

Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans quelques sols manganésifères dérivés de matériaux volcano-sédimentaires de Côte d'Ivoire

[Contents of metal trace elements (ETM) in some manganiferous soils derived from volcano-sedimentary materials in Côte d'Ivoire]

*NANGAH Krogba Yves¹, ANGUI Kouassi Tehua Pascal¹, KOUAKOU Yao Kouman Nestor²,
RUSU Eugen³, YAO-KOUAME Albert², and SAVANE Issiaka¹*

¹Laboratoire Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

²Département de Pédologie,
Université Felix Houphouët Boigny,
Abidjan, Côte d'Ivoire

³Département de Géographie et de Géologie,
Université Alexandru Ioan Cuza,
Iasi, Roumanie

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Manganiferous soils have high contents of manganese, which, combined with trace elements could affect the physico-chemistry of the soil and lead to serious hazard on the environment and human. This study aims to assess the levels of trace elements on manganiferous soils of Côte d'Ivoire. A recognition site by manganiferous soil survey on three areas was applied. In these manganiferous soils abundance order of ETM, each site individually, is identical to the global abundance order : (Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd). However, a difference is observed in Korhogo, at Ni > Cr. Among the ETM studied, Cu (172.8 mg.kg⁻¹), Zn (110.73 mg.kg⁻¹), Cd (1.06 mg.kg⁻¹) and Mn (9228.96 mg.kg⁻¹) are in the range of critical levels in soils, which can cause toxicity. A North-South gradient of increasing accumulation is for Cd. The opposite is observed for Zn. Mn is more abundant in Guitry but low in Bondoukou. Other ETM (Fe, Ni, Cu, Pb and Co) are more or less homogeneous in the different study areas. Dynamics and vertical distribution of ETM is very variable depending on the area and is mainly influenced by pedogenetic processes. The pH is frankly acids in these soils. A study on the speciation of trace metals in these soils should be conducted to better prevent potential contamination of environment.

KEYWORDS: ETM, manganiferous soils, toxicity, pH, volcano-sedimentary, Côte d'Ivoire.

RESUME: Les sols manganésifères sont des sols à fortes teneurs en manganèse, qui, associées aux éléments traces métalliques, pourraient avoir des conséquences sur la physico-chimie des sols, et induire de graves danger sur l'environnement et l'homme. Cette étude a pour objectif d'évaluer les teneurs en éléments traces métalliques des sols manganésifères de Côte d'Ivoire. Une reconnaissance des sites manganésifères par prospection pédologique sur trois zones a été appliquée. Dans ces sols manganésifères, l'ordre d'abondance des ETM de chaque site, pris individuellement, est identique à l'ordre d'abondance global (Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd). Néanmoins, une différence est observée à Korhogo, au niveau de Ni > Cr. La plupart des ETM présentent, des corrélations significatives entre eux, au seuil $\alpha = 0,05$; seuls Ni et Co ne présentent pas de corrélation significative, ni avec les autres ETM, ni entre eux. Parmi les ETM étudiés, les teneurs en Cu (172,8 mg.kg⁻¹), Zn (110,73 mg.kg⁻¹), Cd (1,06 mg.kg⁻¹) et Mn (9228,96 mg.kg⁻¹) se situent dans la gamme des teneurs critiques dans les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité. Un gradient Nord-Sud croissant

d'accumulation, est marqué pour Cd. L'inverse est observé pour Zn. Mn est plus abondant à Guitry, mais faible à Bondoukou. Les autres ETM (Fe, Ni, Cu, Pb et Co) restent plus ou moins homogènes sur les différentes zones étudiées. Les pH étant franchement acides dans ces sols, une étude sur la spéciation des éléments traces métalliques dans ces sols devra être menée afin de mieux prévenir d'éventuels risques de contamination environnementale.

MOTS-CLEFS: ETM, sols manganésifères, toxicité, pH, volcano-sédimentaire, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les micropolluants inorganiques ou ETM sont naturellement présents dans les sols, sous une forme, le plus souvent, peu mobile, et à des teneurs très faibles. Leur origine est liée à leur présence dans la roche mère « fond pédogéochimique ». Plusieurs études ont montré que les sols se comportent, généralement, comme des systèmes accumulateurs des ETM, et que la rétention ou la mobilisation d'un ETM dans le sol est fonction de plusieurs facteurs, lesquels diffèrent selon l'élément considéré et le type de sol ETM [1]. Comme ce comportement accumulateur des sols vis-à-vis des ETM est irréversible, lorsque ces ETM deviennent mobiles, ils peuvent présenter de sérieux dangers dans l'environnement [2] et [3].

Les sols manganésifères de côte d'Ivoire sont issus de matériaux volcano-sédimentaires. Or, de nombreuses études ont montré que les formations volcano-sédimentaires et les sols manganésifères montrent des concentrations excessives en éléments traces métalliques (ETM), ce qui occasionne des teneurs très élevés de ces éléments dans les sols dérivés de ces formations géologiques [4], [5], [6] et [7]. Les éléments traces métalliques (ETM) contenus dans les sols manganésifères peuvent être transportés dans les différents compartiments de l'environnement (plantes, eau...) et, atteindre l'homme [8], causant sur celui-ci, de graves dommages.

La littérature ne faisant aucunement état d'études pédogéochimiques réalisées sur les sols manganésifères de Côte d'Ivoire, issus de matériaux volcano-sédimentaires, il est apparu opportun de procéder à l'évaluation des teneurs en éléments traces métalliques de ces sols, en vue de la constitution de bases de données de références pour une appréciation rationnelle de l'impact des activités futures, notamment sur l'environnement et l'agriculture et de prévention d'éventuels risques.

