



Flore des anomalies géobotaniques de la ceinture cupro-cobaltifère du Katanga méridional.
Les spécificités biotopiques par le coefficient de recouvrement et le degré de sociabilité des phytotaxons.

Flora of the geobotanical anomalies of the cupro-cobaltiferous belt of southern Katanga.
The biotopical specificities through the recovery coefficient and the sociability degree of the phytotaxa.

N^oLandu DIKUMBWA¹, Anselme MBENZA MUAKA², Olivier NGOIE INABANZA³
& François MALAISSE^{4,5}

Abstract: The copper and cobalt exploration areas of Zambia and Democratic Republic of Congo are on folded sediments of Proterozoic Superior Period, included between 1000 and 600 millions of years, taking form of an arc or cupriferous belt. The folding of these sediments are accentuated in the internal zona of median part of the cupriferous arc and the series of mines shows on the surface in flakes, forming the geobotanical anomalies. Phytosociological surveys carried out show a great richness in cupro-cobaltiferous flora. In effect, 430 phytotaxons belonging to 72 families with 27 Pteridophytes are been counted upon eight mineralized hills distributed between Fungurume and Tenke centres. The spatial sharing indicates 25.8 % of common taxons on the eight hills, 18.1 % are specific to Fungurume sector, 27.7 % to Tenke sector and 28.4 % belonging only to some of the eight hills. The coefficients of recovery and the sociability degree are higher in anthropic biotopes (5.5) than in natural locations.

Key words: Geobotanical anomalies, Cupro-cobaltiferous flora, Recovery coefficient, Sociability degree, Phytotaxon, Phytosociological surveys.

Résumé: Les zones d'exploitation des mines de cuivre et de cobalt du Congo Démocratique et de la Zambie se trouvent sur des sédiments plissés du Protérozoïque Supérieur, de l'âge compris entre 1.000 et 600 millions d'années, formant une ceinture ou arc cuprifère. Les plissements de ces sédiments se sont accentués dans la zone interne de la partie médiane de l'arc cuprifère et la série de mines affleure en écailles et constitue les anomalies géobotaniques. Les relevés phytosociologiques qui y ont été réalisés montrent une grande richesse en flore cupro-cobaltifère. De fait, 430 phytotaxons appartenant à 72 familles dont 27 Ptéridophytes ont été recensés sur 8 collines minéralisées situées entre Fungurume et Tenke. La répartition spatiale donne 25,8 % des phytotaxons communs aux huit collines ; 18,1 % spécifiques au secteur Fungurume ; 27,7 % au secteur de Tenke et 28,4 % se répartissant seulement dans certaines des huit collines. Les coefficients de recouvrement et le degré de sociabilité sont plus élevés dans les biotopes qui ont résulté des activités humaines (5,5) que dans les milieux naturels.

Mots-clefs : Anomalies géobotaniques, Flore cupro-cobaltifère, Coefficient de recouvrement, Degré de sociabilité, Phytotaxon, Relevé phytosociologique.

INTRODUCTION

Les zones d'exploitation des mines de cuivre et de cobalt de la Zambie et du Congo Démocratique s'agencent sur des sédiments plissés qui forment la ceinture dite de cuivre ou arc cuprifère, comme elle se présente en forme d'arc (Fig. 1) ou encore Copper belt, son appellation anglophone. Selon BROOKS et al. (1985), ces sédiments s'étendraient sur 800 km, de la Namibe jusqu'au pédoncule congolais en passant par l'Angola et la Zambie à travers la région de Solwezi. Par ailleurs, CARON & KAMPUNZU (*in* BRUNEAU & PAIN, 1990), soulignent qu'ils sont du Protérozoïque Supérieur et de l'âge compris entre 1.000 et 600 millions d'années. C'est le Super Groupe du Katanga ou Katanguien, à la base duquel se situe le Roan, une formation

¹ Professeur à l'Université de Lubumbashi (RDC), Professeur à l'Université Agostinho Neto (ANGOLA), C.P. 467 Luanda, dikumbwa@gmail.com

² Jadis Professeur à l'Université de Lubumbashi (RDC)

³ Assistant au Département de Géographie et Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Lubumbashi (RDC), adresse mail : oliviermatobela@lie.f

⁴ Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique, adresse mail : malaisse1234@gmail.com

⁵ Botanical Garden Meise, Nieuwelaan 38, B-1860, Meise.

géologique dont l'épaisseur excède les 2.000 mètres et qui inclut la Série de Mines et ses minéralisations essentielles. Selon ces derniers auteurs, l'arc cuprifère congolais renfermerait plus de 10 % des réserves mondiales de cuivre et plus de 50 % de celles de cobalt.

Dans la zone interne de la partie médiane de l'arc cuprifère, aux environs des centres miniers de Likasi, de Fungurume et de Tenke, les plissements se sont accentués et la Série de Mines affleure en écaillés et constitue ce qu'on appelle les anomalies géobotaniques. Dans ce secteur, de bas en haut, la géologie se compose de Roches Argilo-Talqueuses (RAT), de Roches Siliceuses Feuilletées (RSF), de Roches Siliceuses Cellulaires (RSC), de Schistes Dolomitiques (SD) et de Calcaires avec des Minéraux Noirs (CMN). On observe en plus que les formations de RSC affleurent quasi partout en crêtes rocheuses dans les axes des collines.

