

230  
CONTRIBUTION À LA PHYTOGÉOCHIMIE DE LA MINE DE L'ÉTOILE  
(SHABA, ZAÏRE)

PAR

FRANÇOIS MALAÏSSE et JACQUES GRÉGOIRE (1)

RÉSUMÉ. — Les auteurs présentent un transect schématique de la végétation à la Mine de l'Etoile, située à proximité de Lubumbashi, au Shaba (Zaïre). Après avoir décrit brièvement les groupements végétaux reconnus, ils analysent la teneur en Cu, Co, Mn, Zn et Fe de 27 plantes principales. Ces analyses mettent en évidence l'existence de plusieurs hyperaccumulateurs de Cu et d'un hyperaccumulateur de Co. Ces plantes endémiques présentent une distribution limitée à une, deux ou trois mines de cuivre des environs de Lubumbashi. Enfin les auteurs rapportent des observations préliminaires relatives à la minéralomasse en cuivre de certaines végétations cupricoles. A l'augmentation de la teneur en cuivre du sol correspond une réduction de la biomasse de la phytocénose, toutefois compensée par une augmentation relative de la teneur en cuivre des plantes, ce qui amène finalement une augmentation absolue sensible de la minéralomasse en cuivre.

240 ( ABSTRACT. — *Contribution to the phytogeochemistry of the Mine de l'Etoile (Shaba, Zaïre).* — A schematic aspect of the vegetation zonation at the Mine de l'Etoile, in the vicinity of Lubumbashi, Shaba (Zaïre) is given. After having shortly described the types of vegetation observed, the authors analyze the Cu, Co, Mn, Zn and Fe content of 27 main plants. Those analysis allow them to point out the existence of several hyperaccumulators of copper and of one hyperaccumulator of cobalt. Those endemic plants are until now only reported from one to three copper mines in the vicinity of Lubumbashi. The authors give preliminary informations on copper mineralomass for some vegetations developped on copper bearing soils. A greater soil copper content induces a lesser plant biomass, linked to a relative increase of uptake and accumulation of copper, so that the total amount of copper included in the phytocenosis perceptibly increases.

## I. INTRODUCTION

La partie méridionale de l'Afrique centrale a fait l'objet de recherches nombreuses relatives à la végétation des sols cuprifères, cobaltifères, manganésifères, serpentiniques et graphitiques. En 1974, Ernst a donné une synthèse fort complète de ces travaux dans son «Schwermetallvegetation der Erde».

(1) F. Malaisse, Laboratoire de Botanique et d'Ecologie, Université nationale du Zaïre, B.P. 3429, Lubumbashi (Zaïre) ; J. Grégoire, Laboratoire de Chimie, Université nationale du Zaïre, B.P. 1825, Lubumbashi (Zaïre).

*Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **111** : 252-260 (1978). — Communication présentée à la séance du 19 mars 1977 ; manuscrit déposé le 4 octobre 1978.

Plus de vingt publications abordent différents aspects de la végétation et de la flore du cuivre pour la région du Shaba au Zaïre (ROBYNS 1932, DUVIGNEAUD 1958, 1959, DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1960, 1963, SCHMITZ 1963, MALAISSE *et al.* 1978), le Copperbelt en Zambie (HORSCROFT 1961, REILLY 1967, 1969, 1971, DREW & REILLY 1972) et la Rhodésie (JACOBSEN 1967, 1968, 1970, WILD 1968, HOWARD-WILLIAMS 1970, 1971, 1972, ERNST 1972).

Si ROBYNS, le premier, dès 1932 rapporte les anomalies géobotaniques des affleurements cuprifères alti-shabiens, c'est DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1963) qui effectueront l'étude la plus détaillée, utilisant la méthode des groupes écologiques. Cette méthode a depuis lors été reprise et appliquée avec succès par WILD (1968) à la végétation des terrains cuprifères de Rhodésie.

Récemment, BROOKS et ses collaborateurs ont analysé la teneur en cuivre et en cobalt dans les genres *Haumaniastrum* (BROOKS 1977), *Crotalaria* (BROOKS *et al.* 1977) et *Aeolanthus* (BROOKS *et al.* 1978). L'examen des échantillons de 19 espèces africaines d'*Haumaniastrum* et de 1500 échantillons de *Crotalaria* représentant 284 des 438 espèces africaines connues, a démontré que l'écrasante majorité des accumulateurs provient du Shaba, de la Zambie et de la Rhodésie. C'est donc dans ces régions que l'étude de la phytochimie des végétations cupricoles doit être poursuivie.