2 MATERIELS ET METHODES

Le choix de nos différentes zones d'étude s'est essentiellement basé sur des critères lithologiques et pédoclimatiques. A l'aide de la carte géologique de la Côte d'Ivoire, nous avons procédé à l'inventaire des zones à occurrences de manganèse ; puis, en fonction des différentes facettes climatiques, nous avons sélectionné trois (3) zones : toutes des régions de forte production agricole, dont les sols sont développés sur matériau volcano-sédimentaire. Les caractéristiques climatiques et géomorphopédologiques des sites étudiés sont présentées au tableau 1.

Tableau 1. *Caractéristiques des zones d'études*

Caractéristiques	Guitry (Lauzoua)	Bondoukou (Kanguélé)	Korhogo (Dassoumbélé)
Coordonnées géographiques	5°20'5" N et 5°23' 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	1100 à 1700	1000 et 1200
Températures moyennes mensuelle (°C)	25 à 33	22 à 27	26 (12 à 39)
Climat	Attiéen	Baouléen	Soudanais
Humidité relative moyenne (%)	80 à 90	70	65
Végétation naturelle	forêt sempervirente	Savane arborée	Savane arbustives
Matériel parental	Volcano-sédimentaire	Volcano-sédimentaire	Volcano-sédimentaire
Type de sol	Cambisols	Cambisols	Cambisols

ECHANTILLONNAGE ET CODIFICATION DES HORIZONS

Une prospection pédologique (ouverture de fosses) a permis la caractérisation des différents types de sol des zones d'étude. Au total, 37 horizons de sol ont été échantillonnés pour analyse en laboratoire.

Les horizons, d'épaisseur différente, qui ont été identifiés dans les solums ont été codifiés par la suite en créant des classes de profondeur, notées H₁ (0-20 cm), H₂ (20-60 cm), H₃ (60-80 cm) et H₄ (80-120 cm). La profondeur attribuée à ces codes répond aux critères d'épaisseur de l'horizon organique (0-20 cm) des sols tel que décrit par [9], ainsi qu'à ceux des profils racinaires des cultures vivrières, à savoir : 0-60 cm pour les cultures vivrières à enracinement moyennement profond, 0-80 cm pour celles à enracinement profond ou très profond (0-150 cm), selon les travaux de [10]. Ainsi, chaque horizon est inclus dans une tranche de profondeur (H₁, H₂, H₃ et H₄) correspondant à son code.

DETERMINATION DU PH

La mesure des valeurs de pH a été effectuée par électrométrie, dans une suspension de sol dans l'eau, selon un rapport sol/solvant de 1/2,5 [11].

DETERMINATION DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES

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 sont ensuite déterminés par un Spectromètre d'Emission Optique, Couplé à un Plasma Inductif (ICP-OES).

ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été traitées statistiquement, à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

L'analyse de variance (ANOVA) a été appliquée aux données pour tester les différences entre les moyennes des teneurs en ETM des zones d'étude. Les relations linéaires des coefficients ont été établies en utilisant le test de corrélation de Pearson à 5%, 1% et 0,1% de significativité [12].

3 RESULTATS

PH

Les pH sont franchement acides dans les sols manganésifères de Côte d'Ivoire. Les valeurs de pH observées sont dans l'ensemble inférieures à 5,5 (tableau 2).

Tableau 2. Niveau de l'acidité des sols manganésifères

Horizon	Korhogo	Bondoukou	Guitry
H1	4,6	5,1	5,2
H2	4,3	5,6	4,9
H3	4,5	5,4	4,8
H4	5,1	5,0	4,8

POPULATION TOTALE DES ETM

Les concentrations totales ont été mesurées sur les neuf (9) ETM étudiés (tableau 3), dans tous les horizons de sol collectés pour les besoins de l'étude. L'ordre d'abondance des éléments est le suivant : Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd. Les éléments les plus variables sont Mn, Cd et Zn (CV > 40%) ; les éléments les moins variables sont Fe, Ni et Co (CV < 25%).

La plupart des ETM présentent, de façon globale, des corrélations significatives, au seuil $\alpha = 0,05$; seuls Ni et Co ne présentent pas de corrélation significative, ni avec les autres ETM, ni entre eux (tableau 4).

Tableau 3. Concentration totale moyenne en ETM (mg.kg-1) dans les sols

	Cu	Zn	Pb	Mn	Fe	Cd	Cr	Ni	Co
Minimum	84,1	31	4,5	528,75	39702,58	0,001	15,1	12,25	8,25
1 ^{er} quartile	134,07	69,12	10	2382,12	43499,46	0,5	23,75	22,92	9,87
Médiane	170,25	106,5	15,25	12245,29	46827,58	1	30,25	29,1	12,25
3 ^{ème} quartile	197,87	145,52	17,87	14215,88	49947,29	1,5	37,55	32,37	14,12
Maximum	325,75	256	24,7	16951,18	52077,58	2,5	49,75	38	16
Moyenne	172,8	110,73	14,32	9228,96	46699	1,06	30,93	27,99	12,15
CV	30	46	36	64	8	63	28	23	20
Ecart-type	51,55	50,25	5,09	5831,9	3454,57	0,66	8,45	6,41	2,38

Tableau 4. Corrélation de Pearson entre les ETM étudiés des sols dans leur ensemble

	Cu	Zn	Pb	Mn	Fe	Cd	Cr	Ni	Co
Cu	1								
Zn	0,44	1							
Pb	-0,21	-0,09	1						
Mn	0,12	0,16	0,34	1					
Fe	0,37	0,4	-0,08	0	1				
Cd	-0,38	-0,3	0,03	0,07	-0,33	1			
Cr	0,22	0,17	-0,15	-0,19	0,34	-0,08	1		
Ni	-0,24	0	0,14	-0,05	0,03	0,01	0,1	1	
Co	-0,11	-0,2	0,14	0,09	-0,09	0,23	-0,1	0,12	1

DYNAMIQUE VERTICALE DES ETM SUR LES DIFFERENTS SITES ETUDIÉS

L'ordre d'abondance des ETM de chaque site, pris individuellement, est identique à l'ordre d'abondance global (Fe>Mn>Cu>Zn>Cr>Ni>Pb>Co>Cd). Néanmoins, une différence est observée à Korhogo, au niveau de Ni>Cr.

