



TENEURS EN MÉTAUX ET MÉTALLOÏDES DANS LES SOLS D'UN VERSANT À TOKORÉYAOKRO (TOUMODI) AU CENTRE DE LA CÔTE D'IVOIRE

METALS AND METALLOID CONTENT IN SOILS FROM A SLOPE AT TOKOREYAOKRO (TOUMODI) IN CENTRAL CÔTE D'IVOIRE

| Yao Kouman Nestor Kouakou ^{1*} | Affi Jeanne Bongoua-Devisme ¹ | Guy Fernand Yao ² | Christian Jonathan Anoma Kouassi ¹ | et | Albert Yao-Kouamé ¹ |

¹. Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB) | UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM) | Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliquée | Abidjan | Côte d'Ivoire | 22 BP 582 Abidjan 22. |

². Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) | Laboratoire Central Sols, Eaux, Plantes | Programme Gestion durable des Sols et Maîtrise de l'Eau | Bouaké | Côte d'Ivoire | 01 BP 633 Bouaké 01. |

| Received June 17, 2020 |

| Accepted July 04, 2020 |

| Published July 9, 2020 |

| ID Article | Kouakou-Ref.3-ajira170620 |

RESUME

Contexte: Tokoréyaokro est une localité à indices métallifères dont les sols cultivés produisent, par endroits, des récoltes qui semblent impropres à la consommation. Cette situation, probablement, due à une plus ou moins grande concentration en certains éléments traces métalliques (ETM) qui seraient disponibles ou non pour les plantes cultivées fait l'objet de cette étude. **Objectifs:** Evaluer et apprécier le niveau de concentration en ETM de ces sols. **Méthodes:** Dosage d'un certain nombre d'éléments traces métalliques (ETM) effectué sur échantillons de sols prélevés dans quatre (4) fosses pédologiques, suivant un versant de la colline Guéto situé à Tokoréyaokro (Toumodi, Côte d'Ivoire). Les fosses ouvertes au haut, moyen et bas versant ont été caractérisées, et quatorze (14) échantillons de sols ont été prélevés sur lesquels des analyses granulométriques, le pH, la teneur en métaux et métalloïdes ont été effectués. **Résultats:** Les résultats montrent que ces sols sont essentiellement des Cambisols fortement chargés en éléments grossiers (70% en moyenne). Les textures vont de limono-sablo à sablo-limono-argileuse, avec des pH compris entre 5,1 et 6,1. Les différentes teneurs en ETM sont : As : 424,82 mg/kg ; Sb: 533,48 mg/kg ; Se: 382,45 mg/kg ; Cu: 99,99 mg/kg ; Cr: 497,80 mg/kg ; Ni: 237,17 mg/kg ; Pb: 365,97 mg/kg ; Zn: 364,54 mg/kg ; Cd: 129,17 mg/kg, quelque fois au-dessus des valeurs seuils. Il s'agit de sols à forte concentration d'ETM dont on peut dire pollués. **Conclusion:** L'évolution verticale des teneurs en ETM dans les différents horizons montre une accumulation plus importante dans les couches superficielles. La variabilité, la distribution et la mobilité de ces ETM sont gouvernées par l'adsorption et la texture. En revanche, la topographie n'a aucune influence sur la répartition de ces ETM dans les horizons.

Mots-clés : ETM, Cambisol, Tokoréyaokro, Guéto, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Background: Tokoreyaokro is a locality with metalliferous indices whose cultivated soils produce, in places, crops that seem unfit for consumption. This situation, probably due to a greater or lesser concentration of certain heavy metals that may or may not be available for cultivated plants, is the subject of this study. **Objective:** Evaluate and assess the level of heavy metals concentration in these soils. **Methodology:** A number of heavy metals were measured on soils collected from four (4) soil pits, following a slope of the Gueto hill located in Tokoreyaokro (Toumodi, Côte d'Ivoire). The open pits at the upper, middle and lower slopes were characterized, and particle size, hydrogen potential, metal and metalloid content of each fourteen soil samples was analysed. **Results:** These soils are mostly filled Cambisol heavy loads coarse items (average 70%). The results show that the textures are predominantly sandy loam to sandy clay loam, with pH between 5.1 and 6.1. Our results have shown high levels of Heavy metals in nature, (As: 424.82 mg/kg; Sb: 533.48 mg/kg Se: 382.45 mg/kg; Cu: 99.99 mg/kg; Cr: 497.80 mg/kg; Ni: 237.17 mg/kg; Pb: 365.97 mg/kg; Zn: 364.54 mg/kg; Cd: 129.17 mg/kg), some both with grades above the European and international standards. This is so polluted soil. **Conclusion:** The vertical evolution of the levels heavy metals in different horizons show greater accumulation in the surface layers. Variability, distribution and mobility of these heavy metals are governed by the adsorption and the texture. The topography has no influence on the distribution of heavy metals in the horizons.

Key words : Heavy Metals, Cambisol, Tokoreyaokro, Gueto, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

Considéré comme une ressource vitale pour divers organismes, le sol trouve incontestablement une importance dans les questions d'ordre environnemental. A cet effet, en plus de son rôle dans la création du pédopaysage, il joue le rôle de filtre et peut, par conséquent, piéger des composants toxiques pour l'homme et l'environnement. Dans ces conditions, certains polluants seront dégradés par des microorganismes, alors que d'autres seront rendus inactifs, tout en restant intacts, prêts à se répandre si l'équilibre du sol venait à être perturbé.

Selon Baize (2009), les roches contiennent naturellement des métaux qui, suite à la pédogénèse, peuvent se retrouver dans les sols [1]. Ces métaux, aussi appelés éléments traces métalliques (ETM), à certaines teneurs, entraînent la contamination des différents horizons du sol. D'ailleurs, présents dans le sol à des teneurs critiques, ils entravent la viabilité de la végétation. Par conséquent, la mise en place de certaines cultures se trouvera être un

risque avec assimilation de certains ETM et leur transfert dans la chaîne alimentaire [2]. Ainsi, dans le village de Tokoréyaokro, les populations ont fait un constat indiquant que les récoltes de tubercules de manioc (*Manihot esculenta*) issus des cultures situées au bas versant de la colline du Guéto sont très acides et impropres à la consommation à l'état frais. De plus, les animaux domestiques, (cabri, mouton) se nourrissant de la pulpe et du jus des tubercules de manioc cultivés trouvaient la mort. Dès lors, il se pose un problème de sécurité alimentaire et de protection de l'environnement qui mérite une attention toute particulière.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les teneurs des ETM ainsi que le niveau de pollution de ces sols. De façon spécifique, l'étude permettra de :

- caractériser les paramètres physico-chimiques des différents sols le long d'une toposéquence;
- quantifier les concentrations actuelles en métaux et métalloïdes tels que As, Sb, Se, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd ;
- examiner la dynamique et le comportement de ces métaux et métalloïdes dans les horizons du sol et selon les segments topographiques.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Caractéristiques du site de l'étude

2.1.1 Localisation

L'étude a été réalisée en Côte d'Ivoire, plus précisément dans la localité de Tokoréyaokro à Toumodi. Cette zone est repérée par les coordonnées N06°47'59,85" et W04°58'27,94" à une altitude de 415 m au-dessus du niveau de la mer (Figure 1).

