

Contaminations en éléments traces métalliques des termitières autour de Lubumbashi.

Lubalega K.T. ^{1*}, Ngongolo L.M. ², Lejoly L. ³, Colinet G. ⁴

Abstract

Contamination of termites by traces elements around Lubumbashi (D.R. Congo)

Published online:
27 March, 2015

The disappearance of vegetation in the PengaPenga areahood (Gecamines) was an indication of the environment degradation. High contents of traces elements from humankind were the cause of this degradation; the contamination source was mainly due to wind motion that contributes to accumulation of pollutants on deposit site. Elements traces content were determined from soils samples from PengaPenga and Kassapa termites. The following parameters were assessed: pH, particle size, Cu, Co, Pb, Zn, and Cd contents using physico-chemical methods of analysis.

Keywords:

Contamination, termite, ETM, soil, PengaPenga, Kassapa, Lubumbashi

Both colors red and yellow of termites were used to ascertain out contamination of soil. Traces such as copper, zinc and others metals were originated from mining process of those metals. Environmental conditions such as wind and rain water play a major role in spreading out traces metal which emanated from Gecamines chimney smoke.

Results showed that traces elements from sampled soil are the main cause of contamination (pollution) of PengaPenga areahood. Whereas termites had shown different concentrations in terms of pollutants.

^{1a} Département de sciences du bois et de la forêt (Centre d'étude de la forêt), Faculté de foresterie, de Géographie et de Géomatique, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6.

^{1b} Département de gestion des ressources naturelles, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa XI, RDC

² Université de Lubumbashi Faculté des sciences agronomiques Laboratoire de Pédologie, B.P 1825 R.D. Congo.

³ Université Libre de Bruxelles, Service de Botanique Systématique et Phytosociologie, 50 Av. F.D. Roosevelt, C.P. 169, B-1050 Bruxelles, Belgique.

⁴ Soil, Ecology, Land development Dpt Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Passage des Déportées, B-5030 Gembloux, Belgium,

* To whom correspondence should be address, Tolérant K. Lubalega, e-mail: : tlubalega@yahoo.fr et tolerant.lubalega-kimbamba.1@ulaval.ca

INTRODUCTION

Les termitières, faisant partie des écosystèmes de Lubumbashi, ont probablement été contaminées par les particules rejetées par la cheminée des usines métalliques de la Gecamines et, en fonction de l'orientation des vents dominants, leurs faces devraient accuser des concentrations différentes en polluants. Comme l'a souligné DIKUMBWA (1991), les vents dominants sont ceux du Sud-est (Alizé des Mascareignes) en saison sèche. Eventuellement du Nord-est (Mousson indienne) l'alizé détourné de Sainte-Hélène donne en saison des pluies un flux de l'Ouest, Nord-ouest (mousson par assimilation). C'est pourquoi nous avons investigué des

couples de faces des termitières, exposée au vent et opposée, pour vérifier cette hypothèse.

La gestion des contaminations de la contrée de la Gecamines par les métaux lourds passe par une étape nécessaire de diagnostic approfondi du sol. C'est dans cette optique que l'évaluation de la contamination des termitières du cimetière de la Gecamines PengaPenga se situe.

La présente étude s'inscrit dans le cadre des études sur la contamination des sites de la Gecamines par les éléments traces métalliques (ETM) et plus principalement leur distribution sur les termitières au voisinage du cimetière PengaPenga. Elle se propose aussi de contribuer

à améliorer la caractérisation des sols faite jusqu'à ce jour de la partie du site de la Gécamines qui est notre milieu d'étude. L'objectif général est la quantification des polluants pour lancer un plan de décontamination par des techniques appropriées comme la phytoremédiation. Cela sous-entend au sens large de :

- Comprendre la contamination métallique de ce site et les facteurs de distribution spatiale ;
- Analyser les mécanismes de dispersion, de remise en circulation des contaminants au sein des pédopaysages ;
- Evaluer les risques de transfert des contaminants dans la chaîne alimentaire ;
- Rechercher des solutions à court terme pour revégétaliser les surfaces dénudées ;
- Améliorer la caractérisation de la distribution spatiale des contaminants dans le Quartier Gécamines PengaPenga.

