

Cuivre et végétation au Shaba (Zaïre) *

par

F. MALAISSE **

MOTS-CLÉS. — Cobalt ; Cuivre ; Phytogéochimie ; Région zambézienne ; Shaba ; Zaïre.

RÉSUMÉ. — L'article retrace l'histoire de la connaissance de la flore et de la végétation des sols cuprifères du Shaba au Zaïre. Différentes époques sont distinguées : époque précoloniale, coloniale, de l'indépendance (1958-63), de transition (1965-75) et récente (depuis 1977). Le point de la connaissance est successivement établi en ce qui concerne la flore, les aspects systématiques, la reconnaissance des groupements végétaux, l'origine de la flore cupro-cobalticole, la phytogéochimie, la phytochimie, la pollution engendrée par l'activité minière et la phytoarchéologie. Une bibliographie exhaustive relative à la végétation du cuivre au Shaba est fournie.

SAMENVATTING. — *Koper en plantengroei in Shaba (Zaïre)*. — Het artikel schetst een geschiedkundig overzicht van de flora en de plantengroei van de koperhoudende gronden in Shaba, Zaïre. Men kan verschillende tijdperken onderscheiden : het prekoloniale en koloniale tijdperk, dat van de onafhankelijkheid (1958-63), een overgangperiode (1965-1975) en het recente tijdperk vanaf 1977. De staat van de kennis wordt achtereenvolgens bekeken aangaande de flora, vanuit een systematisch standpunt, de herkenning van de plantengroepen, de oorsprong van de koper- en kobaltflora, de plantengeochemie, de plantenchemie, de pollutie die door de mijnactiviteiten ontstond, de plantenarcheologie. Een volledige bibliografie m.b.t. planten die op koperhoudende bodems leven in Shaba is beschikbaar.

SUMMARY. — *Copper and vegetation in Shaba (Zaïre)*. — The present paper reviews the progress of our knowledge regarding the flora and the vegetation of copper bearing soils in Shaba, Zaïre. Several periods are distinguished, namely : precolonial, colonial, independence and transition periods, as well as recent progresses. The present state of knowledge is successively set up regarding the flora, systematic aspects, vegetation unit's recognition, origin of the copper-cobalt flora, phyto-geochemistry, phytochemistry, pollution derived from mining activities and phytoarcheology. A complete list of publications dealing with the copper vegetation of Shaba is forwarded.

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 22 février 1994. Texte reçu le 22 août 1994.

** Membre associé de l'Académie ; Laboratoire d'Écologie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux (Belgique).

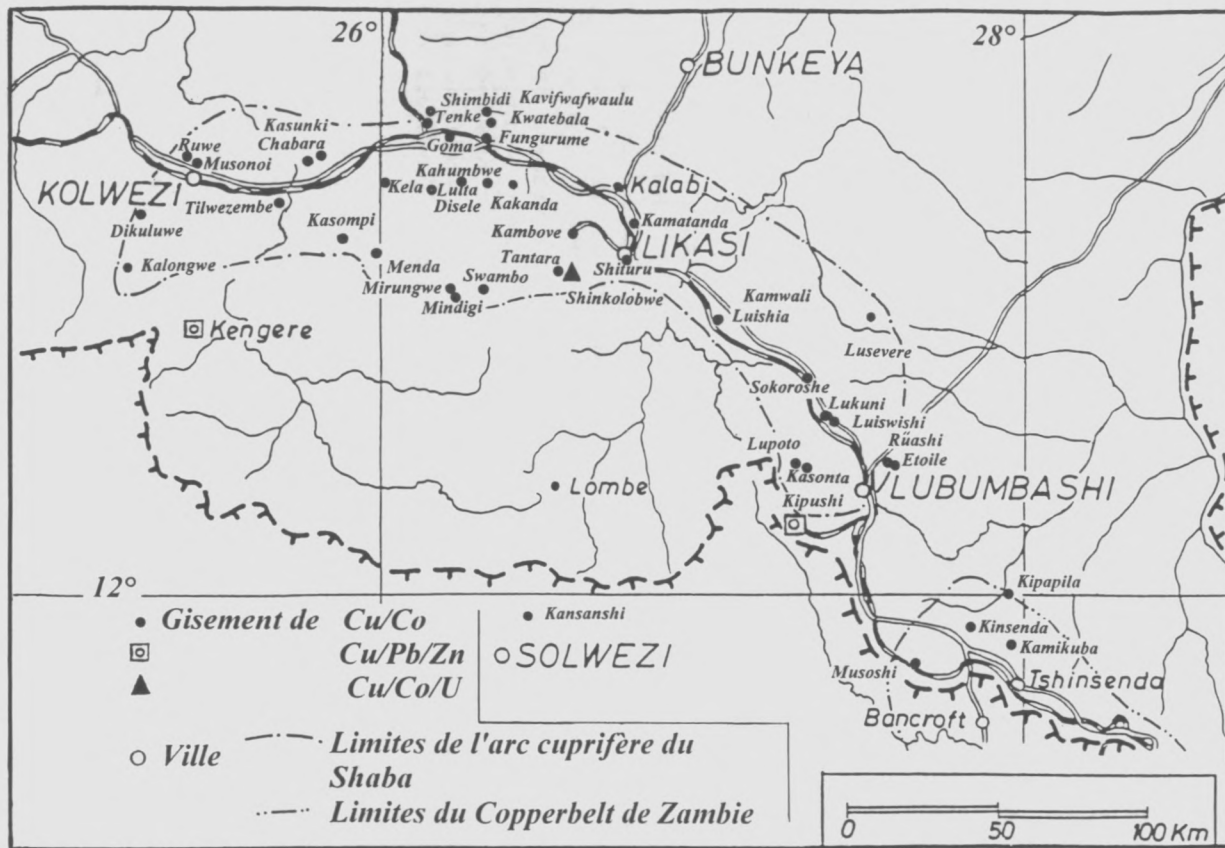


Fig. 1. — L'arc cuprifère shabien et les principaux gisements métallifères (d'après FRANÇOIS 1973, modifié).

Introduction

Le sud-est du Zaïre relève indiscutablement du territoire phytogéographique zambézien. Sa flore montre plusieurs caractères particuliers qui l'individualise au sein du centre régional d'endémisme zambézien. D'un point de vue géologique, le sud-est du Zaïre (fig. 1) est marqué par la présence de l'arc cuprifère shabien (FRANÇOIS 1973). Ce dernier est responsable de la présence de sols à teneur élevée en métaux lourds (principalement en cuivre), une caractéristique écologique remarquable. La présente note se propose de faire le point de la connaissance relative à la flore et la végétation de ces sols «anormaux».

Historique de la connaissance

L'ÉPOQUE PRÉCOLONIALE

La connaissance intuitive de l'existence d'anomalies géobotaniques au Shaba remonte au début de la métallurgie précoloniale du cuivre, vers le XIV^e siècle (DE PLAEN *et al.* 1982). Les nombreux sites anciens où des restes de hauts-fourneaux (fig. 2) ont été découverts attestent de l'importance de cette activité [voir notamment la carte de ces sites pour les environs de Lubumbashi (DE PLAEN *et al.* 1982)].



