

Evaluation des éléments traces métalliques (ETM) des sols autour de la mine de Gbétogo à Séguéla, au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire

[Assessment of heavy metals on soils around Gbetogo mine at Seguela, North-West of Côte d'Ivoire]

Yao Kouman Nestor Kouakou, Trazié Jérémie Gala Bi, Justin Louis Kafana Coulibaly, and Ahou Clarisse Koffi

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliquée, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2020 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: This study is a contribution to establishment a geochemical soil database around gold-bearing zones. The main objective is to evaluate the total current levels of heavy metals such as arsenic (As), cadmium (Cd), barium (Ba), vanadium (V), nickel (Ni), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), manganese (Mn), zinc (Zn), titanium (Ti), strontium (Sr) and lead (Pb) in soils around Gbétogo gold zone located at Seguela in Côte d'Ivoire. To achieve this, 5 soil pits were opened, described and sampled. A total of 19 samples from the 5 pits were collected and 10 other composites were taken from the surface horizons (0-20 cm) near the mine site. Heavy metals concentrations (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) in soils were determined by X-ray fluorescence (XRF) and the hydrogen potential. The results indicate that the soils are acidic and essentially Cambisol-type. Some heavy metals such as Ni (21.8 to 128.05 mg.kg⁻¹), Cu (27.17 to 96.31 mg.kg⁻¹), Mn (226.57 to 3251.82 mg.kg⁻¹), V (323.28 to 509.18 mg.kg⁻¹), Ba (153.20 to 566.94 mg.kg⁻¹) and Ti (4149.67 to 39823.88 mg.kg⁻¹) have concentrations above the recommended standards representing a natural geochemical anomaly, while As, Cd, Zn, Sr and Pb have lower concentrations. Soils have mercury (Hg) contamination ranging from 1.94 to 15.95 mg.kg⁻¹. The ranking, in descending order from highest to lowest concentrations, is as follows: Fe > Ti > Mn > V > Ba > Ni > Cu > Zn > Sr > Pb > Hg > As > Cd.

KEYWORDS: Morphopedology, Heavy metals, Evaluation, Gbetogo, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une contribution à l'établissement d'une base de données géochimique des sols situés à proximité des zones aurifères. L'objectif principal est d'évaluer les teneurs totales actuelles en éléments traces métalliques (ETM) tels que l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le baryum (Ba), le vanadium (V), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le titane (Ti), le strontium (Sr) et le plomb (Pb) dans les sols situés autour de la zone aurifère de la localité de Gbétogo, dans la région de Séguéla, en Côte d'Ivoire. Pour y parvenir, 5 fosses pédologiques ont été ouvertes, décrites et échantillonnées. Au total, 19 échantillons issus des 5 fosses ont été prélevés et 10 autres composites prélevés dans les horizons de surface (0-20 cm) aux alentours du site minier. Les concentrations en éléments traces (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) dans les sols ont été déterminées par fluorescence aux rayons x (XRF) ainsi que le pH. Les résultats indiquent que les sols sont acides et essentiellement de type Cambisols. Certains ETM tels que Ni (21,8 à 128,05 mg.kg⁻¹), Cu (27,17 à 96,31 mg.kg⁻¹), Mn (226,57 à 3251,82 mg.kg⁻¹), V (323,28 à 509,18 mg.kg⁻¹), Ba (153,20 à 566,94 mg.kg⁻¹) et Ti (4149,67 à 39823,88 mg.kg⁻¹) ont des concentrations supérieures aux normes recommandées représentant une anomalie géochimique naturelle, tandis que les éléments As, Cd, Zn, Sr et Pb en sont inférieures. Les sols présentent une contamination en mercure (Hg) variant de 1,94 à 15,95 mg.kg⁻¹. Le classement, dans l'ordre décroissant, des concentrations des plus élevées aux plus faibles est le suivant: Fe > Ti > Mn > V > Ba > Ni > Cu > Zn > Sr > Pb > Hg > As > Cd.

MOTS-CLEFS: Morphopédologie, ETM, Evaluation, Gbétogo, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Partout dans le monde, il est indéniable que le sol constitue une ressource naturelle limitée qui fournit un soutien essentiel aux écosystèmes et à nos sociétés. C'est, en effet, le support de nombreuses activités industrielles, agricoles et urbaines. Toutefois les fonctionnalités du sol peuvent se trouver être dégradées du fait de certaines activités humaines telles les activités agricoles, industrielles, minières, métallurgiques, etc.

Plusieurs auteurs soutiennent que les activités minières, bien qu'elles occupent une grande place dans l'économie mondiale, ont un impact négatif sur la santé de l'environnement [1], [2] et sont une véritable source de pollution. C'est par exemple, le cas de la pollution des sols des sites miniers en éléments traces métalliques (ETM) [3] posant de sérieux problèmes du fait de la toxicité de ces métaux mais, surtout de leur caractère bio accumulatif dans les organismes vivants et dans les différents compartiments de l'écosystème [4].

En effet, la contamination des sols en ETM présente un risque de toxicité pour les êtres vivants et l'homme à travers la chaîne alimentaire; elle peut avoir des implications directes sur l'alimentation humaine par l'absorption des cultures [5], [6]. Certains ETM comme le Plomb, le Cadmium et le Mercure sont mutagènes et cancérigènes [5]. Au cours des opérations minières, les envols et dépôts de poussières contaminent les sols environnants en éléments métalliques. Le problème de décapage des zones exploitées accentue la dispersion des résidus miniers contenant des ETM dans les sols agricoles proches, les récoltes et les cours d'eau. Dans l'industrie minière, les résidus miniers contiennent de grandes quantités d'ETM [7] pouvant être libérées dans le milieu. Sur la mine Zeïda par exemple, [8] a montré que les déchets stériles et les déchets de traitement constituaient la principale source de contamination en ETM après la fermeture de la mine. Il en est de même pour la mine d'or d'Afema qui a entraîné la pollution des eaux et sols du site en Pb, Cd et As [9]. Cependant [10] a montré que la mobilité des ETM dans les sols est fortement dépendante des caractéristiques physico-chimiques des sols. Selon [11] l'acidité des sols est un paramètre clé de la disponibilité des ETM dans les milieux. Même si certaines conditions physico-chimiques des sols peuvent immobiliser les ETM et limiter leurs transferts, les mines sont sources d'ETM et posent un véritable problème environnemental.

Séguéla, ville située au Nord de la Côte d'Ivoire, à fort potentiel minier, se voit attribuer aujourd'hui plusieurs permis d'exploitation dont la mine semi-industrielle à ciel ouvert de Gbétogo, pour or. A cette mine est associée une activité d'orpaillage sur le site, qui pourrait, de même que la mine d'or d'Afema et de Zelda, probablement entraîner une contamination des sols environnants en ETM. Dès lors, il paraît indispensable d'évaluer les teneurs totales actuelles en ETM (As, Cd, Ba, V, Ni, Cu, Fe, Hg, Mn, Zn, Ti, Sr et Pb) des sols autour de cette mine permettant ainsi de contribuer à l'établissement d'une base de données géochimiques qui pourrait servir, à terme, une base dans une stratégie de réhabilitation du site.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

2.1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le Département de Séguéla qui abrite la zone d'étude (fig. 1), est situé au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire à 592 km d'Abidjan. Il fait administrativement partie du District du Woroba et de la région du Worodougou. L'étude a été réalisée dans le village de Gbétogo aux coordonnées 08°07'35"N et 06°56'37"W, à une altitude d'environ 320m.