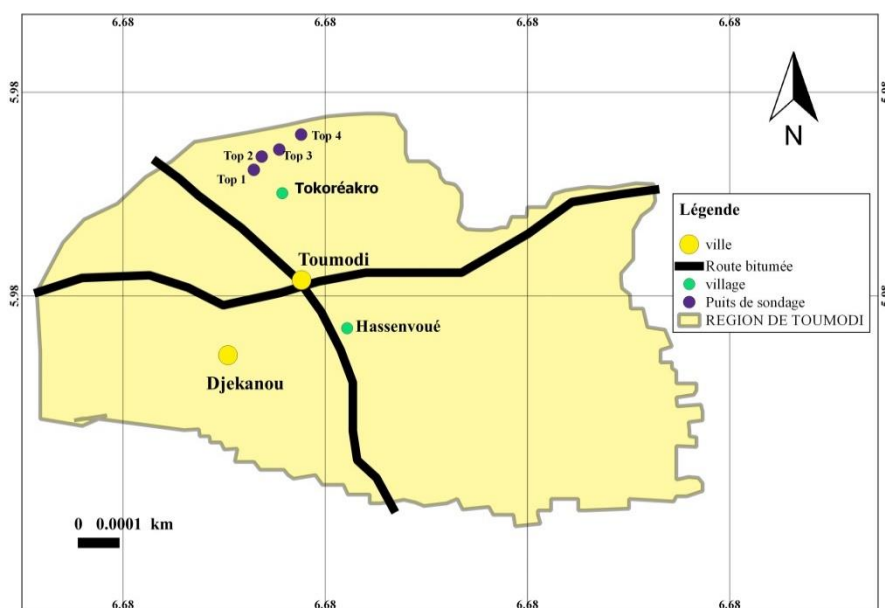


Figure 1 : Carte de la zone d'étude avec les points d'échantillonnage

2.1.2 Géologie et géomorphologie

Le village de Tokoréyaokro est dominé par la présence de deux grandes collines (*Blafo* et *Guéto*) avec l'existence de moyen et haut-glacis. Au plan géologique, la région entière comprend trois (3) domaines dont les limites suivent la direction birrimienne NNE-SSO. Le premier domaine, situé au niveau des collines *Blafo* et *Guéto*, comprend les formations du complexe volcanosédimentaire birrimien. Le deuxième domaine est constitué des granites et des migmatites éburnéens, situés de part et d'autre du premier domaine, au Sud-Est et au Nord-Ouest. Quant au troisième domaine, il est constitué des schistes arkosiques [3].

Dans l'ensemble, les formations rencontrées dans ce sillon sont des schistes, des grès, des quartzites, des conglomérats, des brèches, des roches basiques et acides, tous faiblement métamorphisés.

2.1.3 Type et occupation de sol

Les sols rencontrés sont des cambisols [4, 5] avec un fort taux d'éléments grossiers, développés sur la portion volcano-sédimentaire. La région est essentiellement agricole et, en dehors des cultures, le secteur est le témoin d'une végétation arbustive et de reliques de forêt décidue.

2.2 Approche méthodologique

2.2.1 Caractérisation morphopédologique

Cette phase a nécessité l'ouverture de fosses pédologiques qui s'est faite suivant une toposéquence (Figure 1) en respectant les normes d'un dispositif stratifié par segment topographique (sommet, haut de versant, mi versant et bas de versant). La toposéquence implantée à une direction N90° composée de 4 fosses pédologiques profondes chacune de 120 cm et notées du haut versant vers le bas de versant respectivement ToP1, ToP2, ToP3 et ToP4. Quatorze (14) échantillons ont été au total décrits et prélevés, représentatifs des horizons des fosses. Au niveau de la fosse ToP1, quatre (4) horizons ont été délimités, de même qu'au niveau de la fosse ToP2. En revanche, pour les fosses ToP3 et ToP4, seulement 3 horizons ont été délimités pour chacune d'entre elle.

2.2.2 Traitement et analyse chimique des échantillons

Les quatorze (14) échantillons prélevés dont quatre (4) issus de la fosse ToP1, quatre (4) de la fosse ToP2, trois (3) de la fosse ToP3 et trois (3) de la fosse ToP4 ont été acheminés au laboratoire de pédologie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et séchés à l'air libre pendant 120 heures. Ils ont par la suite été tamisés à l'aide d'un tamis de diamètre 2 mm, puis conditionnés dans des sachets plastiques.

Une partie de chaque échantillon (200 g) a été acheminée à l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Créteil (I.E.S.E.C.) en France, pour le dosage des métaux et métalloïdes tels que : Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, As Sb et Se, par la méthode de l'ICP-OES.

Une autre partie des échantillons a été traitée au laboratoire d'analyse de sols de l'école supérieure d'agronomie de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (I.N.P.H.B.) pour une détermination de la granulométrie, de l'azote, du taux de la matière organique, du pH_{eau} et du pH_{KCl}

La Granulométrie a été effectuée selon la norme NF X 31-107 et la mesure du pH_{eau} (acidité effective) et du pH_{KCl} (acidité de réserve) des échantillons de sol a été obtenue par la méthode électrométrique au pH-mètre avec une électrode en verre. Cette détermination a été réalisée sur des prises différentes, dans un rapport sol/solution 1/2,5 et en triplicats [6].

Le carbone organique total a été déterminé par la méthode de Walkey-Black utilisant l'oxydation dans un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique, pendant que l'azote total (N-total) a été déterminé selon la méthode de Kjeldahl.

2.2.3 Analyses statistiques

Les différentes données obtenues, suite aux analyses en laboratoire, ont été traitées avec le logiciel SAS 9, pour établir des corrélations entre les paramètres physiques et chimiques. Les variables ont été estimées à $P < 0,05$ selon les corrélations de Pearson.

3. RESULTATS

3.1 Sol, granulométrie et matière organique

Les sols décrits sont des cambisols avec des variantes selon la topographie. En effet, les sols sont constitués par des manganiferric petro plinthic cambisol, au haut et moyen versant, et par des pseudogleyic manganiferric petro plinthic cambisol au bas-versant. Le Tableau 1, présente l'évolution de la matière organique et de la granulométrie par segment topographique. Les proportions en argile, limon et sable sont données par tranche topographique, au haut, moyen et bas versant. Les résultats tels que consignés dans le Tableau 1, indiquent que, dans l'ensemble, les sols du moyen versant ont été plus argileux (% Argile >12), que ceux du haut et bas versant. Par contre, les proportions de limon et du sable ont été plus ou moins équilibrées sur l'ensemble des profils des segments topographiques. Cependant, le taux d'éléments grossiers a été relativement très élevé (% EG >65) dans tous les profils et quelle que soit la position topographique considérée.