Dans les études que nous venons de rappeler, figurent des transects réalisés pour de nombreux gisements cuprifères du Shaba. Toutefois, la Mine de l'Etoile, située à une dizaine de kilomètres de Lubumbashi, n'est pas décrite. Nous rapporterons les observations réalisées à la Mine de l'Etoile, jadis appelée Etoile du Congo. Cette mine fut exploitée de 1909 à 1926 ; elle est depuis lors abandonnée. Le fond de la carrière à ciel ouvert est recouvert par une nappe d'eau permanente assez profonde.

## II. MÉTHODES D'ANALYSE

### 2.1. *Echantillons de plante*

L'échantillon de plante prélevé est broyé dans un moulin alimentaire. La poudre est séchée à l'étuve à 65°C. Une aliquote de poudre est pesée et minéralisée dans l'acide nitrique à 65% (Merck art. 454) à l'ébullition. L'acide nitrique est évaporé et le résidu est redissous dans l'acide chlorhydrique dilué 1% V/V (Merck art. 316). La teneur en cuivre, cobalt, manganèse, zinc et fer est mesurée au spectrophotomètre d'absorption atomique Beckman.

### 2.2. *Echantillons de sol*

L'analyse se fait sur des aliquotes passant au tamis de 1 mm. La poudre est lixiviée par HCl concentré jusqu'à ce qu'il ne reste qu'un résidu siliceux blanchâtre. Les mesures sont faites au spectrophotomètre d'absorption atomique Beckman.

## III. RÉSULTATS

### 3.1. *Aspects phytosociologiques*

L'étude phytosociologique de la Mine de l'Etoile a mis en évidence la présence de huit groupements végétaux différents dont la localisation topographique est représentée à la

figure 1. La teneur en Cu, Co, Mn, Zn et Fe du sol des cinq groupements principaux est également signalée. Passons ces huit groupements végétaux en revue.

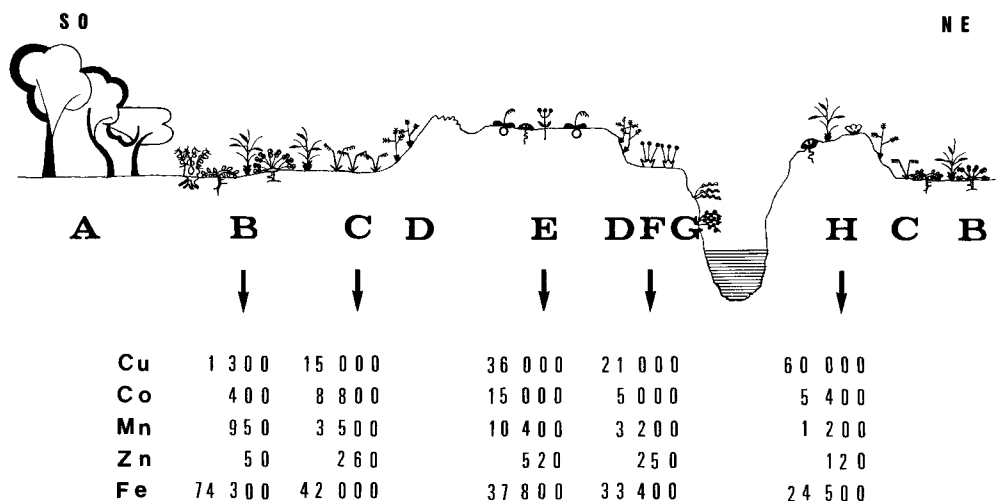


FIG. 1. — Transect schématique du gisement de la Mine de l'Etoile montrant la répartition des divers groupements végétaux et la teneur des sols (exprimés en  $\mu\text{g/g}$  de sol sec) en Cu, Co, Mn, Zn et Fe. — A : Forêt claire ; — B : Savane steppique à *Acalypha cupricola* ; — C : Pelouse à *Rendlia cupricola* ; — D : Pelouse à *Eragrostis boehmii* ; — E : Pelouse à *Aeolanthus biformifolius* et *Faroua chalcophila* ; — F : Savane steppique à *Loudetia simplex* et *Monocymbium ceresiforme* ; — G : Steppe encochée à *Crotalaria cornetii* et *Pteris vittata* ; — H : Savane steppique à *Tristachya tholloni*.