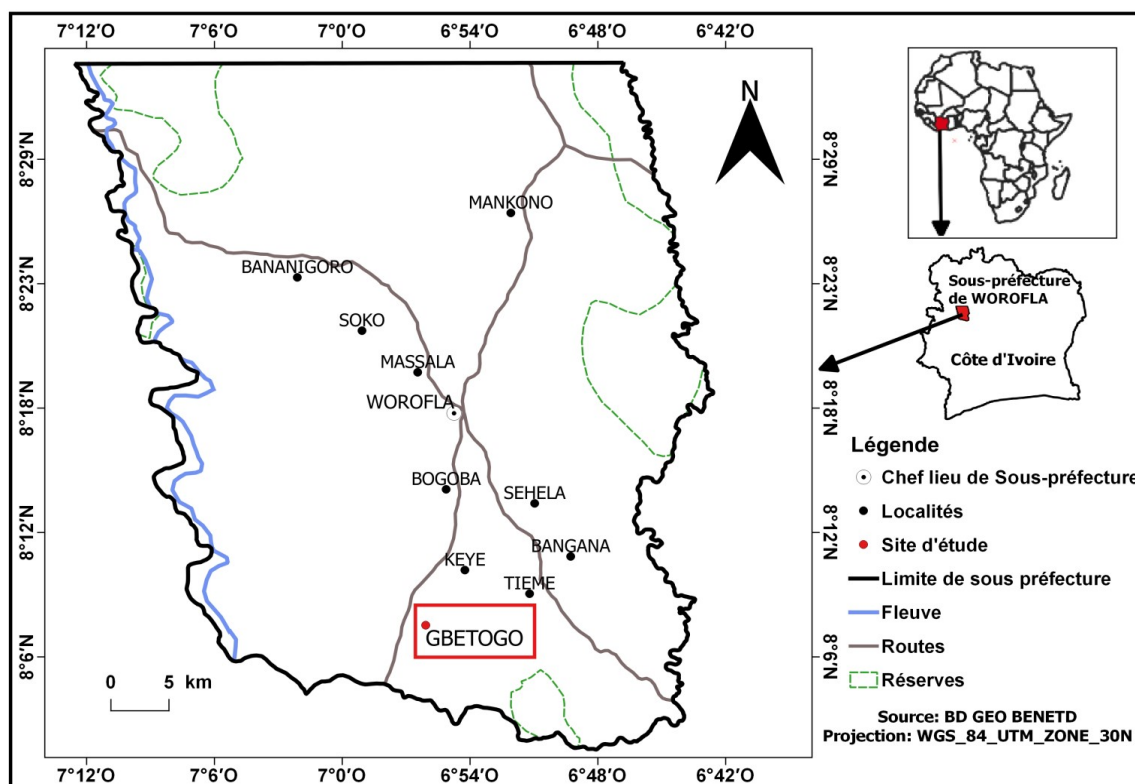


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude

2.1.2 REGIME CLIMATIQUE ET VEGETATION

La zone d'étude appartient à un climat de type Sud-soudanais avec une saison de pluie de Juillet à Octobre et une saison sèche allant de Novembre à Juin. La pluviométrie annuelle moyenne y est supérieure à 1200 mm. La température moyenne est de l'ordre de 28°C avec des fluctuations journalières et saisonnières assez marquées [12].

La zone d'étude est située dans la zone de transition forêt-savane avec une végétation de plus en plus clairsemée en allant du Sud au Nord. La végétation est constituée de savane parsemée de galeries forestières larges et souvent denses avec des îlots forestiers.

2.1.3 RELIEF ET HYDROGRAPHIE

Le relief est fait essentiellement de plateaux et de collines granitiques, avec une altitude moyenne de 260m [13]. Le réseau hydrographique est marqué par la présence de deux fleuves (le Sassandra et le Yani) et de nombreuses rivières. Les principaux cours d'eau sont: le Gbouan à l'Ouest et l'Ouaon à l'Est et un représentant du bassin de la marahoue le fefegbo [14]. Ces cours d'eau ne sont pas navigables.

2.1.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Les formations géologiques de la zone sont attribuées aux complexes éburnéens (granites) et birrimiens (roches volcano-sédimentaires) [14]. Ces formations sont d'âge protérozoïque moyen et inférieur (150-230 millions d'années). On note également la présence de dykes kimberlitiques riches en diamant qui caractérisent les secteurs de Bobi et de Diarabana [15]. Les processus pédogénétiques les plus représentés dans la zone d'étude sont la ferrallitisation (nettement dominante), la brunification, la ferruginisation et l'hydromorphie donnant lieu majoritairement à des sols ferrallitiques et à des sols brunifiés.

2.2 METHODES D'ETUDE

2.2.1 CARACTERISATION MORPHOPEDOLOGIQUE

Pour la caractérisation des sols du site, une prospection pédologique a été réalisée suivant la toposéquence de direction 30°N depuis les positions topographiques de sommet jusqu'au bas-versant. Ainsi 5 fosses ont été ouvertes et numérotées P1, P2, P3, P4 et P5 (fig. 2). Les différents profils ont été décrits et échantillonnés par horizon avec 19 échantillons prélevés. En plus des fosses pédologiques, des échantillons composites de sols ont été prélevés à la tarière dans les horizons de surface (0-20 cm) aux alentours du site minier. Ainsi, 10 échantillons composites de sols ont été prélevés, notés E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9 et E10. Leurs choix résultent des possibilités de rendre compte de la contamination métallique des sols. L'échantillon E7 se trouve très à proximité (à moins de 30 m) d'une des usines de traitement de minerais. Au total ce sont 29 échantillons de sols qui ont été prélevés sur le site d'étude.

2.2.2 PREPARATION DES ECHANTILLONS DE SOLS

Les échantillons recueillis sur le terrain ont été émotés à la main, puis, séchés dans une salle, à la température ambiante. Après séchage, chaque échantillon a été tamisé, à l'aide d'un tamis à maille carrée ($\varnothing = 2 \text{ mm}$) pour obtenir des matériaux d'un diamètre inférieur à 2 mm, représentant la « terre fine ». La fraction fine recueillie va servir aux différentes analyses en laboratoire.

2.2.3 DETERMINATION DU PH

Dix (10) grammes de terre fine de chaque échantillon, pris isolément, ont été introduits dans un béccher en plastique de 100 mL. Ensuite 25 mL d'eau distillée sont ajoutés dans le béccher contenant la terre fine, et l'ensemble a été mis en agitation pendant 1h. Le pH a ensuite été mesuré en plongeant la sonde du pH-mètre dans le surnageant. Enfin, la lecture est effectuée après la stabilisation de l'affichage digitale du pH-mètre.

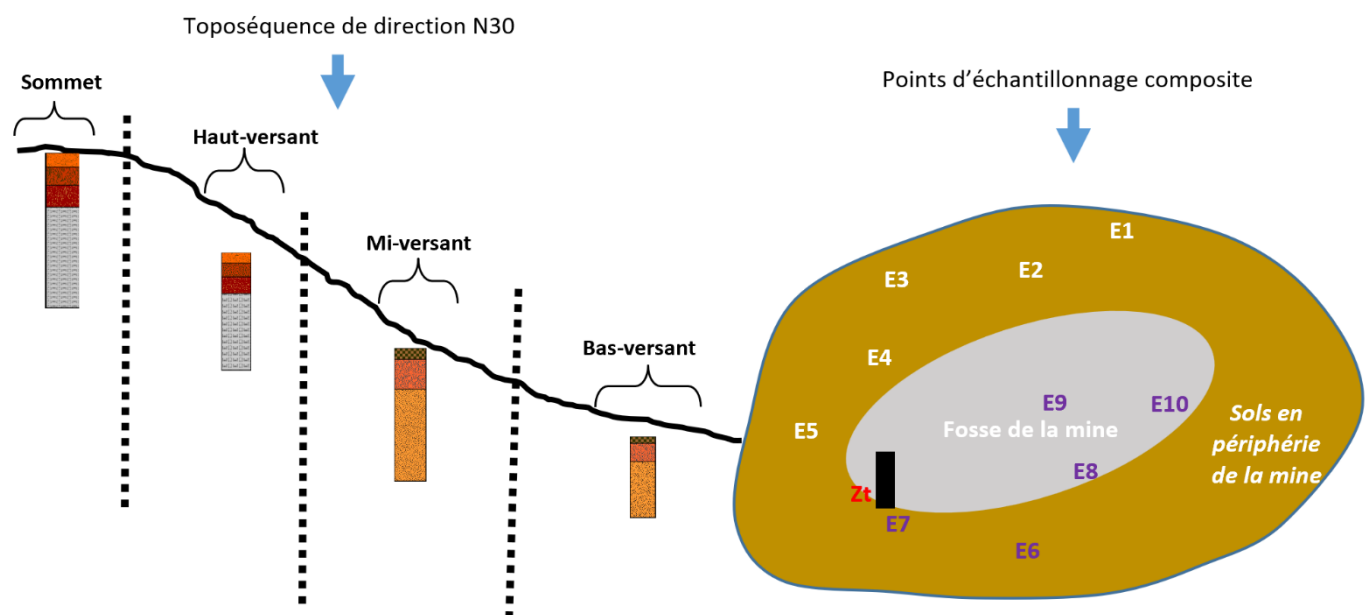


Fig. 2. Toposéquence de direction N30 et échantillonnage composite sur site à Gbétogo (Zt : Zone de traitement)

