

Influence des états de surface sur la distribution des éléments traces métalliques dans le pédopaysage: Cas du plateau de Penga-Penga (Lubumbashi, Haut-Katanga / RD Congo)

[Influence of surface states on the distribution of trace metals in the soil landscape: Case of Penga-Penga (Lubumbashi, Haut-Katanga / DR Congo)]

Serge Kashimbo Kalala

Chef des travaux à l'Unité de Gestion des ressources naturelles, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2016 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: Katanga is one of the regions of the world, where we find abundant geochemical anomalies in most of these soils. These geochemical anomalies contain rich deposits mainly copper but also cobalt, zinc, cadmium and gold. The rich deposits of copper, cobalt, zinc, cadmium and gold are either in the hills or in the depths of the basement. Under these conditions these elements constituting a danger reduced to humans, plants and animals. From the time man, through its various activities (mining, metallurgical, plastic manufacturing) interrupts the strong links between these elements that begin the redistribution issues, release of these hazardous metals in the different compartments of environment: soil, water, air. They reach very high levels and become a real problem for humans.

Atmospheric fallout from the rich fumes SO₂ discharged through the chimney smelter plant Gecamines contributed to the accumulation of metals in the soils of Penga Penga-tray. The digging of the Quartz and brick-making contributed to the remobilization of these metals through the landscape, soil, air, and water are a serious public health problem in this part of the city Lubumbashi.

KEYWORDS: Katanga, geochemical anomalies, human activities, atmospheric deposition, SO₂ redistribution, Cu, soil, water, air.

RÉSUMÉ: Le Katanga est l'une des régions du monde, où l'on trouve des anomalies géochimiques abondantes dans la plupart de ces sols. Ces anomalies géochimiques renferment des gisements riches en cuivre principalement mais aussi en cobalt, zinc, cadmium et or. Les gisements riches en cuivre, cobalt, zinc, cadmium et or sont soit dans les collines, soit dans les profondeurs du sous-sol. Dans ces conditions ces éléments ne présentent qu'un danger réduit pour l'homme, les plantes et les animaux. A partir du moment où l'homme, par ses diverses activités (exploitation minière, procédés métallurgiques, fabrication plastique) interrompt les liaisons solides entre ces éléments, que commencent les problèmes de redistribution, de relargage de ces métaux dangereux dans les différents compartiments de l'environnement: sol, eau, air. Ils atteignent des concentrations très élevées et deviennent un réel problème pour l'homme.

Les retombées atmosphériques issues des fumées riches en SO₂ rejetées par la cheminée de la fonderie de l'usine de la Gecamines, ont contribué à l'accumulation des métaux dans les sols du plateau de Penga-Penga. Les travaux de creusage du Quartz ainsi que la fabrication des briques ont contribué à la remobilisation de ces métaux à travers le paysage, dans le sol, l'air, l'eau et constituent un problème sérieux de santé publique dans cette partie de la ville de Lubumbashi.

MOTS-CLEFS: Katanga, anomalies géochimiques, activités anthropiques, retombées atmosphériques, SO₂ redistribution, Cu, sol, eau, air.

1 INTRODUCTION

Dans les gisements du Katanga, le cuivre est accompagné de cobalt, zinc, cadmium et or. C'est en 1911 que l'on a commencé à traiter le minerai oxydé à haute teneur du gisement de l'Étoile, près de Lubumbashi [1]. Mais depuis 1923, les procédés de concentration et métallurgie ont dû constamment être adaptés aux variations de composition des minerais oxydés, carbonatés, alumineux et sulfurés, extraits de nombreux gisements superficiels et souterrains de la « ceinture cuprifère » [2].

Au Katanga, la fonderie Électrique de la Gécamines Lubumbashi a été une agglomération de fusion qui a produit pendant près d'un demi-siècle, une matte de cuivre contenant environ 70% de cuivre et une scorie riche en cadmium [3]. Le site fut équipé d'une imposante cheminée de 152 m, celle-ci a émis dans l'atmosphère de grandes quantités de SO_2 , résultat de l'oxydation des sulfures et des poussières métallifères chargées en cuivre et autres métaux à la suite des procédés métallurgiques [4]. Le cuivre s'est éliminé ensuite par gravité, dépôt à sec, précipitation et lessivage et s'est accumulé principalement dans les horizons de surface, des sols environnants [5]. Ces émissions de SO_2 ont été responsables de pluies acides [6] néfastes pour les êtres vivants et les végétaux. Les retombées de ces composés acidifiants et de poussières métallifères ont entraîné le remplacement de la forêt claire originelle par une steppe courte au sein de laquelle on retrouve les espèces de la flore cupricole et de vastes surfaces nues [7].

Le sol, ressource naturelle essentielle, est le support de nombreuses activités industrielles, agricoles et urbaines [8]. Le développement de ces activités, en occurrence celles industrielles entraîne une forte augmentation des teneurs en éléments trace métalliques (ETM) dans les sols et peut alors en devenir la source prédominante par rapport à ceux d'origine géogène [9]. La contamination métallique des sols, suite aux retombées atmosphériques locales (industrielles et urbaines) et à des apports divers (composts, engrais) anciens ou actuels, explique la présence dans les horizons de surface, des teneurs élevées en ETM tels que Cd, Cu, Zn et Pb [10, 11, 12]. Cependant, malgré un effet d'accumulation évident, le transfert de métaux vers la profondeur et le pédopaysage est noté.

