

Ecologie et biogéochimie des affleurements métallifères du Katanga

Pierre MEERTS

Laboratoire d'Ecologie végétale et Biogéochimie, Université Libre de Bruxelles, Av. F.D. Roosevelt 50, CP 244, B-1050 Bruxelles, Belgique, pmeerts@ulb.ac.be

Summary

The flora of Katanga (DR. Congo) has ca. 5% of endemic species, but is still insufficiently known. One of the most original ecosystems in Upper Katanga are the so-called "copper hills" i.e. outcrops of bedrock naturally enriched in Cu and Co. The first geobotanical descriptions were published by Paul Duvigneaud fifty years ago. Recently, plant-soil relationships and community structure have been revisited using the conceptual tools of "functional trait", allowing specific hypotheses to be tested. Endemic species have a narrow niche along the gradient and share a distinct suite of traits. Plant resources from copper hills, more specifically the grass *Microchloa altera*, are being successfully used for ecological restoration of landscapes degraded by atmospheric fallout of heavy metals downwind the copper smelter of Lubumbashi.

Key-words: copper, functional trait, metallophyte, niche, phytostabilization.

1. Le Katanga: état des connaissances de la flore et de son endémisme

Trois exemples illustreront l'état des connaissances sur la taxonomie et la phytogéographie de la fore du Katanga, plus d'un siècle après les premières récoltes importantes (Verdick, puis Homblé).

1.1. Le genre *Chlorophytum* (Asparagacées selon la classification APGIII)

Les *Chlorophytum* sont des plantes herbacées géophytiques à fleurs blanches. Ce genre difficile vient d'être révisé pour l'Afrique centrale. 63 taxons ont été dénombrés, dont 28 n'avaient jamais été signalés en RD. Congo jusqu'à présent (Meerts & Bjora 2012). 60 taxons avaient été décrits sur base de récoltes en RD. Congo (principalement par De Wildeman). L'examen critique montre que seulement sept noms ne sont pas des synonymes de taxons déjà décrits auparavant, sur base de récoltes réalisées en Angola par Welwitsch et au Soudan par Schweinfurth! Trente-six espèces existent au Katanga. Seulement deux sont endémiques, c'est-à-dire un taux d'endémisme d'environ 6%.

1.2. Arbres et arbustes

Une check-list des arbres et arbustes du Haut-Katanga, en cours d'établissement, révèle l'existence de 630 taxons (lianes exclues) (Meerts, in prep.). Vingt-sept d'entre eux sont endémiques, c'est-à-dire environ 4%. Soulignons que la moitié de ces arbres endémiques ne sont connus que d'une ou deux récoltes seulement, et n'ont plus été observés après 1920!

1.3. Flore des affleurements de cuivre

Soixante années d'exploration botanique des affleurements cupro-cobaltifères du Haut-Katanga ont permis de dresser une liste d'au moins 600 espèces. Seulement 33 sont strictement endémiques de ces affleurements, c'est à-dire environ 5% (Faucon et al. 2011).

Il est significatif que les trois estimations indépendantes du taux d'endémisme de la flore du Haut-Katanga que nous venons de citer fournissent des valeurs très convergentes (environ 5%). Ce taux d'endémisme relativement faible peut s'expliquer par la position du Katanga comme "carrefour phytogéographique", mêlant des influences guinéennes, lundiennes, afro-montagnardes et zambéziennes (Duvigneaud 1958).

2. Les affleurements métallifères: des écosystèmes uniques au monde

Les sols enrichis naturellement en métaux lourds représentent des habitats très contraignants pour la végétation. Des affleurements naturels de roches très riches en cuivre et cobalt sont particulièrement rares à la surface de la Terre. La colonisation de tels affleurements par des communautés végétales adaptées, diversifiées et riches en espèces, est une singularité biogéographique et écologique du Haut-Katanga (Duvigneaud & Denaeyer-De Smet 1963; Brooks & Malaisse 1985; Malaisse et al. 1994). Ces affleurements ont la forme de collines portant une végétation herbacée, dispersées dans la forêt clair.