Fig. 2. — Fours précoloniaux pour la métallurgie du cuivre établis sur le flanc d'une haute termitière (environs de Likasi).

L'ÉPOQUE COLONIALE

Mais la première mention écrite relative à une anomalie géobotanique n'apparaît que dans DE WILDEMAN (1921 : LXXXV), qui s'interroge sur les fondements «de l'assertion émise par certains prospecteurs, selon laquelle la belle couleur jaune que prennent les feuilles d'un figuier un peu avant leur chute est l'indice certain de la présence de minerai d'or dans le sol» [1] *. Il s'agit en fait de la chlorose intervénale observée sur *Uapaca robynsii* De Wild. (DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1963, p. 208) et qui traduit un excès de cuivre dans le sol.

En mars 1926, W. Robyns parcourt cinq carreaux de mine du Shaba, à savoir Likasi, Kambove, Luiswishi, Ruashi et Étoile du Congo (= Mine de l'Étoile ou Kalukuluku). Les commentaires qu'il publie en 1932 mentionnent la distinction de deux groupements végétaux : «une zone de végétation herbeuse, dont les limites coïncident avec celles des couches imprégnées de cuivre et une zone de savanes arbustives rabougries s'étendant sur tout le pourtour du gisement proprement dit et formant la transition vers la forêt claire environnante, qui est la formation dominante dans tout le Haut-Katanga».

ROBYNS (1932) considère quatorze plantes comme endémiques des affleurements cuprifères, à savoir :

- Uapaca robynsii* De Wild. ;
- Acalypha cupricola* Robyns ;
- Triumfetta cupricola* De Wild. ;
- Triumfetta likasiensis* De Wild. ;
- Triumfetta robynsii* De Wild. ;
- Barleria variabilis* Robyns ;
- Justicia cupricola* Robyns ;
- Icomum biformifolium* De Wild. ;
- Icomum elongatum* De Wild. ;
- Icomum tuberculatum* De Wild. ;
- Tinnea obovata* Robyns & Lebrun ;
- Gutenbergia cupricola* Robyns.

Il en déduit l'existence d'une flore du cuivre et souligne les rapports étroits entre sol et croissance des plantes. On notera la présence dans cette liste de trois espèces différentes de *Triumfetta* et d'*Icomum*.

Aujourd'hui la dénomination et le statut de plusieurs taxons énumérés ci-dessus ont été modifiés ; de plus l'endémisme cupricole d'un seul d'entre eux, *Acalypha cupricola*, se vérifie encore ; néanmoins la distinction de deux formations végétales contrastées reste pertinente.

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes p. 574.

L'ÉPOQUE DE L'INDÉPENDANCE (1958-1963)

Les travaux de Duvigneaud et de ses collaborateurs marquent cette période. Leur intérêt a été souligné à plusieurs reprises (WILD 1978, ERNST 1993).

En 1958, Duvigneaud aborde le problème de l'origine de la flore des sols métallifères du Shaba. Cette flore comprend selon lui :

- Des espèces des formations steppiques à sol plus ou moins asphyxiants (tels que les «dembos» établis sur latérite et les savanes steppiques ou «dilungu» des hauts plateaux sablonneux) ;
- Des espèces des formations développées sur sols rocheux non minéralisés, ainsi que des forêts claires sur terre jaune compacte (*Xerobrachystegion*) ;
- Enfin, des espèces caractéristiques, liées à la présence de quantités anormalement élevées de métaux lourds dans les sols.

Les forêts galeries, les forêts denses sèches ou «muhulu», les forêts claires établies sur terre rouge profonde du *Mesobrachystegion*, les savanes alluviales, la végétation des hautes termitières et la végétation à caractère afro-montagnard des hauts plateaux des Marungu n'auraient par contre aucun rapport floristique avec la flore des biotopes métallifères. Du point de vue phytogéographique cette flore serait fondamentalement zambézienne.

Il signale également que le paysage monotone de forêts claires du Shaba méridional est entrecoupé çà et là de clairières ou de collines dénudées, à végétation ligneuse nulle ou clairsemée. La dénudation des collines est en général due à la présence, dans le sol qui les recouvre, de doses anormalement grandes et plus ou moins toxiques de métaux lourds. Ceux-ci proviennent de roches-mères appartenant aux horizons géologiques de la Série des Mines. Ces roches sont plus ou moins abondamment minéralisées en cuivre, lequel est accompagné de quantités relativement importantes de cobalt et souvent de nickel, et parfois d'uranium. Le ruissellement de l'eau sur la pente des collines amène un lessivage tangentiel des substances toxiques, qui s'accumulent sous forme d'une auréole de contamination ou dembo d'empoisonnement.

En 1959, Duvigneaud signale la présence de deux espèces qui paraissent strictement liées à des substrats hautement minéralisés et riches en cobalt, à savoir *Silene cobalticola* Duvigneaud & Plancke et *Crotalaria cobalticola* Duvigneaud & Plancke. Il les considère comme des cobaltophytes. En outre l'écologie de plusieurs espèces de *Crotalaria* est dégagée (DUVIGNEAUD & TIMPERMAN 1959), tandis que DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1960) discutent les rapports entre sol et végétation au Shaba.

En 1963 Duvigneaud publie, en collaboration avec Denaeayer-De Smet, «Cuivre et végétation» qui reste son ouvrage majeur pour notre sujet. Dans cet ouvrage de nombreux thèmes sont abordés. On retiendra parmi les conclusions émises qu'une flore cupricole particulière s'est développée au Katanga sur des sols dont la teneur en cuivre total va de 500 à 100 000 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de sol.

Ces sols sont observés dans un système de collines et de massifs cuprifères isolés les uns des autres et distribués sur plus de 400 km de longueur. Cette flore cupricole comporte, suivant l'amplitude de leur résistance au cuivre, des eucuprophytes (oligo-, poly-, eurycuprophytes), des cuprophytes locaux, des cuprophiles et des cuprorésistantes. Les «bonnes espèces» eucuprophytes seraient des reliques d'une flore disparue ; elles auraient évité l'extermination en cherchant refuge sur les sols cuprifères auxquels leur grande tolérance écologique leur aurait permis de s'adapter physiologiquement.

Des groupements végétaux particuliers sont reconnus, à savoir : une pelouse cupricole grisâtre, un steppe cupricole verdoyant, un bosquet rabougri et un steppe enroché sous-arbustif. On observe dans les deux premiers groupements le développement de 3 à 4 phases de végétation successives au cours d'une seule année, la structure dans le temps apparaissant plus importante que la structure dans l'espace. Ces auteurs signalent encore que la flore cupricole du Katanga montre peu de symptômes de maladie ou de carence malgré les énormes doses de cuivre accumulées dans la rhizosphère. De même l'absorption de ce métal par les plantes est restreinte, à l'exception des cuprophytes capables d'accumuler dans leurs feuilles des quantités de cuivre de 2 à 50 fois la valeur normale.