La détermination des états de surface sur le plateau de Penga-Penga passe pour un outil indispensable dans l'étude de transfert vertical et horizontal des ETM dans les sols étant donné que ceux-ci ont des niveaux des teneurs en Cu, Co, Cd, Pb très élevés. L'usage inapproprié de ces types de sols contribue à la redistribution de ces polluants dangereux dans les autres compartiments de l'environnement à savoir l'eau et l'air. L'accumulation des polluants est constatée au niveau de l'horizon de surface (0-20Cm), couche exploitée par les racines des plantes. L'état de cette couche contaminée a permis de dicter les considérations observées sur le terrain à savoir: le taux du couvert végétal, le taux de la latérite, le taux du quartz, l'usage du sol, ainsi que le pourcentage des surfaces nues. Les observations faites ont permis de définir trois états de la couche contaminée sur le plateau de Penga-Penga. Elle est soit érodée (décapage de l'horizon A et apparition du B) dans les sous zones à prédominance des surfaces nues. On note le transfert des ETM vers la rivière Karavia par érosion et ruissellement. Elle affleure dans les sous zones où le taux du couvert végétal est important et elle est enterrée là où on observe d'importantes activités anthropiques (creusage du quartz, fabrication des briques).

Cette étude avait pour objectif principal de déterminer les états de surface liés à la couche contaminée observée sur le plateau de Penga-Penga, comme outil indispensable dans la compréhension des mécanismes de redistribution des éléments traces métalliques (ETM) dans les compartiments de l'environnement sols, eau, air. Au regard du niveau de concentration des ETM dans ce secteur, l'affectation des sols à un usage donné devra passer par des études détaillées des risques que peuvent engendrer les ETM lorsqu'ils sont présents dans les sols, les plantes, l'eau, l'air à des teneurs dépassant excessivement les normes fixées.

2 MILIEU, MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 MILIEU

Le site de Penga-Penga est situé dans le cône de pollution de la cheminée de la Gécamines, à proximité du Cimetière de la Gécamines [13]. La végétation de cette zone, située dans l'axe des vents dominants, a été totalement dévastée par l'accumulation progressive des dépôts atmosphériques des particules polluantes rejetées par la cheminée [14]. Ce quartier est situé à moins de 3 km, au Nord-Ouest, de l'Usine de la Gécamines.

2.2 MÉTHODOLOGIE DE TERRAIN

Une zone d'étude a été sélectionnée sur le plateau du quartier GÉCAMINES. Les limites ont été définies géographiquement en relevant les coordonnées à l'aide d'un GPS. La zone est délimitée par les zones d'habitation et la rivière Karavia (figure 1).

Ensuite quatre transects principaux ont été tracés parallèlement du plateau vers le bas-fond. Les observations de terrain ont été relevées le long de ces transects et dès qu'un paramètre changeait, la position GPS de la zone était notée. Dans un deuxième temps, des transects perpendiculaires aux premiers ont été parcourus tous les 100 m afin d'améliorer la densité des observations.

2.3 MATÉRIELS

Le matériel pris en compte dans cette étude est constitué essentiellement de différentes séries de sols classées selon la classification de la FAO [15]. Il s'agit de sols Zonaux, Azonaux et Intra zonaux qu'on retrouve dans l'aire d'étude. Trois types de sol zonaux sont repris. La série Kaponda (A_2) est largement distribuée sur le plateau de la Gécamines surtout au niveau du cimetière et du versant vers la rivière Karavia. Ces sols sont soit nus et subissent alors une forte érosion, soit occupés par une végétation herbacée et arbustive. La série Baya (A_3) qui est un sol brun-jaune, bien drainé et la série Musaonga (Ag_3) qui est aussi un sol brun-jaune avec la présence de cailloutis à la base sont les types de sol les plus fréquents sur cette aire. La série Baya est fortement présente sur le plateau de la Gécamines ainsi que sur le plateau Karavia. La série Musaonga se situe sur le versant du plateau Gécamines et peut s'observer en alternance avec la série baya sur le plateau de la Karavia.

2.4 MÉTHODE DE LABORATOIRE

Chaque échantillon récolté sur le terrain a été séché à l'air et émotté en vue d'un tamisage à 2 mm. Chaque échantillon et son refus ont fait l'objet de pesée sur une balance à deux décimales en vue de l'estimation de la charge grossière [16]. Tous les échantillons ont été conditionnés dans des boîtes hermétiques préservant ainsi leur atmosphère d'un taux d'humidité trop élevé.

2.5 ANALYSES RÉALISÉES

Les échantillons récoltés ont fait l'objet des analyses suivantes :

📊 pH eau et pH KCl ; Carbone organique total ; Acidité d'échange pour les échantillons ayant un pH eau < 4,9 (seuil choisi pour garder un nombre d'échantillons raisonnables) ; Azote total pour les échantillons ayant un pourcentage de carbone organique total > à 0,8% Humidité résiduelle.

Les échantillons ainsi sélectionnés ont subi les analyses supplémentaires suivantes :

📊 Analyse granulométrique ; Capacité d'échange cationique ; Eléments échangeables à l'acétate ammonique à pH 7 (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Cu^{++}) ; Eléments totaux (Cd, Cu, Zn, Co, Pb, Mg, Mn, Al, Fe, Ca, Na, K).

3 ELABORATION DE LA CARTE

Une zone d'étude a été sélectionnée sur le plateau du quartier GÉCAMINES. Les limites ont été définies géographiquement en relevant les coordonnées à l'aide d'un GPS. La zone est délimitée par les zones d'habitation et la rivière Karavia (Figure 1).