#### A. — La forêt claire

Les environs de la Mine de l'Etoile, de par leur proximité de Lubumbashi (une dizaine de kilomètres du centre de la ville, mais seulement un kilomètre et demi des faubourgs Luapula et Luwowoshi), ville de plus d'un demi-million d'habitants, sont aujourd'hui dépourvus d'arbres. Il y a douze ans à peine, on y observait encore quelques lambeaux de forêt claire ainsi que des savanes arbustives de transition. Des champs cultivés, des végétations post-culturales et rudérales s'y sont substitués. Cette dernière flore fournit d'ailleurs plusieurs espèces (dont *Arthraxon quartinianus* (A. RICH.) NASH<sup>(2)</sup>, *Tithonia diversifolia* GRAY, *Physalis peruviana* L. et *Coreopsis oligoflora* KLATT) qui acceptent de croître sur les déblais de malachite, fait déjà signalé par DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1960).

#### B. — La savane steppique à *Acalypha cupricola*

La savane steppique se trouvait directement en contact avec les savanes arbustives de transition (fig. 2). Elle est dominée par des géophytes à souche ligneuse, parmi lesquels *Acalypha cupricola* est le plus abondant et diverses graminées cespiteuses. Ce groupement correspond, *grosso modo*, au *Cryptosepaleto-Loudetietum simplicis* des phytosociologues zuricho-montpelliérains. La figure 3 représente le port et l'enracinement de quelques géofrutex et géophytes à souche ligneuse.

(2) Les noms d'auteur signalés dans le texte se rapportent aux espèces ne figurant pas au tableau 1.



FIG. 2. — Mine de l'Etoile (décembre 1974) : Aspect général du «dembo d'empoisonnement». A l'avant-plan la savane steppique à *Acalypha cupricola* reverdit ; à l'arrière-plan se détachent la savane arbustive et quelques arbres, témoins de l'ancienne forêt claire (Photo L. Lemaire).