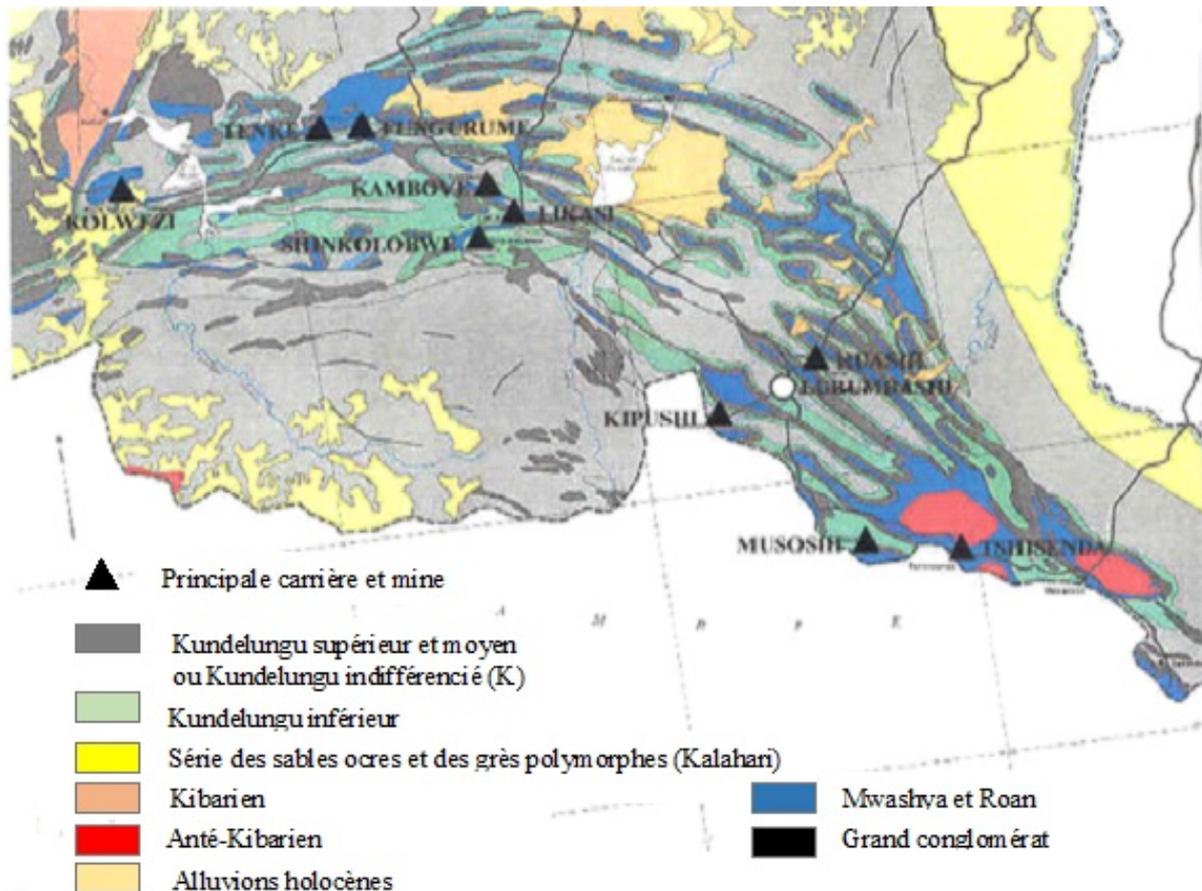


Fig. 1 : L'arc cuprifère katangais (BRUNEAU & PAIN, 1990).

Les sols des anomalies géobotaniques sont de teneur élevée en métaux lourds et une végétation de nature édaphique s'y est adaptée et développée. DUVIGNEAUD (1959), MALAISSE et al. (1983), BROOKS et al. (1985), MALAISSE (1995) l'ont nommée flore cupro-cobaltifère ou tout simplement flore de cuivre. Comme autrefois dans la forêt claire zambézienne, la découverte en son sein des îlots de forêt dense sèche (dry evergreen forest) avait suscité un grand intérêt scientifique ; de même aujourd'hui encore, la présence d'une flore propre à ce type de sols a généré et continue à générer une réelle curiosité éco-botanique.

Ainsi, aux environs immédiats de la ville de Lubumbashi, capitale de la province du Haut-Katanga, à la mine de l'Etoile, la flore cupro-cobaltifère a fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Parmi lesquels on peut notamment citer la phytochimie (MALAISSE & GRÉGOIRE, 1978), la flore cuprifère (FAUCON et al., 2007, 2010 ; ILUNGA WA ILUNGA et al., 2015), et la phytostabilisation (NGOY SHUTCHA et al., 2010, 2015).

À la demande expresse du bureau d'études britannique, GOLDER ASSOCIATES, qui agissait au nom du Consortium Multinational Tenke-Fungurume Mining, comme prérequis au financement de l'exploitation minière (en vertu des résolutions du Sommet de la Planète Terre de Rio, 1992), les travaux d'évaluation de la flore des collines minéralisées ont été initiés par MALAISSE et poursuivis par DIKUMBWA, MBENZA et les défunts techniciens, KISIMBA et MUJINGA, du laboratoire d'Écologie Végétale de la Faculté des Sciences de l'Université de Lubumbashi. Cette équipe a donc exploré le domaine minier de Tenke-Fungurume Mining (Fig. 2), lequel s'étend entre le centre de Fungurume et celui de Tenke.

La présente recherche, subséquente à celle de DIKUMBWA & MBENZA (2010), s'est consacrée à l'examen des coefficients de recouvrement et des degrés d'agrégation des phytotaxons inféodés aux faciès naturels (ceinture à *Uapaca robynsii*, les parois rocheuses, l'écotone RSC-RSF), aux formations géologiques auxquelles on s'est précédemment référé et aux milieux dérivés des activités anthropiques, notamment les anciennes excavations, les zones de dissolution, les zones de solifluxion ainsi que les perturbations des rongeurs et des fousseurs.