La dynamique des ETM dans les profils de sols des différents sites étudiés est présentée sur les figures 1, 2 et 3. Les éléments sont regroupés par ordre de grandeur sur les différents graphes.

Les profils de sols de Korhogo présentent une forte teneur en nickel dans l'horizon H₂ puis les valeurs en Ni décroissent jusqu'à H₄. Ce comportement est également observé à Bondoukou. Par contre, le nickel s'accumule en H₃, à Guitry.

Le chrome croît de H₁ à H₃ sur le site de Korhogo, alors qu'à Bondoukou, il croît de H₁ à H₂ puis décroît jusqu'à H₄. Au niveau de Guitry, Cr décroît de H₁ à H₂, ensuite il commence à croître pour s'accumuler en H₄.

Le plomb décroît de H₁ à H₂, puis de H₃ à H₄, avec les fortes valeurs en surfaces et les faibles valeurs en profondeur, à Korhogo. A Bondoukou, les concentrations en Pb sont croissantes et s'accumulent en H₄. Par contre, les valeurs sont croissantes de H₁ à H₃ et chutent en H₄, à Guitry.

Le Cobalt se concentre à Korhogo dans, l'horizon H₃, après une croissance de H₁ à H₃. Mais, à Bondoukou et à Guitry, les teneurs en Co sont préférentiellement accumulées en surface (horizon H₁), les valeurs y sont décroissantes en fonction de la profondeur.

Les teneurs en cadmium dans le profil évoluent de la même manière à Korhogo et à Guitry, au contraire de l'évolution des teneurs observée à Bondoukou.

En ce qui concerne le cuivre, l'accumulation est marquée dans l'horizon H₃, à Korhogo. Alors que les valeurs élevées s'observent dans l'horizon le plus profond (H₄), à Bondoukou et à Guitry.

Pour le zinc, les valeurs fortes sont observées en surface (H₁) à Korhogo, puis dans l'horizon H₂, à Bondoukou, et ensuite dans l'horizon H₃, à Guitry.

Tandis qu'à Korhogo les teneurs en manganèse sont décroissantes le long du profil, elles sont plutôt croissantes à Bondoukou. Mais à Guitry, les valeurs sont décroissantes de H₁ à H₃ puis baissent en H₄.

Les teneurs en fer croissent de H₁ à H₃ (zone d'accumulation) à Korhogo. Par contre, à Bondoukou et à Guitry, les teneurs en fer sont décroissantes. Elles se concentrent dans l'horizon H₃, à Bondoukou et, dans l'horizon H₄, à Guitry.

Le manganèse se concentre préférentiellement dans l'horizon de surface à Korhogo. Par contre, à Bondoukou et à Guitry, les fort taux sont observés en profondeur, respectivement, en H₄ et en H₃.

COMPARAISON DES ETM DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES (0-60CM) DU SOL DES DIFFERENTES ZONES D'ETUDES

La figure 4 présente les teneurs des différents éléments traces métalliques (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co et Cd) dans la tranche 0-60 cm du sol dans les différentes zones étudiées. Les teneurs moyennes des éléments les plus abondants tels que Fe et Mn dans les sols sont statistiquement comparables au seuil $\alpha=0,05$, selon le test de tukey. Les valeurs enregistrées à Guitry (43069 mg.kg⁻¹) pour le fer sont relativement faibles par rapport aux deux autres sites (Bondoukou : 47246 mg.kg⁻¹) et Korhogo : 47795 mg.kg⁻¹) qui présentent des concentrations homogènes. En ce qui concerne le manganèse, nous observons une disparité des concentrations : 5006 mg.kg⁻¹ pour Bondoukou, 9469 mg.kg⁻¹ pour Korhogo et 13793 mg.kg⁻¹ à Guitry.

Des différences significatives s'observent également pour les teneurs en chrome et en cadmium. Pour le chrome, les valeurs à Korhogo et à Guitry sont comparables (28 et 27 mg.kg⁻¹, respectivement) et sont inférieures à celles de Bondoukou (39 mg.kg⁻¹).

La teneur en cadmium est, elle, décroissante, de Korhogo à Guitry, en passant par Bondoukou, avec les valeurs respectives de 0,6 ; 1 et 1,6 mg.kg⁻¹.

Les autres éléments, à savoir : le zinc, le nickel, le cuivre, le plomb et le cobalt, ne présentent pas de différence significative au seuil $\alpha=0,05$. Les concentrations en ces éléments présentent des valeurs plus ou moins homogènes sur les différentes zones d'études. Les valeurs de Cu sont, pour Korhogo, Bondoukou et Guitry, respectivement, 158, 185 et 144 mg.kg⁻¹. Les concentrations en Zn varient de 144 mg.kg⁻¹, pour Korhogo, à 84 mg.kg⁻¹ pour Guitry, en passant par 110 mg.kg⁻¹ à Bondoukou. Les teneurs en Ni sont 24 mg.kg⁻¹ à Guitry, 28 mg.kg⁻¹ à Bondoukou et 29 mg.kg⁻¹ à Korhogo. Quant au plomb et au cobalt, leurs teneurs sont, respectivement, de l'ordre de 15, 13, 16 et 10, 12, 13 sur les sites de Korhogo, Bondoukou et Guitry.