Figure 1: Localisation de la zone d'étude de l'état de surface sur image aérienne (Googlemap)

4 RÉSULTATS

4.1 ETATS DE SURFACES

Etant donné l'importance de la présence de l'ancien horizon de surface contaminé par les retombées atmosphériques sur les niveaux de teneurs mesurés dans la couche 0-20cm, le premier critère pris en considération y est lié. La couche contaminée peut être enterrée (I), érodée (II) ou affleurer en surface (III).

Les autres critères sont la présence d'une couverture végétale et son taux de recouvrement, la présence d'une charge caillouteuse grossière, son importance (gravier de latérite ou de quartz) ainsi que la résistance à la pénétration d'une tige métallique (enfoncement facile (0), moyen (1), difficile (2)). La classification des taux de recouvrement végétal et de la charge caillouteuse seront élaborés en fonction des situations observées sur le terrain. Les résultats généraux sur l'état de la couche contaminée entre 0-20cm dans les différentes sous zones du site d'étude, à la Gécamines montrent une tendance plus marquée de l'état II, qui définit la couche contaminée érodée, c'est le cas des sous zones de la troisième à la onzième. Cette situation s'explique par la dégradation de la végétation, la présence de vastes surfaces nues et les phénomènes intenses d'érosion. L'absence de la végétation dans cette partie se justifie par la contamination des sols par les retombées des poussières métallifères riches en Cu, Co, Zn, Mn, Pb, Cd [16]. Ceux-ci exercent sur les sols et la végétation une pression de toxicité [17], perturbant ainsi leurs fonctions lorsqu'ils sont à des teneurs élevées au-delà des seuils fixés par les normes de l'Association Française de Normalisation [18] (AFNOR).

4.2 REPRESENTATION DES RESULTATS DES ETATS DE SURFACE SOUS FORME GRAPHIQUE

Comme il est dit ci-haut, la couche contaminée peut être érodée, enterrée ou peut affleurer en surface suivant les différentes contraintes que subissent les sols. L'importance relative de celle-ci est un bon signe qui donne des renseignements sur les activités antérieures responsables de la dégradation des sols. Leur usage restreint se résume à la fabrication des briques, la construction des maisons d'habitation et bien d'autres usages. La couche contaminée affleure là où il y a de la végétation pendant que celle érodée se manifeste plus sur sols nus, alors que celle enterrée s'observe là où il y a d'importants travaux anthropiques. Pour ce qui est du cas présent, l'importance relative de la couche contaminée présente un effet plus marqué de l'état érodé car majoritairement les sols nus s'observent plus que ceux qui sont couverts. Il existe donc une corrélation entre sol nu-couche contaminée érodée-quartz. L'histogramme de la figure 2 montre visiblement les proportions de la couche contaminée dans les différentes sous-zones.

4.2.1 HISTOGRAMME SUR LES ETATS DE LA COUCHE CONTAMINEE DANS LES SOUS ZONES (EN %)

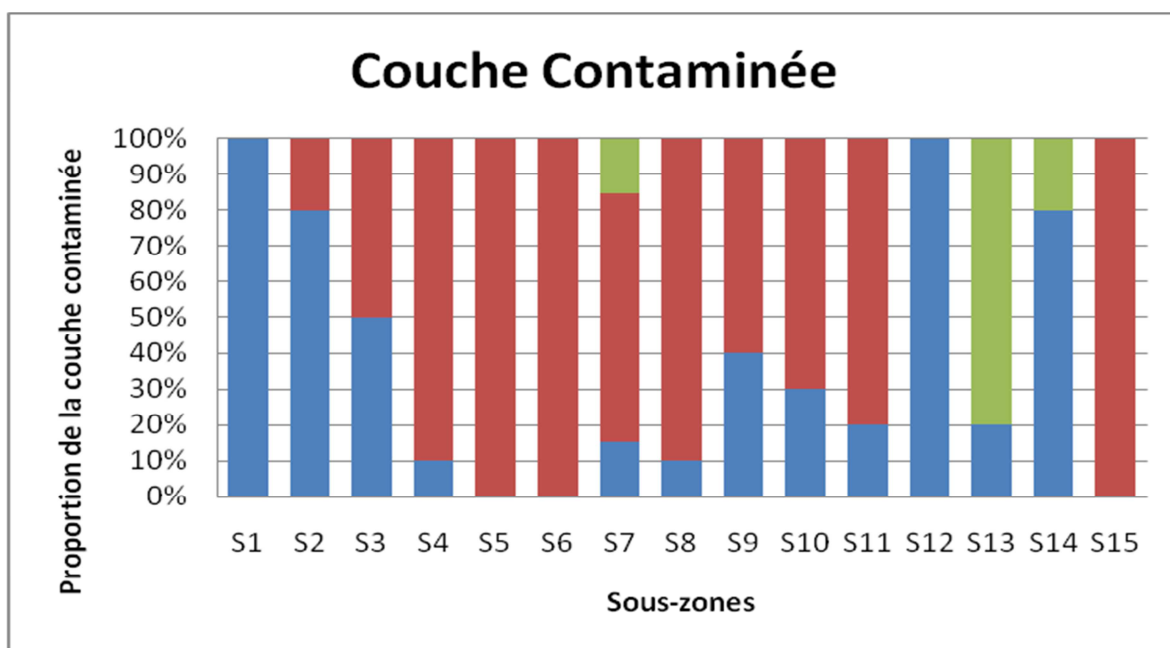


Figure 2: Etat de la couche contaminée

Légende

- Couche contaminée affleurée ■
- Couche contaminée érodée ■
- Couche contaminée enterrée ■