3.2 Acidité des sols étudiés

Les différentes valeurs de pH des sols, horizon par horizon, sont consignées dans le Tableau 2. L'acidité active, déterminée grâce au pH_{eau} , a varié de 5,1 à 6,02 et a montré que ces sols sont acides à moyennement acides. Cette acidité a été toutefois, importante puisqu'elle détermine la solubilité de plusieurs éléments. Elle fournit à la solution du sol les protons H^+ . Quant au pH_{KCl} constituant l'acidité d'échange, il a varié de 3,99 à 5,06 et n'excède pas la neutralité. Le pH_{KCl} a été toujours inférieur au pH_{eau} . L'écart entre les deux a varié de 0,2 à 1,5.

Tableau 1 : Evolution de la matière organique et de la granulométrie par segment topographique.

Topographie	Horizons (cm)	MO	Argile(%)	Limon fin(%)	Limon grossier(%)	Sable grossier(%)	Sable fin(%)	EG (%)
Haut Versant (ToP1)	0-11	5,59	13,5	40	6,75	34,15	5,6	76,19
	11-25	2,94	9	34,5	3,85	34,2	18,45	81,53
	25-42	1,72	10,5	37,5	7,4	41,2	3,4	78,43
	42-120	0,73	8,5	46,2	15,45	23,6	6,25	72,72
(ToP2)	0-13	2,33	13,3	38	6,4	36,1	6,2	66,03
	13-28	1,46	13,5	41,5	2,8	32,5	9,7	83,52
Moyen Versant	28-50	0,92	13,5	34,5	10,05	35,05	6,9	78,46
	50-120	0,53	12	40,5	8,6	36,4	2,5	80,45
(ToP3)	0-14	3,28	10,5	36,5	5,55	32,9	14,55	80,46
	14-40	1,27	16,2	38,5	5,15	33,15	7,0	68,00
	40-110	0,79	15,5	39,5	7,4	30,5	7,1	76,25
Bas Versant (ToP4)	0-10	4,69	10	31,35	14	36,5	8,15	88,60
	10-37	2,99	12,5	27	11,7	40,2	8,6	89,15
	37-120	0,92	14,5	24	9,3	42,1	10,1	78,75

M.O : Matière Organique ; E.G : Eléments Grossiers.

Tableau 2 : Evolution du pH_{eau} et pH_{KCl} en fonction de la profondeur par segment.

Profils	Profondeur (cm)	pH _{eau}	pH _{KCl}	ΔpH
ToP1	0 - 11	6,02	4,89	1,13
	11- 25	5,24	4,16	1,08
	25 - 42	5,45	4,16	1,29
	42 - 120	5,27	4,25	1,02
ToP2	0 -13	5,22	4,39	0,83
	13- 28	5,19	4,03	1,15
	28 -50	5,10	3,99	1,11
	50 - 120	5,31	4,05	1,26
ToP3	0 -14	5,88	4,90	0,97
	14- 40	5,32	4,48	0,84
	40 - 120	5,43	4,73	0,69
ToP4	0 -10	6,18	5,06	1,12
	10- 37	5,35	4,51	0,83
	37 - 120	5,26	4,93	0,33

3.3 Différentes concentrations en métaux et métalloïdes

3.3.1 Concentrations des métalloïdes As, Sb, Se

L'étude de la variation des concentrations d'arsenic (As), d'antimoine (Sb) et du Sélénium (Se) en fonction de la profondeur (Figures 2 à 5) a montré, dans le cas du profil ToP1, que les sols étudiés sont riches en métalloïdes dans les horizons de surface. Dans le profil ToP2, on a constaté une augmentation de l'antimoine (Sb) dans les horizons de profondeur. Au niveau du profil ToP3, les concentrations en As, Sb et Se sont demeurées constantes en surface et en profondeur, alors qu'au niveau du profil ToP4, elles ont augmenté de la surface vers la profondeur. Une comparaison entre les teneurs en métalloïdes, le pH et le pourcentage en argile (Figures 2 à 5) indique des variations différentes. Au niveau du profil ToP1, le pH a été plus acide dans l'horizon 11-25 cm, pendant que les concentrations en métalloïdes ont été élevées et la teneur en argile plus faible. Le pourcentage d'argile dans la tranche 40-60 cm dans le profil ToP2 (Figure 3) est élevé et les horizons sont acides avec une légère variation de la concentration des différents métalloïdes. Dans le profil ToP3 (Figure 4), les concentrations en métalloïdes ont diminué à partir de 40 cm, de même que pour le pH et le pourcentage d'argile. Concernant le profil ToP4 (Figure 5), l'accroissement de l'acidité a été corrélé à l'augmentation de la concentration des métalloïdes et d'une augmentation du pourcentage d'argile.

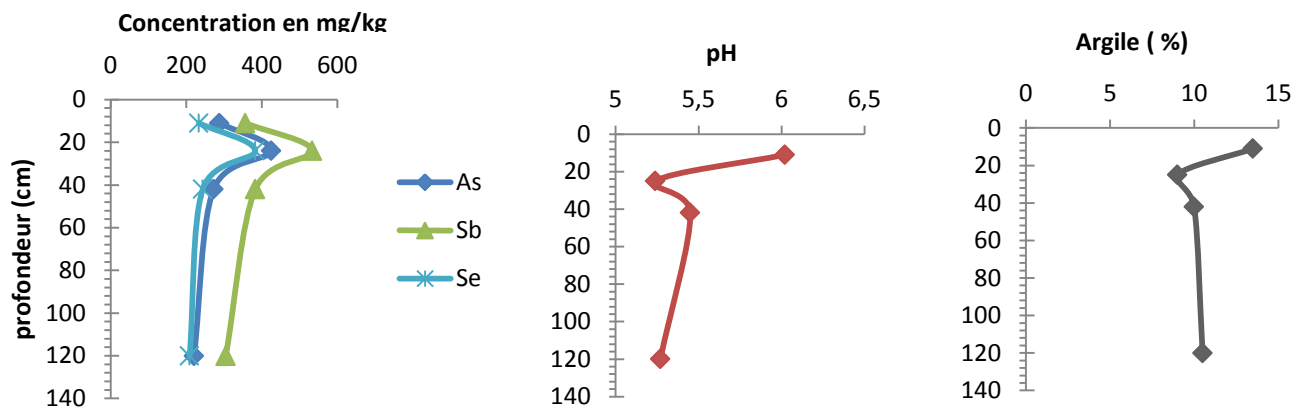


Figure 2: Variation des concentrations en As, Sb, Se, du pH, du taux d'argile du profil ToP1 au haut versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur

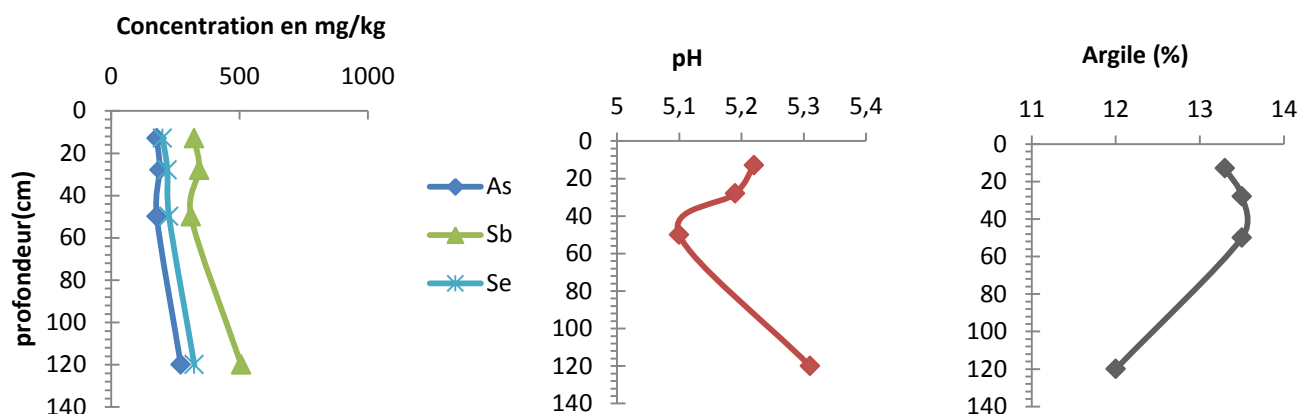


Figure 3: Variation des concentrations en As, Sb, Se, du pH, du taux d'argile du profil ToP2 au moyen versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur.

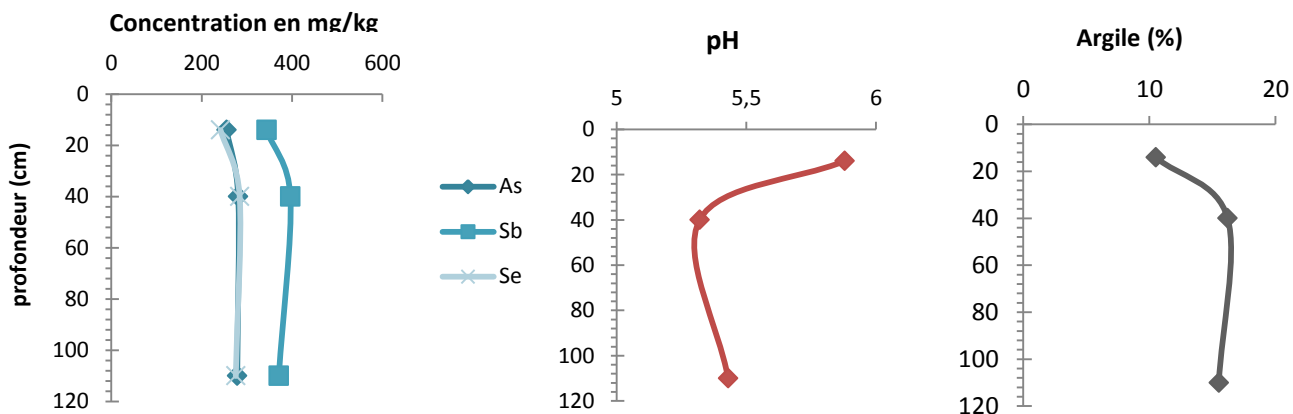


Figure 4 : Variation des concentrations en As, Sb, Se, du pH, du taux d'argile du profil ToP3, au 1/3 supérieur du bas versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur.

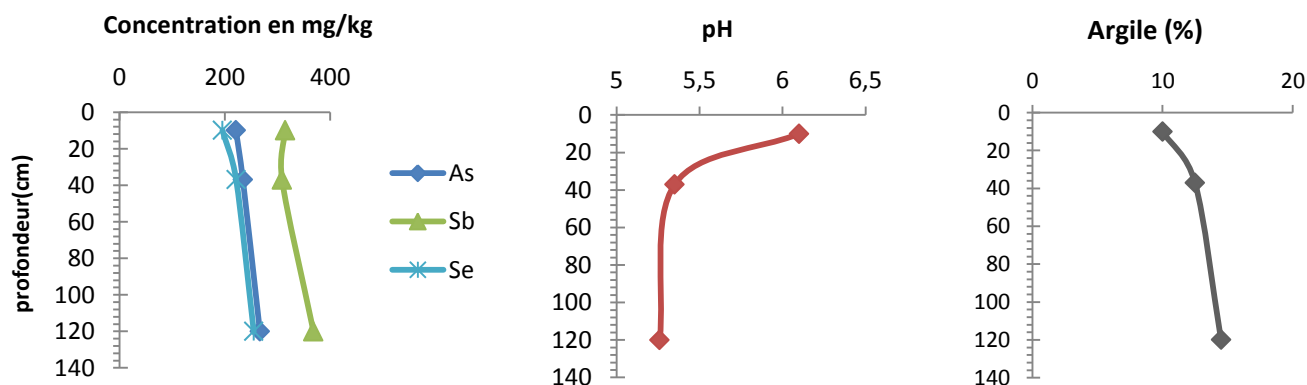


Figure 5: Variation des concentrations en As, Sb, Se, du pH, du taux d'argile du profil ToP4 au 1/3 inférieur du bas versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur

3.3.2 Concentrations des métaux

Les différentes concentrations des métaux étudiés sont consignées dans les figures 6 à 9. L'étude de la variation des concentrations des métaux tels que le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn) et le cadmium (Cd) en fonction de la profondeur, dans le profil ToP1 (Figure 6) a montré que les horizons de surface des sols sont plus riches en chrome, plomb et zinc. Dans le profil ToP2 (Figure 7), on constate une augmentation de presque tous les ETM (Pb, Zn, Cr et Ni) dans les horizons de profondeur. Par ailleurs, le pH, est moins acide en profondeur. Quant au taux d'argile il tend à baisser dans les horizons de profondeur. Au profil ToP3 (Figure 8), les concentrations de la plupart des métaux sont restées constantes dans tous les horizons du profil. Cependant, le zinc a présenté une teneur élevée en profondeur. Le pH est demeuré toujours acide dans les horizons de profondeur. Le sol a été plus riche en argile dans l'horizon de profondeur. Au niveau du profil ToP4 (Figure 9), tous les métaux ont eu une concentration constante dans les horizons du profil, excepté le zinc qui a tendance à baisser dans les horizons de profondeur. Le pH devient de plus en plus acide dans les horizons de profondeur de même que le pourcentage en argile.