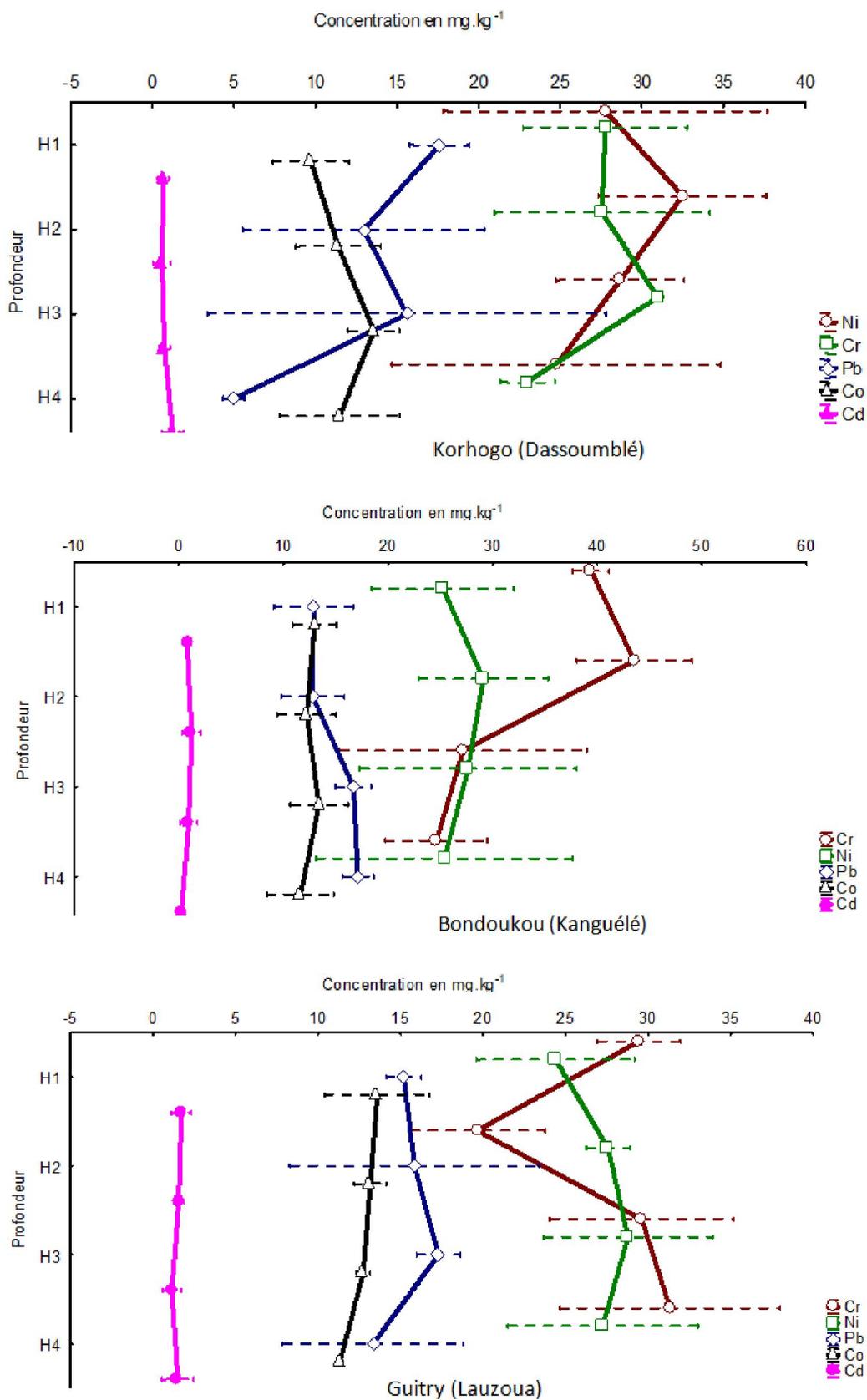


Fig. 1. Dynamique verticale du chrome, du nickel, du plomb, du cobalt et du cadmium dans les sols des différents sites étudiés