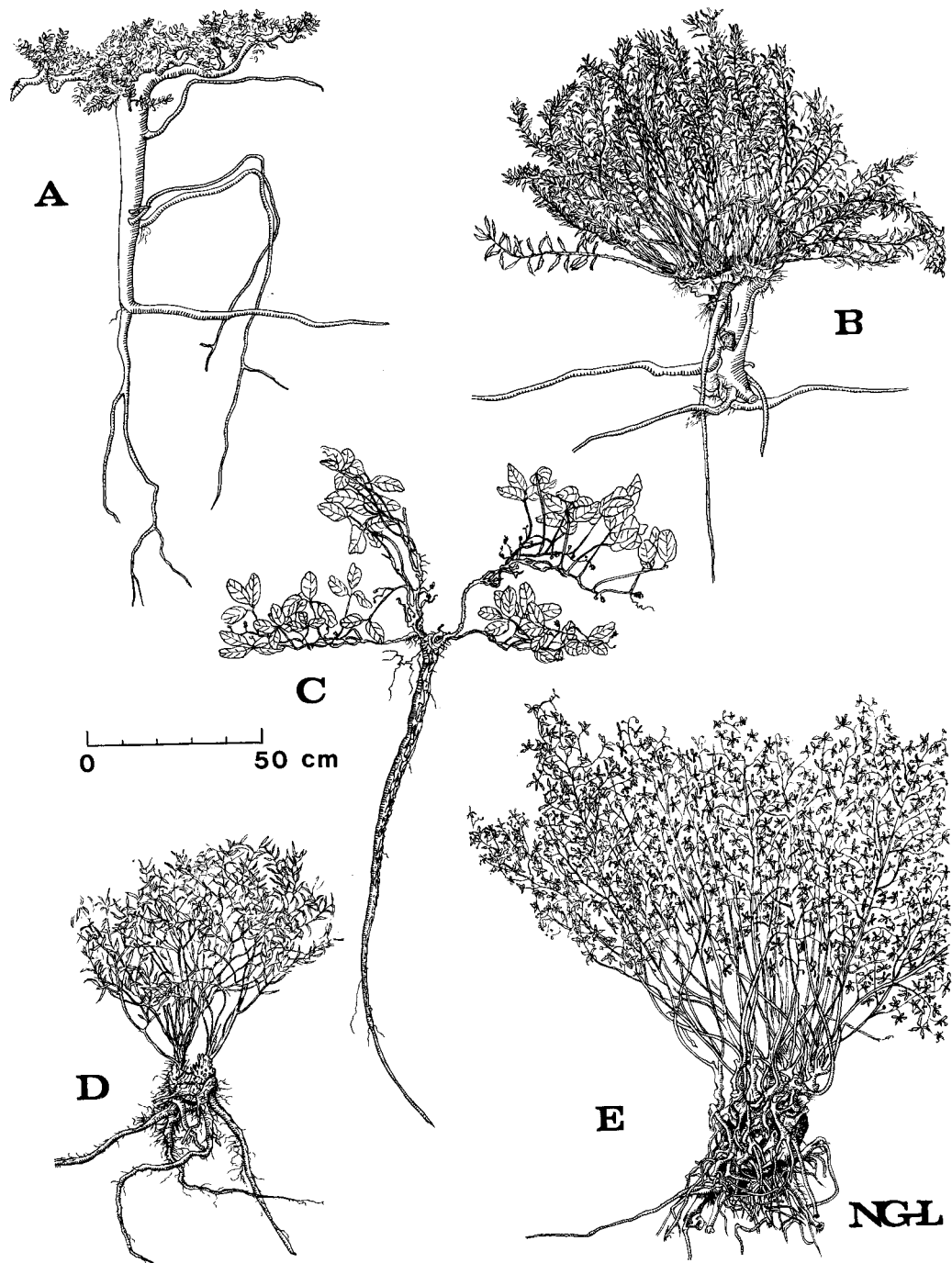


FIG. 3. — Port de quelques plantes à souche ligneuse de la savane steppique à *Acalypha cupricola*. — A : *Cryptosepalum maraviense*; — B : *Acalypha cupricola*; — C : *Adenodolichos rhomboideus*; — D : *Becium katangense*; — E : *Triumfetta digitata*.

C. — Pelouse à *Rendlia cupricola*

La pelouse à *Rendlia cupricola* est un groupement végétal d'allure monophytique. C'est le *Rendlietum cupricolae* (DUVIGNEAUD 1958). Les relevés phytosociologiques que nous avons effectués, nous ont cependant permis de noter la présence d'une dizaine d'autres espèces, dont *Polygala petitiiana*, qui est le mieux représenté. *Bulbostylis mucronata* et *Lindernia damblonii* sont les différentielles des plages présentant une tendance à la stagnation de l'eau lors des averses.

D. — Pelouse à *Eragrostis boehmii*

Un autre type de pelouse s'observe sur le talus ; il est très pauvre du point de vue floristique. *Eragrostis boehmii* est l'espèce la plus fréquente. Ce groupement est proche du *Sporoboletum-Eragrostidetum boehmii*.

E. — Pelouse à *Aeolanthus biformifolius* et *Farao chalcophila*

Sur le replat s'observe une nouvelle pelouse composée principalement d'un thérophyte fugace à floraison tardive en saison sèche froide, *Farao chalcophila* et d'un géophyte bulbeux possédant également un cycle biologique court, mais situé en saison des pluies, *Aeolanthus biformifolius*.

F. — Savane steppique à *Loudetia simplex* et *Monocymbium ceresiiforme*

Certains replats à teneur en cuivre relativement faible portent une végétation qui montre de nettes affinités avec la savane steppique à *Acalypha cupricola*. Elle s'en distingue toutefois par une flore plus pauvre et l'importance de quelques espèces cuprorésistantes savanicoles, telles que *Loudetia simplex* et *Monocymbium ceresiiforme*.

G. — Steppe enrochée à *Crotalaria cornetii* et *Pteris vittata*

Sur les pentes raides s'observe une steppe enrochée à *Pteris vittata* et *Crotalaria cornetii*. *Pteris vittata* a été signalé comme plante colonisant les déblais miniers aurifères du Ghana, l'ancienne Côte-d'Or (HALL 1970). Il s'agirait en l'occurrence d'une métalophile. *Crotalaria cornetii* est considérée comme cuprophile à haute tolérance au cuivre (DUVIGNEAUD & TIMPERMAN 1959, BROOKS *et al.* 1977).