2.2.4 QUANTIFICATION DES ETM: SPECTROMETRIE A FLOURESCENCE X (XRF)

La terre fine de chaque échantillon est tamisée de nouveau à l'aide d'un tamis de maille 100 μm pour obtenir une terre encore plus fine. Une prise d'environ 0,5 g de cette terre fine a été nécessaire pour le dosage des ETM. Les éléments traces sont ensuite déterminés par Spectrométrie à fluorescence X (XRF) à l'aide d'un spectromètre de type Niton XLT 3t.

2.2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les données obtenues ont été transcrites dans des tableaux, sous Excel. Le logiciel Statistica7.1 a été utilisé pour les traitements statistiques.

L'analyse de variance (ANOVA) a été appliquée aux données pour tester les différences entre les moyennes des teneurs en ETM. La détermination du coefficient de corrélation de Pearson entre les variables a servi à mesurer le degré de liaison entre les variables aux seuils de probabilités $p < 0,05$; $p < 0,01$ et $p < 0,001$ pour apprécier les variables qui sont très corrélées ou non.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES MORHOPÉDOLOGIQUES DES SOLS

Les sols de la zone d'étude sont bruns, remaniés et affectés par le rajeunissement (fig. 3). Suivant le système de référence mondiale, ils représentent des cambisols à caractères plinthiques. Ce sont des Plinthic Cambisols. Les horizons de surface sont beaucoup plus sombres que ceux de profondeur. Ces sols ont une structure générale grumeleuse en surface et plus ou moins polyédriques en profondeur. Dans l'ensemble la texture est limono-argileuse en surface et argilo-sableuse dans les horizons de profondeur. Les proportions en éléments grossiers sont beaucoup plus importantes dans les horizons de profondeur. Ces éléments grossiers sont constitués de concrétions, de nodules, de débris ferromagnésiens. Au bas de versant on a des traces d'hydromorphie en profondeur débutant à partir de 75 cm de profondeur.

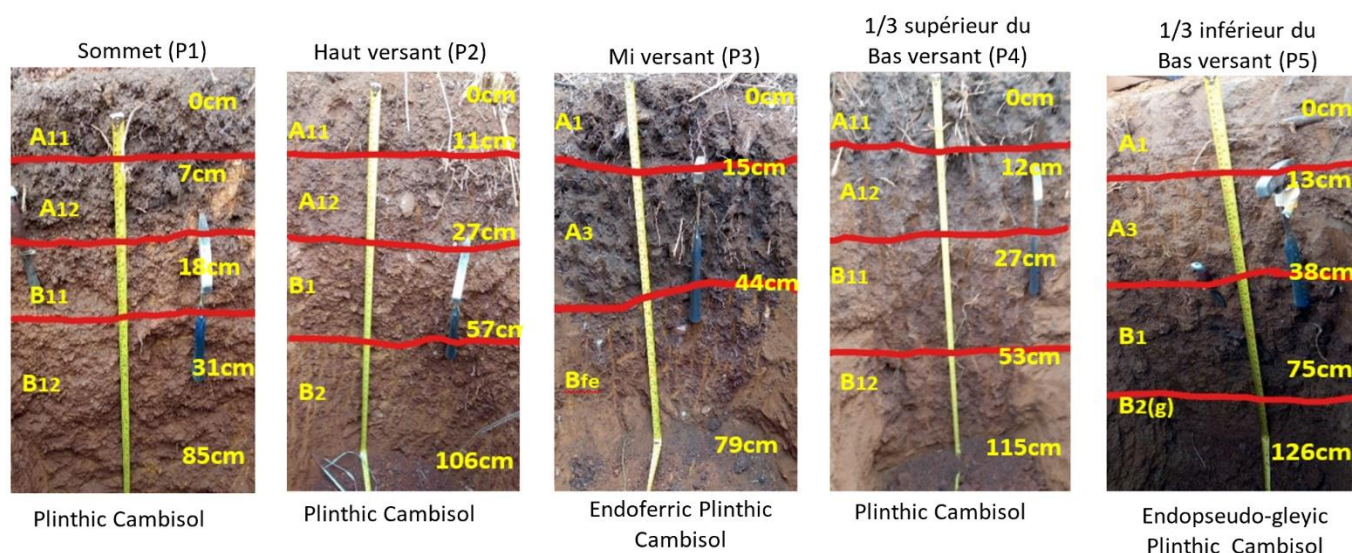


Fig. 3. Profils observés sur le terrain sur la toposéquence de direction N30

3.2 ACIDITE DES SOLS (PH)

La détermination du pH a montré que les sols analysés ont un pH inférieur à 7 (fig. 4) avec des valeurs qui varient d'environ une unité (compris entre 5,35 et 6,23). Ce pH acide varie peu à l'intérieur d'un même profil.

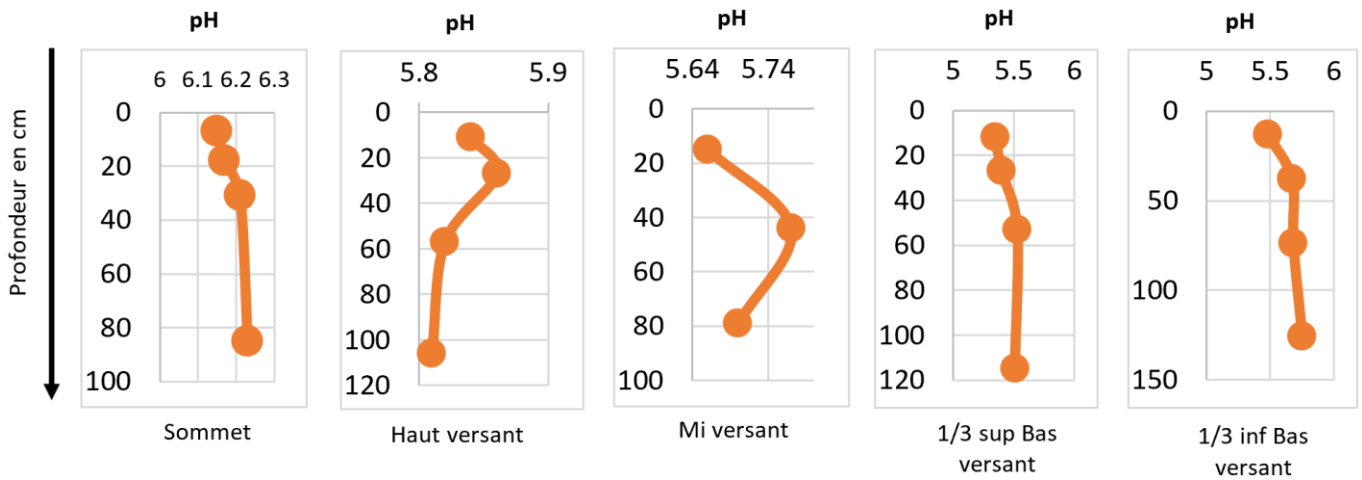


Fig. 4. Dynamique verticale du pH le long des différents profils

3.3 TENEURS TOTALES EN ETM

Dans les sols de la zone, le fer et le titane ont les teneurs les plus élevées. Le cadmium par contre n'est pas détecté, car sa teneur est en dessous de la limite de détection. L'ordre d'abondance des ETM dans les profils se présentent comme suit Fe > Ti > Mn > V > Ba > Ni > Cu > Zn > Sr > Pb > Hg > As > Cd (fig. 5). Il existe de bonnes corrélations significatives entre les éléments eux-mêmes et entre les éléments et le pH des sols.