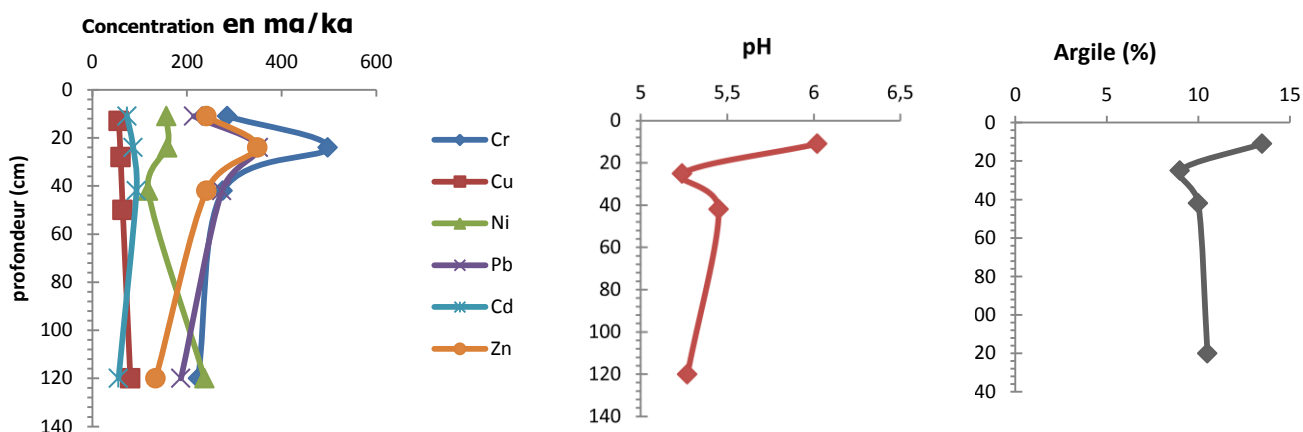


Figure 6: Variation des concentrations en Cr, Cu, Ni, Pb, Cd, Zn, du pH, du taux d'argile du profil ToP1 au haut versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur.

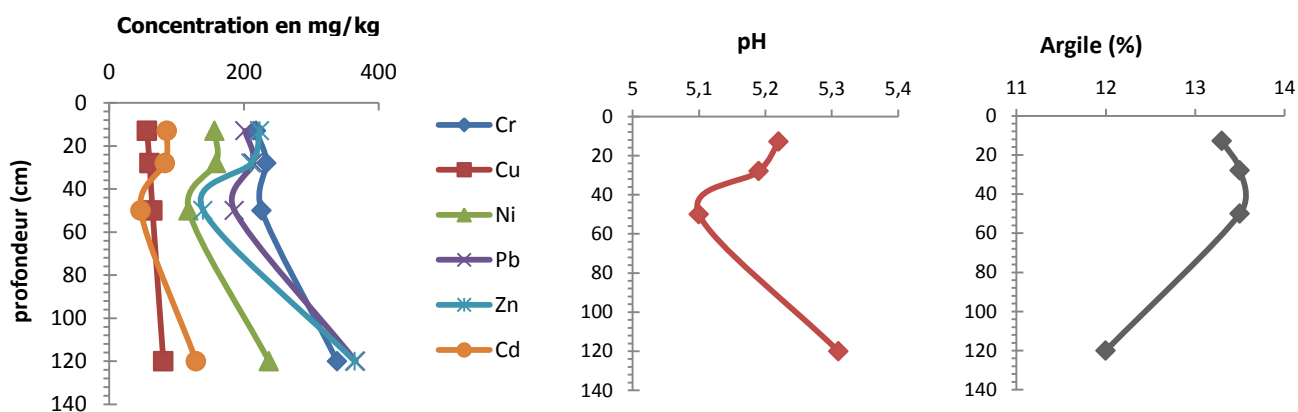


Figure 7: Variation des concentrations en Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, du pH, du taux d'argile du profil ToP2 au moyen versant de la colline du Guéto, en fonction de la profondeur.

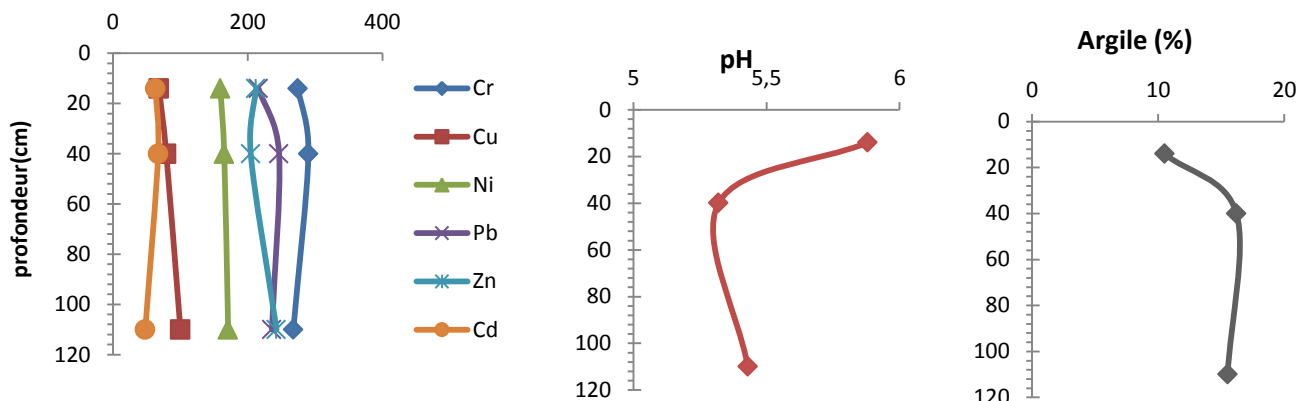


Figure 8: Variation de la concentration de Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd en fonction du pH du profil ToP3 au tiers supérieur du bas versant de la colline du Guéto en fonction de la profondeur.

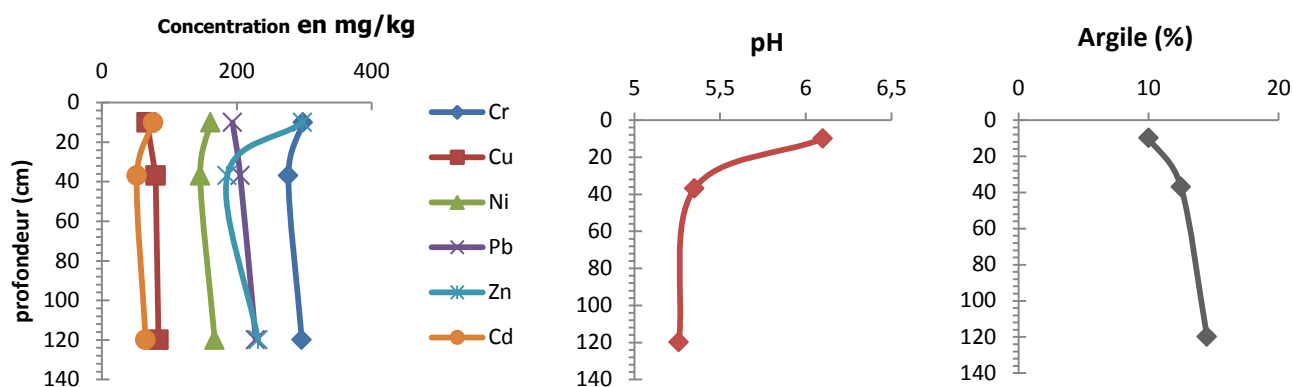


Figure 9: Variation des concentrations de Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, en fonction du pH du profil ToP4 au tiers inférieur du bas versant de la colline du Guéto en fonction de la profondeur.