H. — Savane steppique à *Tristachya thollonii*

Une partie des déblais miniers a conservé un aspect irrégulier, chaotique où émergent de nombreux blocs rocheux. Une savane steppique s'y développe dont l'espèce dominante est *Tristachya thollonii*. Outre la présence de plusieurs Commelinaceae et Acanthaceae, signalons encore *Eriospermum abyssinicum*, *Ipomoea alpina* RENDLE, *Lapeyrouisia erythranta* (KLOTSCH. ex KLATT) BAK. var. *welwitschii* (BAK.) MARAIS ex GEERINCK *et al.*

I. — Pelouse à *Ascolepis metallorum* et *Lindernia damblonii*

De légères dépressions à sol plus argileux se rencontrent dans plusieurs groupements décrits ci-dessus. Ils sont habituellement colonisés par une pelouse. Celle-ci comprend *Bulbostylis mucronata*, souvent pionnier, *Lindernia damblonii*, qui forme des plages violacées de toute beauté et surtout *Ascolepis metallorum*.

TABLEAU I

## Teneurs en Cu, Co, Mn, Zn et Fe de divers organes de plantes à la Mine de l'Etoile

(pl. ent. = plante entière ; par. épi. = partie épiquée).

La collection de référence (récolteur F. Malaisse) est déposée dans l'Herbarium du Laboratoire de Botanique et Ecologie de l'Université nationale du Zaïre. Campus de Lubumbashi (LSHI), un double est déposé au Jardin botanique national de Belgique (BR).

Espèce	N° du spécimen d'herbier	Organe	Teneur en µg/g de matière sèche				
			Cu	Co	Mn	Zn	Fe
<i>Aeolanthus biformifolius</i> DE WILD.	8864	pl. ent.	13.700	4.300	800	390	9.300
<i>Lindernia perennis</i> DUVIGN.	7926	par. épi.	6.000	2.300	500	140	2.000
<i>Vigna dolomitica</i> WILCZEK	7706	feuille	3.000	600	920	60	3.800
<i>Eragrostis boehmii</i> HACK.	7707	feuille	2.800	600	1.200	80	9.000
<i>Justicia elegantula</i> S. MOORE	7991	feuille	864	246	294	95	2.160
<i>Lindernia dambionii</i> DUVIGN.	7698	par. épi.	800	1.000	150	360	760
Id.		idem	650	1.000	—	240	—
<i>Farea chalcophila</i> P. TAYLOR	9286	pl. ent.	665	382	183	133	780
<i>Hibiscus rhodanthus</i> GURKE	7717	tige	590	170	280	60	1.480
Id.		feuille	500	170	340	45	810
<i>Buchnera metallorum</i> DUVIGN. & VAN BOCK.	7699	par. épi.	460	500	140	110	550
<i>Anisopappus hoffmannianus</i> HUTCH.	7708	feuille	370	700	100	160	420
<i>Rendlia cupricola</i> DUVIGN.	9287	feuille	280	160	50	170	300
Id.		chaume séché	100	50	0	130	80
Id.		feuille morte	640	233	82	189	1.583
<i>Triumfetta digitata</i> (OLIV.) HUTCH. & SPRAGUE	7969	feuille	306	161	137	56	532
<i>Thunbergia oblongifolia</i> OLIV.	7973	feuille	300	82	52	22	537
<i>Triumfetta welwitschii</i> MAST.	7920	par. épi.	239	75	291	55	637
<i>Haumaniastrum katangense</i> (S. MOORE) DUVIGN. & PLANCKE	9284	feuille	233	864	95	130	380
<i>Acalypha cupricola</i> ROBYNS	7928	feuille	221	48	177	46	438
<i>Pteris vittata</i> L.	7957	fronde	200	73	65	24	532
<i>Monocymbium cerasiiforme</i> (NEES) STAPP.	7704	feuille	160	50	—	50	130
Id.		chaume	85	30	—	70	60
<i>Drimyopsis barteri</i> BAKER	7924	feuille	140	400	160	130	180
Id.		bulbe	90	21	45	67	306
<i>Adenodolichos rhomboideus</i> (O. HOFFM.) HARMS	9650	foliole	109	14	118	38	232
<i>Bectum peschianum</i> DUVIGN. & PLANCKE	7925	feuille	103	164	125	87	224
<i>Eriosperrnum abyssinicum</i> BAK.	7923	feuille	96	22	traces	80	225
<i>Droogmansia munamensis</i> DE WILD.	7929	feuille	95	30	318	26	305
<i>Tecoma stans</i> (L.) JUSS.	7713	feuille	70	traces	80	20	144
<i>Cryptosepalum maraviense</i> OLIV.	7936	foliole	51	15	337	39	183
Id.		gousse	21	15	310	31	-8
<i>Polygala petitiiana</i> A. RICH.	7712	par. épi.	40	130	traces	90	50
<i>Tristachya thollonii</i> FRANCH.	9174	feuille	25	traces	traces	60	50