Enfin signalons encore pour cette période les récoltes occasionnelles de Schmitz et Symoens relatives à certains gisements. Se basant principalement sur Duvigneaud, SCHMITZ (1963) abordera la phytosociologie des groupements végétaux des sols métallifères dans sa synthèse relative au Shaba. Ainsi au sein de l'ordre de l'*Acrocephalo-Eragrostidetalia cupricola* Duvigneaud 1959, seront décrites diverses associations et sociations dont un *Bulbostyletum mucronatae*. Le système proposé dans ce dernier travail sera d'ailleurs rappelé à diverses reprises, tant par l'auteur lui-même (SCHMITZ 1971), que lors de synthèses mondiale (ERNST 1974) ou relative à l'Afrique australe (WILD 1978).

La radiosensibilité des graines d'*Andropogon filifolius* (Nees) Steud issues du gisement cupro-uranifère de Kasompi et du gisement non uranifère de Dikuluwe est aussi étudiée (MEWISSEN *et al.* 1960).

LA PÉRIODE DE TRANSITION (1965-1975)

Cette période verra quelques récoltes et travaux. Léonard et Evrard visitent en 1968 la mine de l'Étoile et y récoltent une nouvelle Gentianacée, *Faroa chalcophila* Taylor.

Dans les années 70, au cours d'une expédition, la Zaïre River Expedition, une étude des relations entre cuivre et cobalt et végétation est effectuée dans les environs de Fungurume et à Dikuluwe (SHEWVRY *et al.* 1979). La distribution de *Cryptosepalum maraviense* et de *Uapaca robynsii* (environs de Fugurume) ainsi que celle des *Xerophyta* (à Dikuluwe) est investiguée de même que diverses formes morphologiques sont identifiées.

Les recherches récentes

Une nouvelle progression dans la connaissance phytochimique des métaux lourds au Haut-Shaba débute en 1977. Elle résulte en premier lieu des travaux réalisés en collaboration par des chercheurs du Laboratoire de Botanique et d'Écologie (Directeur : Prof. F. Malaisse) de l'Université de Lubumbashi et ceux du Département de Chimie, Biochimie et Biophysique (Directeur : Prof. R.R. Brooks) de l'Université Massey à Palmerston North en Nouvelle-Zélande. Plus récemment, cette collaboration fut élargie à la Biological School (Prof. A.J.M. Baker) de l'Université de Sheffield [2] et se traduisit entre autres par la Tropical Metallophyte Expedition (TROPMETEX) qui explora le Shaba en mai 1990. D'autre part, plusieurs chercheurs du Jardin Botanique National de Belgique (BR) ont mis sur pied une série de missions (Robbrecht & Empain : février 1982 ; Empain & Goetghebeur : avril 1985 ; Bamps : janvier 1986 et Billiet & Jadin : février 1987) qui permirent de mieux connaître la flore du Shaba et notamment celle des sols métallifères. L'ensemble des recherches évoquées ci-dessus se sont développées dans plusieurs directions que nous analyserons ci-dessous selon un regroupement thématique.

ASPECTS FLORISTIQUES

En premier lieu il convenait de poursuivre l'établissement de l'inventaire de la flore cupro-cobalticole du Haut-Shaba, c'est-à-dire la liste des espèces ou mieux des taxons observés sur les sols à teneur anormale en cuivre et (ou) cobalt. Une liste préliminaire pouvait être déduite des travaux antérieurs de Duvigneaud & Denaeyer-De Smet (1963). Elle fut tenue à jour en fonction des informations figurant dans les travaux ultérieurs et fut en outre complétée sur base des nouvelles prospections et récoltes. Ainsi plus de 120 gisements furent identifiés dont quelque 43 furent prospectés.

1350 numéros de récolte y furent rassemblés. La collection de référence est déposée au Jardin Botanique National de Belgique (BR, selon l'Index de HOLMGREN *et al.* 1990) à Meise ; un double figura dans l'herbarium de l'Université de Lubumbashi (LSHI). Plus de 240 taxons de plantes supérieures ont été inventoriés à ce jour (BROOKS & MALAISSE 1985), dont une trentaine sont illustrés en couleurs dans la Flore des gisements cupro-cobaltifères du Shaba méridional publiée par la Gécamines (MALAISSE 1984). EMPAIN (1985) signale quatre bryophytes observés fréquemment sur les sites cuprifères.

ASPECTS SYSTÉMATIQUES

L'examen des herbiers récoltés au cours des nombreuses prospections étalées sur plus de dix années va susciter diverses études taxonomiques qui vont amener tant la description de plusieurs espèces nouvelles (BAMPS 1987, BOUTIQUE 1971, CORDOVA 1990, FISCHER 1992, GOETGHEBEUR & COUDIJZER

1985, LAWALRÉE 1970, MALAISSE 1983, MALAISSE & LECRON 1990, ROBBRECHT 1981, ROBYNS 1989, TAYLOR 1971, THULIN 1987) que des mises au point du statut des écotypes et taxons observés (TAYLOR 1973, RYDING 1986, SEBALD 1989, FISCHER 1989, 1992, LEJOLY & LISOWSKI 1992). Des études biosystématiques, notamment de taxons relevant du genre *Silene* L., permettront de mieux comprendre les processus de spéciation. En effet, l'étude comparative de *S. burchelli* Otth. var. *angustifolia* Sond., d'un écotype observé sur gisement de cuivre à la mine de Luita et de *S. cobalticola* Duvign. & Plancke va permettre la mise en évidence de l'existence d'une série écophylétique qui est confirmée tant par le gradient des modifications morphologiques qu'anatomiques ou physiologiques (BAKER *et al.* 1983, MALAISSE *et al.* 1983). Notons que ce processus qui rejoint la notion de «mine-écotypes» (ANTONOVIC *et al.* 1971) relèverait du néo-endémisme. Des évolutions analogues ont été reconnues au sein de divers genres, notamment de *Pandiaka* (Moq.) Hook. f. (MALAISSE 1983), *Dicoma* Cassini (WILD 1971, LAWALRÉE & MVUKIYUMWAMI 1982) et *Cryptosepalum* Benth. (DUVIGNEAUD & BRENNAN 1966, SHEWRY *et al.* 1979).

RECONNAISSANCE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Une troisième orientation de ces recherches relève de la phytosociologie. Cette dernière avait déjà été abordée par DUVIGNEAUD (1958, 1959) et DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1963). Ces travaux reconnaissent et définissent non seulement des groupements végétaux mais développent encore le concept de groupes écologiques, tandis que la synthèse de SCHMITZ (1963) s'inscrit uniquement dans la démarche de l'École zuricho-montpelliéraine (WERGER 1977).

Les observations récentes qui prolongent les études des précurseurs en Afrique occidentale (WEBB & MILLMAN 1951) et celles rappelées ci-dessus consistent dans des prospections géobotaniques permettant la distinction de divers groupements végétaux correspondant à des minéralisations plus ou moins importantes. Les plantes caractéristiques de chacun de ces groupements sont notées, leurs teneurs en Co et Cu établies, ainsi que celles des sols qui y correspondent. Une telle approche avait déjà été réalisée au Shaba pour divers gisements, notamment les collines I et II de Fungurume (DUVIGNEAUD 1958, p. 263, DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1960, p. 123, 1963, p. 110), Kapolo (DUVIGNEAUD 1958, p. 269), Mindingi (DUVIGNEAUD 1959, p. 114), Dikuluwe (DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1963, p. 191) et Chabara (DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1963, p. 195). La végétation et la phytochimie des gisements de l'Étoile (MALAISSE & GRÉGOIRE 1978), des collines V et VI de Fungurume (MALAISSE *et al.* 1979), de Lupoto et Kasonta (BROOKS *et al.* 1982), de Dikulushi (MALAISSE *et al.* 1985) ainsi

que de Shinkolobwe (MALAISSE *et al.* 1994) ont été successivement décrites et précisées.