Il apparaît que les proportions de la couche contaminée montrent une tendance plus marquée de l'état érodé de celle-ci à partir de la troisième sous-zone (50%) jusqu'à la onzième érodée à 80%. Les sous zones 5, 6 et 15 présentent la couche contaminée complètement érodée (100%). Dans les sous zones 1 et 12, l'affleurement de la couche contaminée est totale (100%). C'est dans ces sous zone qu'on note une abondance du couvert végétal dominé par une espèce qui s'adapte aux fortes concentrations en ETM présents dans l'horizon de surface correspondant à la couche contaminée. Il s'agit de *Microchloa Altera*. Il convient de noter la présence des espèces végétales métalophytes dans les sous zones 2 et 14 à 80%, et à 50% dans la troisième. Par contre la treizième sous zone a cette couche contaminée enterrée (80%) probablement par les activités humaines développées sur ce site à savoir le creusage du Quartz.

4.2.2 HISTOGRAMME SUR LE TAUX DE RECOUVREMENT VEGETAL DANS LES SOUS ZONES ETUDIEES (0-100%)

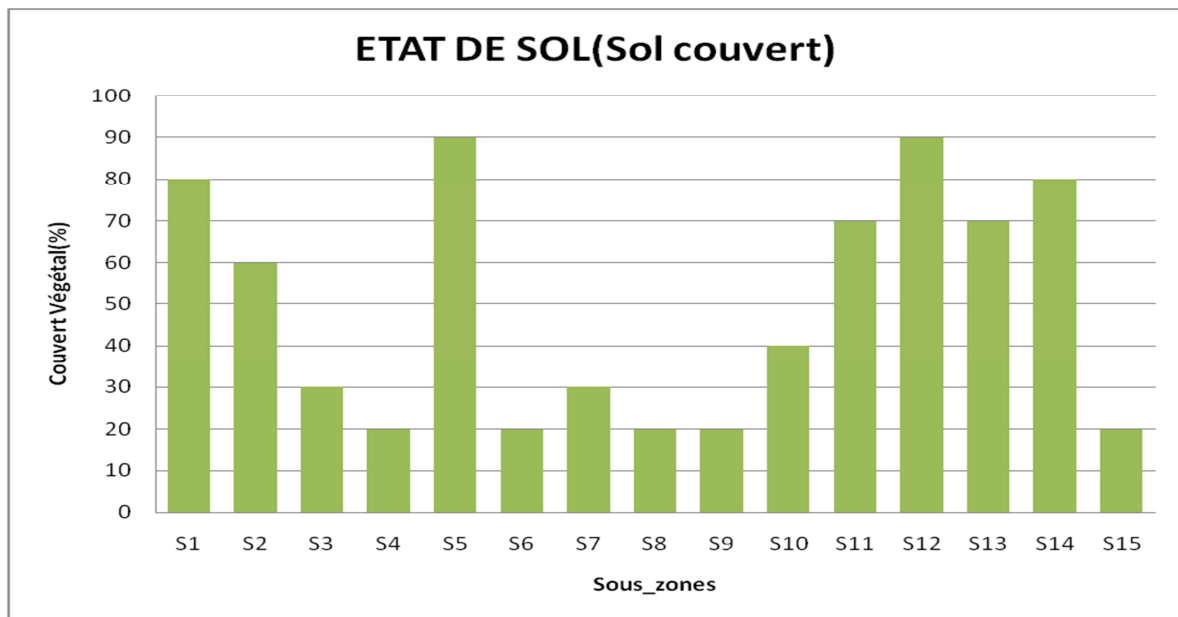


Figure 3 : couverture végétale.

Il ressort de la figure 3 que les taux du couvert végétal les plus élevés s'observent dans les sous zones 1, 2, 5, 11, 12, 13, 14 aux proportions de 80, 60, 90, 70, 90, 70, 80% du couvert végétal. Ceci s'explique par la présence dans ces sous zones de fortes teneurs des laterites à texture argileuse. Celles-ci favorisent la bonne croissance des espèces végétales par piégeage des éléments bénéfiques mais aussi des ETM, qui lorsqu'ils dépassent le seuil acceptable deviennent toxiques et inhibent ainsi la croissance [19]. Par contre le taux du couvert végétal est inférieur à 50% dans les sous zones 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, et 15.

Les espèces végétales présentes et dominantes sur le plateau Penga-Penga sont des métalophytes [20] avec prédominance d'une polycuprophyte locale connue: *Microchloa altera*, et d'une polycuprophyte absolue formant un tapis végétal au sol surtout en saison pluvieuse, il s'agit du *Bulbostylis perennis*. La couverture végétale est en corrélation avec l'état de la couche contaminée. On note l'affleurement de la couche contaminée dans les sous zones 1, 2, 5, 11, 12, 13, 14 ou les proportions du couvert végétal sont grandes. Ceci justifie la tolérance des polycuprophytes se développant au niveau de l'horizon de surface ayant la présence de cette couche contaminée (10.000ppm) sur le plateau Penga-Penga [10]. L'histogramme du taux de laterite le montre plus clairement.

