d'enrichissement (FE) ont été calculés par rapport à l'horizon de sol le plus profond, et avec Fe comme élément de référence (Figure 1). Les facteurs d'enrichissements supérieurs à 2 sont indiqués en gras dans le tableau. Des enrichissements significatifs sont relevés pour les horizons de surface des sols de Dassoumblé (Korhogo), pour Pb, et ceux de Kanguélé (Bondoukou), pour Cd.

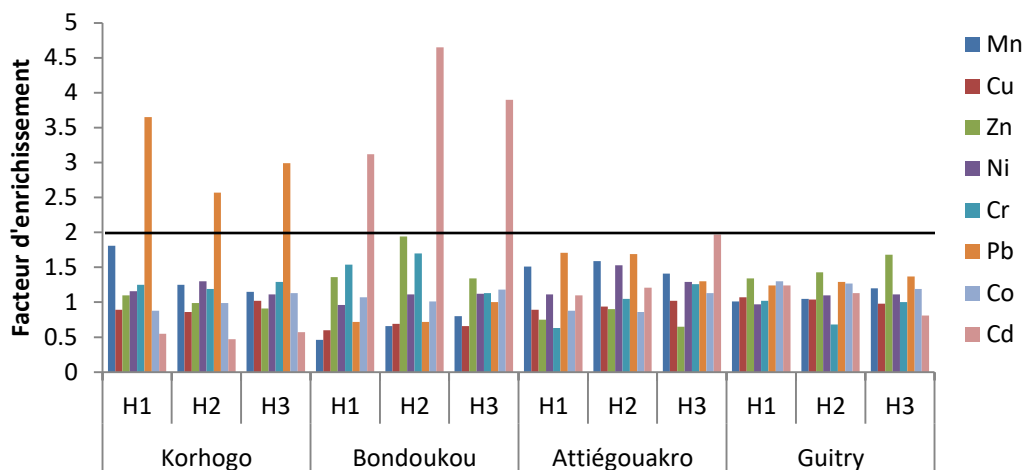


Figure 1 : Facteur d'enrichissement dans les Cambisols manganésifères

Excepté ces deux éléments traces (Pb et Cd), tous les autres ETM ne présentent pas d'enrichissement. La zone de Tokoré-Yaokro (Attiégouakro) et celle de Lauzoua (Guitry) ne présentent pas d'enrichissement, pour aucun des éléments étudiés.

Relation entre ETM et paramètres physico-chimique du sol

Le tableau montre les équations de régression des ETM en fonction des caractéristiques des sols. Au niveau de Korhogo, en climat soudanéen, l'expression de Cd, avec pH comme régresseur, est hautement significative ($p > 0,01$), avec un coefficient de détermination ajusté, supérieur à 0,5. Une autre liaison hautement significative est observée entre Mn et l'argile. A Bondoukou, l'équation de Zn en fonction de CEC est hautement significatifs ($p < 0,01$), mais, ici, les valeurs de R^2 ajusté sont inférieures à 0,5. Les liaisons significatives sont observées pour Pb-argile, Cu-CEC et Cr-argile. Le pH n'a pas été significativement corrélé à un ETM à Bondoukou. Au niveau de la zone d'Attiégouakro, en climat baouléen, Pb est à la fois lié à la CEC et au pH, mais la régression hautement significative est exprimée avec la CEC. Par contre à Guitry, en climat attien, c'est Zn qui est significativement lié à la fois au pH et la matière organique.

Tableau IV: Régression linéaire simple des teneurs en ETM dans les Cambisols manganésifères

Site	Equation de régression linéaire	R^2 ajusté	P
Korhogo	$Cd = -2,75 + 0,77 \times pH_{H_2O}$	0,54	0,004
	$Mn = 17787,87 - 269,48 \times Argile$	0,52	0,004
Bondoukou	$Pb = 8,28 + 0,19 \times Argile$	0,37	0,012
	$Cu = 425,75 - 10,84 \times CEC$	0,32	0,021
	$Zn = 267,42 - 8,10 \times CEC$	0,40	0,009
	$Cr = 53,99 - 0,56 \times Argile$	0,38	0,011
Attiégouakro	$Pb = 12,75 + 1,06 \times CEC$	0,527	0,001
	$Pb = -29,06 + 11 \times pH_{H_2O}$	0,326	0,012
Guitry	$Zn = -119,42 + 40,36 \times pH_{H_2O}$	0,44	0,011
	$Zn = 44,14 + 33,69 \times MO$	0,48	0,007