Fournir des arguments pour établir un diagnostic en matière d'écotoxicité des sols de Lubumbashi. Il faut savoir que les éléments traces métalliques sont non seulement phytotoxiques mais leurs accumulations dans les plantes ou leurs entraînements dans les nappes phréatiques ou les eaux superficielles sont susceptibles de contaminer à la longue l'ensemble de la chaîne trophique (BAIZE, 1998, DUCHAUFOR, 1994 ; BAIZE & TERCE 2004.). Ce travail s'est focalisé principalement sur les sols de termitières. MASHHADI et al, (2006) disent que les ETM peuvent altérer les paysages et l'environnement par le biais des perturbations des cycles biogéochimiques.

Le sol joue un rôle d'immobilisation des éléments traces métalliques. La mobilité des ETM est leur aptitude à passer dans des compartiments du sol ou ils sont de moins en moins énergiquement retenus (COLINET, 2003). Autour de Lubumbashi, les contaminations métalliques semblent être un problème crucial. Les émissions atmosphériques libérées par la cheminée de l'usine de la Gécamines ont détérioré l'environnement. Les différents contaminants accumulés en surface sur une grande étendue au voisinage de l'usine sont redistribués et provoquent des contaminations de l'ensemble du paysage. L'altération de l'environnement du Quartier Gécamines (PengaPenga) se traduit par l'absence de végétation ou sa distribution en mosaïques ou îlots de végétation (DUVIGNEAUD, 1958).

II. PRESENTATION DU RESEAU

Echantillonnage

II.1 Echantillonnage des termitières

Un inventaire exhaustif de localisation des termitières a été réalisé au mois d'Avril 2008 sur le secteur de la Gécamines. Ensuite, des termitières non perturbées par l'action anthropique, des deux types de couleur jaune et rouge en relation avec la charte Munsell ont été sélectionnées sur le terrain. 3 termitières rouges et 3