À la mine de l'Étoile, outre la forêt claire, sept groupements végétaux furent distingués, pour lesquels les teneurs en Cu, Co, Mn, Zn, et Fe du sol furent établies (MALAISSE & GRÉGOIRE 1978). De façon analogue, l'étude de la végétation de Fungurume (MALAISSE *et al.* 1979) va permettre la description de nouveaux groupements végétaux cupricoles.

Au cours d'une expédition, la «Tropical Metallophyte Expedition» ou TROPMETEX (BROOKS *et al.* 1992), effectuée en mars et avril 1990, l'étude du site de Shinkolobwe fut réalisée. Le gisement de cuivre-cobalt-uranium de Shinkolobwe (fig. 3) est remarquable en ce qu'il inclut, en une seule colline, la Borne XIII, la plupart des communautés végétales observées jusqu'ici sur les autres gisements du Shaba. Une synthèse (fig. 4), prenant en compte les onze transects phytogéochimiques des anomalies cupro-cobaltifères du Shaba publiés précédemment, ainsi que les observations nouvelles de Shinkolobwe fut établie (MALAISSE *et al.* 1994).

Une association végétale nouvelle, selon les concepts de l'École zurichomontpelliéraine, à savoir le *Mohrio-Batopedinetum pulvinellati*, a encore été reconnue. Elle est inféodée aux roches siliceuses cellulaires, qui sont parfois localement enrichies en cuivre et cobalt. La flore qui y est observée est susceptible d'accumuler de grandes quantités de ces deux métaux lourds. Les groupes écologiques qui s'y observent ont été signalés (MALAISSE 1981).



Fig. 3. — Le site de la Borne XIII à Shinkolobwe. À l'avant-plan les affleurements de roches siliceuses cellulaires où la malachite est abondante. Au bas de la pente la ceinture à *Uapaca robynii* se détache aisément de la forêt claire avoisinante.

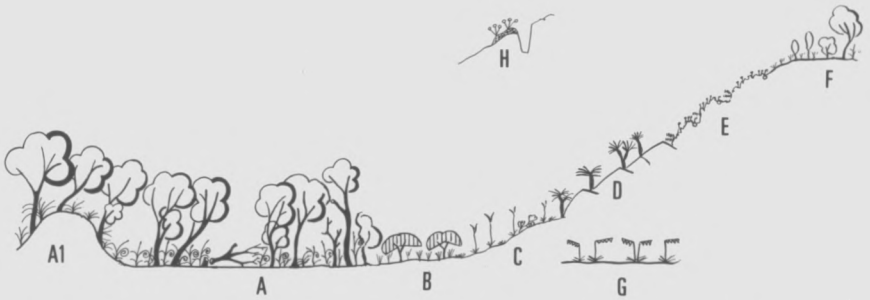


Fig. 4. — Représentation schématique des divers aspects de la végétation des gisements cuprifères du Shaba (A : forêt claire ; A1 : haute termitière ; B : ceinture de savane arbustive à *Uapaca robynzii* ; C : savane steppique à *Loudetia simplex* - *Monocymbium ceresiiforme* avec *Acalypha cupricola* comme différentielle cupricole caractéristique ; D : steppe enroché à *Xerophyta* spp. ; E : végétation de chasmophytes ; F : savane arborée à *Hymenocardia acida* ; G : pelouse à *Rendia cupricola* sur sols compacts ; H : *Haumaniastrum robertii* sur substrat rocheux remanié provenant des tranchées de prospection (d'après MALAÏSSE *et al.* 1994, modifié).

Enfin SCHMITZ (1988) a mis à jour les groupements végétaux du Zaïre, du Rwanda et du Burundi. Toutefois les nombreux groupements signalés par DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1963) sont, pour la plupart, considérés comme insuffisamment décrits et non intégrés dans le système proposé qui ne tient pas toujours compte par ailleurs des dernières révisions systématiques, notamment en ce qui concerne les *Bulbostylis*.

ORIGINE DE LA FLORE CUPRO-COBALTOPHILE

Une quatrième orientation de cette recherche sera phytogéographique. Le problème de l'origine de cette flore si particulière va être posé. DUVIGNEAUD (1958) l'a esquissée, des nouvelles observations permettent de confirmer cette origine multiple et de déduire l'apport de nouveaux groupes écologiques ; non évoqués précédemment, comme l'indique la figure 5 (MALAÏSSE 1983). Les diverses formations herbacées altishabiennes fournissent le noyau fondamental, mais l'apport d'autres formations végétales ne doit pas être sous-estimé. L'existence d'un endémisme important (42 espèces) se dégage également. Ces espèces endémiques ne possèdent pas toujours des taxons affins dans les autres écosystèmes du Shaba méridional, ce qui amène à examiner l'importance relative du paléoendémisme et du néoendémisme, une question à laquelle s'étaient déjà intéressées diverses études effectuées en Afrique centrale méridionale. Ainsi WILD & BRADSHAW (1977) considèrent le paléoendémisme comme fondamental pour les espèces endémiques de sols métallifères au Zimbabwe, tout en constatant la présence conjointe de très jeunes néoendémiques ; une position qui se vérifie au Shaba pour la flore qui nous occupe.

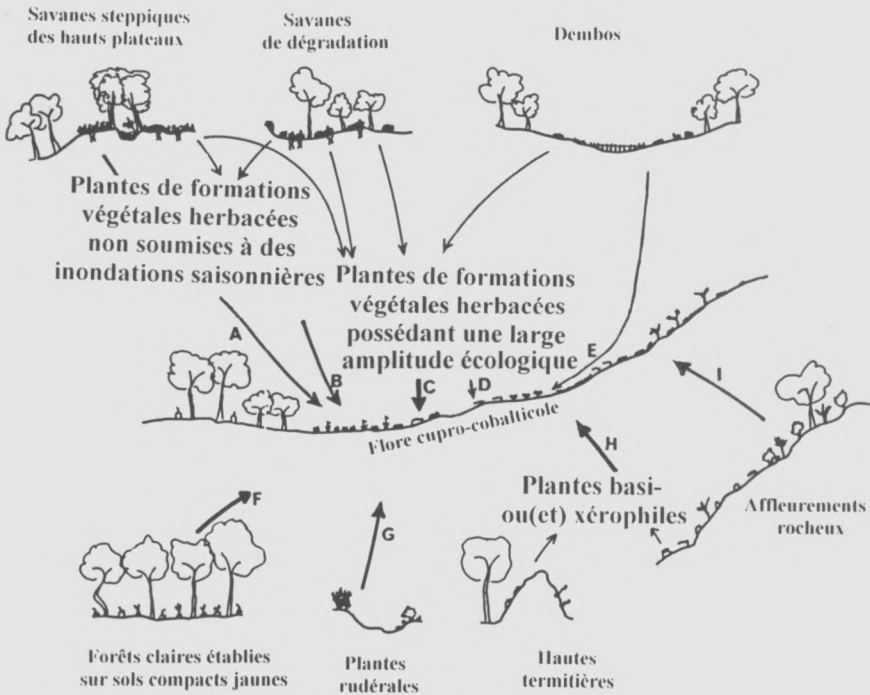


Fig. 5. — Origine de la flore cupro-cobalticole (d'après MALAÏSSE 1983, modifié).