Les divers groupements décrits ci-dessus sont nettement inféodés aux conditions écotopiques, dont les deux critères majeurs de différenciation sont d'une part la teneur en métaux lourds toxiques, d'autre part l'économie en eau.

### 3.2. Aspects phytogéochimiques

Nous avons examiné la teneur en Cu, Co, Mn, Zn et Fe de 27 plantes récoltées à la Mine de l'Etoile. Les résultats sont présentés au tableau 1. La teneur exceptionnelle en Cu d'*Aeolanthus biformifolius*, qui constitue la plus haute valeur connue à ce jour dans le règne végétal a déjà fait l'objet d'une note (MALAISSE *et al.* 1978). On notera que cette plante accumulé également le cobalt, et notre valeur est identique à la moyenne des valeurs observés par BROOKS (1977) pour *Haumaniastrum robertii*, à savoir 4304 µg/g de matière sèche. Il apparaît toutefois que si *H. robertii* est vraisemblablement davantage une fleur du cobalt qu'une fleur du cuivre, l'inverse est vrai pour *A. biformifolius*. *Lindernia perennis* montre également des valeurs élevées. Cette plante vivace, à port en coussinet, présente une distribution extrêmement réduite puisqu'elle n'a été observée à ce jour qu'à la Mine de l'Etoile. Nous n'avons pu la trouver à la Mine voisine de Ruashi, qui héberge cependant *Faroa chalcophila*, la seconde espèce endémique aux mines de cuivre situées à l'est de Lubumbashi. Une dernière espèce endémique à la Mine de l'Etoile montre une teneur en cuivre élevée, *Vigna dolomitica*. Enfin la présente étude a permis la mise en évidence d'un hyperaccumulateur de Co, *Lindernia damblonii*. Signalée par DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (*l.c.*) des environs de l'Etoile et Ruashi, ce petit thérophyte a encore été observé à la Mine de Lupoto ainsi qu'à Karavia où il présente un comportement identique à une autre espèce annuelle cupricole envahissant les sols pollués par les retombées de la fumée de l'usine de Lubumbashi, *Haumaniastrum katangense*.

### 3.3. Observations préliminaires sur la minéralomasse en cuivre dans les écosystèmes cupricoles

Il se confirme, comme l'indiquait déjà ERNST (1972), que les différents tissus accumulent des quantités variables de métaux lourds et que cette accumulation varie selon les espèces. Ainsi la teneur en cuivre de la feuille de *Becium homblei* (DE WILD.) DUVIGN. & PLANCKE décroît progressivement au cours de la période de végétation (de décembre à mai), tant sur sol pauvre que sur sol riche en cuivre en Zambie (REILLY 1969). A la Mine de l'Etoile, les rameaux de *Cryptosepalum maraviense* ont montré une teneur en cuivre de 270 µg/g, tandis que celle des racines était seulement de 180 µg/g. Par contre, *Acalypha cupricola* présente des valeurs plus élevées pour les racines que pour les feuilles (respectivement 420 et 221 µg/g). De même le corme d'*Aeolanthus biformifolius* est toujours plus riche que les feuilles (MALAISSE *et al.* 1978). Les tiges vivantes de *Triumfetta digitata* présentent des valeurs inférieures aux tiges mortes (respectivement 310 et 375 µg/g). Il en est de même pour les feuilles vivantes de *Rendlia cupricola* par rapport aux feuilles mortes de la litière (respectivement 280 et 640 µg/g). Ces observations renforcent l'idée développée par ERNST (1972), selon laquelle, en Afrique, les hautes teneurs en cuivre des feuilles sont de fait «excrétées» lors de la défoliation.