termitières jaunes ont été sélectionnées pour le site de la Gécamines et il a été procédé de même pour un site de référence non contaminé autour du Quartier de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UNILU de Kassapa. Le prélèvement des échantillons a été fait suivant une modalité raisonnée de 15 prélèvements au hasard sur chaque face des termitières choisies pour l'étude, à savoir la face exposée au vent et à la cheminée contre la face protégée du vent. Les 15 prélèvements ont été rassemblés en un échantillon composite. La profondeur du prélèvement est de 5 cm. En outre, la liste des espèces de la flore présente sur ces termitières a été relevée. Dans un deuxième temps, six termitières ont été sélectionnées sur base des premiers résultats afin de réaliser une étude plus détaillée. Une fois les échantillons de terre collectionnés, nous les avons fait sécher à l'air libre, puis passés au tamis de 2 mm de maille carrée avant leur expédition (250 g/échantillon) au Laboratoire de Géo pédologie de Gembloux, Université de Liège. La mesure du pH d'un échantillon d'une suspension du sol dans l'eau (pH eau) rend compte de la concentration en ions H₃O⁺ à l'état dissocié dans le liquide surnageant (BAIZE, 2000). Le pH eau a été mesuré au pH-mètre RADIOMETER PHM 82 après agitation de la terre fine dans l'eau distillée, pour un rapport terre/eau de 10/25, pendant 2 h, et centrifugation à une fréquence de 3000 tours/minute pendant 10 minutes. La valeur du pH eau caractérise le milieu physico-chimique, et donne une idée de conditions dans lesquelles le sol fonctionne ; il varie cependant de façon relativement importante au cours des saisons pour un même sol. Pour obtenir le pH_{KCl}, il suffit de substituer simplement la quantité de l'eau distillée, par le chlorure de potassium 1 N. La différence entre pH eau et pH_{KCl} (delta pH) donne une bonne idée sur l'acidité potentielle. Cette différence varie entre 0,5 à 1,5 unité de pH. Le pH KCl est en outre un paramètre plus stable dans le temps que le pH eau (BAIZE, 2000). Il existe plusieurs méthodes d'extraction des contaminants pour la prédiction de la biodisponibilité. L'évaluation des teneurs disponibles a été réalisée par la méthode de Lakanen-Erviö qui utilise un mélange acétate d'ammonium à 0,5 mol. L⁻¹ + EDTA 0,02 mol. L⁻¹, ajusté à pH 4,65. Cette méthode aurait l'avantage de fournir des résultats reproductibles pour l'extraction de Zn et de Cu (TURKER et HIGTH, 1990). De même, les essais de MULCHI et al. (1992) soulignent l'intérêt d'utiliser cet extractant pour évaluer la biodisponibilité de Zn, Cu, Ni et Cd de sols pollués, cultivés en tabac. Cette méthode se révèle plus ou moins satisfaisante (selon les métaux et les sols considérés) pour estimer la biodisponibilité (GUPTA et ATEN, 1993). Les modalités de la méthode sont : rapport terre : solution 1/5, agitation par retournement 1/2h, filtration, mesure des cations par absorption atomique au moyen d'un appareil de type VARIAN 220. Les méthodes statistiques (ANOVA) ont permis de déceler l'interaction des trois facteurs (Site, Couleur et face) sur l'ensemble des termitières échantillonnées ; le test t sur les échantillons appariés nous a permis de confirmer les différences des propriétés entre les termitières de la Gécamines et celles de Kassapa.

III.1 Caractérisation des termitières

Distribution spatiale des termitières à la Gécamines

Un dénombrement des termitières avec leurs points géo référencés au cimetière de la Gécamines a permis de faire une représentation cartographique des termitières du dit quartier à l'aide du logiciel Google Earth (Figure 1). La distribution spatiale des différentes termitières permet de mieux apprécier l'étendue des sols rouges et jaunes. Il apparaît que le modèle théorique qui localise les sols jaunes dans des positions plus déprimées du paysage par rapport aux sols rouges n'est pas vérifié dans cette zone. Au total 68 termitières sont dénombrées au cimetière PengaPenga.

Il se dégage un autre constat, que l'activité humaine est très intense et cette partie est trop sollicitée pour la fabrication des briques, l'exploitation des caillasses ou graviers pour la construction des caveaux, quelques fois les espaces destinés à l'inhumation étant saturés, les termitières servent alors de lieu propice pour cette fin.

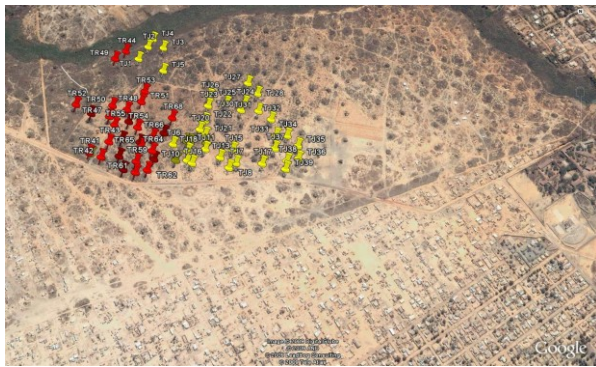


Figure1 : Représentation des 68 termitières du site de PengaPenga (Quartier Gécamines). En jaune, les termitières jaunes ; en rouge, les termitières rouges.

Caractérisation botanique des termitières.