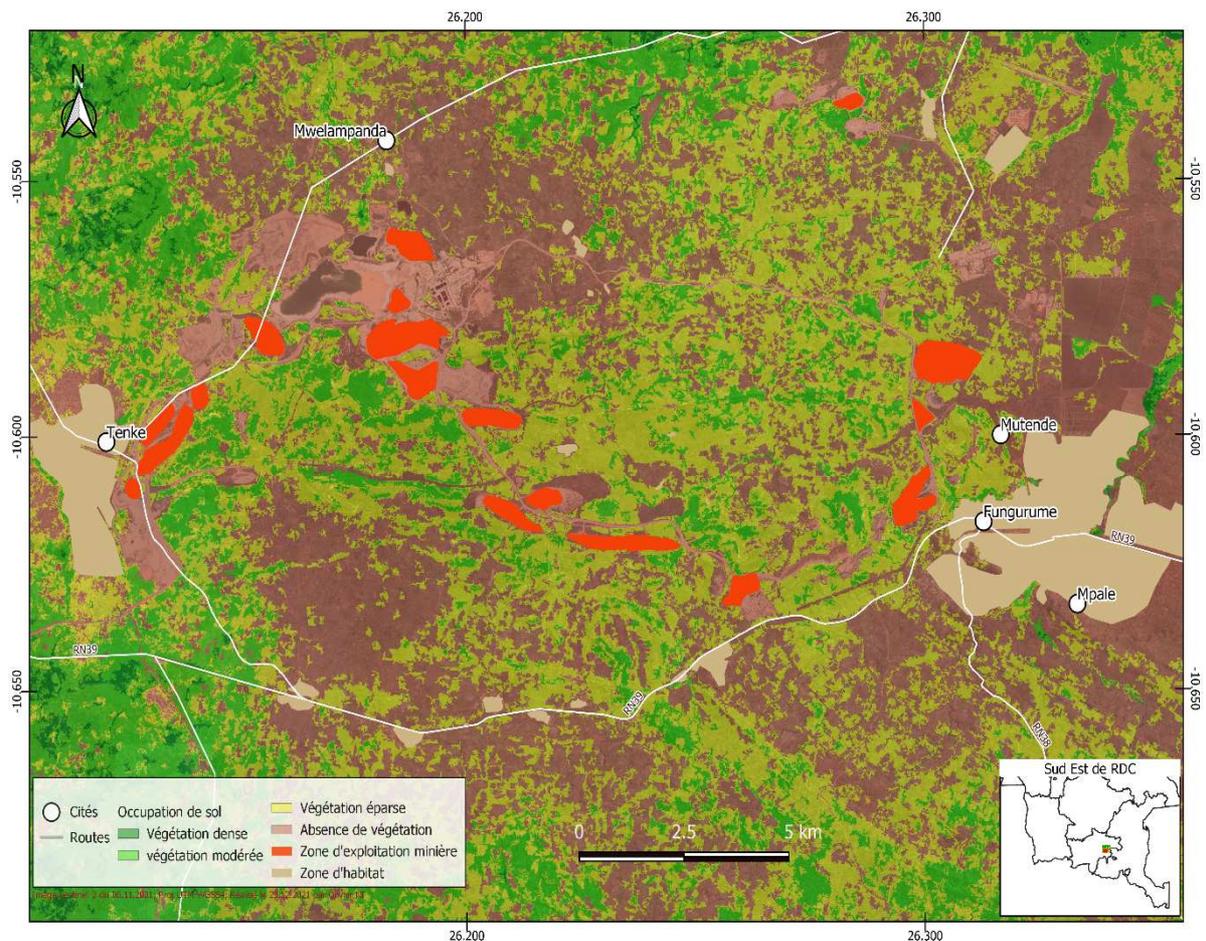


Fig. 2 : Domaine minier de Tenke-Fungurume Mining. Image Sentinel du 06.11.2021

MILIEU D'ÉTUDE

Le territoire sur lequel les recherches ont été menées (Fig. 2) est un espace d'environ 30 km de long, séparant le centre de Fungurume à celui de Tenke, sur 10 km de largeur. Des collines minéralisées (chauves) et non minéralisées (boisées) ainsi que des surfaces planes non minéralisées s'y succèdent (Photo 1).

Les observations se sont échelonnées tout au long de l'année climatique 1997-1998, au cours de laquelle, de septembre à avril, une lame de précipitations pluvieuses de 1386,4 mm (tableau 1) a été recueillie à la station météorologique de Tenke-Fungurume Mining (10°34'S, 26°11'E). Le maximum mensuel de 400 mm s'est situé en janvier, conforme au modèle du climat régional dont la moyenne annuelle, de 1912 à 1980, a été évaluée à 1237,5 mm (NTOMBI, 1985). La répartition mensuelle des pluies, telle qu'elle figure au tableau 1,

étant restée absolument semblable aux valeurs moyennes régionales, la végétation a donc connu un développement optimal.

Tableau 1: Précipitations pluvieuses mensuelles (mm) pour l'année climatique 1997-1998.

Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin
0,0	0,0	4,5	16,8	93,8	361,9	392,7	247,1	240,0	29,6	0,0	0,0



Photo 1: Collines boisées non minéralisées et chauves minéralisées (Photo N'Landu DIKUMBWA, 1998).

Les faciès naturels sont représentés par la ceinture à *Uapaca robynsii* (Cua), une zone limitant la partie supérieure minéralisée et la partie basale non minéralisée de la colline (photos 1 & 3), par l'écotone RSC-RSF, aire de transition entre ces deux formations géologiques, et par les parois rocheuses (Par), milieux autochtones intacts, plus sélectifs, moins sujets à la compétition, mieux conservées à la colline de Kwatebala. Les parois rocheuses fournissent donc un matériel de premier choix. Outre les faciès naturels, on isole aussi les couloirs de coulée des blocs arrachés à la corniche (Bac) et les cônes de pollution ou d'épandage (Cep) qui constituent d'une part, les résultats de météorisation par thermoclastie des roches exposées dans la région dorsale des collines et d'autre part, les zones d'expansion des matériaux érodés en amont de versant.

On dissocie également les zones de dissolution (Zod) et les torrents de solifluxion (Tof). Les zones de dissolution sont des milieux humides, concaves de résurgence des infiltrations d'amont des collines. Cette résurgence découle de changement de déclivité du terrain ou d'affaissement de terre par dissolution des roches subjacentes. Tandis que les torrents de solifluxion sont des zones formées par des matériaux non consolidés, résiduels ou transportés par des mouvements gravitationnels collectifs, qui recouvrent la roche fraîche.

Enfin, les biotopes dérivés des activités zooanthropiques, les excavations (Exc), sont les marques de travaux miniers anciens et le remuement subséquent de la terre par les animaux fouisseurs et rongeurs, notamment le rat-taube (*Cryptomys hottentotus*). Milieux hétérogènes, de compétition, d'exposition en surface des matériaux de couches géologiques de diverses profondeurs, habitats propices au développement des espèces des anomalies géobotaniques. Ce qui justifie, par ailleurs, le nombre élevé de familles (11) et de taxons spécifiques (45,2 %) dans le secteur le plus perturbé de Fungurume (Tableau 2).

MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Entre Fungurume et Tenke, huit collines minéralisées ont été sélectionnées, dont cinq, à savoir collines II, III, VI, Kabuelunono et Kwatebala, avaient déjà été partiellement exploitées entre 1971 et 1976 par la Société Minière de Tenke Fungurume (SMTF). Leur choix a été dicté par des exigences de priorités d'exploitation. Les trois dernières collines, Goma-est, Goma-ouest et Shimbidi, étaient encore intactes. Les collines II, III et IV relèvent du secteur oriental (Fungurume), tandis que Goma-est, Goma-ouest, Kabuelunono, Kwatebala et Shimbidi relèvent du secteur occidental (Tenke).

La récolte des spécimens a été faite selon les méthodes de carré minimum, suivant trois transects orientés dans le sens longitudinal, transversal et diagonal de la colline. En conformité avec les fluctuations du

climat régional, MALAISSE et al. (1978) ont distingué cinq saisons dans la phénologie de la végétation : la saison sèche froide (Mai-Juillet), la saison sèche chaude (Août-Septembre), la saison des pluies précoces (Octobre-Novembre), la saison de grandes pluies (Décembre-Février) et la saison des pluies tardives (Mars-Avril). Pour en tenir compte, le dénombrement phytosociologique ainsi que la récolte du matériel botanique, entreposé au Jardin de Kew à Londres, ont été effectués de manière répétitive aux mois de janvier, avril, juin septembre et novembre.



Photo 2: Erosion des remblais : collines III (Photo N'Landu DIKUMBWA).

Précisons par ailleurs que le coefficient de recouvrement ou coefficient d'abondance-dominance est un paramètre qui évalue la manière dont un spécimen végétal spécifique occupe l'espace considéré. De cette façon, un phytotaxon qui occupe moins de 5 % de l'espace est dit rare (R), il prend la cote 2 quand il en tient 5 à 20 %, de 20 à 50 % il reçoit la cote 3, de 50 à 75 % elle est de 4 et enfin de 5 pour plus de 75 %. On utilise également les cotes + pour marquer la présence et 1 pour abondant.



Photo 3. Aspect d'une colline minéralisée et chauve avec ceinture d'*Uapaca* (Photo N' Landu DIKUMBWA, 1998).

Le degré de sociabilité ou d'agrégation est une autre échelle de caractérisation d'une végétation qui a été étudiée. Selon DUVIGNEAUD (1974), c'est la structuration spatiale des individus d'une population végétale. Cette échelle comporte cinq degrés, une plante isolée prend la cote 1, un groupe restreint de 10 à 20 individus est indiqué par 2, un regroupement assez étendu de plus de 20 individus l'est par la cote 3, tandis que 4 représente un peuplement étendu en plages lâches et enfin 5 celui étendu en plages serrées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Richesse floristique

Les relevés phytosociologiques effectués par MALAISSE et al. (1983), BROOKS et al. (1985), MALAISSE (1995), ont évalué entre 220 et 249 le nombre de taxons des plantes supérieures typiques des anomalies géobotaniques. Au Zimbabwe, dans le Great Dyke et dans la zone de Lomagundi Copper, WILD (1965, 1968 in BROOKS et al., 1985), en a recensé 322 dans le premier milieu cité et 436 angiospermes et 24 cryptogames dans le second.

Dans le présent recensement, quelque 430 phytotaxons appartenant à 27 familles ont été catalogués (Tableau 2). De ces taxons, 111 (25,8 %) ont été reconnus communs aux huit collines, 122 (28,4 %) se répartissent uniquement sur quelques-unes des huit collines, 119 (27,7 %) sont spécifiques au secteur de Tenke et 78 (18,1 %) à celui de Fungurume. La proportion moyenne des taxons par colline est de 211, $13 \pm 25,17$ dont $53,2 \pm 5,85$ % communs. En comparaison aux travaux référés ci-dessus, ceux de WILD et ceux de la présente recherche exposent une flore bien plus riche.

Tableau 2 : Distribution spatiale des phytotaxons des anomalies géobotaniques.

Collines	N taxons	% Ta	% Tc	Ts	% Ts	Fs	Secteur
II	199	46,28	55,8	08	07,69	02	Fungurume
III	200	46,51	55,5	18	17,31	05	Fungurume
VI	249	57,91	44,6	21	20,19	04	Fungurume
Kabuelunono	219	50,93	50,7	17	16,35	01	Tenke
Kwatebala	249	57,91	44,6	24	23,08	00	Tenke
Goma Est	191	44,42	58,1	09	08,65	00	Tenke
Goma Ouest	188	43,72	59,0	04	03,85	00	Tenke
Shimbidi	194	45,12	57,2	03	02,88	00	Tenke
Total	430			104	100,00	12	
Moyenne	211	49,1	53,2	13			

N taxons : nombre de taxons, % Ta : pourcentage par rapport au total des taxons, % Tc : pourcentage de taxons communs, Ts : Taxons spécifiques aux collines, % Ts : pourcentage de taxons spécifiques, Fs : Familles spécifiques.

La richesse floristique paraît être en étroite relation avec le volume de la colline, la complexité de sa structure et les travaux miniers anciens qui ont créé un nouveau complexe pédologique propice au développement de la flore cupro-cobaltifère, et ce, quel que soit le secteur que l'on considère. C'est le cas des collines III (200), VI (249), Kwatebala (249) et Kabuelunono (219) qui sont les plus grandes parmi les huit et qui ont connu également des perturbations. C'est quasiment aussi au niveau de ces collines (Tableau 2) que la spécificité est la plus prononcée (Kwatebala: 23.08 %, VI: 20.19 %, III: 17.31 % et Kabuelunono: 16.35 %).

Par rapport aux familles, six d'entre elles: *Poaceae* (17,6 %), *Asteraceae* (10,8 %), *Fabaceae* (9,2 %), *Cyperaceae* (5,6 %), *Scrophulariaceae* (5,0 %) et *Lamiaceae* (4,9 %) réunissent déjà 53,1 % de l'ensemble des phytotaxons recensés. Par ailleurs, les familles spécifiques sont plus diversifiées et donc plus riches et se retrouvent quasi-exclusivement dans le secteur de Fungurume (11 sur 12), le plus perturbé (Photo 2), tandis que

celui de Tenke, n'en compte qu'une seule, rencontrée à la colline de Kabuelunono, une *Amaryllidaceae*, représentée par *Boophone disticha*.