Nous avons d'autre part tenté d'établir la quantité totale de cuivre contenue dans la partie épigée d'un hectare de phytocénose cupricole. Cette quantité a été estimée à 438 g/ha pour la savane steppique à *Acalypha cupricola* (tableau 2) et à 1267 g/ha pour la pelouse à *Rendlia cupricola* (tableau 3). Ces quantités paraissent minimales en regard de la teneur en cuivre du sol :



TABLEAU 2  
*Biomasse épigée et teneur en cuivre de la savane steppique à Acalypha cupricola*  
 (25 juin 1977, cinq quadrats de 1 m).

	Poids de matière sèche (P.S.)		Teneur en Cu	
	g/m <sup>2</sup>	%	µg/g de P.S.	mg/m <sup>2</sup>
Monocotylédones	226,9	84,2	140	33,8
Dicotylédones				
— feuilles	33,4	12,4	271	9,1
— parties ligneuses	9,3	3,5	318	3,0
	269,6	100,1		43,8

TABLEAU 3  
*Biomasse épigée et teneur en cuivre de la pelouse à Rendlia cupricola*  
 (avril 1974, cinq quadrats de 1/4 de m).

	Poids de matière sèche (P.S.)		Teneur en Cu	
	g/m <sup>2</sup>	%	µg/g de P.S.	mg/m <sup>2</sup>
<i>Rendlia cupricola</i>				
— biomasse ( feuille	119,1	40,9	280	33,4
( chaume	30,8	10,6	100	3,1
— nécromasse	140,8	48,5	640	90,1
Autres plantes	1,4	0,1	106	0,1
	292,1	100,1		126,7

TABLEAU 4  
*Biomasse endogée et teneur du sol en cuivre pour la savane steppique à Acalypha cupricola*  
 (25 juin 1977).

Profondeur du sol (en cm)	Biomasse endogée (en kg de matière sèche/ha)		Poids du sol sec (en kg/ha)	Teneur du sol en cuivre (en µg/g de sol sec (en kg/ha)	
	radicelles ( < 1 mm de Ø)	racines ( > 1 mm de Ø)			
0- 3	714,5	}	350.535	5.300	1.858
3-10	137,7		1.761,9	945.462	1.800
10-20	17,5		912.303	1.100	1.004
20-50	3,3		2.353.787	1.200	2.825
50-70	—		—	1.080	—

environ 7.400 kg/ha dans les cinquante centimètres supérieurs du sol de la savane steppique à *Acalypha cupricola* (tableau 4) ; elles sont assez proches des valeurs estimées par S. DENAEYER-DE SMET (1964) pour une chênaie atlantique européenne à bouleaux, à savoir 305 g/ha.

Lorsqu'on envisage la série des végétations qui colonisent des sols dont la teneur en cuivre augmente, on constate que leur biomasse végétale respective décroît. Cette diminution de la biomasse végétale s'accompagne toutefois d'une augmentation de la teneur en cuivre des plantes, de telle sorte que la quantité totale de cuivre accumulé dans la phytocénose augmente finalement avec la teneur en cuivre du sol.