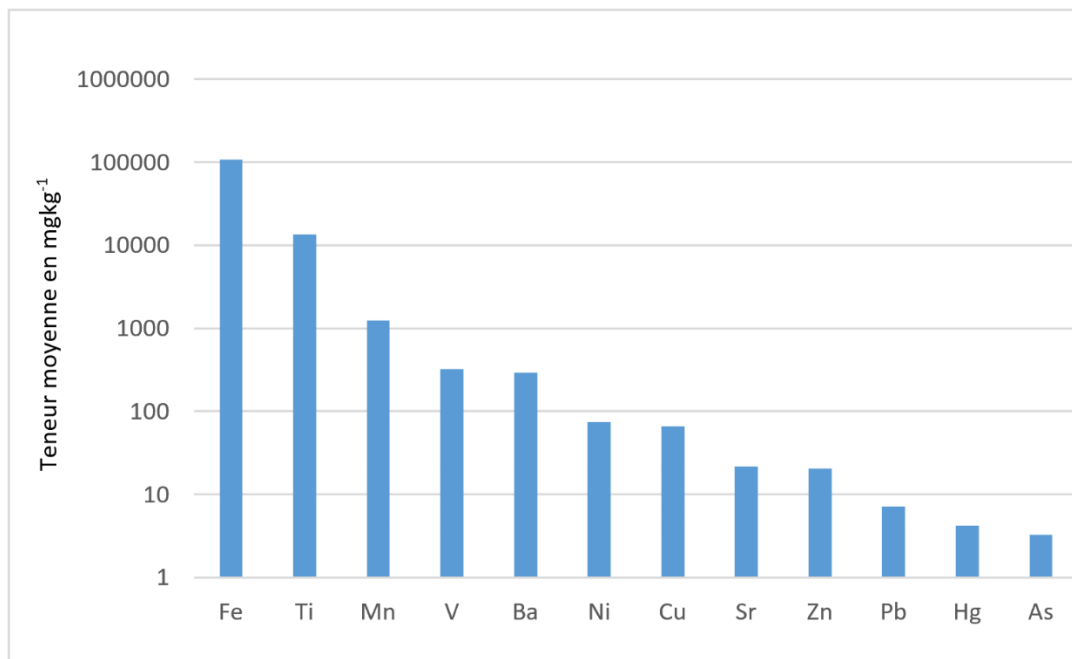


Fig. 5. Teneurs moyennes des ETM dans les sols en mgkg⁻¹

Les échantillons composites (E1, E2, E3, E4, E5) éloignés de la mine enregistrent les concentrations les plus minimales en ETM, les échantillons composites (E6, E7, E8, E9, E10) localisés près de la mine ont les teneurs les plus élevées du site tandis que l'échantillon E7 enregistre les concentrations les plus maximale. L'ordre d'abondance des ETM dans les échantillons composites se présentent comme suit Fe > Ti > Mn > Ba > V > Ni > Cu > Zn > Sr > Pb > Hg > As > Cd. (Tableau 1).

Tableau 1. Teneurs des ETM dosés (en mgkg⁻¹) des échantillons composites

Echantillons	As	Cd	Ba	V	Ni	Cu	Fe	Hg	Mn	Zn	Ti	Sr	Pb
E1	< ld	< ld	566,94	159,11	29,07	27,17	32706,7	1,94	226,57	30,34	4149,67	58,56	11,04
E2	3,72	< ld	501,34	211,43	45,13	36,98	44109,56	< ld	401,18	27,05	7797,1	45,29	10,89
E3	< ld	< ld	153,20	157,87	11	34,54	44796,13	1,96	307,74	28,67	4936,64	17,73	11,72
E4	< ld	< ld	467,25	197,41	21,9	27,84	40886,44	< ld	640	20,95	7263,02	47,06	10,56
E5	< ld	< ld	305,53	303,77	67,87	46,07	64911,2	< ld	1016,79	20,91	10632,32	41,17	11,96
E6	< ld	< ld	477,37	149,05	21,8	53,78	49160,59	< ld	907,75	< ld	7078,8	26,32	7,96
E7	2,53	< ld	283,89	495,84	128,05	93,45	246062,71	15,95	3251,82	< ld	39823,88	35,25	3,71
E8	< ld	< ld	305,95	311,61	104,35	79,16	95334,41	< ld	652,82	5,17	6888,2	36,51	2,07
E9	< ld	< ld	450,07	286,46	121,83	67,92	97820,37	2,78	1734,19	4,88	8958,36	29,13	7,3
E10	3,69	< ld	311,21	316,46	107,45	65,85	117190,5	< ld	1046,49	< ld	11573,9	17,58	2,41

<ld = inférieures à la limite de détection

3.3.1 DYNAMIQUE VERTICALE DES ETM DOSES

Les Figures 6 à 10 représentent la dynamique verticale des ETM dans chaque profil de sol.

Les éléments V, Ni, Fe et Cu ont le même dynamisme dans tous les profils, leurs teneurs augmentent considérablement depuis la surface vers les horizons de profondeur. Egalement tout comme V, Ni, Fe et Cu, les éléments Ni, Ti et Sr ont aussi la même évolution dans les profils mais contrairement à eux, leurs concentrations diminuent de la surface vers la profondeur sauf au niveau du profil P5 où le Ni et le Ti sont plus enrichi dans les horizons intermédiaires. Le Ni, le Zn et l'As ont des dynamiques variables, tantôt enrichi en surface, tantôt enrichi dans les horizons intermédiaires. Le Ba est enrichi dans les horizons intermédiaires dans tous les profils.

3.3.2 DYNAMIQUE LATÉRALE DES ETM DOSES

La figure 11 présente la dynamique latérale des métaux dosés (en mg.kg⁻¹) dans les horizons de surface (Hs) et de profondeur (Hp) par profil. L'appréciation de la dynamique latérale nous montre que latéralement, les éléments tels que Sr, Ni et Ti ont des teneurs plus élevées dans les horizons de surface que de profondeur du sommet au bas de versant tandis que les autres éléments sont lus enrichis en profondeur qu'en surface depuis le sommet vers le bas versant.