4.2.3 HISTOGRAMME SUR LA NATURE DU SUBSTRAT DANS LES SOUS ZONES (EN %)

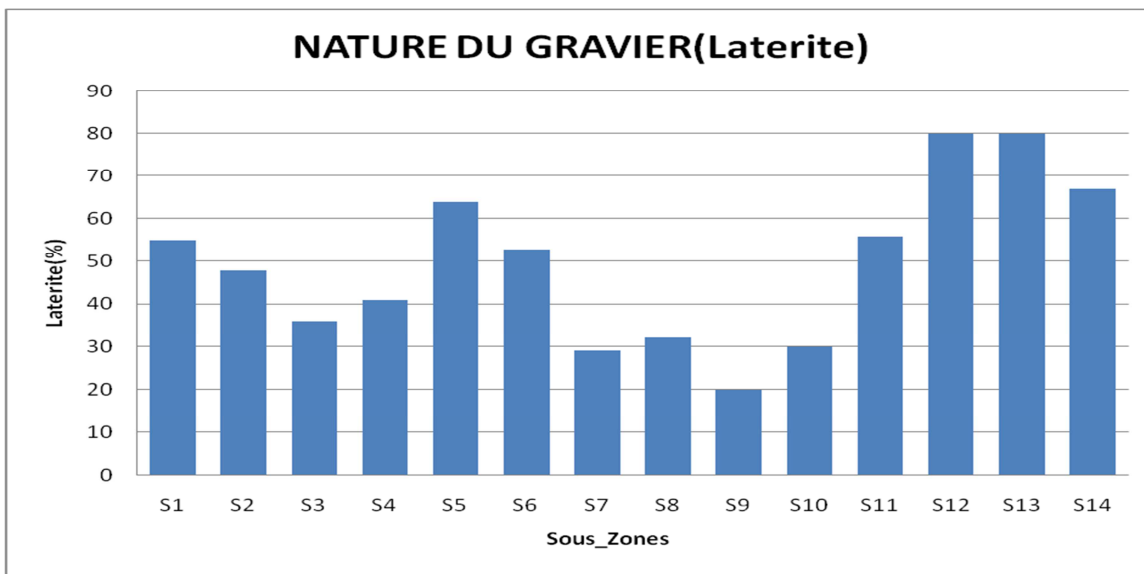


Figure 4: Nature du Substrat (Taux de la Latérite)

De la figure 4 ci-dessus, on observe la nature du substrat que constitue le sol dans les différentes sous zones. La latérite est dans les proportions supérieures à 50% dans les sous zones 1, 5, 6, 11, 12, 13 et 14 respectivement 55, 65, 54, 55, 80, 80, et 68%, elle a des proportions inférieures à 50% dans les sous zones 2, 3, 4, 7, 8, 9, et 10. De ce point de vue, il ressort clairement l'existence d'une corrélation entre la couverture végétale et le taux de laterite, c'est-à-dire le couvert végétal est très abondant dans les sous zones ayant de la latérite. On note aussi la présence du couvert végétal dans les sous zones au taux de Latérite inférieur à 50% mais d'une manière isolée. La croissance des plantes métalophytes est bonne dans les sous zones aux taux de latérite élevés.

4.2.4 HISTOGRAMME SUR LA NATURE DU SUBSTRAT DANS LES SOUS ZONES (EN %)

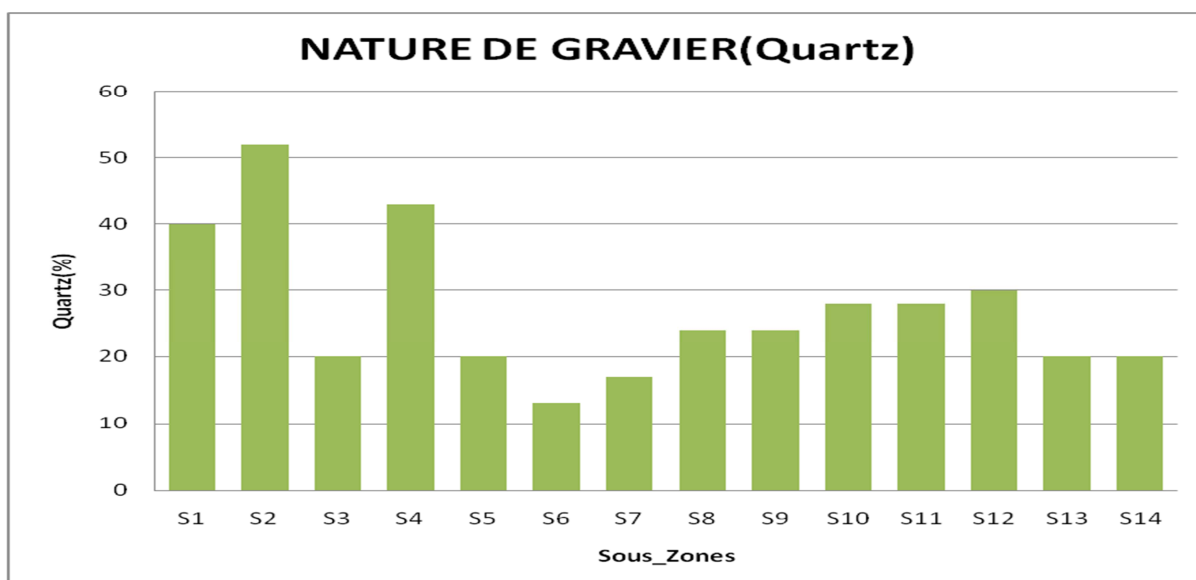


Figure 5: Nature du Substrat (Taux de Quartz)

Au regard de la figure 5 ci-dessus, il ressort que les taux du Quartz présent dans les différentes sous zones se trouvent inférieurs à 50%. Seule la sous zone 2 présente un taux de 52%. En se référant au taux de latérite évoqué précédemment, la sous zone 2 a un taux de 48%. Elle est suivie par la sous zone 4, 44% de Quartz et 40% de Latérite. Par contre, dans les autres sous zones, on note une faible distribution du Quartz dans le sol.