La caractérisation botanique des deux sites (Gécamines et Kassapa) consiste en des relevés de la flore et en particulier de la présence des plantes indicatrices des sols contaminés. Selon SCHMITZ (1963), les savanes steppiques polycupricoles rases, parfois mono spécifiques, sur sols riches en minerais, dépôt de boues de concentrateurs, zones de retombée de fumées riches en vapeurs et poussières métalliques sont caractérisées par la présence des espèces *Bulbostylis pseudoperennis*, souvent accompagné d'*Haumaniastrum robertii* et parfois d'*Eragrostis racemosa*, *Arthraxon hispidus* formant ainsi l'association *Bulbostyletum pseudoperennis*. Donc la présence de *Bulbostylis pseudoperennis*, *Haumaniastrum katangense* (la variante d'*Haumaniastrum robertii*) et de *Rendlia altera* sur les termitières du site de la Gécamines est considérée comme un indice de contamination de ce sol.

Le Tableau 1 présente les résultats de l'inventaire de la flore, la présence des espèces sur la face A (protégée du vent) ou la face B (face au vent). Les espèces mentionnées supra sont absentes dans le site de Kassapa, éloigné des

contaminations atmosphériques. D'une façon générale ; l'examen du Tableau 1 montre que les espèces cuprophytes sont présentes dans le site de la Gécamines que dans le site de la Kassapa. Ces espèces choisissent des termitières en tenant compte de la richesse en teneurs disponibles. Les deux faces semblent être riches. On retrouve l'*Haumaniastrum katangense* sur les premières, quatrième et cinquième termitières, le *Rendlia altera* s'octroie la deuxième et la troisième termitière. Alors que le *Bulbostylis pseudoperennis* végète sur toutes les termitières. Donc les espèces sont sélectives en fonction des teneurs disponibles possibles et les espèces termitophiles sont presque présentes partout dans les deux sites. Aux côtés de ces espèces on observe les espèces propre au Miombo.

La flore termophile est très représentée avec des espèces comme *Markhamia obtusifolia*, *Balanites aegyptiaca*, *Azangarkeana*, *Allophylus africanus*, *Brachystegiaspp*, *Clerodendron spp*, *Vitex spp* et *Setaria indebergiana*

III.2 Caractérisation physico-chimique des termitières.

Comparaison inter-site

Les propriétés physico-chimiques des cinq premiers centimètres de la terre de termitière sont données aux tableaux 2 et 3, respectivement pour Gécamines et Kassapa. Les données sont stratifiées en fonction de la couleur des termitières et de l'orientation des faces par rapport à l'usine de la Gécamines et aux vents dominants.

Sur le site Gécamines, la terre de termitière est légèrement acide; les teneurs en COT (carbone organique total) varient de 1,6 à plus de 5 g.100g⁻¹. Les teneurs en ETM disponibles sont très élevées et les faces exposées au vent présentent des concentrations plus élevées que les faces opposées.

A Kassapa, les propriétés liées aux statuts acido-basique et organique ne semblent pas différentes de la Gécamines; tandis que les teneurs en ETM sont très nettement inférieures.

III.2. Présentation du modèle

Distribution spatiale des termitières

Les termitières de Penga Penga, traduisent une distribution spatiale marquant un facteur limitant dans leurs distributions et les mécanismes de causalité sont souvent utilisés pour expliquer les répartitions observées dans les communautés écologiques (PEMBERTON & FREY, 1984 in LUDWIG & REYNOLDS, 1988). Dans une population d'organismes, la répartition aléatoire implique un environnement homogène et des comportements non sélectifs. En revanche, les configurations non aléatoires (agrégées et uniformes) impliquent que des contraintes soient exercées sur la population. La configuration agrégée suppose que les individus sont regroupés dans les endroits les plus favorables. Il peut y avoir diverses causes comme le comportement grégaire, l'hétérogénéité de

l'environnement et les modes de reproduction et de dispersion (LUDWIG & REYNOLDS 1988). Le sol rouge n'est qu'une tâche sur la grande étendue caractérisée plus par un sol de fond jaune et par le fait même les termitières qui s'y trouvent sont plus proches nombreux que les termitières rouges. Les facteurs climatiques ont influencés

la distribution des contaminants sur les termitières, le vent et l'eau de pluies interviennent dans la redistribution des éléments traces métalliques qui furent rejetés par le truchement de la cheminée de la Gécamines (LETEINTURIER, & MALAISSE, 1999, DELAGE et PIERRE, 2005).