3.3.3 Corrélations entre la fraction du sol et les taux de métaux et métalloïdes

Les tableaux 3 et 4, présentent les études corrélatives entre la fraction sableuse des sols étudiés avec les ETM (Tableau 3) ainsi que les relations ETM/ETM (Tableau 4). Ainsi, les résultats indiquent qu'il existe une corrélation entre le sable, le Cr et le Cd à $P=0,05$; entre l'As et le Ni à $P=0,0022$; entre l'As et le Pb à $P=0,0032$; entre le Cr et le Ni à $P=0,0004$; entre le Cr et le Pb à $P=0,0009$; entre le Cr et le Zn à $P=0,0015$; entre le Cr et le Sb à $P=0,0001$; entre Cu le Ni et le Pb à $P=0,01$; entre le Cu et le Sb à $P=0,003$; entre le Cu et le Zn à $P=0,05$; entre le Ni et l'As à $P=0,002$; entre le Ni et le Cr à $P=0,0004$.

Tableau 3 : Corrélation entre le sable et les ETM (AS, Sb, Se / Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd).

		Sable	As	Cr	Cu	Ni
As	R	0,37	1			
	P	0,18	0,91			
Cr	R	0,52	0,9	1		
	P	0,05	<0,0001			
Cu	R	0,43	0,87	0,9	1	
	P	0,11	<0,0001	<0,0001		
Ni	R	0,33	0,74	0,81	0,62	1
	P	0,24	0,0022	0,0004	0,01	
Pb	R	0,22	0,72	0,78	0,62	0,93
	P	0,43	0,0032	0,0009	0,01	<0,0001
Zn	R	0,33	0,61	0,76	0,53	0,93
	P	0,24	0,01	0,0015	0,05	<0,0001
Sb	R	0,25	0,79	0,84	0,71	0,93
	P	0,38	0,006	0,0001	0,003	<0,0001
Cd	R	0,05	0,22	0,37	0,15	0,75
	P	0,86	0,43	0,18	0,6	0,0016
Se	R	0,28	0,86	0,86	0,79	0,82
	P	0,32	<0,0001	<0,0001	0,0007	0,0003

R : coefficient nt de corrélation et P : probabilité de Pearson

Tableau 4 : Coefficients de corrélation entre ETM (AS, Sb, Se / Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd).

		Pb	Zn	Sb	Cd	Se
Pb	R	1				
	P					
Zn	R	0,8	1			
	P	0,0005				
Sb	R	0,97	0,8	1		
	P	<0,0001	0,0005			
Cd	R	0,72	0,75	0,65	1	
	P	0,003	0,002	0,01		
Se	R	0,89	0,66	0,9	0,39	1
	P	<0,0001	0,0099	<0,0001	0,16	