Discussion

Le pH est, généralement, inférieur à 5,5. D'après Brady et Weil (2002), il existe très peu de réactions chimiques et microbiologiques qui ne soient pas sensibles au pH. A de faibles valeurs de pH, il se produit de nombreux phénomènes néfastes à la croissance végétale, telles la diminution de la nitrification, la déficience en P, les toxicités aluminiques et manganiques, la faible mobilité des polluants organiques et la grande disponibilité de

certaines ETM (Landon, 1991).

L'évolution similaire de la capacité d'échange cationique et du carbone organique en fonction de la zone d'étude, laisse supposer une forte contribution de la matière organique à la CEC, comme observé par Ben Hassine *et al.* (2008).

Parmi les teneurs en ETM des sols, seules celles de Pb, Cr, Ni et Co semblent habituellement observées dans la plupart des sols du monde. Les teneurs en Cu, Zn, Cd et Mn se situent, toutes, dans la zone des teneurs critiques pour les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité (Fageria *et al.*, 2002 ; Colinet, 2003). Ces auteurs situent les teneurs critiques dans les sols, pour Mn, entre 1000 et 3000 mg.kg⁻¹, pour Cu, entre 60 et 125 mg.kg⁻¹, pour Zn, entre 100 et 250 mg.kg⁻¹, pour Cd, entre 0,7 et 2 mg.kg⁻¹.

Les ETM observés sont d'origine pédogénétique. Néanmoins, quelques contaminations ont été observées pour Pb, à Korhogo, et pour Cd, à Bondoukou, après calcul des facteurs d'enrichissement. Ces contaminations, attribuées aux activités agricoles (Bouchouata, 2012), restent négligeables.

Les équations reliant les teneurs en ETM aux paramètres physico-chimiques des sols sont variables en fonction de la zone étudiée. La variabilité des zones étudiées entraîne une divergence dans les éléments physico-chimiques responsables de l'accumulation de ces ETM, et aussi une diversité des ETM exprimés. Cette variabilité dans la distribution des ETM en fonction des caractéristiques du sol pourraient être attribués au couvert végétal. En effet, le couvert végétal joue un rôle important dans les cycles biogéochimiques des éléments chimiques du sol (Watmough *et al.*, 2005).

Les différentes caractéristiques du sol tels que le pH du sol, la quantité de MO, la CEC et l'argile obtiennent, en général, les meilleurs équations de prédiction des ETM dans les sols (Watmough *et al.*, 2005 ; Luo *et al.*, 2006). Ces caractéristiques interviennent de manière différente dans les zones d'étude.

Ainsi, à Korhogole pH se voit expressif de Cd. L'affinité de Cd pour le pH a été rapportée par plusieurs auteurs (Watmough *et al.*, 2005 ; Luo *et al.*, 2006). A Bondoukou, c'est l'argile qui prédit Pb ; la CEC est expressive de Zn. Boyle et Fuller (1987) indiquent que la CEC est l'un des principaux facteurs impliqués dans la rétention de Zn dans un sol. A Attiéguakro, c'est la CEC qui a été plus expressive de Pb. A Guitry, par contre, l'expression des teneurs totales en zinc est manifestée par la matière organique. La réactivité de Zn vis-à-vis du carbone a été importante à Guitry.

Conclusion

Les teneurs en Eléments Traces Métalliques observées suivent l'ordre d'abondance suivant : Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd à l'exception de Korhogo où Ni > Cr. Les teneurs en Cu, Zn, Cd et Mn se situent dans la gamme des teneurs critiques dans les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité. La répartition et les expressions des ETM restent variables selon la zone d'étude, et essentiellement influencés par les processus pédogénétiques. Les pH des Cambisols étant acides, l'accumulation de certains ETM pourrait être préjudiciable. Il serait donc important d'étudier la spéciation de ces ETM afin de mieux appréhender la part d'élément accumulé par les plantes.