Tableau 1 : Relevé de la végétation sur les termitières de la Gécamines (1-6) et de Kassapa (7-12)

TAXON	FAMILLES	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12A
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	&B
<i>Bulbostylis pseudoperennis</i>	Cyperaceae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bidenspilosa</i>	Asteraceae	*	*	-	-	*	*	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bidensoligiflora</i>	Asteraceae	-	-	-	-	*	*	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Solanum spp</i>	Solanaceae	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Celosiatrygina</i>	Amaranthaceae	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Balanitaceae	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bosciacorymbosa</i>	Capparidaceae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Julbernardiapaniculata</i>	Fabaceae-Caesalpinioideae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brachystegiaspp</i>	Fabaceae-Caesalpinioideae	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Erythroxylondelagense</i>	Erythroxylaceae	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Haumaniastrumkatangense</i>	Lamiaceae	-	*	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Microchloaaltera</i> (Rendle) Stapf (Syn.: <i>Rendliaaltera</i>)	Poaceae	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Combretum molle</i>	Combretaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	*	*
<i>Imperatocylindrica</i>	Poaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Commelinaspp</i>	Commelinaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*
<i>Setarialindenbergia</i> (Nees) Stapf (Syn.: <i>S. thermitaria</i> Chiov.)	Poaceae	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Markhamiaobtusifolia</i>	Bignoniaceae	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Allophylus africanus</i>	Sapindaceae	-	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Zanthoxylumchalybeum</i> Engl. var. <i>chalybeum</i> (Syn.: <i>Fagarachalybea</i>)	Rutaceae	*	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Vitex spp</i>	Lamiaceae-Viticoideae	-	-	-	*	*	*	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cyphostemma spp</i>	Vitaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-
<i>Setarialindenbergia</i> (Nees) Stapf (Syn.: <i>S. thermitaria</i> Chiov.)	Poaceae	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Nicandraphysalisioides</i>	Solanaceae	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>hespesiagarckeana</i> F.Hoffm. (Syn.: <i>Azanzagarckeana</i>)	Malvaceae	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Clerodendrum spp</i>	Lamiaceae-Viticoideae	*	-	-	-	-	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Landolphiakirkii</i> R.A. Dyer	Apocynaceae	-	-	-	-	*	-	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Légende : * Présence --Absence

Tableau2: Propriétés physico-chimiques de la terre de termitières (0-5cm). 1. Site contaminé

Couleur	Face	Code	pH _{eau}	pH _{KCl}	COT	Cu	Co	Zn	Pb	Cd
					g 100g ⁻¹					
JAUNE	A	GTJ1A	6,0	5,3	2,5	1080	11	50	140	2,0
	B	GTJ1B	5,5	5,4	3,0	4469	34	252	284	7,2
	A	GTJ2A	5,3	5,0	2,4	2817	35	173	255	5,3
	B	GTJ2B	5,9	5,4	4,3	9064	57	308	280	11,1
	A	GTJ3A	5,4	4,8	1,7	1883	24	120	223	3,7
	B	GTJ3B	6,3	5,7	4,6	7461	49	293	260	10,9
ROUGE	A	GTR1A	4,8	4,2	1,9	1305	16	88	133	2,3
	B	GTR1B	5,3	4,8	5,2	3207	26	138	284	2,7
	A	GTR2A	5,0	4,6	1,6	2309	21	106	208	2,5
	B	GTR2B	6,0	5,4	2,2	5907	70	221	368	6,6
	A	GTR3A	5,6	5,2	3,1	2042	28	158	146	4,2
	B	GTR3B	6,6	5,8	2,4	1995	48	223	134	8,6

Face A : «face protégée du vent» ; Face B : «face au vent».