#### REMERCIEMENTS

Pour la réalisation du présent travail nous avons pu compter sur des collaborations précieuses. Ngoy L. a effectué les figures, L. Lemaire a réalisé la documentation photographique, tandis que Tshibas K. a assuré divers travaux techniques. L'aide sur le terrain de Muzinga, Kisimba et Kabwari a été appréciée. A tous nos vifs remerciements.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BROOKS, R. R., 1977. — Copper and cobalt uptake by *Haumaniastrum* species. *Pl. Soil* **48** (2) : 541-544.
- BROOKS, R. R., McCLEAVE, J. A. & MALAISSE, F., 1977. — Copper and cobalt in African species of *Crotalaria* L. *Proc. R. Soc. Lond. B.* **197** : 231-236.
- BROOKS, R. R., MORRISON, R. E., REEVES, R. D. & MALAISSE, F., 1978. — Copper and cobalt in African species of *Aeolanthus* Mart. (Plectranthinae, Labiatae). *Pl. Soil* (sous presse).
- DENAYER-DE SMET, S., 1964. — Distribution de deux oligoéléments cuivre et manganèse dans une chênaie atlantique. *Lejeunia*, ser. nov. **29** : 8 p.
- DREW, A. & REILLY, C., 1972. — Observations on copper tolerance in the vegetation of a Zambian copper clearing. *J. Ecol.* **60** : 439-444.
- DUVIGNEAUD, P., 1958. — La végétation du Katanga et de ses sols métallifères. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **90** : 127-286.
- DUVIGNEAUD, P., 1959. — Plantes «cobaltophytes» dans le Haut-Katanga. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **91** : 111-134.
- DUVIGNEAUD, P. & DENAEYER-DE SMET, S., 1960. — Action de certains métaux lourds du sol (cuivre, cobalt, manganèse, uranium) sur la végétation dans le Haut-Katanga. In : VIENNOT-BOURGIN (ed.), *Rapports du sol et de la végétation* : 121-139. Ed. Masson, Paris.
- DUVIGNEAUD, P. & DENAEYER-DE SMET, S., 1963. — Cuivre et végétation au Katanga. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **96** : 93-231.
- DUVIGNEAUD, P. & TIMPERMAN, J., 1959. — Etudes sur le genre *Crotalaria*. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **91** : 135-176.
- ERNST, W., 1972. — Ecophysiological studies on heavy metal plants in South Central Africa. *Kirkia* **8** : 125-145.
- ERNST, W., 1974. — Schwermetallvegetation der Erde. In : TÜXEN (ed.), *Geobotanica selecta* **5** : 194 p. Ed. Gustav Fischer, Stuttgart.
- HALL, J. B., 1970. — *Pteris vittata* Linn. a gold-mine fern in Ghana. *The Nigerian Field* **35** (1) : 9 p.
- HORSCROFT, F. D. M., 1961. — Vegetation. In : MENDELSON (ed.), *The geology of the Northern Rhodesian Copper Belt* : 73-80. Ed. Macdonald, London.
- HOWARD-WILLIAMS, C., 1970. — The ecology of *Becium homblei* in Central Africa with special reference to metalliferous soils. *J. Ecol.* **58** : 745-763.

- HOWARD-WILLIAMS, C., 1971. — Environmental factors controlling the growth of plants on heavy metal soils. *Kirkia* **8** : 91-102.
- HOWARD-WILLIAMS, C., 1972. — Factors influencing copper tolerance in *Becium homblei*. *Nature* [London] **237** : 171.
- JACOBSEN, W. B. G., 1967. — The influence of the copper content on trees and shrubs of Molly South Hill, Mangula. *Kirkia* **6** : 63-84.
- JACOBSEN, W. B. G., 1968. — The influence of the copper content of the soil on the vegetation at Silverside North, Mangula area. *Kirkia* **6** : 259-277.
- JACOBSEN, W. B. G., 1970. — Further note on the vegetation of copper-bearing soils at Silverside. *Kirkia* **7** : 285-290.
- MALAISSÉ, F., GRÉGOIRE, J., BROOKS, R. R., MORRISON, R. S. & REEVES, R. D., 1978. — *Aeolanthus biformifolius* De Wild., a hyperaccumulator of copper from Zaïre. *Science* **199** : 887-888.
- REILLY, C., 1967. — Accumulation of copper by some Zambian plants. *Nature* [London] **215** : 667-668.
- REILLY, C., 1969. — The uptake and accumulation of copper by *Becium homblei* (De Wild.) Duvign. & Plancke. *New Phytol.* **68** : 1081-1087.
- REILLY, C., 1971. — Copper tolerance in *Becium homblei*. *Nature* [London] **230** : 403.
- ROBYNS, W., 1932. — Over plantengroei en flora der kopervelden van Opper-Katanga. *Natuurwet. Tijdschr.* **14** : 101-107.
- SCHMITZ, A., 1963. — Aperçu sur les groupements végétaux du Katanga. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **96** : 233-447.
- WILD, H., 1968. — Geobotanical anomalies in Rhodesia. I. The vegetation of copper bearing soils. *Kirkia* **7** : 1-71.

36-6

- 5 JUIN 1978

---

TOME 111

Fascicule 2

1978

---

Bulletin  
de la  
Société Royale de Botanique  
de Belgique

ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF

fondée le 1<sup>er</sup> juin 1862

*Sous le Haut Patronage de Sa Majesté le Roi des Belges*



*Publié avec l'aide financière  
du Ministère de l'Éducation Nationale et de la Culture française,  
du Ministerie van Nationale Opvoeding en Nederlandse Cultuur,  
du Ministère de l'Agriculture  
et de la Fondation Universitaire*

SOCIÉTÉ ROYALE DE BOTANIQUE DE BELGIQUE  
RUE ROYALE 236  
1030 BRUXELLES