PHYTOGÉOCHIMIE

En premier lieu la quasi totalité des espèces de plusieurs genres va être passée en revue du point de vue de la teneur en cuivre et en cobalt de leur feuille. L'étude du genre *Haumaniastrum* Duvigneaud & Plancke (Ocimoideae, Lamiaceae) a permis de montrer, non seulement la tolérance de *H. homblei* (De Wild.) Duvign. & Denaeyer-De Smet vis-à-vis des sols métallifères (BROOKS 1977), mais surtout l'accumulation remarquable en cobalt de *H. robertii* (Robyns) Duvign. & Plancke. Cette plante était considérée jusqu'alors comme une «fleur de cuivre» (DUVIGNEAUD 1958, p. 254), mais la haute teneur de la feuille en cobalt suggéra que ce dernier cation puisse contrôler sa distribution. Des études similaires furent effectuées pour les genres *Crotalaria* L. (Crotalarieae, Fabaceae) et *Aeollanthus* Mart. (Plectranthineae, Lamiaceae). Le genre *Crotalaria* compte 500 espèces africaines dont 176 ont été observées au Shaba méridional (POLHILL 1982). BROOKS *et al.* (1977) ont analysé près de 1500 spécimens d'herbier appartenant à 284 espèces.

Des teneurs anormales furent observées pour une douzaine d'espèces dont le matériel provenait quasi exclusivement de l'arc cuprifère shabien et (ou) du

Copperbelt zambien. Les espèces accumulatrices relevaient de 4 des 15 sections et sous-sections du genre, notamment la section Dispermae, la section *Crotalaria* sous-section Longirostres et la section Incanae sous-section Glaucacae. Bien qu'aucune espèce de *Crotalaria* ne pût, sur la base de ces analyses, être classée comme hyperaccumulateur (soit une teneur supérieure à $1000 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), cette éventualité ne fut pas pour autant rejetée par les auteurs.

L'étude de la teneur en cuivre et en cobalt des feuilles de 49 espèces africaines d'*Aeollanthus* a montré des anomalies pour trois espèces (BROOKS *et al.* 1978). Parmi celles-ci *A. subacaulis* (Bak.) Hua & Briq. var. *linearis* (Burk.) Ryding (Syn. : *A. biformifolius*) mérite une mention particulière. Cette plante est un hyperaccumulateur de cuivre et de cobalt ; pour le cuivre la teneur du corne, bulbe solide, pendant la saison sèche, à savoir 1,37%, constitue la valeur la plus élevée observée à ce jour au monde pour du matériel végétal vivant (MALAISSE *et al.* 1978).

L'étude de la Mine de l'Étoile va permettre de signaler quatre nouveaux hyperaccumulateurs de cuivre et trois de cobalt. Enfin des observations préliminaires sur la minéralomasse en cuivre des écosystèmes cupricoles sont rapportées (MALAISSE & GRÉGOIRE 1978). À 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.

Avec l'étude des collines V et VI du site de Fungurume sept nouveaux hyperaccumulateurs de Cu ou de Co sont identifiés. De façon générale les Ptéridophytes montrent une forte résistance à l'accumulation des métaux lourds, à l'exception de *Mohria lepigera* (Bak.) Bak. À Fungurume, les plantes crassulescentes montrent une tendance nette à l'accumulation de métaux lourds de même que divers hémiparasites de tige (Loranthaceae) et de racine (*Alectra sessiliflora* (Vahl.) O. Kuntze var. *senegalensis* (Benth.) Hepper). Enfin cette étude a encore confirmé que la teneur en métaux lourds des feuilles peut varier fortement au cours du temps ; ainsi *Pandiaka metallorum* Duvign. & Van Bockstael voit sa teneur en cobalt passer de 1130 à 6260 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de décembre à avril.

L'étude des gisements cupro-cobaltifères de l'Anticlinal de Kasonta (BROOKS *et al.* 1982) n'ont permis la reconnaissance que de trois groupements végétaux et une cinquantaine de taxons, dont deux nouveaux hyperaccumulateurs de cuivre, relevant de la flore rudérale, à savoir *Vernonia petersii* Oliv. & Hiern. et *Anisopappus hoffmannianus* Hutch. *Becium grandiflorum* (L.) Pic. - Serm. var. *metallorum* (Duvign.) Sebald biotypus *peschianum*, une endémique cupricole montre également de fortes teneurs en cuivre ($800-900 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

L'étude réalisée à Dikulushi (fig. 6) constitue un fort bel exemple de recherches multidisciplinaires. Bien que ce site se situe en dehors de l'arc cuprifère shabien, l'intérêt et la pertinence des démarches mise au point



Fig. 6. — Le site de Dikulushi : type d'anomalie cuprifère où la roche minéralisée n'affleure pas. La clairière «empoisonnée» peut aisément être distinguée de la forêt claire environnante. Les tranchées de prospection quadrillent la clairière.

précédemment vont se justifier. On y observe en effet une grande analogie entre la carte géochimique établie en utilisant des seuils de teneur en cuivre ayant fait leur preuve ailleurs au Shaba, la carte phytosociologique et les prospections biogéochimiques (MALAISSE *et al.* 1985). La présence fréquente de *Nephrolepis undulata* (Afz. ex Sw.) J. Sm. sur des emplacements de métallurgie de l'époque précoloniale se confirme. Cette présence est notamment rapportée de Dikulushi, tout comme de Luishia (MALAISSE *et al.* 1985).

PHYTOCHIMIE

Une sixième direction de cette recherche va viser à comprendre le mécanisme de l'action sélective des métaux lourds et de leur accumulation dans les tissus végétaux. Des études précédentes se sont intéressées à *Becium homblei* (REILLY 1969, 1972, HOWARD-WILLIAMS 1970, REILLY & STONE 1971, REILLY *et al.* 1970).

Les nouvelles études vont établir en premier lieu une liste des hyperaccumulateurs de cuivre et de cobalt (MORRISON *et al.* 1979, BROOKS *et al.* 1987), ce qui va permettre un choix plus aisé et mieux circonstancié du matériel à sélectionner pour les expérimentations. Après avoir établi que la teneur de 1000 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ constituait, tant pour le cuivre que pour le cobalt, un seuil

approprié pour la définition de la notion d'hyperaccumulateur, BROOKS *et al.* (1980) énumèrent douze hyperaccumulateurs de cuivre et quinze de cobalt, dont cinq espèces communes aux deux listes. Quatre de ces cinq espèces sont des taxons endémiques et il convient d'insister sur le fait qu'aucun hyperaccumulateur de ces ions n'est connu en dehors de l'arc cuprifère shabien et du Copperbelt zambien.