Tableau3: Propriétés physico-chimiques de la terre de termitières (0-5cm). 2. Site non-contaminé.

Couleur	Face	Code	pH _{eau}	pH _{KCl}	COT	Cu	Co	Zn	Pb	Cd
					g 100g ⁻¹					
JAUNE	A	KTJ1A	5,7	4,6	3,0	132	7,3	21,0	16,3	0,95
	B	KTJ1B	6,3	5,7	4,2	78	7,2	21,0	11,0	0,85
	A	KTJ2A	6,5	5,8	3,4	66	6,9	18,8	9,8	0,80
	B	KTJ2B	6,9	6,6	3,2	62	6,0	15,0	10,2	0,75
	A	KTJ3A	6,7	6,1	4,3	83	6,7	21,0	12,8	0,85
	B	KTJ3B	6,4	5,5	3,7	87	6,6	18,8	11,8	0,65
ROUGE	A	KTR1A	5,9	5,0	1,9	36	2,8	8,8	5,5	0,23
	B	KTR1B	6,3	5,4	2,2	42	3,3	11,4	6,9	0,31
	A	KTR2A	6,6	5,8	2,4	44	3,7	13,8	8,1	0,45
	B	KTR2B	6,0	5,0	2,6	39	3,4	11,5	6,6	0,33
	A	KTR3A	6,2	5,6	2,5	44	3,3	11,4	6,4	0,36
	B	KTR3B	6,5	6,3	2,3	65	3,8	20,0	7,7	0,55

Face A : face « protégée » ; Face B : face au vent.

Caractérisation botanique des termitières

On retrouve l'*Haumaniastrumkatangense* sur les premières, quatrième et cinquième termitières, le *Rendliaaltera* s'octroie la deuxième et la troisième termitière. Alors que le *Bulbostylis pseudoperennis* végète sur toutes les termitières. Donc les espèces sont sélectives en fonction des teneurs disponibles possibles, en présence et les espèces termitophiles sont presque présentes partout dans les deux sites. Aux côtés des ces espèces on observe les espèces propre au Miombo. Les indicatrices biologiques révèlent une disponibilité en éléments traces élevés dans le site contaminé, alors que leur absence sur les termitières du site non contaminé prouve une fois de plus l'éloignement du site non contaminé et confirme sa prise en compte comme contrôle de l'expérimentation. Le constat de SCHMITZ (1963), les savanes steppiques polycupricoles rases, parfois mono spécifiques, sur sols riches en minerais, dépôt de boues de concentrateurs, zones de retombée de fumées riches en vapeurs et poussières métalliques sont caractérisées par la présence des ces espèces trouve ici une justification dans les milieux où les contaminations se révèlent par la dégradation du milieu et la disparition de la végétation naturelle ; par contre c'est un aspect mosaïque ou îlot de végétation que l'on observe sur place comme le soulignait DUVIGNEAUD (1958).

Caractérisation physicochimique des termitières échantillonnées.

En première approche, une ANOVA à trois facteurs - Site, couleur, face- a été réalisée à partir des données des Tableaux 2 et 3. Cela permet de voir si les facteurs sont en interaction ou non. Dans l'affirmative, il faut décomposer ANOVA à deux facteurs. Il ressort de cette analyse de variance que pour les deux pH : pH_{eau} et pH_{KCl} : il n'y a pas d'interaction et l'effet site est significatif : le site de la Gécamines a des valeurs de pH inférieures aux valeurs de pH du site de la Kassapa. Pour le carbone organique total ou COT : il n'y a pas d'interaction, il y a des différences significatives en fonction de la couleur et la face. Par contre pour les éléments traces métalliques comme le Cu (P<0,008), Co (P<0,003), Cd (P<0,000), Pb (P<0,000) et Zn (P<0,009), il existe une interaction significative entre site et face. Cela veut dire que les différences entre les faces A et B ne sont pas les mêmes pour la Gécamines et pour Kassapa. Il s'agit clairement d'un effet de la contamination : A et B sont similaires sur Kassapa tandis qu'il y a une face plus contaminée que l'autre sur Gécamines. L'effet site est également significatif pour les deux sites (Gécamines > Kassapa).