Tableau 3 : Inféodation des phytotaxons aux formations géologiques, coefficient de recouvrement et degré de sociabilité

TAXONS	FORMATIONS GÉOLOGIQUES				
	CMN	RAT	RSC	RSF	SD
<i>Aeschynomene pygmaea</i>		4.2			
<i>Anisoppapus davyi</i>		3.2			
<i>Becium aureoviride</i>	3.2	3.2			
<i>Bulbostylis abortiva</i>			2.2-3.4	4.4	
<i>Bulbostylis filamentosa</i>					2.2-3.4
<i>Bulbostylis mucronata</i>				3.4	
<i>Bulbostylis pseudoperennis</i> subsp. <i>pseudoperenni</i>			3.4-4.4	3.4	3.2
<i>Bulbostylis pseudoperennis</i> subsp. <i>mucronata</i>			3.4	3.4	
<i>Crotalaria cobalticola</i>		3.2-4.1	3.1		
<i>Cryptosepalum maraviense</i>	3.4-4.4	3.3-4.3	4.3	4.3	3.3-4.4
<i>Ctenium consinuum</i>			3.4		
<i>Droogmansia munamensis</i>					4.3
<i>Eragrostis boehmii</i>		2.2-3.4	1.2-4.4	3.2-3.4	3.2-3.4
<i>Haumaniastrum arborea</i>			3.2		
<i>Haumaniastrum homblei</i>					4.1
<i>Haumaniastrum robertii</i>		2.4-3.4	2.1-5.3	2.4-5.4	2.4-4.4
<i>Loudetia simplex</i>	4.3-5.4	1.2-4.4	+2-5.4	4.4-5.5	5.5
<i>Monocymbium ceresiiforme</i>			1.2-4.4		
<i>Pseudoeriosema homblei</i>			3.2		
<i>Rendlia cupricola</i>	4.4	3.4			
<i>Sopubia neptunii</i>		3.2			
<i>Vernonia arborea</i>			2.2-3.2		
<i>Vernonia petersii</i>			3.2		
<i>Tristachya bequaertii</i>		2.2-4.4			4.1
<i>Triumfetta likasiensis</i>	3.3				
<i>Xerophyta demesmaekeriana</i>	4.2		2.2-3.2	4.2	3.2
Total de taxons (26)	6	11	15	9	10
Pourcentage	11,76	21,57	29,41	17,65	19,61

Le tableau 3 d'inféodation spécifique de phytotaxons aux formations géologiques permet de découvrir qu'avec 29,41 %, les RSC sont le faciès le moins sélectif de la flore de cuivre, les RAT et les SD avec respectivement 21,57 et 19,61 % constituent deux autres facettes d'essor de cette flore; pendant le temps que les RSF et les CMN avec successivement 17,65 % et 11,76 % se présentent comme les faciès les plus sélectifs.

En considérant les affleurements de mêmes formations géologiques (Tableau 3) et en examinant le coefficient de recouvrement et le degré de sociabilité, la configuration concomitante des taxons à large spectre peut y être synthétisée de manière suivante : un premier ensemble est composé de *Cryptosepalum maraviense* et *Loudetia simplex*. Le premier taxon cité colonise de manière quasi-homogène les cinq formations géologiques. Le coefficient de recouvrement et le degré de sociabilité ne fluctuent que dans une fourchette très restreinte de 3.3 à 4.4. Tandis que le second se présente en zones moins homogènes ; le coefficient d'abondance-dominance et le degré d'agrégation varient entre +2 et 5.5. En effet, *Loudetia simplex* peut se présenter en individus isolés (RAT, RSC) ou en plages continues (CMN, RSF, SD).

Hormis *Xerophyta demeesmaekeriana* qui ne fait défaut que dans les RAT, le deuxième ensemble se singularise par son absence dans les CMN et n'est composé que d'*Eragrostis boehmii* et de *Haumaniastrum robertii*. À cet ensemble peut se greffer outre *Xerophyta demeesmaekeriana*, *Bulbostylis pseudoperennis* qui est partout sauf dans les CMN et dans les RAT. Enfin, le troisième ensemble se compose de taxons apparaissant de manière tout à fait disparate. Une telle colonisation sélective résulterait vraisemblablement de la nature des éléments chimiques dominants dans les formations géologiques.

Sur la base donc des coefficients de recouvrement et des degrés de sociabilité en tant que facteurs d'appréciation de l'occupation territoriale, il ressort que la colonisation la plus dense de 5.5, laquelle atteint son paroxysme dans le schiste dolomitique (SD) et dans les roches siliceuses feuilletées (RSF), est celle de *Loudetia simplex*. Celui-ci est suivi d'*Haumaniastrum robertii* (5.4) toujours dans les roches siliceuses feuilletées.

L'examen synoptico-synchrone du Tableau 4 de la flore des milieux naturels, de ceux dérivés des activités humaines et animales et de ceux induits par les aléas de temps, permet d'observer une large sélectivité dans leur colonisation par la flore du cuivre. En effet, par leur richesse ou leur relative pauvreté, ces biotopes peuvent être regroupés en trois ensembles distincts. D'une part, les aires de travaux miniers anciens qui se distinguent par une ample diversité taxonomique. Il s'agit des excavations (24.69 %), des aires de dissolution (18.52 %) et de solifluxion (12.35 %) qui, ensemble, congrèent 55.56 % des taxons. D'autre part, les biotopes naturels qui sont demeurés intacts et qui en colligent 30.87 %. Ce sont précisément les parois rocheuses (11.11 %), l'écotone RSC-RSF (9.88 %) et la ceinture d'*Uapaca* (9.88 %). Enfin, les milieux induits par les aléas du climat, ils n'en regroupent que 13.58 %. Ce sont les couloirs de coulée des blocs de roches arrachés de corniches (7.41 %) et les cônes d'épandage des produits d'érosion (6.17 %).

De l'observation des aires de dissémination de la flore de cuivre dans les couloirs de coulée des blocs venant de la corniche, il se dégage qu'aussi loin des zones de départ puissent-elles se retrouver, ces aires, dès qu'elles sont en contact avec un matériel de sol ou de sous-sol des zones minéralisées, aux côtés de la végétation autochtone apparaît une végétation allochtone des zones minéralisées.