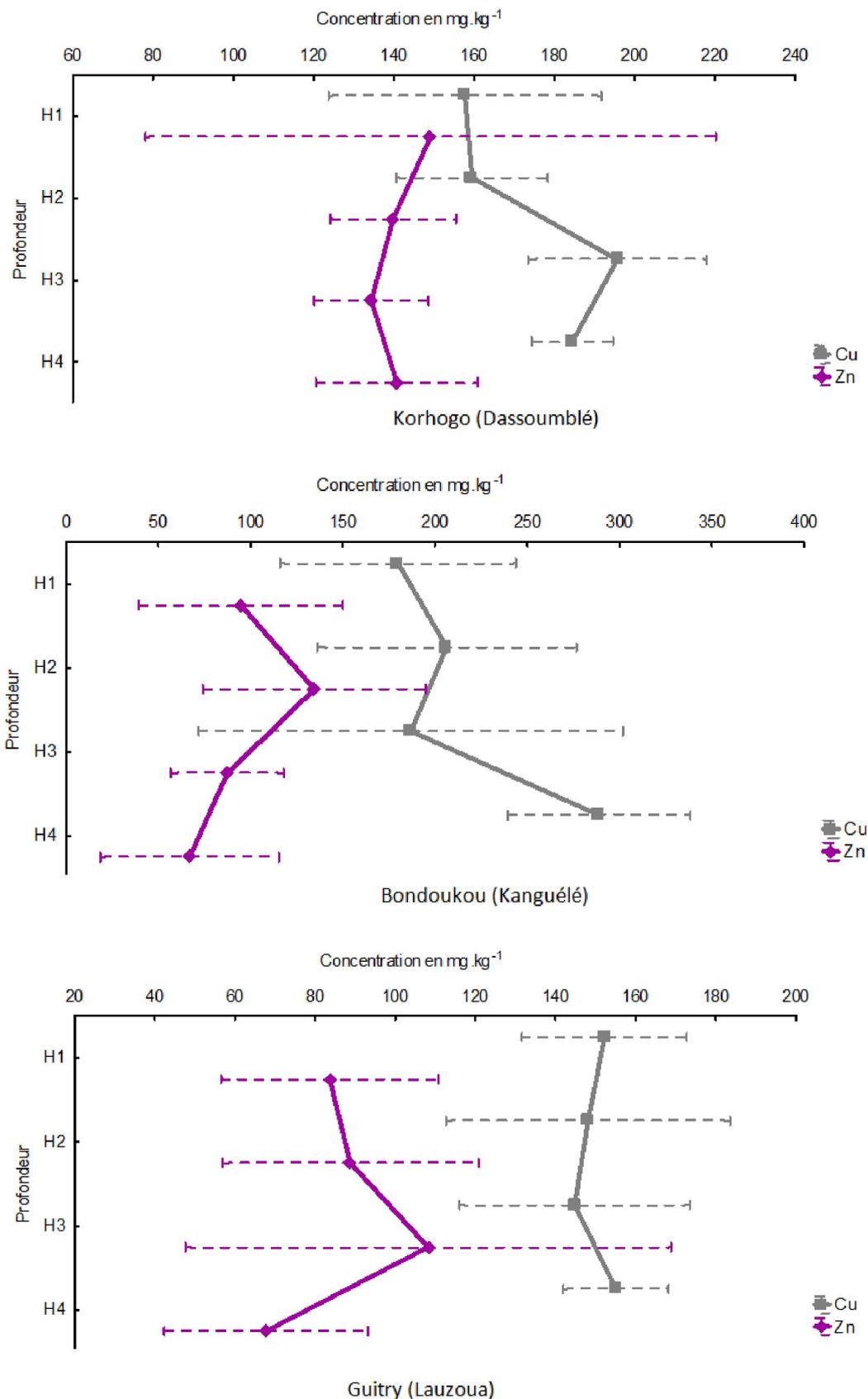


Fig. 2. Dynamique verticale du cuivre et du zinc dans les sols des différents sites étudiés

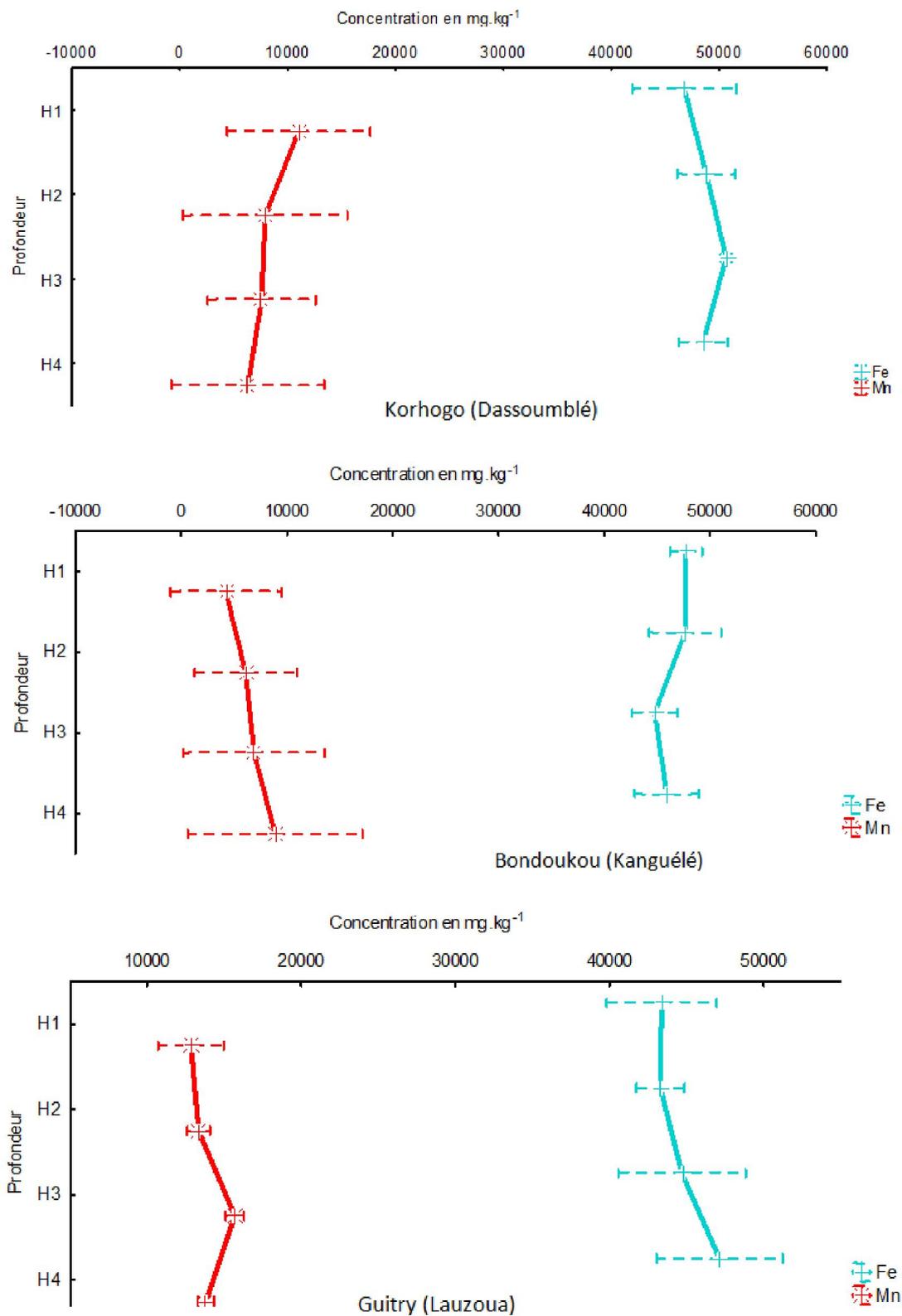


Fig. 3. Dynamique verticale du fer et du manganèse dans les sols des différents sites étudiés