Étant donné que les faces A et B ne sont pas indépendantes mais liées à une même termitière, l'ANOVA ne permet pas d'exploiter toute l'information utile. Des

tests t sur échantillons appariés ont été réalisés pour Gécamines et pour Kassapa.

Les analyses statistiques confirment qu'il existe des différences de propriétés entre les termitières de Gécamines et les termitières de Kassapa et des différences entre les propriétés des termitières jaunes avec des termitières rouges. Cette différence est observée pour le carbone organique total et le cadmium. Il existe aussi une différence entre les faces exposées au vent et les faces protégées pour la Gécamines qui présente clairement des effets des contaminations éoliennes alors que les faces des termitières de Kassapa sont identiques.

V. CONCLUSION GENERALE

La présente étude confirme une différence des teneurs des couples des faces de termitières sélectionnées pour la quantification de teneurs en éléments traces métalliques des deux sites (la Gécamines et la Kassapa) sur les termitières des couleurs rouges et des termitières jaunes, par une approche comparative des analyses physicochimiques. Les termitières jaunes du site de PengaPenga présentent des teneurs élevées en éléments traces. Les analyses statistiques ont permis la mise en évidence des contaminations métalliques des terres de PengaPenga(Gécamines). Les indicatrices dont des espèces cuprophytes sur les termitières de PengaPenga le confirment et cette contamination est traduite par les surfaces dénudées à la Gécamines(PengaPenga). Les faces comparées sont différentes pour la Gécamines et ne les sont pas pour la Kassapa; la Gécamines présente clairement un effet des contaminations éoliennes ou les faces B qui sont exposées à la cheminée présentent des teneurs élevées par rapport aux faces protégées A. La redistribution des ces contaminants est assurée par le vent et les eaux de ruissellement. En tenant compte de ce constat un plan d'aménagement dans la révégétalisation est souhaitable.

Remerciements

Notre gratitude s'adresse à la Coopération Universitaire au Développement (CUD, Belgique) et le Projet REMEDLU pour le financement de la recherche et la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi pour l'encadrement.

RESUME

La dégradation de l'environnement du quartier PengaPenga (Gécamines) s'est traduite par la disparition de la végétation. La teneur élevée en éléments traces métalliques (ETM) d'origine anthropique serait à la base de cette dégradation; la source de contamination fût un élément déterminant suite aux vents dominants pour l'accumulation au lieu du dépôt.

La teneur en ETM a été déterminée à partir des sols prélevés des termitières de PengaPenga et celles des environs du Kassapa. Les paramètres suivants ont été déterminés pH, la granulométrie, Cu, Co, Pb, Zn et Cd en

utilisant les méthodes d'analyses physiques et chimiques. Le listage de la flore en présence sur les termitières de 2 couleurs rouges et jaunes a servi de déceler une contamination par la présence des espèces indicatrices des sols pollués; l'origine anthropique des ces éléments traces métalliques serait les usines métallurgiques d'extraction du Cu de la Gécamines. Les facteurs climatiques (le vent et les eaux des pluies) interviennent dans la redistribution des éléments traces métalliques qui furent rejetés par le truchement de la cheminée de la Gécamines. Il ressort des analyses que les éléments traces des sols prélevés sont au fait déterminant et induisent la contamination du quartier PengaPenga. Les couples des faces des termitières échantillonnés accusent des concentrations différentes en polluants.