4.2.5 HISTOGRAMME SUR LE TAUX DU COUVERT VEGETAL DANS LES SOUS ZONES (SOL NU)

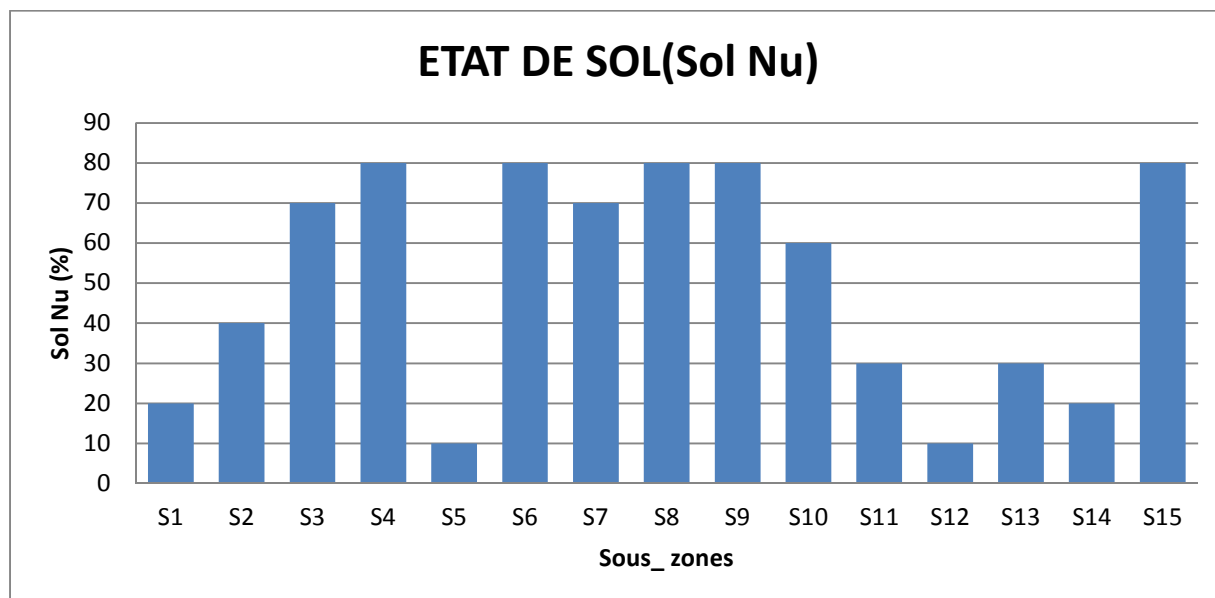


Figure 5 : Etat du sol

Il ressort de la figure 5 ci-dessus, la présence sur le site d'étude de vastes surfaces nues localisées dans les sous zones 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, et 15 aux proportions de 70, 80, 80, 70, 80, 80, 60, et 80%. On constate que les surfaces nues prédominent sur la zone d'étude, ceci s'explique d'une part par la problématique liée à la contamination des sols de cette partie située dans le cône de pollution par les éléments traces métalliques, et d'autre part la présence d'importants travaux anthropiques (Fabrication des briques et extraction du Quartz) qui nécessitent au préalable, la destruction des espèces végétales. D'où la présence des trous béants laissés par les traces de ces activités, ce phénomène s'observe au niveau du plateau et surtout au niveau du bas-fond. La présence de vastes surfaces nues occasionne d'intenses phénomènes d'érosion dans cette partie où la couche contaminée est fortement érodée par ruissellement de l'eau. C'est le cas des sous zones évoquées ci-haut. La topographie et les autres conditions du milieu favorisent la redistribution des éléments traces dans le pédopaysage [21]. Ce qui explique l'absence de la latérite et la présence plus marquée du quartz, abondant dans les sous zones où régner les vastes surfaces nues. De ce qui précède, on notera l'existence d'une corrélation entre les sols nus, la présence du Quartz, mais aussi l'état de la couche contaminée, c'est-à-dire sur le sol nu, la couche contaminée est érodée, on y note d'importantes activités anthropiques surtout l'extraction du Quartz. C'est dans ces sous zones où les phénomènes d'érosion montrent un travail de fond remarquable.

5 DISCUSSION

La zone d'étude a été sélectionnée sur le plateau du quartier GÉCAMINES. Les limites ont été définies par les différents transects principaux parallèles (4) et perpendiculaires (4) pour déterminer les sous-zones d'étude. Quinze sous-zones ont fait l'objet d'étude des états de surface partant du plateau jusqu'au bas-fond suivant les critères pris en compte. La couche contaminée peut être enterrée (I), érodée (II) ou affleurer en surface (III). Les autres critères étant la présence de la couverture végétale et son taux de recouvrement, la présence d'une charge caillouteuse grossière et son importance (graviers de latérite ou de quartz).