De fait, ce phénomène d'émigration ou d'induction de la flore cupro-cobaltifère des matériaux allochtones minéralisés s'observe non pas seulement dans les anomalies géobotaniques mais aussi le long de route où ces matériaux ont été utilisés dans le revêtement. Une exemplarité plus triviale est celle du quartier Golf à Lubumbashi, lequel quartier est situé dans la direction des vents dominants où jadis retombaient les rejets toxiques des usines pyrométallurgiques de l'Union Minière du Haut-Katanga et plus tard de la Générale des Carrières et des Mines (Gécamines). La teneur en cuivre et en cobalt de ces rejets y a induit à une végétation rabougrie d'une savane à *Imperata cylindrica* jadis piquetée d'arbustes et (ou) d'arbres (BRUNEAU et PAIN, 1990) et y a généré une strate herbeuse typique d'une flore cupro-cobaltifère où se développe notamment *Bulbostylis pseudoperennis* subsp. *mucronata*.

En analysant les spécificités de chaque biotope, on constate que *Acalypha cupricola* et *Pseudoriosema homblei* sont des taxons inféodés aux cônes d'épandage (Cep), *Bulbostylis cupricola*, *Droogmansia munamensis*, *Tristachya bequaertii*, *Uapaca robynsii* et *Vernonia arborea* à la ceinture à *Uapaca robynsii* (Cua), *Bulbostylis pseudoperennis* subsp. *mucronata*, *Cyperus angolensis* et *Rendlia cupricola* aux excavations (Exc) et *Digitaria uniglumis* à la zone de dissolution (Zod).

À l'échelle du travail, il est apparu donc qu'aucun taxon n'est typique des couloirs de coulée des blocs de roches arrachés à la corniche (Bac), de l'écotone RSC-RSF (Ecf), des parois rocheuses (Par) et des torrents de solifluxion (Tof). Cette absence de taxons qui particulariseraient ces milieux résulterait d'une part de l'allochtonie du matériel qui y génère la végétation du cuivre. C'est le cas de Bac et de Tof. D'autre part, du fait que les parois rocheuses et l'écotone RSC-RSF sont des faciès homogènes.

En tablant sur les coefficients de recouvrement et les degrés de sociabilité des taxons, et en examinant la colonisation des biotopes dérivés des activités zooanthropiques (Tableau 4), les excavations qui, ainsi qu'annoncé précédemment, conglomèrent 24.69 % des phytotaxons cupro-cobaltifères, ceux-ci peuvent être regroupés en trois grandes unités structurales. D'une part, les phytotaxons dont les coefficients de recouvrement

et les degrés de sociabilité fluctuent entre 2.2 et 3.4, ils sont les mieux figurés et représentent 12.35 %. C'est notamment *Anisoppapus davyi*, *Bulbostylis mucronata*, *Bulbostylis pseudoperennis*, *Bulbostylis pseudoperennis subsp. mucronata*, *Commelina zigzag*, *Crassula vaginata*, *Cryptosepalum maraviense*, *Loudetia simplex*, *Rendlia cupricola* et *Sopubia metallorum*.

D'autre part, les phytotaxons dont les coefficients de recouvrement et les degrés de sociabilité varient entre 2.4 et 5.4 et représentent 8.64 %. De fait, à l'exception de *Crotalaria cobalticola* (4.1) qui se présentent en plante isolée, ce sont des phytotaxons à large occupation spatiale, il s'agit de *Bulbostylis abortiva* (2.4-4.4), *Cyperus angolensis* (4.4), *Eragrostis boehmii* (3.2-5.4), *Haumaniastrum robertii* (2.4-4.4), *Haumaniastrum rosulatum* (5.4) et *Monocymbium cerasiiforme* (4.3).

Toutefois, bien que les biotopes dérivés des activités zooanthropiques soient hétérogènes et donc propices au développement des espèces spécifiques aux anomalies géobotaniques, certains taxons se montrent peu expansifs aux autres milieux. Ils ne se retrouvent tout au plus que dans deux biotopes (Tableau 4), les excavations et les zones de dissolution; plus rarement dans les parois rocheuses (*Crassula vaginata*) et les torrents solifluxion (*Sopubia metallorum*). À l'exception de *Crassula vaginata* dont le coefficient de recouvrement et le degré de sociabilité sont de 4.2 dans les parois rocheuses, ces paramètres oscillent entre 1.2 à 3.4 pour les taxons ci-dessous : *Andropogon shirensis*, *Anisoppapus davyi*, *Bulbostylis mucronata*, *Bulbostylis pseudoperennis subsp. mucronata*, *Cyperus angolensis*, *Haumaniastrum rosulatum*, *Rendlia cupricola*, *Sopubia metallorum* et *Sporobolus sp.*

Enfin, une troisième unité qui ne représente que 3.70 % et dont les coefficients de recouvrement et les degrés d'agrégation sont de 2.2. Il s'agit d'*Andropogon shirensis*, de *Sporobolus sp.* et de *Xerophyta demeesmaekeriana*. Ce sont des taxons qui n'occupent que 5 à 10 % de l'espace et se retrouvent en groupement de 10 à 20 individus.

Tableau 4 : Flore des biotopes naturels et de ceux d'activités zooanthropiques.

TAXONS	BIOTOPES DERIVÉS DES ACTIVITÉS ZOOANTHROPIQUES							
	Bac	Cep	Ecf	Exc	Par	Cua	Zod	Tof
<i>Acalypha cupricola</i>		1.2						
<i>Andropogon shirensis</i>				2.2			1.2	
<i>Anisoppapus davyi</i>				3.2			1.2-3.2	
<i>Ascolepis metallorum</i>			4.2				1.2	1.2
<i>Becium aureoviride</i>	3.2						1.2	3.2
<i>Bulbostylis abortiva</i>	3.4			2.4-4.4				3.4
<i>Bulbostylis cupricola</i>						2.2		
<i>Bulbostylis filamentosa</i>					5.2	2.2		
<i>Bulbostylis mucronata</i>				2.2-3.4			3.4	
<i>Bulbostylis pseudoperennis subsp. pseudoperennis</i>			3.2	2.2-3.4	4.2		3.4	
<i>Bulbostylis pseudoperennis subsp. mucronata</i>				3.4				
<i>Commelina zigzag</i>			3.2	3.2	5.2			
<i>Crassula vaginata</i>				3.2	4.2			
<i>Crotalaria cobalticola</i>			3.1	4.1			2.2-4.1	
<i>Cryptosepalum maraviense</i>			3.3	3.3		2.3		
<i>Cyperus angolensis</i>				4.4				
<i>Digitaria uniglumis</i>							1.2	