Mots-clés: contamination, termitière, ETM, sol, PengaPenga, Kassapa et Lubumbashi

VI. REFERENCES

- BAIZE D.** (1998) Les éléments traces métalliques dans le sol approche fonctionnelle et spatiale
- BAIZE D** et **TERCE M.** (2004) Devenir des éléments traces métalliques dans les sols du Vexin Français soumis à des épandages des boues.
- CHASSIN P., BAIZE D., CAMBIER Ph.** et **STERCKEMAN T.** (1997) Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et à long termes, Chambres d'Agriculture, supplément au n° 856, pp. 35-39.
- COLINET G.** (2003) Elément traces métalliques dans les sols. Contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge, Thèse de doctorat.
- DELAGE A.** et **PIERRE H.** (2005) Géo mécanique environnementale, sols pollués et déchets; Lavoisier, 2005.11 Rue Lavoisier 75008. Paris.
- DIKUMBWA N.** (1991) L'impact des facteurs éco climatiques sur les cycles biogéochimiques en forêt dense sèche à Entandrophragmadelevoyi De Wild. Au Shaba méridional(Zaire). Thèse de doctorat, Univ. Liège.199p.
- DUCHAUFOR PH** (1994) Pédologie1 pédogénèse et classification
- DUCHAUFOR P** (1994)Pédologie2 propriétés et constituants du sol
- DUVIGNEAUD P.** (1955) Etude écologique de la végétation en Afrique tropicale. Ann. Biol., 31(5-6) : 375-392.
- DUVIGNEAUD, P.** (1958) La végétation du Katanga et de ses sols métallifères, Bull. soc. roy. Bot. Belgique, 90 : 127-186.
- DUVIGNEAUD P. & AUDIN M.** (1956) Géographie des caractères et évolution de la flore soudano-Zambézienne.III. Les combretum arborescents des savanes et forêt claires du Congo méridional. Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique.88 : 59-90.
- DUVIGNEAUD et DENAEYER** (1963) Cuivre et végétation au Katanga. Publication N°47extrait du bulletin de la société royale de botanique de Belgique, T, 96p. 93-231.

- DUVIGNEAUD P. & ROCHES, R.** (1951) La géographie de caractères chez les Erythrines à feuilles tomenteuses des savanes du Congo- Belge. *Lejeunia*, 15: 83-90.
- ITRC** (Interstate Technology and Regulatory Cooperation), 1997. Emerging Technologies for the Remediation of Metals in Soils – Phytoremediation, FINAL.
- MARSCHNER** (2002) Mineral nutrition of higher plants .second edition Elsevier academic Press 84 theobaldd.s Road, London wcix 8RR, UK [http//www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)
- MASHHADI, BOOJAR et GOODARZli** (2006) The copper tolerance strategies and the role of antioxidative enzymes in three plant species grown on copper mine .Department of biology University of tarbiatMoalem n°49 Dr Mofateh avenue. P.O Box 15614 Iran.
- LETEINTURIER B. & MALAISSE F.** (1999) Réhabilitation des sites pollués par l'exploitation minière du cuivre en Afrique Centro-australe. *Bull. seanc. Acr.r. sc outre-mer*.
- LETEINTURIER B. & MALAISSE, F.** 1999. The copper flora of Katanga: a phytogeographical analysis: *Geo- Eco-Trop*, 23, 31-48.
- LETEINTURIER B.** (2002) Evaluation du potentielphytocénotique des gisementscuprifèresd'Afrique Centro-australe en vue de la phytoremédiation de sitespollués par l'activitèminière. Thèse de doctorat, FSAGx, 364p.
- LUDWIG, A.J.** et Reynolds, J.F. 1988. - Statistical ecology. A primer on methods and computing. Wiley-Interscience, New York.
- SCHMITZ** (1962) Les Muhulu du Haut KatangaMèridional. *Bull. Jard. Bot. Etat, Bruxelles*, 32(3) ,221-299.