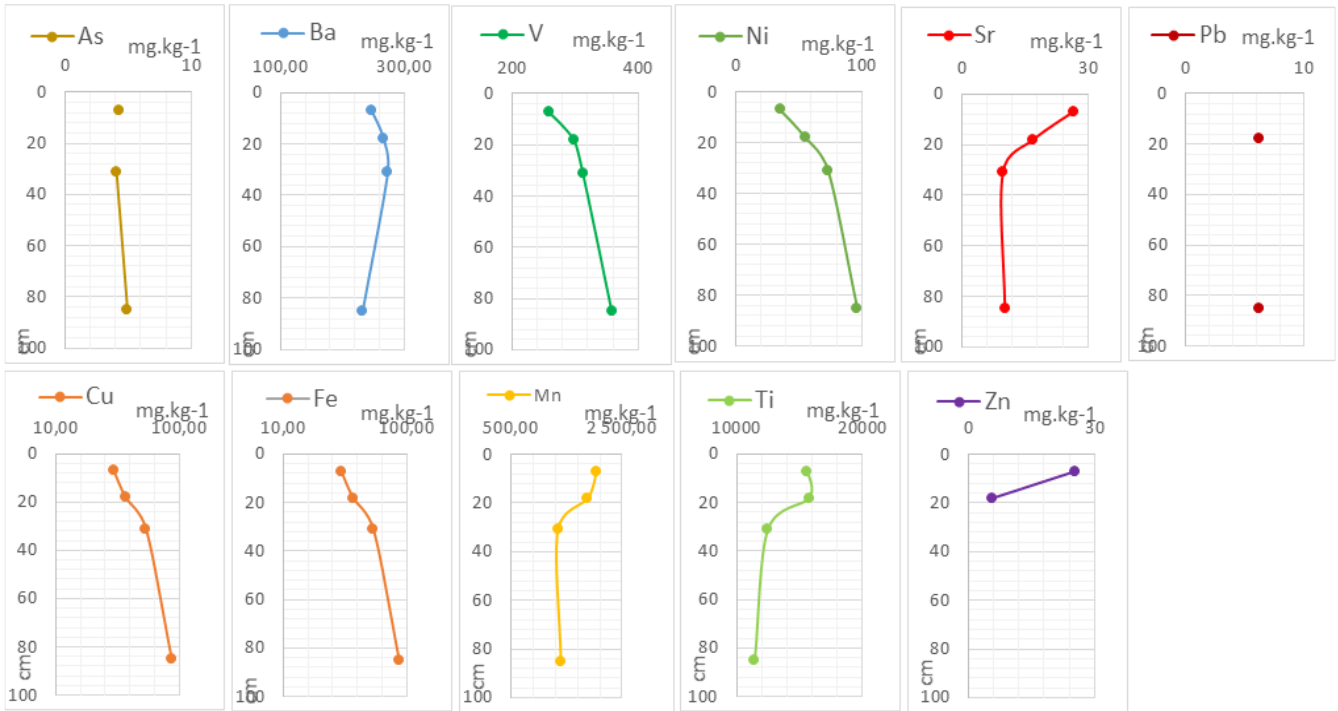


Fig. 6. Dynamique verticale des ETM au profil P1

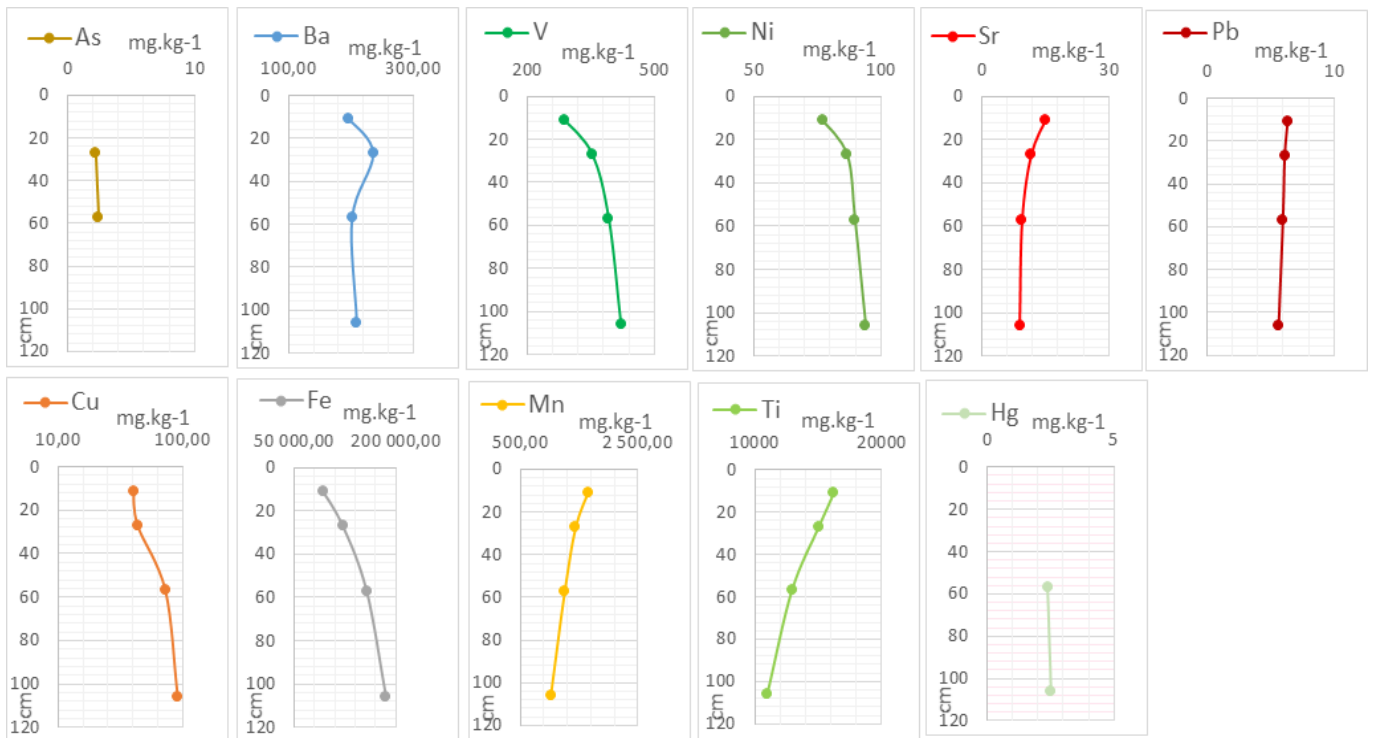


Fig. 7. Dynamique verticale des ETM au profil P2

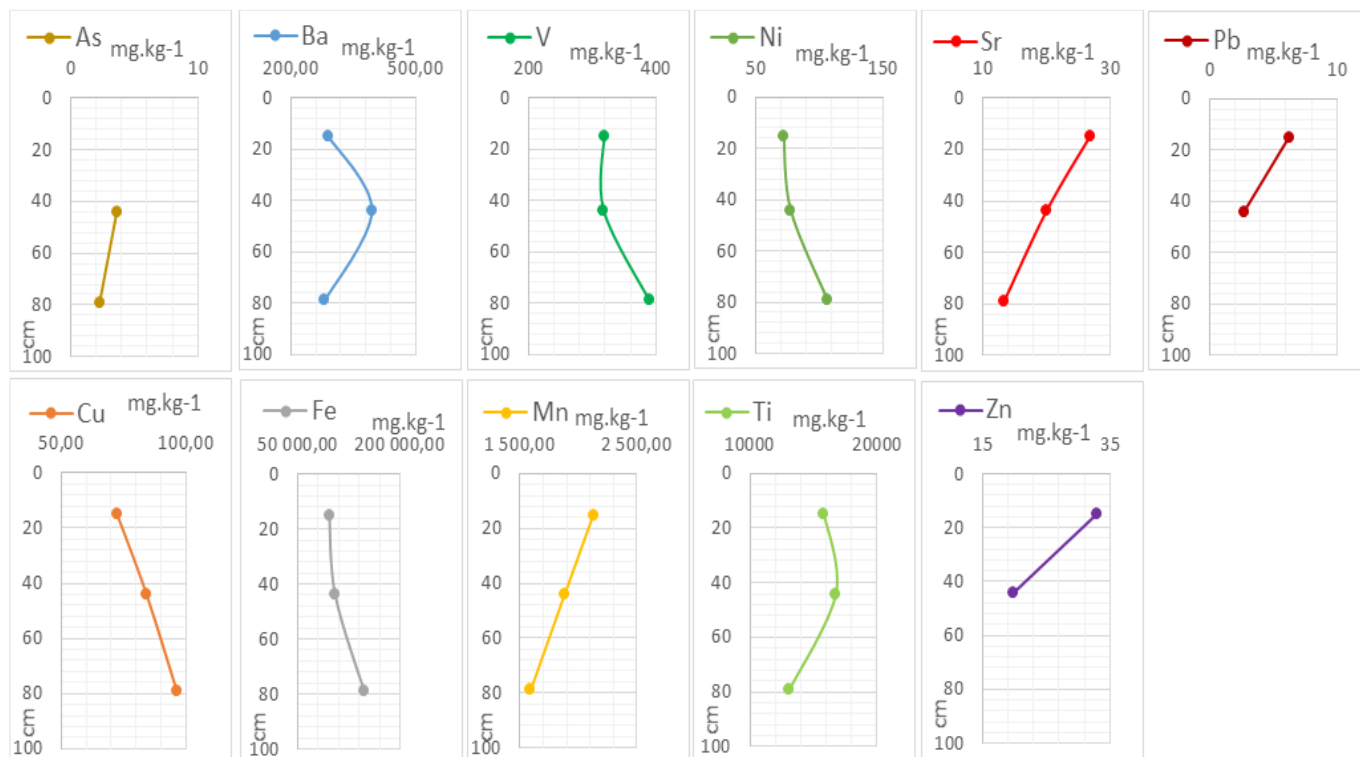


Fig. 8. Dynamique verticale des ETM au profil P3

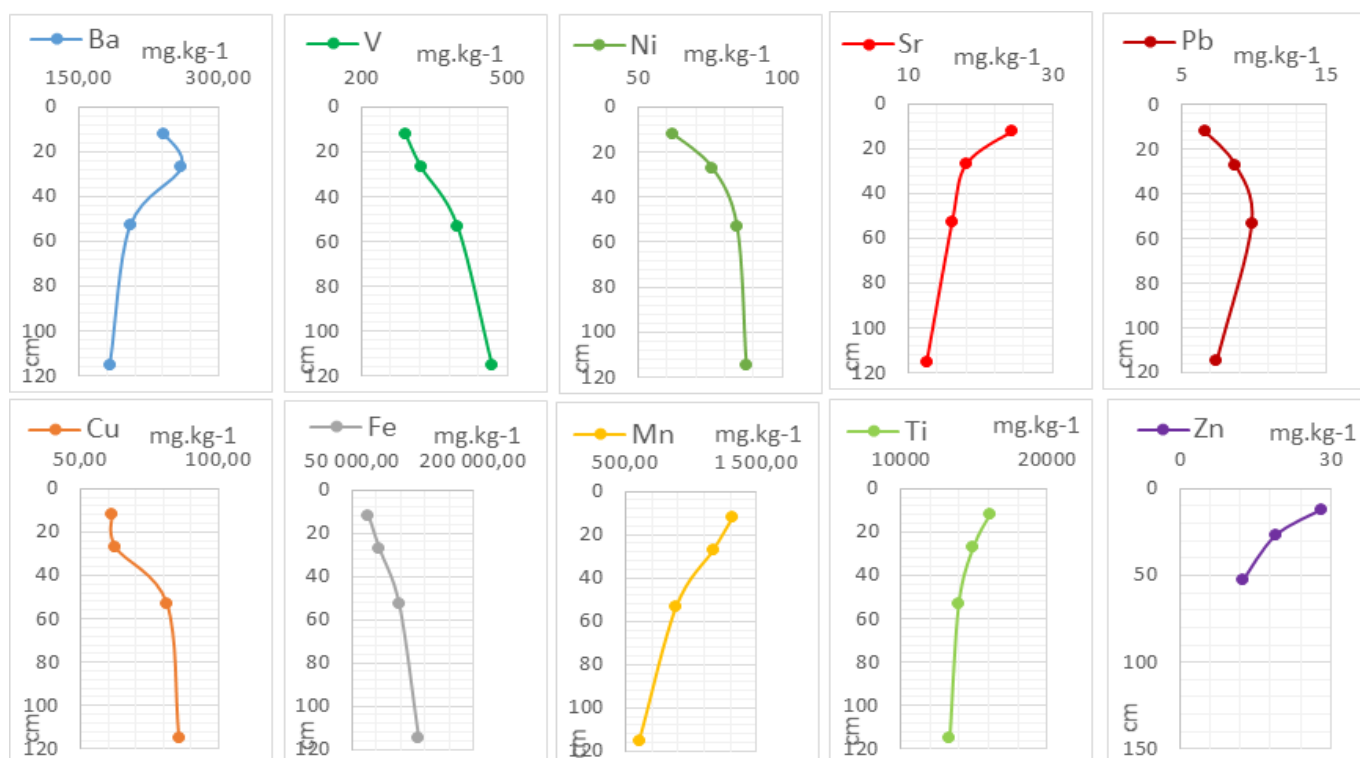


Fig. 9. Dynamique verticale des ETM au profil P4

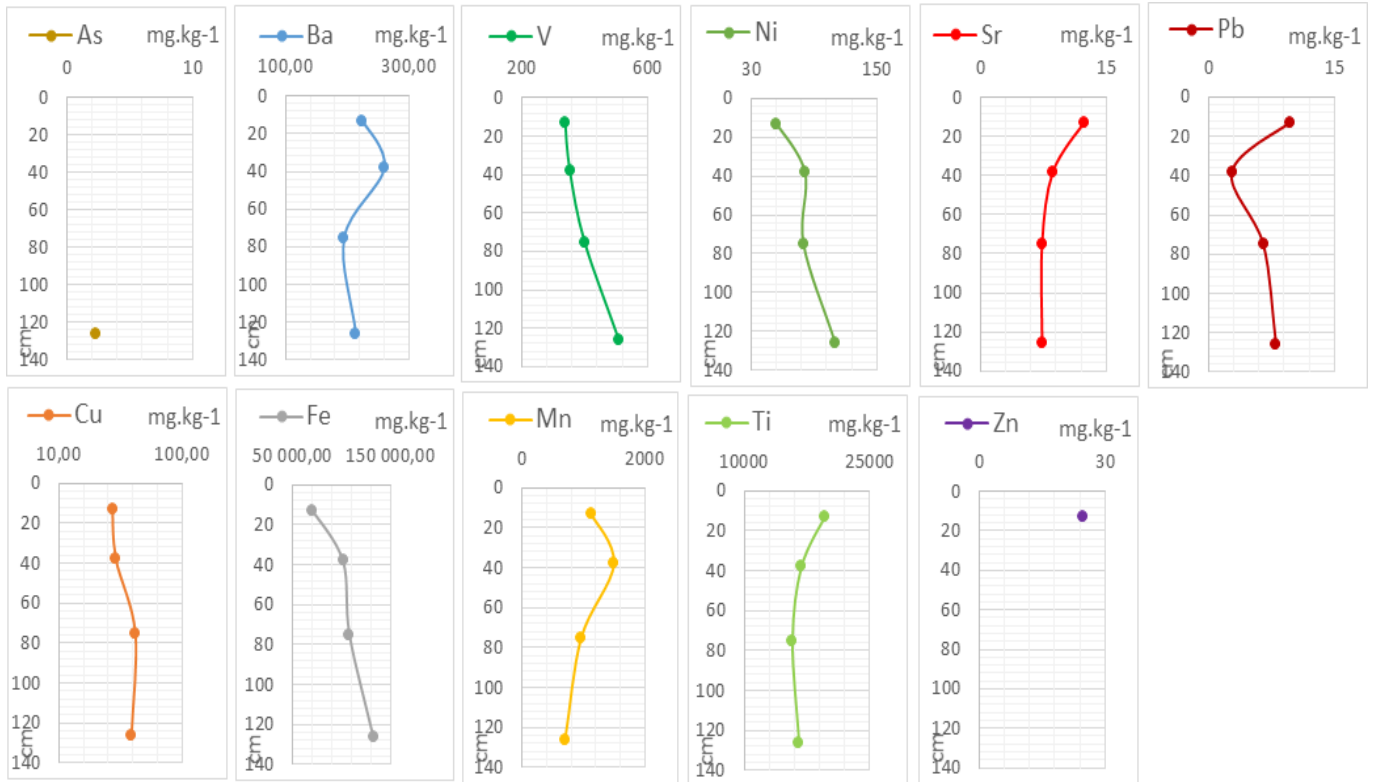


Fig. 10. Dynamique verticale des ETM au profil P5

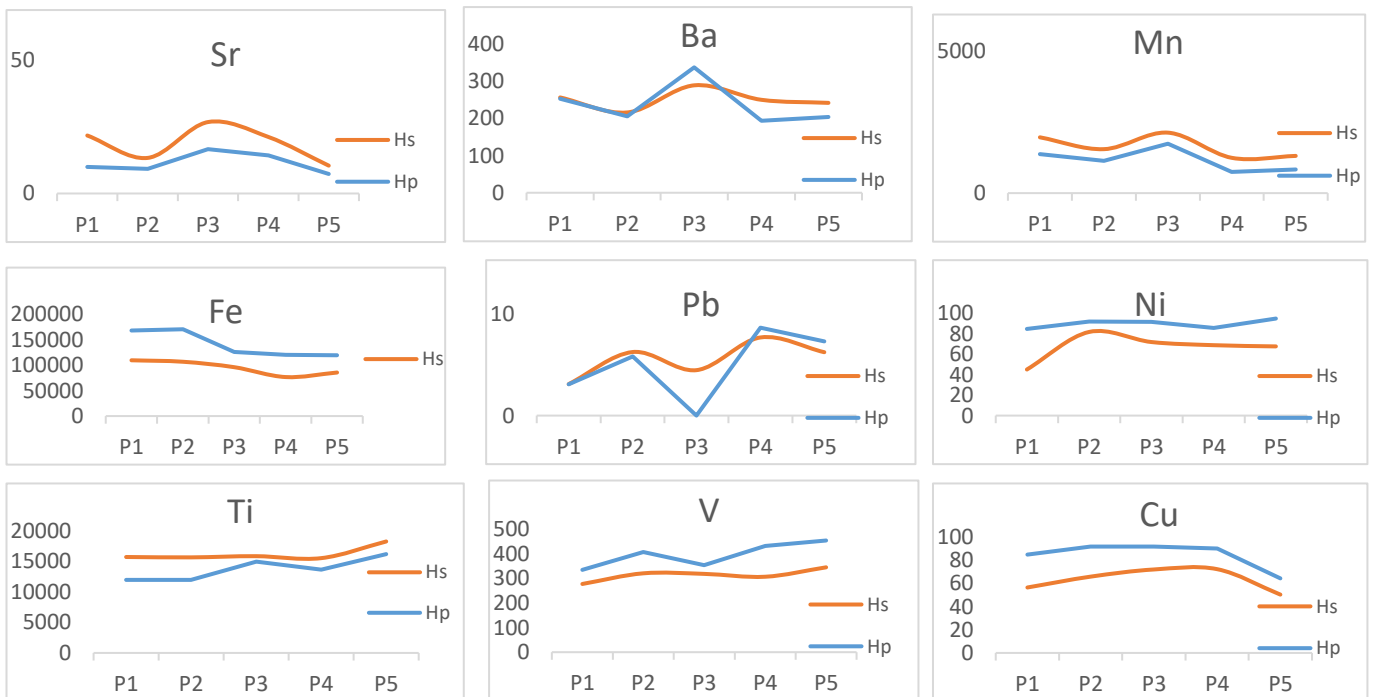


Fig. 11. Dynamique latérale des métaux (en mg.kg⁻¹) du sommet au bas-versant

3.3.3 CORRELATION ENTRE ETM DOSES

Le tableau 2 présente les corrélations entre les ETM. De façon générale et sur tous les profils, il existe de fortes corrélations positives significatives entre le V, Ni, Cu et le Fe

Tableau 2. Corrélations significatives entre ETM des divers profils

Variables	V	Ni	Cu	Fe	pH
V	1				
Ni	0,990**	1			
Cu	0,975*	0,990**	1		
Fe	0,971*	0,954*	0,985*	1	
pH	0,948*	0,983*	0,979*	0,965*	1

* Forte corrélation ** Très forte corrélation

3.4 DISCUSSION

D'une façon générale les sols rencontrés dans les différents profils de notre site d'étude sont des Plinthic Cambisol avec des indurations à certains endroits et des traces d'hydromorphie au bas versant. L'induration est due en effet à une accumulation ferrugineuse, du fait du lessivage et de l'accumulation du Fe provenant des horizons sus-jacents qui sont plus drainant, ce qui a contribué à l'enrichissement des horizons sous-jacents qui présentent des indurations ferrugineuses [16]. L'apparition de l'hydromorphie au bas versant témoigne de la présence d'une nappe d'eau temporaire à un moment donné [17]. Les processus pédogénétiques affectant ces sols sont le remaniement et le rajeunissement. Le remaniement exprimé par la forte charge en éléments grossiers (débris de cuirasse, gravillons ferrugineux, graviers et cailloux de quartz plus ou moins émoussés et ferruginisés) est une contrainte pour une mise en valeur agricole selon [18], tandis que le rajeunissement est exprimé par la présence de tâches diversement colorées au