<i>Droogmansia munamensis</i>						1.2		
<i>Eragrostis boehmii</i>		2.4	3.2-4.2	3.2-5.4	5.2		3.2-3.4	
<i>Haumaniastrum robertii</i>	3.4	4.4	3.1	2.4-4.4	3.1		2.4	3.4
<i>Haumaniastrum rosulatum</i>				5.4			5.4	
<i>Humularia</i> sp.								2.2
<i>Loudetia simplex</i>	3.4		3.3	3.3	5.5	3.4		1.2-3.4
<i>Monocymbium ceresiiforme</i>		1.2		4.3	5.2		2.2	3.4
<i>Pandiaka metallorum</i>	3.2						1.2	3.2
<i>Pseudoriosema homblei</i>		1.2						
<i>Rendlia cupricola</i>				3.4				
<i>Sopubia metallorum</i>				3.2				1.2
<i>Sopubia neptunii</i>							1.2	
<i>Sporobolus</i> sp.				2.2			3.4	
<i>Tristachya bequaertii</i>						2.4		
<i>Uapaca robynsii</i>						4.1		
<i>Vernonia arborea</i>						1.2		
<i>Xerophyta demeesmaekeriana</i>	3.2			2.2	4.1			3.2-4.2
Total Taxons (34)	6	5	8	20	9	8	15	10
Pourcentage	07.41	06.17	09.88	24.69	11.11	09.88	18.52	12.35

Les zones de dissolution, avec 18.52 % des taxons cupro-cobaltifères, occupent la deuxième place en tant qu'habitat de la flore de cuivre, derrière les zones d'excavations. Néanmoins, malgré cette bonne position que leur confère le nombre de taxons, il n'y a que *Crotalaria cobalticola* (2.2-4.1) et *Haumaniastrum rosulatum* (5.4) qui y arborent des coefficients élevés. On peut toutefois y greffer *Bulbostylis mucronata*, *Bulbostylis pseudoperennis*, *Eragrostis boehmii* et *Sporobolus* sp., bien que les coefficients d'abondance-dominance et les degrés d'agrégation ne dépassent pas 3.4.

Un seul taxon prédomine les aires de solifluxion, *Xerophyta demeesmaekeriana* (3.2-4.2), auquel on peut agréger *Becium aureoviride*, *Bulbostylis abortiva*, *Haumaniastrum robertii*, *Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiiforme* et *Pandiaka metallorum* dont le coefficient d'abondance-dominance et le degré d'expansion spatiale respectifs se situent dans un intervalle très étroit de 3.2 à 3.4 ; laissant entrevoir de ce fait une occupation territoriale relativement homogène. Par ailleurs, on remarque que les taxons à faibles coefficients d'occupation de l'espace et à faibles degrés de sociabilité, ceux notamment pour lesquels ces paramètres vont de 1.2 à 2.2, sont aussi ceux qui présentent une expansion spatiale très limitée (tableau 4). C'est le cas d'*Ascolepis metallorum*, *Humularia* sp. et *Sopubia metallorum*.

Les parois rocheuses (Par) et la ceinture de *Uapaca robynsii* (Cua) se particularisent par une pauvreté notoire en ce qui concerne le nombre de taxons cupro-cobaltifères. Malgré cela, la quasi-absence de compétition dans ces milieux fait que les espèces qui y sont arborées atteignent une occupation spatiale plafond. C'est le cas de neuf taxons qui colonisent les parois rocheuses pour lesquels les coefficients d'abondance-dominance et les degrés de sociabilité, à l'exception de ceux de *Haumaniastrum robertii* (3.1) ont des valeurs très élevées se situant entre 4.1 et 5.5. Ce sont *Bulbostylis filamentosa*, *Bulbostylis pseudoperennis*, *Commelina zigzag*, *Crassula vaginata*, *Eragrostis boehmii*, *Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiiforme* et *Haumaniastrum robertii*.

Quant à la ceinture à *Uapaca robynsii*, à part *Uapaca robynsii* (4.1) lui-même et *Loudetia simplex* (3.4) qui y arborent une présence remarquable, cette ceinture, ainsi qu'il a été précédemment dit des parois rocheuses, fait étalage d'une pauvreté avérée, non seulement en ce qui concerne le nombre de taxons spécifiques à la flore du cuivre, mais également en ce qui est de l'occupation spatiale. De fait, en reprenant les taxons qui y sont inféodés : *Bulbostylis cupricola* (2.2), *Bulbostylis filamentosa* (2.2), *Cryptosepalum maraviense* (2.3), *Droogmansia munamensis* (1.2), *Tristachya bequaertii* (2.4) et *Vernonia arborea* (1.2), on remarque qu'ils sont peu nombreux et les coefficients d'abondance-dominance et les degrés de sociabilité se situent dans une fourchette restreinte (1.2 - 2.4) de faible expansion spatiale.

CONCLUSION

L'étude synoptico-synchrone des paramètres qui définissent l'abondance-dominance et le degré d'agrégation des phytotaxons dans les anomalies géobotaniques de l'arc cuprifère katangais, a permis de noter une différenciation dans la colonisation des espaces, selon qu'il s'agit des biotopes naturels, de ceux dérivés des activités zooanthropiques ou de ceux résultant de la météorisation par thermoclastie des roches de corniche des collines. Cette discrimination se base d'un côté, sur la richesse en flore de cuivre et de l'autre, sur la colonisation spécifique des espaces.

En ce qui concerne la richesse floristique, l'examen des huit biotopes identifiés dans les anomalies géobotaniques montre que ceux de grande diversité floristique, c'est-à-dire les plus riches en flore de cuivre, sont ceux qui ont été remaniés par la main humaine et par les animaux. Il s'agit de fait les excavations (24.69 %), séquelles des travaux miniers anciens, ensuite remaniés par les rongeurs, les fousseurs et les fourmis ; les zones de dissolution (18.52 %) et les torrents de solifluxion (12,35 %).