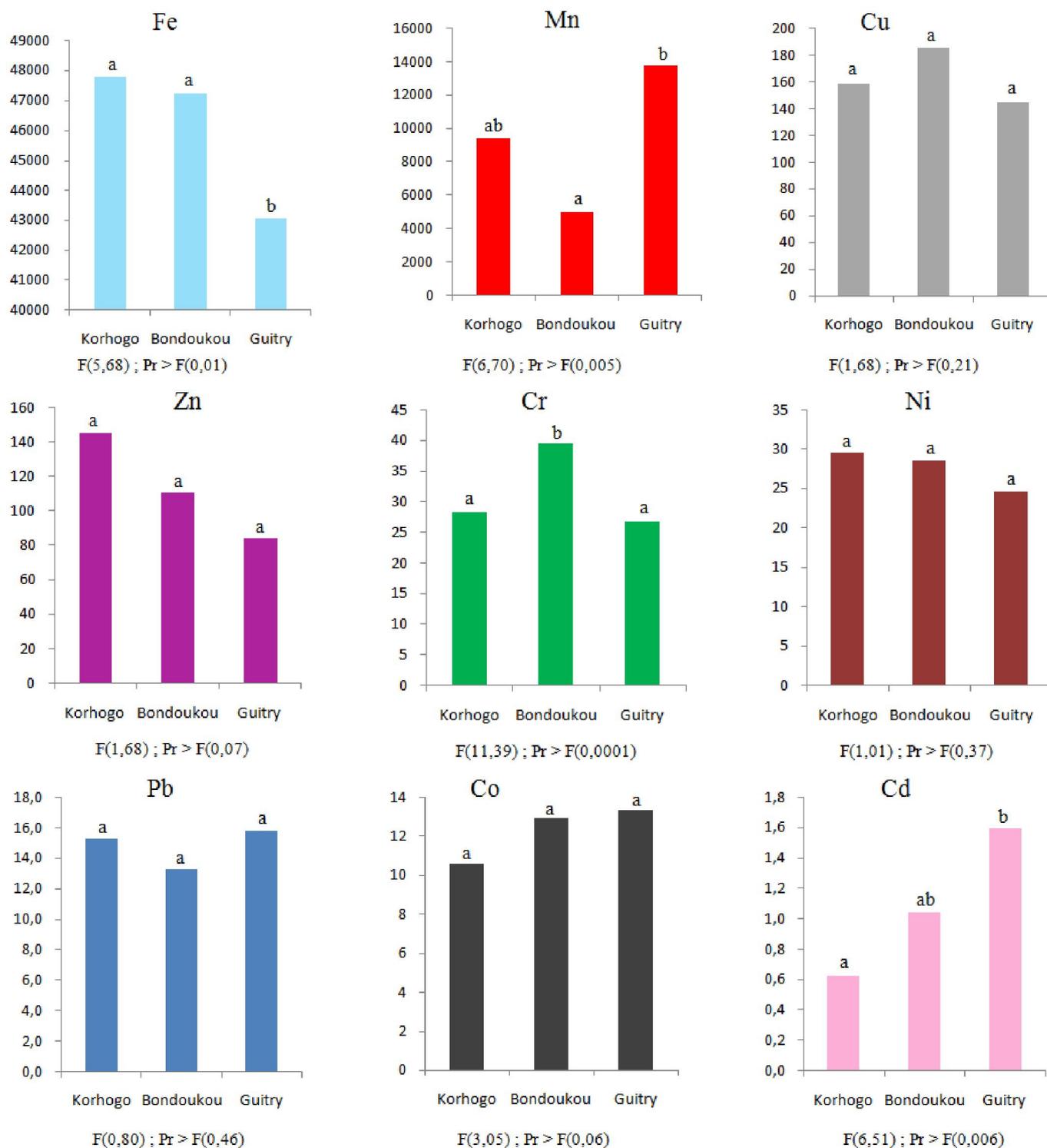


Fig. 4. Evolution des teneurs en ETM exprimées en mg.kg⁻¹ de la couche 0-60cm des sols en fonction des sites d'étude

4 DISCUSSION

Les sols manganésifères des zones volcano-sédimentaires étudiés sont fortement pourvus en ETM, à l'instar des sols issus de matériaux volcaniques basaltiques décrits par plusieurs auteurs [13], [14] et [5].

Seuls le Pb, le Cr, le Ni et le Co, sur les sites étudiés, présentent des teneurs semblables à celles habituellement observées dans la plupart des sols du monde. Les teneurs en Cu, Zn, Cd, Mn et Fe se situent toutes dans la zone des teneurs critiques dans les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité, comme l'ont signalé [15] et [1] qui situent les teneurs critiques dans les sols, pour le manganèse, entre 1000 et 3000 mg.kg⁻¹, pour le cuivre, entre 60 et 125 mg.kg⁻¹, pour le zinc, entre 100 et 250 mg.kg⁻¹, pour le cadmium, entre 0,7 et 2 mg.kg⁻¹.

Certains ETM, à savoir : Fe, Ni et Co, présentent un coefficient de variation relativement faible (<25%). Les ETM à faible coefficient de variation ont une mobilité potentielle relativement lente [16]. A l'opposé, les éléments tels que Mn, Cd, Zn, Pb, Cr et Cu sont fortement variables, et donc faiblement retenus dans le sol, ce qui les rendrait plus labiles et biodisponibles [17].