R : coefficient de corrélation et P : probabilité de Pearson

4. DISCUSSION

Les sols étudiés sont très pourvus en éléments grossiers. Plusieurs auteurs ont révélés les mêmes résultats dans leurs travaux [4, 7, 8]. Ce fort taux d'éléments grossiers peut maintenir une certaine porosité. Aussi, avec les proportions, d'argiles inférieures à 20 %, le taux élevé en limon en moyenne de 45 %, permettent une texture limono-sablo argileuse à sablo-limono argileuse. Les sols étudiés peuvent être capables de retenir les ETM tel que souligné par Bataillard et *al.*, (2014) [9]. Les teneurs en As, rencontrées, dans les horizons vont jusqu'à 424,82 mg.kg⁻¹. Or selon Kabata-Pendias et Pendias (2001), les teneurs moyennes en As, dans les sols sableux, sablo-limoneux, de type cambisols varient de 4,4 mgkg⁻¹ à 8,4 mgkg⁻¹ [10]. Elles sont plus fortes dans les horizons de profondeur. On peut donc penser à une anomalie géochimique, car comme le souligne Matera (2001), l'arsenic est présent de façon naturelle dans le sol et provient de l'altération des roches [11]. D'un autre côté, l'accroissement des concentrations d'As de la surface à la profondeur pourrait s'expliquer en grande partie par un processus de fixation sur les argiles et sur les substances organiques [12]. Dans les horizons de profondeur, lorsque le pH du milieu devient de plus en plus acide, les teneurs en As augmentent davantage en profondeur. Ceci serait dû à la diminution du pH, qui aurait pour effet de changer la charge des particules du sol, de négatif à positif, ce qui entrainerait une augmentation des anions à charge négative [13], et donc une forte absorption de l'As sur le complexe argilo humique. Quant à l'antimoine (Sb), la baisse du pH, au niveau des profils en étroite relation avec le taux d'argile semblerait favoriser une très forte augmentation de la concentration dans tous les profils. Par ailleurs, selon Li et Thornton (1993), la concentration de Sb varie naturellement de 0,2 à 10 ppm [14]. Ainsi, un sol est considéré comme contaminé à partir d'une concentration supérieure à 30 ppm, avec pour valeur supérieure pour une pollution « forte » de l'ordre de 500 ppm. D'ailleurs, lorsque nous comparons les concentrations les plus élevées (533,48 mgkg⁻¹ et 506,78 mgkg⁻¹) enregistrées dans cette étude, les sols présentent de fortes anomalies en Sb. Toutefois, ces concentrations augmentent avec la profondeur (311,11 mgkg⁻¹ à 506,78 mgkg⁻¹) où les sols sont plus acides. Ces fortes concentrations de Sb observées seraient dues à l'altération de la roche mère. Notons que, l'élément Sb est relativement mobile et sa mobilité varie selon la nature des sols [15]. Alors que, le sélénium (Se) se révèle très toxique parmi les métalloïdes, les teneurs recensées sont très élevées, notamment sur l'ensemble des quatre profils d'abord avec des valeurs de 382,45 mgkg⁻¹ pour l'horizon 2 du profil ToP1, ensuite 324,20 mgkg⁻¹ pour l'horizon 4 du profil ToP2 ; 284,12 mgkg⁻¹ pour l'horizon 2 du profil ToP3, et enfin : 254,95 mgkg⁻¹ pour l'horizon 3 du profil ToP4. Ces valeurs, sont nettement au-delà des normes françaises (10 mgkg⁻¹) et canadienne selon le CCME (1999) in Narhi (2014): 2 mgkg⁻¹ [16]. Ces résultats montrent que la zone étudiée présente des fortes anomalies en sélénium. Et cela serait dû au fond géochimique local. Les milieux acides, favoriseraient les fortes augmentations du sélénium dans les horizons, surtout qu'il est connu, comme soulevé par plusieurs auteur, qu'il existe un lien entre pH et ETM sur la mobilité des ETM [17, 18, 19]. La forte concentration observée dans les horizons de profondeur pour les profils ToP2 et ToP3 pourrait être attribuée à l'altération de la roche mère géologique. Cependant dans les profils ToP1 et ToP4, les teneurs en Zn sont élevées en surface, respectivement de 348,86 mgkg⁻¹ dans l'horizon 2 et 297,92 mgkg⁻¹ dans l'horizon 1 et dépassent les valeurs moyennes, estimées à 50 mgkg⁻¹ par Adriano (2001), Pais et Benton (2000) [20, 21]. Ce constat serait dû à la forme la plus courante et la plus mobile du zinc dans les sols : Zn²⁺, qui est facilement adsorbée sur les composants minéraux (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium) et organiques, ce qui conduit à une accumulation dans les horizons superficiels dont le comportement varie en fonction de sa forme chimique [22]. Le milieu étant acide et moyennement riche en argile, le zinc est facilement soluble par rapport aux autres ETM dans les sols. Dans ce cas, il est très mobile et disponible et sa mobilité serait de son aptitude [23] à passer dans les compartiments du sol. Ces observations, confirment ceux de Citeau (2004) et Pichard et *al.*, (2004), qui indiquent que le zinc est peu disponible en profondeur, sauf dans des conditions particulières de drainage ou en milieu très acide [24, 25]. En outre, certains auteurs comme Tremel-Schaub et Isabelle (2005), indiquent que, la proportion de Zn dans la solution du sol augmente avec le pH (5 à 90 %), ce qui aurait pour conséquence d'influencer le Zn échangeable en le diminuant lorsque le pH augmente [26]. Toutefois les valeurs des concentrations en zinc dans les profils sont en moyenne dix fois supérieures à celle obtenue par Kouakou en 2013 [7]. A comparer ces résultats à ceux de la présente étude, nous pouvons dire que ces sols présentent de graves anomalies en zinc. Les teneurs en cuivre (Cu) diminuent dans les horizons de profondeur des profils ToP1, ToP3 et ToP4 allant de 302,55 mgkg⁻¹ à 70,20 mgkg⁻¹, et augmentent dans celui du profil ToP2 (56,01 mgkg⁻¹ à 80 mgkg⁻¹). Ces taux sont par moment supérieurs à ceux enregistrés par Baize (2000) qui fixe à 100 mgkg⁻¹ les teneurs moyennes dans les sols français [27]. Cette variation peut être liée aux différentes formes minérales du Cu libérées au cours des processus d'altération, qui sont des composés très solubles, notamment en milieu acide [20]. Dans tous les horizons des profils, les concentrations en cuivre sont élevées respectivement de 302,55 mgkg⁻¹ pour l'horizon 2 du profil ToP1 ; 80,33 mgkg⁻¹ pour l'horizon 4 du profil ToP2 ; 99,99 mgkg⁻¹ pour l'horizon 3 du profil ToP3; 83,89 mgkg⁻¹ pour l'horizon 3 du profil ToP4, lorsque le pH est acide. En d'autres termes, cette migration dans les horizons profonds serait propre au comportement du cuivre qui est considéré comme l'élément le plus mobile des métaux lourds. Pour le Ni à l'exception du profil ToP1, tous les autres profils, ont de fortes teneurs en Ni dans les horizons de profondeur (>167,2 mgkg⁻¹) dépassant largement les normes recommandées (AFNOR, 1996) [28]. De plus, la présence d'un fort taux de particules fines (argile et limon) et la présence de matière organique dans les profils peut favoriser l'absorption des métaux (Ni, Cr, Pb et Cd) comme l'a indiqué El Baghdadi et *al.*, (2015) [12]. Dans l'ensemble les teneurs des ETM présents dans les échantillons recueillis sur le site d'étude dépassent largement les normes internationales OMS [29]. On observe donc une anomalie géochimique en ces éléments.

5. CONCLUSION

Cette étude a été conduite dans la localité de Tokoréyaokro (Toumodi, Côte d'Ivoire) pour apprécier et évaluer le niveau de concentration en certains éléments traces métalliques (ETM) des sols d'un des versants d'une colline où se cultivent des plantes à tubercules. Les résultats obtenus indiquent que les ETM sont fortement concentrés dans les sols de la toposéquence étudiée, avec des concentrations maximales en : As, Sb, Se, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn et en Cd. L'évolution verticale des concentrations des métaux montre qu'ils sont plus abondants et piégés dans les couches superficielles des profils, riches en matières organiques. Les mécanismes géochimiques et physiques qui gouvernent la migration verticale des ETM indique que le mécanisme dominant est l'adsorption. Le pH, moyennement acide ($5,30 \leq \text{pH} \leq 6,02$) en surface et acide ($5,20 \leq \text{pH} \leq 5,3$) en profondeur a une influence sur les ETM et semble favoriser le mécanisme d'adsorption et d'accumulation. Aussi, la zone d'étude, à complexe volcano-sédimentaire, restitue des ETM suite à l'altération des roches. Quant à la texture, elle contrôle la variabilité et la qualité des composants du sol. Ainsi l'évolution latérale des concentrations en ETM de ces sols n'est pas dépendante de la topographie. Pour la suite, une étude plus approfondie de spéciation des ETM permettra d'apprécier les formes chimiques engagées et d'évaluer leur impact sur les êtres vivants et l'environnement (absorption par les plantes, tests biologiques, mobilité), ainsi que leur conséquence sur la qualité des eaux souterraines et de surfaces.

Reconnaissance : Les auteurs remercient les responsables du Laboratoire de pédologie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire), ceux de l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Créteil (I.E.S.E.C.) en France et ceux du laboratoire sol de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire.), où les différentes analyses ont été effectuées.