Les résultats généraux sur les états de surface (0-20cm) dans les différentes sous zones du site d'étude, à la Gécamines montrent une tendance plus marquée de l'état II, qui définit la couche contaminée érodée(II) caractéristique des surfaces nues présentes sur le plateau, c'est le cas des sous zones de la troisième à la onzième au regard des observations générales. La couche contaminée affleure là où le taux de recouvrement est supérieur à 60% pendant que celle érodée se manifeste

plus sur les sols nus, alors que celle enterrée s'observe là où il y a d'importants travaux anthropiques. S'agissant de la couverture végétale, les résultats montrent d'une manière générale que le taux du couvert végétal est supérieur ou égale à 60% sur sol couvert et avec la latérite comme substrat dans les sous-zones 1, 2, 5, 9, 12, 13, 14, 15. On constate que dans ces dernières, la présence de la végétation protège le sol contre l'érosion et les envols des poussières, donc contre la redistribution des ETM à travers le pédopaysage [22]. La couche contaminée dans ces sous-zones affleure, il y a donc une corrélation entre la couverture végétale-la latérite-et l'affleurement de la couche contaminée. Par contre dans les autres sous-zones, on constate la prédominance de vastes surfaces nues dans lesquelles le travail de l'eau a emporté l'horizon de surface A, laissant à découvert l'horizon B [23]. Dans ces sous-zones, on note l'absence totale de la végétation et la présence du Quartz qui apparaît déjà à 5cm. La couche contaminée est grièvement érodée, on constate cette situation surtout au niveau du plateau où on note l'intensification des activités anthropiques telles que l'extraction du Quartz, la fabrication des briques. Il est à noter une seconde corrélation entre surfaces nues- couche contaminée érodée-Quartz. S'agissant de la concentration en ETM dans les différentes sous-zones (nues ou couvertes), il est à noter que la teneur en ces éléments est fortement liée à la variation du pH [24, 25], qui justifie leur teneur élevée sur le sol couvert que sur le sol nu. Kaya (2006) a montré lors de son étude sur les états des surfaces que les sols nus caractérisés par l'absence de la couche contaminée présentent en général des teneurs légèrement inférieures à celle de l'horizon A, présent sur le sol à couverture végétale. Le caractère contaminé de l'ancien horizon A, enfoui ou non, se marque donc de manière claire et les matériaux de surface qui s'accumulent par-dessus, bien que moins contaminés, présentent néanmoins des niveaux de teneurs en général très élevés en éléments traces métalliques [26]. Le gradient de pH étant le facteur explicatif, justifie la différence des teneurs entre les sols nus et couvert [24]. La teneur en Cu est de l'ordre de 11.472 ppm à pH eau 5,5 sur les sols nus, par contre les sols couverts accusant un pH eau de 5,3 présentent la teneur en Cu de 26.823 ppm pratiquement le double de celle trouvée sur sols nus, juste avec une légère variation de pH. Ceci s'explique par l'existence de la couche contaminée dans les sous zones ou le couvert végétal présente un taux de recouvrement important. L'existence de cette couche contaminée est en relation directe avec la présence des espèces végétales métalophytes, qui fixent le sol en bloquant la translocation des ETM dans les parties aériennes [27, 28]. Ce qui justifie les fortes concentrations d'ETM dans l'horizon de surface (A).

6 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de déterminer les usages du sol au niveau du plateau de Penga-Penga qui aurait reçu les retombées des poussières métallifères de la Gécamines riches en particules métalliques. Ces poussières métallifères sont issues des fumées rejetées par la cheminée de l'usine pyrométallurgique de la Gécamines ayant fonctionné pendant plus d'un demi-siècle. Ces particules météoriques se sont accumulées dans les sols et ont atteint un niveau de dépassement de seuil (Toxicité). Ceci a occasionné à la suite des teneurs excessivement élevées des ETM (Cu, Co, Cd, Pb, Fe, Mn) dans les sols, le remplacement de la forêt existant avant l'installation de l'usine par une végétation herbacée de type métallifère.

Les fortes concentrations des ETM dans les sols situés dans le cône de pollution ont entraîné des conséquences négatives sur la croissance végétale devenue impossible si ce n'est l'application des techniques culturales appropriées pour espérer voir un semblant de végétation. Il existe de vastes surfaces nues sur le plateau,

Conditions favorisant l'accélération de la dégradation des sols mais aussi des surfaces avec un couvert végétal.

Les teneurs en ETM sont élevées dans les sous zones où les espèces végétales métallifères sont présentes et faibles dans les sous zones au sol nu.

La disparition de la végétation s'accompagne entraîne l'exposition du sol aux phénomènes d'érosions, au décapage de l'horizon A (contaminée) et surtout à la répartition et redistribution des éléments dangereux dans le sol par ruissellement, infiltration dans l'eau par ruissellement et lixiviation et dans l'air par le soufflement du vent surtout en saison sèche.

A la suite de cette situation avérée de pollution des sols de Penga-Penga, la bonne solution serait dans les conditions normales, de désaffecter ceux-ci contre tout usage, dans le but d'envisager leurs réhabilitations pour des usages futurs exempts des problèmes de santé: humaine, animale et végétale.

Malheureusement les sols sur le site de Penga-Penga font l'objet de plusieurs usages à savoir la fabrication des briques, le creusage de Quartz (très intense) et actuellement la construction des maisons d'habitation. Ces activités prépondérantes réalisées sur ce site exposent les sols à d'intenses phénomènes d'érosion occasionnant la dégradation des propriétés régaliennes du sol (Agriculture, Construction,...) ainsi que le transfert d'éléments traces métalliques par ruissellement dans le pédopaysage jusqu'à la rivière Karavia.