niveau des sols [19]. L'hétérogénéité qui prévaut la teinte des sols, selon [20] est la résultante de processus physicochimiques et hydrodynamiques. Sur cette base on assiste à une variation verticale et latérale de couleurs dans nos sols, qui passent de bruns sombres en surface à bruns plus clairs en profondeur. Selon [21] la couleur sombre des sols en surface est dûe à un enrichissement en matière organique du fait de la décomposition des végétaux et de l'action des microorganismes, alors que les oxydes de fer sont responsables des couleurs brunes des sols [22].

Les valeurs observées révèlent que le potentiel d'hydrogène de nos sols est acide et a tendance à augmenter avec la profondeur. Cette acidité aurait favorisé la mobilité des éléments traces métalliques [23].

Pour [24] la détermination des ETM peut fournir des informations de fonds sur le statut des ETM et sur la fertilité du sol. Dans ces conditions, évaluer le stock total d'un élément constitue une bonne approche pour étudier le degré et l'ampleur de la contamination par un élément métallique.

L'évolution verticale croissante des concentrations des métaux Ni, Cu, V et Fe au niveau de chaque profil de sols de la surface vers la profondeur fait penser qu'ils proviendraient essentiellement du fond pédogéochimique naturel. La lixiviation pourrait être aussi à l'origine d'un enrichissement de ces éléments en profondeur, car selon [25], les concentrations en ETM d'un sol subissant de la lixiviation des métaux et du lessivage doivent croître avec la profondeur. Les taches rouille observées dans les profils attestent du phénomène de migration du fer dans les profils. Par ailleurs les oxydes de Fe peuvent fixer ces ETM qui ont une plus grande affinité pour le Fe [26], ainsi la migration des oxydes de fer vers les horizons plus profonds va entraîner avec elles les ETM qui lui sont associés. Les autres éléments sont plus ou moins corrélés avec le Mn, cela s'explique par le fait que les oxy-hydroxydes de Mn les immobilisent ainsi que la matière organique en surface [27].