L'analyse statistique a montré que la plupart des ETM sont intercorrélés linéairement, de façon significative, ce qui pourrait suggérer que ces ETM coexistent en tant que constituants de minéraux dans les sols, rejoignant en cela ce qu'ont observé [18]. Les différences de concentrations observées entre les sites et les compartiments d'accumulation des ETM dans les sols pourraient être attribuées à une influence des processus pédologiques, combinés entre eux, sur la distribution de ces ETM. En effet, la pédogenèse implique des redistributions des composants du sol (carbonates, argiles, oxydes, matières organiques), souvent gouvernées par l'infiltration de l'eau, dans le profil de sol [19]. Les particules lessivées auront tendance à se redéposer en aval du profil, et donner naissance à des couches de sol aux propriétés modifiées. Ces couches de sol sont qualifiées, respectivement, d'horizons éluvial (ou lessivé) et d'horizons d'accumulation [20]. Les ETM associés aux composés ayant quitté le profil de sol, ou ayant migré au sein du profil subissent donc ainsi des enrichissements et des appauvrissements. Les ETM non associés aux matériaux lessivés, et résidant dans l'horizon supérieur se trouvent indirectement enrichis, suite au départ de matière depuis cet horizon, et, inversement, on peut observer un appauvrissement en éléments immobiles dans les horizons d'accumulation, par suite d'un important apport de matière. La lixiviation peut, elle aussi, conduire à l'appauvrissement des ETM des horizons de surface, car, la lame d'eau traversant les profils de sol a la capacité de mettre en solution les éléments les plus labiles, et les entraîner en profondeur [21]. Le départ des métaux en surface peut être compensé par leur accumulation partielle, plus en aval, dans le profil.

Les concentrations en ETM d'un sol subissant de la lixiviation des métaux et du lessivage doivent croître avec la profondeur, au moins jusqu'à l'horizon d'accumulation [22]. Cela est beaucoup plus marqué à Guîtres, où la majorité des ETM s'accumule dans l'horizon de profondeur. L'importance du lessivage et de la lixiviation dans la dynamique des ETM a été rapportée par de nombreux auteurs travaillant sur divers types de sol [23].

En faisant intervenir la notion de roche mère, [22] indique que les concentrations observées au niveau des horizons les plus profonds reflètent les occurrences naturelles des ETM dans les sols. Ainsi, les teneurs en ETM décroissantes vers les horizons de surface indiquent une source majoritairement naturelle, provenant de l'altération du matériau parental. L'accumulation d'ETM en surface a été constatée dans certaines zones étudiées, sans que l'on puisse parler de contamination. Il s'agit de Ni, Zn et Mn à Korhogo ; de Ni, Cr et Co à Bondoukou ; de Cr et Co à Guîtres. En revanche, les plus fortes concentrations d'ETM dans les horizons de surface reflètent l'affinité des ETM pour le carbone présent dans les horizons de surface [24]. Cela pourrait, en partie, expliquer la dynamique des ETM des sols étudiés ; laquelle dynamique serait donc influencée par plusieurs processus interagissant dans les sols manganifères développés sur des matériaux volcano-sédimentaires. La dynamique verticale reste donc très variable selon la zone.

Les ETM observés sont donc d'origine pédogénétique ; néanmoins, quelques contaminations ont été observées pour Pb, à Korhogo et pour Cd, à Bondoukou, après calcul des facteurs d'enrichissement. Toutefois, ces contaminations, attribuées aux activités agricoles [25], restent beaucoup négligeables.

L'exploitation des résultats de l'horizon 0-60cm montre l'existence d'un gradient Nord-Sud croissant d'accumulation, marqué pour Cd. L'inverse est observé pour Zn. Ces gradients pourraient être régis par l'action du climat. Mn est plus abondant à Guîtres, mais faible à Bondoukou. Cr apparaît plus important à Bondoukou. Les autres ETM (Fe, Ni, Cu, Pb et Co) restent plus ou moins homogènes sur les différentes zones étudiées.

Les pH franchement acides dans les sols manganésifères sont semblables à ceux observés sur d'autres sols manganésifères [4], [7]. Ces pH peuvent être responsables de la mise en solution des ETM et accroître leur mobilité [26]. Ces ETM pourraient ainsi entrer dans la chaîne alimentaire surtout que les zones étudiées sont à forte productivité agricole.

5 CONCLUSION

Les teneurs d'ETM observées dans les sols manganésifères de Côte d'Ivoire sont relativement fortes. L'ordre d'abondance de ces éléments est : Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Pb > Co > Cd. Parmi les teneurs en ETM obtenues dans ces sols, seules celles de Pb, Cr, Ni et Co sont habituelles. Les teneurs en Cu, Zn, Cd, Mn et Fe se situent dans la gamme des teneurs critiques dans les sols, pouvant entraîner des phénomènes de toxicité. Ces ETM coexistent en tant que constituants minéraux des sols. La dynamique verticale est très variable selon la zone, et reste essentiellement influencée par les processus pédogénétiques. L'accumulation d'ETM a été constatée dans certaines zones étudiées, sans que l'on puisse parler de contamination. Il s'agit de Ni, Zn et Mn à Korhogo ; de Ni, Cr et Co à Bondoukou ; de Cr et Co à Guitry. Les contaminations de Pb à Korhogo et de Cd à Bondoukou observées, ne sont pas alarmantes. L'exploitation des résultats de l'horizon 0-60 cm montre l'existence d'un gradient Nord-Sud croissant d'accumulation, marqué pour Cd. L'inverse est observé pour Zn. Mn est plus abondant à Guitry, mais faible à Bondoukou quand Cr apparaît plus important à Bondoukou. Les teneurs des autres ETM (Fe, Ni, Cu, Pb et Co) restent plus ou moins homogènes sur les différentes zones étudiées. Il serait donc intéressant de réaliser une étude sur la spéciation des éléments traces métalliques dans ces sols, afin de mieux prévenir d'éventuels risques de contamination vu les pH franchement acides.