REFERENCES

- [1] OKITAUDJI R. L. 2002. Model de formation des gisements de cuivre-cobalt du Shaba en République Démocratique du Congo, Bull. ac. Lor. Sc., 40, 4.
- [2] François A., 1987. Synthèse géologique sur l'arc cuprifère du Shaba (Rép Du Zaïre). Centenaire de la Société belge de géologie. p 55-65.
- [3] Sys C. et Schmitz A.A., 1959, Note explicative des cartes de sol et de la végétation du Congo-Belge et du Rwanda-Urundi, région d'Elisabethville (Haut-Katanga), n° 9, A, B et C, Publication INEAC, Bruxelles.
- [4] SEAWARD MRD & RICHARDSON DHS. 1990. Atmospheric sources of metal pollution and effect on vegetation. In Shaw AJ.1990. Heavy Metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects. pp 75-92.
- [5] IPSC. 1998. Environmental health criteria 200, copper. pp. 269-270;
- [6] MBENZA M, ALONI K & MUTEB M. 1989 : quelques considérations sur la pollution de l'air à Lubumbashi (Shaba, Zaïre). Géo-eco-trop, 13, 1-4, 113-125;
- [7] Malaisse F., Colonval-Elenkov E., Brooks R.R., 1983. The Impact of Copper and Cobalt Orebodies upon the Evolution of Some Plant Species from Upper Shaba, Zaïre. Plant Systematics and Evolution. 142. p 207-221.
- [8] Calvet. R., (2003). Le sol, propriétés et fonctions. Phénomènes physiques et chimiques, application Agronomiques et environnementale. Dunod, Tome 1, 446 p.
- [9] Baize. D. BAL., 1998. Les éléments traces métalliques dans le sol ; approche fonctionnelle et spatiale. INRA. 129 p.
- [10] Kaya.D, 2007. Contribution à l'étude des facteurs de distribution spatiale des teneurs en éléments traces métalliques dans les sols et les sédiments dans le quartier Gécamines, DEA UNILU 50 p.
- [11] Andres. L., (2008). Etude de l'impact des contaminations métalliques sur les propriétés des sols autour de Lubumbashi. TFE FSAGx, 75p;
- [12] Kashimbo Kalala S., 2009. Contribution à la caractérisation des teneurs naturelle et de contamination en éléments traces métalliques des sols et sédiments autour de Lubumbashi. Mémoire d'études approfondies FSAUNILU, 88p;
- [13] Bruneau J.C., 1983. « Cartographie de l'environnement et aménagement urbain à Lubumbashi » dans Revue internationale d'écologie et de géographie tropicales 1(4): 19-47.
- [14] Leteinturier B., Malaisse F., 1999b. De la réhabilitation des sites pollués par l'exploitation minière du cuivre en Afrique centro-australe. Bull. Séance. Acad. r. Sci. Outre-mer 45 (1999). P 535-554 ;
- [15] FAO. 1998. World reference base for soil resources. World Soils Resources Report 84. Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome;
- [16] APHA, AWWA et WPC, 1999, Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington DC, USA, APHA , 20^eéd., 1368 p.
- [17] Kabata-Pendias A. et Pendias H., 2001. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, CRC Press Inc. 3^{ème} Ed. 315 p ;
- [18] AFNOR, 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. 3^{ème} édition. Paris-La défense. 534 p.
- [19] Deneux-Mustin.S, Roussel-Debet.S, Mustin.C, Henner.P, Munier-Lamy.C, Colle.C, Berthelin.J, Garnier Laplace.J, Leyval.C, Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. 282 p.
- [20] Ngoy S. M., Mpundu M. M., Faucon M-P., Michel Ngongo L.M., Marjolec in Visser M., Colinet G., Meerts P., 2010. Phytostabilisation of copper contaminated Soil in Katanga: An experiment with three native grasses and two amendments. International Journal of Phytoremediation, 12:616-632.
- [21] Shelton, I.J., Wall, G.J., et Coote, D.R. 1990. Risque d'érosion hydrique Ontario-Sud. Inventaire des sols du Canada. No de contribution 90-71, publication 5277/B. Centre de recherches sur les terres, Direction générale de la recherche Agriculture Canada, Quebec,
- [22] Van Vliet, L.J.P. 1989 Water erosion prediction in the Peace River region of British Columbia. Contribution 88-67, technical bulletin 1989-3E. Agriculture Canada, Research Branch, Land Resource Research Center.
- [23] Casenave. A. CAS., 1989, Les états des surfaces de la zone sahélienne ; influence sur l'infiltration. pp2 30.
- [24] Cambier .P. and Carltschaka R., (1999). Influence of reducing conditions on the mobility of bivalent trace metals in soils. In Selim H.M. (ed), fate and transport of heavy metals in Vadose zone. Lewis publishers, Boca Raton, 159-175.
- [25] Yu J.Y. et Heo B. Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. Appl. Geochem. 16, 1041-1053 (2001).
- [26] Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N. & Fourrier, H. (2002) Contamination des sols vers la profondeur à Noyelles-Godault et Aubry. In: Un point sur....les éléments traces métalliques dans les sols approches fonctionnelles et spatiales. INRA. Editions. Paris 565p ;
- [27] Tremel- Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- [28] Kabata- Pendias A., Pendias H., 2001. Trace elements in soils and plants, Boca Raton, CRC Press Inc. 3^eEd.