Latéralement on assiste à l'augmentation et ou à la diminution des teneurs en ETM depuis le sommet vers le bas versant ; cette variation latérale rend compte d'un transfert latéral (évolution latérale) de ces ETM depuis le sommet vers le bas versant. Cette évolution latérale serait due selon [28] à une érosion hydrique ou éolienne qui a bien pu entraîner les différences de concentrations latérales sur la toposéquence.

Les teneurs en As, Cd, Zn, Sr et Pb correspondent aux teneurs naturelles observés dans les sols ordinaires, de toutes granulométries, hors anomalies géochimiques. Par contre, les concentrations en Ni, Cu, V, Fe, Mn, Ba, Ti et Hg dans les sols sont élevées comparées aux normes internationales. Ni, Cu et Ti présentent des anomalies géochimiques selon [29] et [30]. Ces derniers fixent les gammes de teneurs d'anomalies géochimiques pour les éléments Ni, Cu, et Ti, respectivement, de 60 à

130 mg.kg⁻¹, 65 à 160 mg.kg⁻¹ et 7 à 55 mg.kg⁻¹. Le Mn et le Fe sont présents naturellement dans le sol et, [31] indique la teneur totale seuil de Mn dans les sols français à 300 mg.kg⁻¹ or les valeurs dans nos sols vont jusqu'à 3251,82 mg.kg⁻¹. Le Mn présente donc une anomalie géochimique. Au niveau du Hg, les concentrations varient jusqu'à 15,95 mg.kg⁻¹ et très largement supérieures à celles données par [29] et [30] qui indiquent les teneurs moyennes en Hg de l'écorce terrestre à 0,05 mg.kg⁻¹ [29], et la limite à 1 mg.kg⁻¹ [30]. Cependant les teneurs élevées du site au niveau de l'échantillon 7 pris très à proximité d'une des usines de traitement du minerai serait dû aux effets des résidus de traitement très riches en mercure utilisés pour amalgamer l'or. Ainsi, nous pouvons affirmer que les activités de la mine entraînent une contamination des sols en Hg, une contamination plus locale. L'analyse des échantillons composite a montré que les concentrations en métaux étaient plus élevées au niveau des sols de la mine, mais cependant comme il a été établi que les éléments traces métalliques avaient une origine naturelle, on ne pourrait dire que la mine contribuerait à la contamination des sols en ETM sauf bien sûr en mercure