L'étude des formes chimiques du cuivre et du cobalt dans des extraits de tissus végétaux de cinq métallophytes a montré que ces métaux lourds étaient liés sous plusieurs formes, mais essentiellement des composés polaires. Les composés polaires de faible masse moléculaire extractibles avec de l'eau désionisée ne constitue qu'environ 40%, tandis que quelque 40% supplémentaires nécessitent l'extraction à l'acide hydrochlorique 0,2 M. Enfin, il apparaît qu'une partie du cobalt est probablement immobilisée en compagnie du calcium dans des cristaux d'oxalate de calcium (MORRISON *et al.* 1981).

Ces résultats seront intégrés dans diverses mises au point récentes (BAKER 1987, BAKER & BROOKS 1989, BROOKS & MALAISSE 1989).

ACTIVITÉ MINIÈRE ET POLLUTION

Une sixième approche de notre thème prendra en considération des problèmes environnementaux en liaison avec l'industrie métallurgique, y compris les pollutions qu'elle engendre. L'extraction du minerai, que ce soit à partir d'une carrière à ciel ouvert, parfois profonde d'une centaine de mètres (à Ruwe par exemple), ou par des galeries profondes (plus de mille mètres de profondeur à Kipushi), engendre des déplacements de volumes importants de roches et de terres parfois légèrement minéralisées qu'il importe de stabiliser. Ces terres sont appelées «stériles» dans le jargon de l'exploitation minière. Une réflexion est en cours à ce sujet. Elle s'efforce de dégager les espèces les mieux indiquées pour coloniser et revégétaliser ces énormes remblais (MALAISSE & BAKER 1995).

Les émissions de l'industrie métallurgique sont aussi l'origine de pollutions. En 1911, l'usine de Lubumbashi fournit le premier lingot de cuivre. La cheminée haute de 48 m (fig. 7) sera rehaussée pour atteindre 150 m en 1943. Plusieurs systèmes de dépoussiérage fonctionneront, par intermittence, au cours des vingt dernières années. L'impact des usines de Lubumbashi sur l'environnement, notamment celui des retombées de ce qui fut longtemps la «plus haute cheminée d'Afrique centrale», a fait l'objet de plusieurs études (SOYER & ALEXANDRE 1987, MBENZA *et al.* 1989, MALAISSE *et al.* 1993). De nouveaux sites métallifères sont ainsi créés qui seront à leur tour colonisés par une flore peu diversifiée mais partiellement spécialisée (MALAISSE & BROOKS 1982).



Fig. 7. — L'usine de Lubumbashi dans les années 20. La cheminée, qui sera rehaussée ultérieurement, est à l'origine d'une pollution importante.

PHYTOARCHÉOLOGIE

Enfin d'autres aspects furent encore occasionnellement abordés. L'un des plus originaux a consisté à montrer l'intérêt de l'utilisation des «fleurs de cuivre», les plantes caractéristiques cupricoles, en vue de la détection de sites d'activités métallurgiques précoloniales, une nouvelle discipline dénommée phytoarchéologie! L'excavation de ces sites a conduit à la découverte, à côté de scories, de croisettes en cuivre utilisées jadis successivement comme lingot et monnaie (DE PLAEN *et al.* 1982).

Discussion et conclusions

La flore et la végétation si particulières qui s'observent sur les anomalies métallifères du Shaba constituent des sujets d'étude passionnants et enrichissants. De nouvelles informations sont aujourd'hui disponibles qui prolongent et complètent le premier ensemble d'études originales réalisées principalement par le Professeur Duvigneaud au cours de la période 1958-1963. La présente

note s'est efforcée d'effectuer la synthèse des progrès réalisés de 1977 à nos jours. La nouvelle étape franchie est loin d'épuiser le sujet ; elle dégage au contraire de nouvelles pistes de réflexion auxquelles il convient à présent de s'atteler.

Ainsi une actualisation de l'inventaire floristique des gisements cuprifères permettrait de prolonger les déductions à propos de l'origine de cette flore et est susceptible de délivrer de nouveaux thèmes de recherche.

L'existence d'un groupe d'espèces observées à la fois sur les gisements cuprifères et sur les hauts plateaux du Shaba a été reconnue par DUVIGNEAUD (1958) et confirmée par nous (MALAISSE 1983). On peut y distinguer plusieurs comportements différents dont les extrêmes sont, sur la base des récoltes actuelles, illustrés par celui de *Helichrysum lejolyanum* Lisowski, d'une part, et de *Silene burchelli* var. *angustifolia*, d'autre part, tandis que *Cyphia gamopetala* Duvign. & Denaeyer occupe une position intermédiaire.

Helichrysum lejolyanum a été observé sur les gisements cuprifères de Mupine, Chabara, Mindingi, Kalongwe et Tantara ainsi que sur les sols non métallifères qui bordent la rivière Katshupa au plateau des Kundelungu (Lukuesa : herbier 329). *Lobelia gamopetala* dont le caractère saxicole est indiscutable nous est connu des affleurements rocheux cuprifères de Dikuluwe, Luita et Swambo mais il fut encore récolté dans les parois rocheuses qui bordent la si spectaculaire chute Kaloba, haute de 394 m sur le rebord du plateau des Kundelungu ainsi que le long du ruisseau Kapolo sur le même plateau et à Lubudi. À l'opposé *S. burchelli*, fréquent dans les savanes steppiques, ne transgresserait sur sols métallifères qu'au gisement de Luita.

En conclusion la flore et la végétation des sols métallifères du Shaba est et reste un thème merveilleux d'études qui, nous l'espérons, pourra encore être longtemps poursuivi.

NOTES

- [1] D'or et non de cuivre comme rapporté erronément par WILD (1978).
[2] Nous remercions vivement le British Council pour son soutien moral et financier, ainsi que le F.N.R.S. (Fonds National de la Recherche Scientifique) et le C.G.R.I. (Commissariat Général des Relations Internationales) qui ont permis des échanges fructueux.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTONOVIC, J., BRADSHAW, A. D. & TURNER, R. G. 1971. Heavy metal tolerance in plants. — *Adv. Ecol. Res.*, 7 : 1-85.
BAKER, A. J. M. 1987. Metal tolerance. — *New Phytol.*, 106 (suppl.) : 93-111.
BAKER, A. J. M. & BROOKS, R. R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - A review of their distribution, ecology and phytochemistry. — *Biorecovery*, 1 : 81-126.