Référence bibliographique

1. Augusto L., Badeau V., Arrouays D., Trichet P., Flot J. L., Jolivet C. et Merzereau D., 2006. *Caractérisation physico-chimique des sols d'une région naturelle à partir d'une compilation de données : exemple des sols du massif forestier landais*. Etudes et Gestion des Sols, 13 (1) : 07-22.
2. Ben Hassine H., Aloui T., Gallali T., Bouzid T., El Amri S. et Ben Hassen R., 2008. *Evaluation quantitative et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie*. Agrosolutions, 19 (2) : 4-17.
3. Bouchouata O., Ouadarrri H., Abidi A., Benabbou A., El Guamri Y., Attarassi B. et Brahim J., 2012. *L'accumulation des métaux lourds au niveau des cultures : cas des cultures maraîchères du bassin de Sebou au Maroc*. Afrique SCIENCE, 08 (2) : 57 - 75
4. Boyle M. et Fuller W. H., 1987. *Effect of municipal solid waste leachate composition on zinc migration through soils*. Journal of Environmental Quality, 16 (4) : 357-360.
5. Brady N. C. et Weil R. R., 2002. *The nature and properties of soil*. Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, 960 p.
6. Brandt N. S., Rasskazov S. V., Popov V. K. et Brandt S. B., 2009. *Potassic Specifics of Basalts from the Sinii Utes Depression: Geochemical Correlations and Problems of K-Ar Dating (Southern Primorye Region)*. Russian Journal of Pacific Geology, 3 (4) : 374-387
7. Colinet G., 2003. *Eléments traces métalliques dans les sols: contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge*. Thèse de Doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux, 442 p.
8. Dixon J. B. et White G. N., 2002. *Manganese oxides*. In : Dixon, J. B., Schulze, D. G. (Eds) : Soil mineralogy with environmental applications. Madison, Wisconsin : 367388.
9. Dowding C. E. et Fey M. V., 2007. *Morphological, chemical, and mineralogical properties of some manganese-rich oxisols derived from dolomite in Mpumalanga province, South Africa*. Geoderma, 141 : 23-33.
10. Dumat C., Quenea K., Bermond A., Toinen S., Benedetti M.F., 2006. *Study of the trace metal ion influence on the turnover of soil organic matter in cultivated contaminated soils*. Environ Pollut 142:521–529
11. Fageria N. K., Baligar V. C. et Clark R. B., 2002. *Micronutrients in crop production*. Advances in Agronomy, 77 : 185-268.
12. Kabata-Pendias A. et Pendias H., 2001. *Trace elements in soils and plants*. Ed. CRC Press, New York, 413 p.
13. Landon J. R., 1991. *Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Eds. Longman, Oxon, 474 p.
14. Luo X., Zhou D., Liu X. et Wang Y., 2006. *Solid/solution partitioning and speciation of heavy metals in the contaminated agricultural soils around a copper mine in eastern Nanjing city, China*. Journal of Hazardous Materials, 131 : 19-27.
15. N'Guessan Y. M., Probst J. L., Bur T. et Probst A., 2009. *Enrichment and origin of trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France)*. Science of the Total Environment, 407 : 2939-2952.
16. Redon P-O., 2009. *Rôle de champignons mycorhiziens à arbuscules dans le transfert du cadmium (Cd) du sol à la luzerne (Medicago truncatula)*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, 182 p.
17. Schulin R., Curchod F., Mondeshka M., Daskalova A. et Keller, A., 2007. *Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremikovtzi (Bulgaria)*. Geoderma, 140 : 52-61.
18. Van der Perk M., 2006. *Soil and Water Contamination, from molecular to catchment scale*. Ed. Balkema, Leiden, 404 p.

19. Walkley A. et Black I. A., 1934. *An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. Soil Science, 37 : 29-38.
20. Watmough S. A., Dillon P. J. et Epova E. N., 2005. *Metal partitioning and uptake in central Ontario forests*. Environnement Pollution., 134 : 493-502.