4 CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que les sols sont essentiellement des Cambisols avec des teintes brunes variées. Ces sols sont rajeunis, indurés par endroits et suffisamment pourvus en éléments grossiers, ce qui constitue une contrainte à la mise en valeur agricole. En outre, le statut acido-basique de ses sols est acide. Cette acidité a joué un rôle important dans la mobilité des éléments traces métalliques. Les métaux analysés indiquent qu'il y a une contamination des sols en Hg et que le Cd était absent sur notre site. La fluorescence au rayon X a montré que les éléments Ni, Cu, Mn, Ba, V et Ti ont des concentrations supérieures aux normes internationales. Ils sont plus ou moins anormalement enrichis dans nos sols. Les éléments As, Cd, Zn, Sr et Pb ont des teneurs qui sont inférieures aux normes autorisées.

REFERENCES

- [1] T. Jaffré, F. Rigault et J. M. Sarrailh, "La végétalisation des anciens sites miniers en Nouvelle-Calédonie," Dossier Nouvelle Calédonie, Montpellier, FRANCE, 896 p, 1994.
- [2] Z. Dang, C. Liu et J. Haigh, "Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils," *Environmental Pollution* 118 (3), pp. 419-426, 2002.
- [3] A. Sebei, F. Chaabani et M. K. Ouerfelli, "Impacts des rejets miniers sur le sol et les plantes de la région de Boujaber (NO.Tunisie) Fractionnement chimique des métaux lourds dans les sols," *Geo-Eco-Trop*, 29: pp. 37-50, 2005.
- [4] G. Miquel, "Effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé," Rapport 261 de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 365 p, 2001.
- [5] A. Kabata-Pendias et H. Pendias, "Trace elements in soils" 3rd Ed. Boca Raton, London, New York, CRC press, 413 p, 2001.
- [6] CCME, "Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement. Recommandations Canadiennes pour la Qualité de l'Environnement," Excerpt from Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1; PN 1452, 2007.
- [7] L. Y. Jiang, X. E. Yan, Z. L. He, "Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by *Elsholtzia splendens*," *Chemosphere* 55: pp. 1179-1187, 2004.
- [8] M. L. El Hachimi, M. Fekhaoui, A. E. Abidi, A. Rhoujatti, "Contamination des sols par les métaux lourds à partir de mines abandonnées: le cas des mines Aouli-Mibladen-Zeïda au Maroc," *Cah Agric*, 23: 213-9, 2014.
- [9] K. A. F. Yao, "Développement d'une méthodologie pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie," Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier (France), 211 p, 2018.
- [10] H. D. Thi, "Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique" doctorat de l'université paris est, 145 p, 2009.
- [11] M.C. Jung et I. Thornton, "Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a leadzinc mine, Korea," *Appl Geochem*, Vol.11, pp. 53-9, 1996.
- [12] PRICI, "Financement additionnel au projet d'urgence de renaissance des infrastructures. Financement: Don IDA no H 79000-CI. Cadre de Gestion Environnementale et Sociale (CGES)," Rapport final, 204 p, 2006.
- [13] L. B. Diomande, W. H. Dougba, C. Kanko, B. Kone, A. Yao-Koumé, "Les teneurs en carbone, azote et phosphore du sol sur l'occurrence de *Lippia multiflora*M. (théier de savane) et la composition chimique de son huile essentielle extraite des feuilles au NordOuest de la Côte d'Ivoire," *Int. J. of Biol. and Chem. Sci.* 9 (1), pp. 492-503, 2015.
- [14] T. DAMBIO, "Etude morpho-pédologique d'une zone représentative de la zone des savanes sub-soudanaise dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire (sous-préfecture de worofla)," Rapport de stage ORSTOM, 20p, 1981.
- [15] P. André, A. Marc, D-Y. Bertin, E. Boty, "Découverte d'un diatrème de kimberlite diamantifère à Séguéla en Côte-d'Ivoire," *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série Ila, Sciences de la terre et des planètes*, Elsevier, 336, pp. 9-17. (2004).

- [16] K. E. Yoboué, K.P. Kouadio, L. O. Blé, et A. Yao-Kouamé, "Caractéristiques Morphopédologiques et Géochimiques des Sols Brunifiés de Anikro et de Kahankro (CentreSud de la Côte d'Ivoire," *European Journal of Scientific Research* No.3, pp. 295-296, 2018.
- [17] A. Yao-Kouamé, G. F. Yao, A. K. Alui, A. K. N'guessan, T.P. Tiemoko et Y. K. Kloman, "Etude morphopédologique du bassin versant du mont Blanguand dans le massif du Yaouré en région centre de la Côte d'Ivoire," *Afrique SCIENCE* 04 (3), pp. 426-451, 2008.
- [18] J. M. Avenard, "Aspect de la géomorphologie. Le milieu naturel de Côte d'Ivoire," *ORSTOM*, 391 p, 1971.
- [19] A. Yao-Kouamé, "Caractéristiques physiques des sols brunifiés dérivés des formations du complexe volcano-sédimentaire de Kanhankro (Toumodi) en moyenne Côte d'Ivoire," *Rev. CAMES-Série A*, Vol. 05, pp. 76-86, 2007.
- [20] B. Kone, A. Assa, "Utilisation des données pour l'évaluation de l'hétérogénéité des sols ferrallitiques par la couleur selon le code munsell," *Agronomie Africaine* 20 (2), pp.179 190, 2008.
- [21] D. Arrouays et I. Vion, "Utilisation de la couleur des sols pour l'évaluation de leur taux de matière organique. Un test simple pour des sols limoneux du piémont pyrénéen," *Science du sol*, Vol. 31, 1/2, pp. 1-16, 1993.
- [22] C. Barnérias, F. Bohn, S. Dubois, G. Junod, M. Le Treis et J. S. Pousse, "Effets de l'engorgement hydrique sur la couleur des sols et la distribution des espèces," *Etudes du Bureau Agricole et Forestier de l'Ouest Guyanais (BAFOG)*, 34 p, 2004.
- [23] N. Touré, A. Yao-Kouamé, K. A. Alui, T. P. Guety, "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, pp. 2134 – 2144, 2010.
- [24] S. Albanèse, "Evaluation of bioavailability of potentially harmful elements in urban soils through ammonium acetate-EDTA extraction: a case study in southern Italy," *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8 (1). Geological Society of London, Londra, Regno Unito, pp. 49 – 57, 2008.
- [25] D. Baize, "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols français, Références et Stratégies d'interprétation" *INRA Editions*, Paris, 410p. 1997).
- [26] D. Sparks, "Environmental soil chemistry". San Diego, 267p, 1995.
- [27] G. Colinet, "Eléments traces métalliques dans les sols. Contribution des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge," *Th. Doc. Université des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique)*, 139 p, 2003.
- [28] T.P. Guety, "Risque de pollution et de contamination par des ETM (Pb et Cd) dans les agroécosystèmes périurbains de Côte-d'Ivoire: diagnostic des sites maraichers de Yopougon, Port-bouët et Bingerville," *Thèse de doctorat unique, Université Félix Houphouët Boigny*, 183p, 2015.
- [29] B. J. Alloway, "Heavy metals in soils *Blackie Academic & Professional*," Glasgow, 339p, 1990.
- [30] D. Baize, "Teneurs totales en " métaux lourds " dans les sols français. Résultats généraux du programme ASPITET," *Le Courrier de l'environnement* n°39, pp.39-54, 2000.
- [31] Afnor, "Qualité des sols," *Recueil de Normes Françaises*, 3ème Edition, Paris, pp. 212-213, 1996.