REFERENCES

- [1] G. Colinet, "Éléments traces métalliques dans les sols: contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge," *Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux*, 442p, 2003.
- [2] R.K. Rattan, S.P Datta, P.K. Chhonkar, K.Suribabu et A.K. Singh, "Impact à long terme d'irrigation avec des eaux usées sur la teneur en métaux lourds dans les sols, les récoltes, et les eaux," *Agriculture, Ecosystem and Environnement*, (109), pp. 310-322, 2005.
- [3] M.L. N'diaye, A. Guey-Girardet et H-R. Pfeifer, "Impact des eaux usées sur l'évolution microbiologiques des sols: étude de cas à Pikine Dakar-Sénégal," *Agrosol*, Vol. 17 (1), pp. 33-38, 2006.
- [4] C.E Dowding. et M.V. Fey, "Morphological, chemical, and mineralogical properties of some manganese-rich oxisols derived from dolomite in Mpumalanga province, South Africa," *Geoderma* 141, pp. 23-33, 2007.
- [5] S. Manyà and M.A.H. Maboko, "Geochemistry of the Neoproterozoic mafic volcanic rocks of the Geita area, NW Tanzania: Implications for stratigraphical relationships in the Sukumaland greenstone belt," *Journal of African Earth Sciences*, 52, pp. 152-160, 2008.
- [6] Brandt N. S., S. V. Rasskazov, V. K. Popov et S. B. Brandt, "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*, Vol. 3, No. 4, pp. 374-387, 2009.
- [7] R. R. Bourgault et M. C. Rabenhorst, "Genesis and characterization of manganiferous soils in the Eastern Piedmont, USA," *Geoderma*, 165, pp. 84-94, 2011.
- [8] Q. M. Jaradat, A. M. Massadeh, K. A. Momani, and M. A. Al Saleem, "The Spatial distribution of Pb, Cd, Zn, and Cu in Agricultural Roadside Soils", *Soil and Sediment Contamination*, 19, pp. 58-71, 2010.
- [9] S. Diatta, "Les sols gris de bas versant sur granite-gneis en region centrale de Côte d'Ivoire : organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique. Conséquence pour la riziculture", *Thèse unique, Université Henri point carré Nancy, France*, 181p, 1996.
- [10] W. Böhm, "In situ estimation of root length at natural soil profiles", *J. Agric. Sci.* 87, pp. 365-368, 1976.
- [11] G. W. Thomas, "Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part 3*," *Soil Science Society of America Inc, American Society of Agronomy, Inc Madison, Wisconsin, USA*, pp. 475-490, 1996.
- [12] F. Pimentel Gomes et C. H. Garcia, "Applied statistic to elementary agronomy and forestry", *Brasil : FEALQ*, 309 p, 2002.
- [13] A. J. Strieder, D.G. Roldão, and L.A. Hartmann, "The Palma Volcano-Sedimentary Supersuite, Precambrian Sul-Riograndense Shield, Brazil", *International Geology Review*, Vol. 42, pp. 984-999, 2000.
- [14] A. Bennoua, M. Ben Abbou, C. Hoepffner, M. L. Ribeiro, F. Kharbouch, J. F. Ramos, N. Youbi, Y. Driouch, M. Dahire et A. Ntarmouchant, "New observation on the carboniferous volcano-sedimentary depocentre of the Tazekka (middle-atlas, Morocco): implications for understanding of the geodynamic evolution of the hermicynian belt", *Comunicações Geológicas*, 91, pp. 45-60, 2004.
- [15] N.K. Fageria, V.C. Baligar and R.B. Clark, "Micronutrients in crop production", *Adv. In Agronomy*, 77, pp. 185-268, 2002.
- [16] N.U. Benson, "Lead, Nickel, Vanadium, Cobalt, Copper and Manganese distribution in intensively cultivated floodplain Ultisol of cross river, Nigeria", *Intl. J. Soil Sci.*, 1 (2), pp. 140-145, 2006.
- [17] B J. Alloway, "Heavy metals in soils", *Blackie Academic & Professional. Glasgow*, 339p, 1990.

- [18] M. A. Tabatabai and N. P. Rogovska, "Trace Element Concentrations of Iowa Surface Soils", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, pp. 1153-1166, 2011.
- [19] J. Legros, "Les grands sols du monde", *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, 574p, 2007.
- [20] AFES., "Référentiel Pédologique 1995", Baize D. et Girard M.C. (Coord.) - *INRA Éditions*, Paris, 332p, 1995.
- [21] D. Sparks, "Environmental soil chemistry", *Second Edition. San Diego*. 352p, 2003.
- [22] D. Baize, "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols français. Références et Stratégies d'interprétation", *INRA Éditions*, Paris, 410p, 1997.
- [23] Z.O. Arby, A. Dekayir et M. El Maataoui, "Vertical Dynamics of the Trace Elements (TE) in Cultivated Soils Subject to an Application by the Sewage (Ourzirha, Meknes-Morocco)," *European Journal of Scientific Research*, Vol.43, No.2, pp. 221-229, 2010.
- [24] L. Gaudois, "Dynamique et bilan des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français Modélisation, Spéciation et Charges Critiques," *Thèse de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*. Toulouse, France, 245 p, 2009.
- [25] S.M. Ross, "Toxic metals in soil-plant systems", *Wiley publishers, Chichester*, 469 p, 1994.
- [26] A. Kabata-Pendias et H. Pendias, "Trace elements in soils and plants," 3rd Ed, *Boca Raton, London, New York, CRC Press*, 413 p, 2001.