Viennent ensuite, en seconde position, les milieux naturels, qui sont les parois rocheuses (11.11 %), la ceinture à *Uapaca robynsii* (9.88 %) et l'écotone RSC-RSF (9.88 %).

Enfin, les biotopes générés par le phénomène de météorisation par thermoclastie des roches du dorsal des collines. Ce sont les couloirs de coulée de blocs de roche arrachés à la corniche (7.41 %) et les cônes d'épandage (6.17 %).

Quant à la structuration spatiale des phytotaxons, c'est-à-dire la manière de colonisation des biotopes, l'évaluation des degrés d'agrégation des phytotaxons a permis de pouvoir formuler qu'en fonction de la nature édaphique du biotope concerné, un phytotaxon donné peut coloniser les milieux de manière spécifique. En considérant par exemple les taxons à large spectre, comme *Eragrostis boehmii*, *Haumaniastrum robertii*, *Loudetia simplex* voire même *Monocymbium cerasiiforme* (tableau 4), les degrés sociabilité peuvent différer d'un milieu à l'autre.

En examinant donc cette structuration spatiale des phytotaxons, on arrive à établir que les plantes isolées contribuent pour 8.64 %. C'est le cas de *Crotalaria cobalticola* dans les excavations, dans les zones de dissolution et dans l'écotone RSC-RSF, de *Xerophyta demesmaekeriana* dans les parois rocheuses, d'*Haumaniastrum robertii* dans les parois rocheuses et l'écotone RSC-RSF. Les phytotaxons en groupes de 10 à 20 individus forment, avec 50.62 %, la modalité la plus courante. Ceux en groupes étendus de plus de 20 individus ne colligent que 7.41 % ; tandis que les peuplements étendus en plages lâches, avec 32.10 %, occupent la deuxième position derrière les groupes de 10 à 20 individus. Enfin, les peuplements étendus en plages serrées représentent une faible proportion de 1.23 %.

Du point de vue de taxons spécifiques, les zones les plus riches en sont les plus dépourvues. C'est le cas des espaces excavés où l'on ne note que trois taxons spécifiques, *Bulbostylis pseudoperennis subsp. mucronata*, *Cyperus angolensis* et *Rendlia cupricola*. C'est plutôt dans les zones les moins nanties en nombre de taxon, comme la ceinture à *Uapaca robynsii* et les cônes d'épandage qu'il y a plus taxons spécifiques. On y remarque, *Bulbostylis cupricola*, *Droogmansia munamensis*, *Tristachya bequaertii*, *Uapaca robynsii* et *Vernonia arborea* dans le premier milieu et *Acalypha cupricola* et *Pseudorosema homblei* dans le second.

BIBLIOGRAPHIE

- BROOKS R R., MALAISSE F. & EMPAIN A. (1985). The heavy metal-tolerant flora of South-Central Africa: A multidisciplinary approach. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Balkema.
- BRUNEAU J.-C. & PAIN, M. (1990). Atlas de Lubumbashi. Nanterre, Paris : Centre d'Etudes Géographiques sur l'Afrique Noire, Université Paris X.
- DIKUMBWA N'L. & MBENZA MUAKA A. (2010). Investigaç o dos grupos ecol gicos entre os fitoindicadores das anomalias geobot nicas do copperbelt Zambio-Namibiano. *Ang. J. Sci.* **1** (1/2): 11-26. ISSN: 2219-8024.
- DUVIGNEAUD P. (1959).  tudes sur la végétation du Katanga et de ses sols métallifères : 2. Plantes «cobaltophytes» dans le Haut-Katanga. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **91**: 111-134.

- DUVIGNEAUD P. (1974). La synthèse écologique, *Populations, Communautés, Ecosystèmes, Biosphère, Noosphère*. DOIN (Ed.), 296 p. Paris.
- FAUCON M.P., NGOY SHUTCHA M. & MEERTS P. (2007). Revisiting copper and cobalt concentrations in supposed hyperaccumulators from S.C. Africa: influence of washing and metal concentrations in soil. *Plant Soil* **301**: 29-36.
- FAUCON M.P., MEERSSEMAN A., NGOY SHUTCHA M., MAHY, G., NGONGO LUHEMBWE M., MALAISSE F. & MEERTS P. (2010) . Copper endemism in the Congolese flora: a database of copper affinity and conservational value of cuprophytes. *Plant Ecology and Evolution* **143** (1): 5–18.
- ILUNGA WA ILUNGA E., MAHY G., PIQUERAY J., SÉLECK M., NGOY SHUTCHA M., MEERTS P. & FAUCON M.P. (2016). Plant functional traits as a promising tool for the ecological restoration of degraded tropical metal-rich habitats and revegetation of metal-rich bare soils: A case study in copper vegetation of Katanga, DRC. *Ecological Engineering* **82**: 214–221.
- MALAISSE F. (1995). Cuivre et végétation au Shaba (Zaïre). *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer* **40**(4): 561-580.
- 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, Zaire. *Pl. Syst. Evol.* **142**(3-4): 207-221.
- MALAISSE F. & GRÉGOIRE J. (1978). Contribution à la phytogéochimie de la mine de l'Étoile (Shaba, Zaïre). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **111**(2): 252-260.
- MALAISSE F., MALAISSE-MOUSSET M. & SCHOROCHOFF G. (1978). Analyse de la pluviosité à Lubumbashi et dans ses environs immédiats. *Geo-Eco-Trop.* **2**(3): 301-315.
- NGOY SHUTCHA M., FAUCON M.P., KAMENGWA KISSI C., COLINET G., MAHY G., NGONGO LUHEMBWE M., VISSER M. & MEERTS P. (2015). Three years of phytostabilisation experiment of bare acidic soils in tropical Africa (Katanga, DR Congo). *Ecological Engineering* **82**: 81-90.
- NGOY SHUTCHA M., MPUNDU MUBEMBA M., FAUCON M.P., NGONGO LUHEMBWE M., 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.
- NTOMBI M.K.M. (1985). Étude de l'humidité de la troposphère à Lubumbashi (Zaïre). Dissertation pour l'obtention du Diplôme d'Études Supérieures (DES) en Sciences Géographiques. Faculté des Sciences, Université de Lubumbashi, 89 p.