- BAKER, A. J. M., BROOKS, R. R., PEASE, A. J. & MALAISSE, F. 1983. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely-related taxa within the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) from Zaïre. — *Plant and Soil*, **73** (3) : 377-385.
- BAMPS, P. 1987. Un nouveau *Faroo* (Gentianaceae) du Zaïre. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **57** : 479-480.
- BOUTIQUE, R. 1971. Deux gentianacées nouvelles du Congo - Kinshasa. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **41** : 261-264.
- BROOKS, R. R. 1977. Copper and cobalt uptake by *Haumaniastrum* species. — *Plant and Soil*, **48** : 541-544.
- BROOKS, R. R., BAKER, A. J. M. & MALAISSE, F. 1992. Copper flowers. — *Nat. Geog. Res. Expl.*, **8** (3) : 338-351.
- BROOKS, R. R., GRÉGOIRE, J., MADI, L. & MALAISSE, F. 1982. Phytogéochimie des gisements cupro-cobaltifères de l'anticlinal de Kasonta (Shaba, Zaïre). — *Géo-Eco-Trop*, **6** (3) : 219-228.
- BROOKS, R. R. & MALAISSE, F. 1985. The Heavy Metal Tolerant Flora of South Central Africa - A multidisciplinary approach. — A.A. Balkema, Rotterdam, 199 pp.
- BROOKS, R. R. & MALAISSE, F. 1989. Metal-enriched sites in Southcentral Africa. — In : SHAW, J. (ed.), Heavy metal tolerance in plants : Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton (U.S.A.), pp. 53-73.
- BROOKS, R. R., McCLEAVE, J.A. & MALAISSE, F., 1977. Copper and cobalt in African species of *Crotalaria* L. — *Proc. R. Soc. London, Sec. B.* **197** : 231-236.
- BROOKS, R. R., MORRISON, R. D., REEVES, R. D. & MALAISSE, F. 1978. Copper and cobalt in African species of *Aeolanthus* Mart. (Plectranthinae, Labiatae). — *Plant and Soil*, **50** : 503-507.
- BROOKS, R. R., NAIDU, S. M., MALAISSE, F. & LEE, J. 1987. The elemental content of metallophytes from the copper/cobalt deposits of Central Africa. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **119** : 179-191.
- BROOKS, R. R., REEVES, R. D., MORRISON, R. S. & MALAISSE, F. 1980. Hyperaccumulation of copper and cobalt - a review. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **113** : 166-172.
- CORDOVA PONCE, S. 1990. *Gladiolus* nouveaux du Zaïre (Iridaceae). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **60** (3-4) : 325-329.
- DE PLAEN, G., MALAISSE, F. & BROOKS, R. R. 1982. The copper flowers of Central Africa and their significance for prospecting and archeology. — *Endeavour*, N.S., **6** (2) : 72-77.
- DE WILDEMAN, E. 1921. Contribution à l'étude de la flore du Katanga. — Comité spécial du Katanga, Reynaert. Bruxelles, 264 pp.
- DUVIGNEAUD, P. 1958. La végétation du Katanga et de ses sols métallifères. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **90** : 127-186.
- DUVIGNEAUD, P. 1959. Études sur la végétation du Katanga et de ses sols métallifères. Plantes «cobaltophytes» dans le Haut-Katanga. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **91** : 111-134.
- DUVIGNEAUD, P. & BRENNAN, J. P. M. 1966. The genus *Cryptosepalum* Benth. (Leguminosae) in the areas of the 'Flora of Tropical East Africa' and the 'Flora Zambesiaca'. — *Kew Bull.*, **20** : 1-23.
- 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, G. (ed.), Rapport du sol et de la végétation. Masson, Paris, pp. 121-139.
- DUVIGNEAUD, P. & DENAEYER-DE SMET, S. 1963. Cuivre et végétation au Katanga. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **96** : 92-231.
- DUVIGNEAUD, P. & TIMPERMAN, J. 1959. Études sur la végétation du Katanga et de ses sols métallifères. Études sur le genre *Crotalaria*. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **91** : 135-162.
- EMPAIN, A. 1985. Heavy metals in bryophytes from Shaba Province. — *In* : BROOKS, R. R. & MALAISSE, F. (eds.), The heavy metal-tolerant flora of Southcentral Africa. Balkema, Rotterdam, pp. 103-117.
- ERNST, W. H. O. 1974. Schwermetallvegetation der Erde. — Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 194 pp.
- ERNST, W. H. O. 1993. Geobotanical and biogeochemical prospecting for heavy metal deposits in Europe and Africa. — *In* : MARKET, B. (ed.), Plants as Biomonitors - Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH Publ., Weinheim, pp. 107-126.
- FRANÇOIS, A. 1973. L'extrémité occidentale de l'arc cuprifère shabien. Étude géologique. — Gécamines, Likasi, 97 pp.
- FISCHER, E. 1989. *Crepidiorhopalon*, a new genus within the relationship of *Craterostigma*, *Torenia* and *Lindernia* (Scrophulariaceae) with two new or note-worthy species from Central and South Central Africa (Zaïre, Zambia). — *Feddes Repertorium*, **100** (9-10) : 439-450.
- FISCHER, E. 1992. Systematik der Afrikanischen Lindernieae (Scrophulariaceae). — Tropische und subtropische Pflanzenwelt 81. Akad. Wissenschaften Literatur, Mainz, 365 pp.
- GOETGEBEUR, P. & COUDIJZER, J. 1985. Studies in Cyperaceae 5. The genus *Bulbostylis* in Central Africa. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **55** (1-2) : 207-259.
- HOLMGREN, P. K., HOLMGREN, N. H. & BARNETT, L. C. 1990. Index Herbariorum. Part I : The Herbaria of the World. 8th edit., New York Bot. Garden, New York, 693 pp.
- HOWARD-WILLIAMS, C. 1970. The ecology of *Becium homblei* in Central Africa with special reference to metalliferous soils. — *J. Ecol.*, **58** : 741-763.
- LAWALRÉE, A. 1970. *Thesium pawlowskianum* sp. nov. (Santalaceae, Congo Kinshasa). — *Fragm. Florist. et Geobot.*, **16** : 39-41.
- LAWALRÉE, A. & MVUKIYUMWAMI, J. 1982. Le genre *Dicoma* Cassini (Asteraceae) en Afrique centrale. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **52** : 151-163.
- LEJOLY, J. & LISOWSKI, S. 1992. Les genres *Merremia* et *Ipomoea* (Convolvulaceae) dans la Flore d'Afrique Centrale (Zaïre, Rwanda, Burundi). — *Fragm. Flor. Geobot.*, **37** (1) : 21-125.
- MALAISSSE, F. 1981. The ecology of *Batopedina pulvinellata*. — *In* : ROBBRECHT, E. (ed.), Studies in tropical African Rubiaceae (I). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **51** (1-2) : 183-186.
- MALAISSSE, F. 1983. Phytogeography of the copper and cobalt flora of Upper Shaba (Zaïre), with emphasis on its endemism, origin and evolution mechanisms. — *Bothalia*, **14** (3) : 497-504.
- MALAISSSE, F. 1984. Flore des gisements cupro-cobaltifères du Shaba méridional. — Gécamines, Lubumbashi, 33 photographies.