Contribution des auteurs : YKNK, GFY, AJB-D et CJAK ont participé à la conduite des travaux sur le terrain, à la conception, à la rédaction et à la mise en forme de l'article ainsi qu'aux analyses statistiques des données ; AY-K a supervisé la conduite des travaux, la conception, l'élaboration et la rédaction du manuscrit.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

6. REFERENCES

- Baize D. Éléments traces dans les sols. Fond géochimiques, fond pédogéochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles: définitions et utilités. Le Courrier de l'environnement de l'INRA, 2009, 57, pp. 63-72. Disponible : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01197144>.
- Mench M., et Baize D. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces : mesures pour réduire l'exposition. Courrier de l'environnement de l'INRA, 2004, n°52, pp. 31-56. Disponible : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01199410>
- Kouakou Y. K. N., Yao G. F., Nangah K. Y., Guety T.P., et Yao-Kouamé A. Diagnostic du fonds pédogéochimique des sols développés sur matériaux volcanosédimentaires au Blafo-Guétou (Toumodi) dans le Centre-Sud de la Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2013, ISSN 2028-9324 Vol. 2 No. 3, pp. 344-354. Disponible : <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-13-025-01>
- Yao-Kouamé A., Koné B., et Gala Bi T. J. Caractérisation morphopédologique des sols bruns eutrophes développés sur les complexes volcano-sédimentaires ouest africains du birrimien à Blafo en Côte d'Ivoire, Africa Geoscience Review, 2011, Vol. 18, N°1, 23-32.
- Kouakou Y. K. N., Yao G. F., Nangah K. Y., Baka D., Adingra A., et Yao-Kouamé A. Caractères macromorphologiques des sols développés sur fonds volcano-sédimentaire au Blafo-Guétou (Toumodi) dans le centre-sud de la Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, 2013, vol.9, N°9, pp. 18-30. Disponible : <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/902>
- Mathieu C., et Pieltain F. Analyse chimique des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc/Lavoisier, Paris, 2003, 408 p.
- Kouakou Y. K. N. Morphopédologie et pédogéochimie des sols développés sur matériaux volcano-sédimentaires au Blafo-Guétou (Toumodi) dans le Centre-sud de la Côte d'Ivoire. Thèse unique de Doctorat de l'université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan en Sciences de la Terre, Spécialité Pédologie, Côte d'Ivoire, 2013, 192 p.
- Yoboue K. E., Bongoua-Devisme A. J., Kouadio K. P., et Yao-Kouame A. Minéralogie de la fraction argileuse des sols brunifiés de Kahankro et Anikro (Toumodi) dans le Centre Sud de la Côte d'Ivoire. Int. J. Biol. Chem. Sci., 2014, 8(3): 1269-1280. Disponible: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.40>
- Bataillard P., Séré G., Morel J-L., Colombano S., et Rouvreau L. Le sol en contexte de sites pollués : 2. Préserver et restaurer les fonctions du sol. Géosciences, 18, 2014, pp. 62-69. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/307993400>.
- Kabata-Pendias A., and Pendias H. Trace elements in soils and plants, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2001, 413 p.
- Matera V. Etude de la mobilité, de la spéciation de l'arsenic dans les sols de sites industriels pollués: estimation du risque induit, Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2001, 231 p.
- El Baghdadi M., Oumeskou H., Barakat A., Nadem S., et Rais J. Effet de la Décharge publique de la ville de Béni-Mellal sur les Sédiments et les Sols au niveau d'Oued Sabeq. J. Mater. Environ. Sci, 6 (11), 2015: 3371-3381. Disponible: https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6_N11/384-JMES-Oumenskou.pdf
- Cahier SKB. Métaux lourds Fondation Développement et Transfert de Connaissances, 2010, 40 p.
- Li X.D., and Thornton I. Arsenic, antimony and bismuth in soil and pasture herbage in some old metalliferous mining areas in England, 1993, pp. 135-144.
- Hammel W., Debus R., and Steubing L. Mobility of antimony in soil and its availability to plants: 1791-1798, 2000, 41 p.
- Nhari F., Sbaa M., Vassel J.L., Fekhaoui M., et El Morhit M. Contamination des sols d'une décharge non contrôlée par les métaux lourds : cas de la décharge Ahfir- Saïdia (Maroc oriental), J. Mater. Environ. Sci. 5 (5) (2014) 1477-1484, 8 p. Disponible: https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol5/vol5_N5/181-JMES-898-2014-Nhari.pdf
- Wu J., West L.J., and Stewart D.I. Effect of humic substances on Cu (II) solubility in kaolin-sand soil. Journal of Hazardous materials, Vol. 94, N°3, 2002, pp.223-238. Disponible: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00082-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00082-1)
- Ciesielski H., Guérin-Lebourg A., et Proix N. Effets du pH sur l'extraction des éléments traces métalliques dans les sols Inra. Etude et gestion des sols, 14 (1), 2007, pp. 7-30. Disponible: http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_14_1_ciesielski.pdf
- Touré N., Yao-Kouamé A., Alui K.A., et Guety T.P. Evaluation en éléments majeurs et traces métalliques d'un environnement de production agricole dans la vallée du Niéki au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences, ISSN 1997-5902, 34, 2010, pp.2134-2144. Disponible: <http://www.m.elewa.org/JABS/2010/34/2.pdf>
- Adriano D. C. Trace elements in terrestrial environments, Biochemistry bio- availability and risks of metals. (2nd Edition). Springer-Verlag: New York, 2001, 32 p.
- Pais I., and Benton J. "The handbook of Trace Elements". Boca Raton, FL, St. Lucie Press, 2000, 223 p.
- El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A., and Jbilou M. Heavy metals in sediment, water and the European glass eel, *Anguilla anguilla* (Osteichthyes: Anguillidae), from Loukkos River estuary (Morocco, eastern Atlantic). Cybium 33 (3), 2009: pp. 219-228.
- McLaughlin M.J., Zarcinas B.A., Stevens D.P., and Cook N. Soil testing for heavy metals. Communications in soil science and plant analysis 31, 31:11-14, 2000, pp. 1661-1700. Disponible: <https://doi.org/10.1080/00103620009370531>

24. Citeau L. Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminé : relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu), Thèse de l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon, 2004, 236 p.
25. Pichard A., Bisson M., Diderich R., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Rose M., et Pepin G. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Chrome et ses dérivés inorganiques INERIS-DRC-01-25590 ETSC APi/SD, N°00df253, 2004, 68 p.
26. Tremel-Schaub A., etvIsabelle F. Contamination des sols transferts des sols vers les plantes Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, ADEME, EDP sciences, 2005, 422 p.
27. Baize D. Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français. Résultats généraux du programme ASPITET. *Le Courrier de l'environnement*, **39**, 2000, pp. 39-54. Disponible : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01203415>
28. AFNOR. Qualité des sols, Recueil de normes françaises, 3e édition, Paris. La defense, 1996, 534 p.
29. Logan T. J. Environmental quality, In: M, E, Sumner, Editor, Handbook of Soil Science, CRC Books, New York, 2000, 46 p.



Cite this article: Yao Kouman Nestor Kouakou, Affi Jeanne Bongoua-Devisme, Guy Fernand Yao, Christian Jonathan Anoma Kouassi et Albert Yao-Kouamé. TENEURS EN MÉTAUX ET MÉTALLOÏDES DANS LES SOLS D'UN VERSANT À TOKORÉYAOKRO (TOUMODI) AU CENTRE DE LA CÔTE D'IVOIRE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2020; 11(1): 17-26.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>