- MALAISSÉ, F. & BAKER, A. J. M. 1995. Early stages of natural revegetation of metal-liferous mine workings in South Central Africa : A preliminary survey. — *Geotrop* 94, Kingston (sous presse).
- MALAISSÉ, F., BAKER, A. J. M. & MOULAERT, N. 1993. Afrique tropicale : L'industrie minière et la botanique. — *Défis-Sud* (Belgique), 10 : 38-39.
- MALAISSÉ, F. & BROOKS, R. R. 1982. Colonisation of modified metalliferous environments in Zaïre by the copper flower *Haumaniastrum katangense*. — *Plant and Soil*, 64 (2) : 289-293.
- MALAISSÉ, F., BROOKS, R. R. & BAKER, A. J. M., 1994. Diversity of vegetation communities in relation to soil heavy metal content at the Shinkolobwe copper/cobalt/uranium mineralization, Upper Shaba, Zaïre. — *Belg. Journ. Bot.*, 127 (1) : 3-16.
- MALAISSÉ, 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 (3-4) : 207-221.
- MALAISSÉ, F. & GRÉGOIRE, J. 1978. Contribution à la phytogéochimie de la Mine de l'Étoile (Shaba, Zaïre). — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, 111 (2) : 252-260.
- 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 (no. 4331) : 887-888.
- MALAISSÉ, F., GRÉGOIRE, J., MORRISON, R. S., BROOKS, R. R. & REEVES, R. D. 1979. Copper and cobalt in vegetation of Fungurume, Shaba Province, Zaïre. — *Oikos*, 33 : 472-478.
- MALAISSÉ, F. & LECRON, J.-M. 1990. *Monadenium cupricola*, Euphorbiacée nouvelle des gisements cupro-cobaltifères du Shaba (Zaïre). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, 60 (3-4) : 301-306.
- MALAISSÉ, F., MARENTHIER, M. & GRÉGOIRE, J. 1985. Géochimie, phytogéographie et phytogéochimie dans l'exploration métallifère de la région Dikulushi-lac Moëro (Shaba méridional, Zaïre). — *Géo-Eco-Trop*, 9 (3-4) : 187-205.
- MBENZA, M., ALONI, K. & MUTEBA, M. 1989. Quelques considérations sur la pollution de l'air à Lubumbashi (Shaba, Zaïre). — *Géo-Eco-Trop*, 13 : 113-125.
- MEWISSEN, D. J., DAMBLON, J. & BACQ, Z. M. 1960. Radiosensibilité des graines d'*Andropogon*, issues de terrains uranifère et non uranifère du Katanga. — *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux*, 1960, hors série, vol. 1 : 331-338.
- MORRISON, R. S., BROOKS, R. R., REEVES, R. D. & MALAISSÉ, F. 1979. Copper and cobalt uptake by metallophytes from Zaïre. — *Plant and Soil*, 53 (4) : 535-539.
- MORRISON, R. S., BROOKS, R. R., REEVES, R. D., MALAISSÉ, F., HOROWITZ, P., ARONSON, M. & MERRIAM, G. R. 1981. The diverse chemical forms of heavy metals in tissue extracts of some metallophytes from Shaba Province, Zaïre. — *Phytochemistry*, 20 : 455-458.
- POLHILL, R. M., 1982. *Crotalaria* in Africa and Madagascar. — Balkema, Rotterdam, 400 pp.
- REILLY, C. 1969. The uptake and accumulation of copper by *Becium homblei*. — *New Phytol.*, 68 : 1081-1087.
- REILLY, C. 1972. Amino acids and amino-acid copper complexes in water-soluble extracts of copper tolerant and non-tolerant *Becium homblei*. — *Z. Pflanzenphysiol.*, 66 : 294-296.

- REILLY, C., ROWEL, J. & STONE, J. 1970. The accumulation and binding of copper in leaf tissue of *Becium homblei* (De Wild.) Duvign. & Plancke. — *New Phytol.*, **69** : 993-997.
- REILLY, C. & STONE, J. 1971. Copper tolerance in *Becium homblei*. — *Nature*, **230** : 403.
- ROBBRECHT, E. 1981. Studies in tropical African Rubiaceae (I). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **51** (1-2) : 165-189.
- ROBYNS, A. 1989. Passifloraceae centrali-africanae novae. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **59** (1-2) : 227-240.
- ROBYNS, W. 1932. Over plantengroei en flora der kopervelden van Opper-Katanga. — *Natuurwet. Tijdschr.*, **14** : 101-107.
- RYDING, O. 1986. The genus *Aeollanthus* s. lat. (Labiatae). — In : *Acta Univ. Upsaliensis, Symbolae Botanicae Upsalienses*, **26** (1) : 152 pp.
- SCHMITZ, A. 1963. Aperçu sur les groupements végétaux du Katanga. — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **96** : 233-447.
- SCHMITZ, A. 1971. La végétation de la plaine de Lubumbashi (Haut-Katanga). — *Publ. I.N.E.A.C., Sér. Sc.*, n° 113 : 406 pp.
- SCHMITZ, A. 1988. Revision des groupements végétaux décrits du Zaïre du Rwanda et du Burundi. — *Ann. Mus. r. Afr. Centrale* (Tervuren), **17** : 318 pp.
- SEBALD, O. 1889. Die Gattung *Becium* Lindley (Lamiaceae) in Afrika und auf der Arabischen Halbinsel (Teil II). — *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, Ser. A, **437** : 63 pp.
- SHEWRY, P. R., WOOLHOUSE, H. W. & THOMPSON, K. 1979. Relationships of vegetation to copper and cobalt in the copper clearings of Haut-Shaba, Zaïre. — *Bot. J. Linn. Soc.*, **79** : 1-35.
- SOYER, J. & ALEXANDRE, J. 1987. Pollution atmosphérique et dégradation de l'environnement urbain en région tropicale. Le cas de Lubumbashi, Shaba, Zaïre. — In : *Recherches en géographie urbaine, Hommage au Prof. J. Sporck* ; *Bull. Soc. Géogr. Liège*, vol. **2**, pp. 652-664.
- TAYLOR, P. 1971. Three new species of *Faroea* (Gentianaceae) from Congo-Kinshasa, Burundi and Zambia. — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **41** : 265-267.
- TAYLOR, P. 1973. A Revision of the Genus *Faroea* Welwitsch. — *Garcia de Orta, Sér. Bot.*, Lisboa, **1** (1-2) : 69-82.
- THULIN, M. 1987. New species of *Walhenbergia* (Campanulaceae) from Africa. — *Nord. J. Bot.*, **7** (3) : 261-265.
- WEBB, J. S. & MILLMAN, A. P. 1951. A biogeochemical reconnaissance in West Africa. — *Trans. Inst. Min. Metall.*, **60** (537) : 473-504.
- WERGER, M. J. A. 1977. Applicability of Zürich-Montpellier methods in tropical and subtropical range vegetation in Africa. — In : KRAUSE, W. (ed.), *Handbook of vegetation science*, 13. Junk, The Hague, pp. 125-145.
- WILD, H. 1971. The taxonomy, ecology and possible method of evolution of a new metalliferous species of *Dicoma* Cass. (Compositae). — *Mitt. Bot. Staatssamml. München*, **10** : 266-274.
- WILD, H. 1978. The vegetation of heavy metal and other toxic soils. — In : WERGER, M. J. A. (ed.), *Biogeography and ecology of Southern Africa*. Junk, The Hague, pp. 1301-1332.
- WILD, H. & BRADSHAW, A. D. 1977. The evolutionary effects of metalliferous and other anomalous soils in South Central Africa. — *Evolution*, **31** : 282-293.