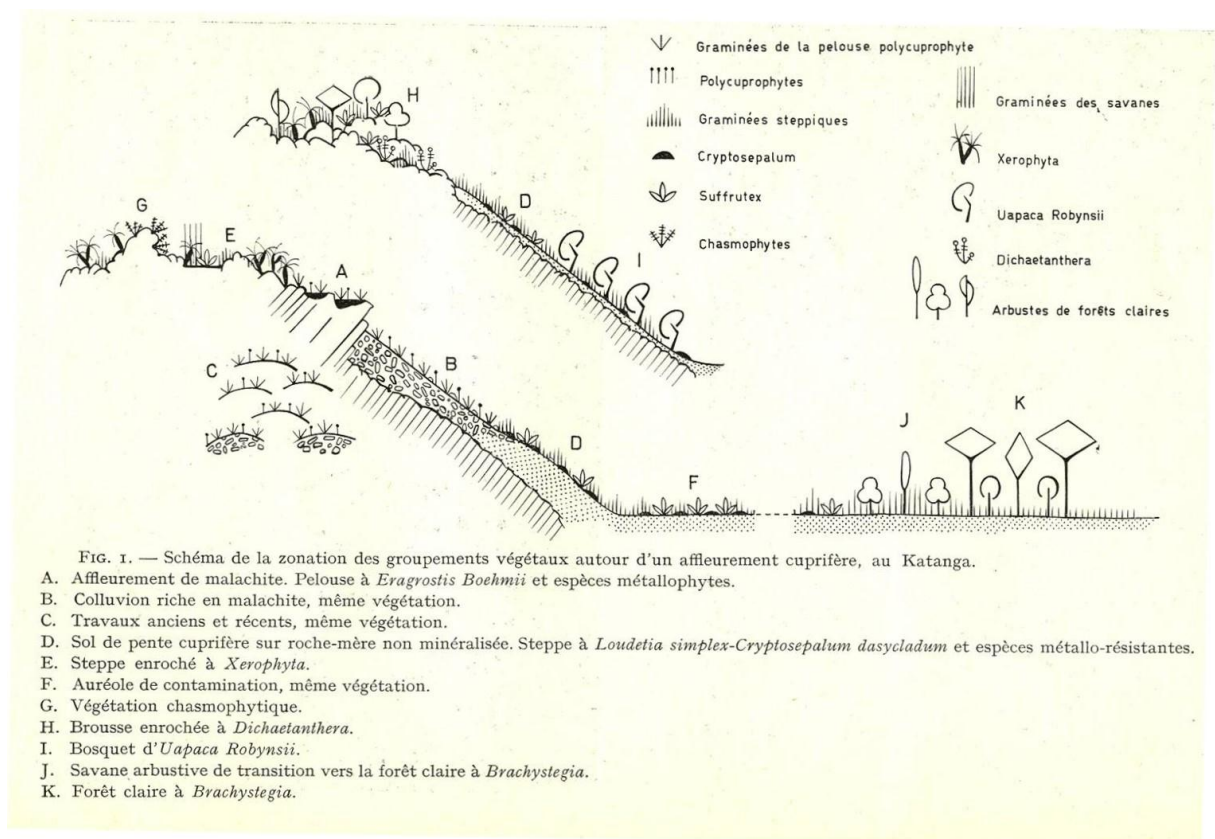


Fig. 1

Plus de trois cents collines de cuivre forment ainsi l'"Arc cuprifère katangais", sur environ 300 km, entre Kolwezi et Lubumbashi.

3. L'approche géobotanique classique des affleurements métallifères: le modèle de Duvigneaud

Appliquant les méthodes développées par la géobotanique au milieu du vingtième siècle, Paul Duvigneaud a proposé une analyse pénétrante de ces végétations (Duvigneaud 1958; Duvigneaud & Denaeyer-De Smet 1963). Dépassant l'infinie diversité des situations locales, le "modèle de Duvigneaud" décrit la variation spatiale des végétation cupricoles selon une toposéquence structurée par la géomorphologie complexe des affleurements. Considérons un transect du sommet d'une colline typique, jusqu'à la forêt qui l'entoure. On traverse successivement les unités d'habitat et de végétation suivantes :



Fig. 2

-la crête sommitale, constituée de roches siliceuses cellulaires, très appauvries en cuivre par le lessivage, porte une végétation saxicole (*Aeollanthus saxatilis*, etc.);

-sur les sols caillouteux les plus riches en cuivre: steppe maigre, ouverte, à *Bulbostylis* div. sp., *Ascolepis metallorum*, *Eragrostis racemosa*, *Haumaniastrum robertii*, ...; la curieuse

Velloziaceae Xerophyta equisetoides, avec ses troncs en forme de chandelier, noircis par le feu, marque une variante riche en affleurements rocheux;

-plus bas sur la pente, sur sol plus profond riche en colluvions de malachite: savane steppique riche en graminées (*Loudetia simplex*) et *Cryptosepalum maraviense*;

- au pied de la colline, l'auréole de contamination ou "dembo d'empoisonnement" porte une savane steppique dense, à base d'*Andropogon shirensis*, *Triumfetta welwitschii*, ...

-enfin, la transition vers la forêt claire est souvent marquée par une lisière à *Uapaca robynsii* et *Olax obtusifolia*.

Duvigneaud & Denaeyer-De Smet (1963) répartissent la flore en un système de groupes écologiques, chacun constitué d'espèces ayant approximativement la même amplitude le long de cette toposéquence: "polycuprophytes" (exclusivement sur sol très riche en cuivre), "oligocuprophytes" (seulement sur sol modérément enrichis en cuivre), "cuprovagues" (sans préférence affirmée), "cuprofuges" (jamais sur sol contaminé).

4. Nouvelles approches: l'écologie fonctionnelle des communautés végétales

4.1. Les limites de l'approche géobotanique classique

L'approche géobotanique classique se heurte à un certain nombre de difficultés.

Résumons-les comme suit:

-elle n'est pas basée sur l'analyse statistique d'un jeu de données collectées selon un plan d'échantillonnage standardisé; elle repose sur la délimitation, forcément subjective, d'unités physiologiques définies sur base des plantes dominantes;

-l'approche, centrée sur les espèces, occulte un important polymorphisme; différents morphotypes ne sont pourtant manifestement pas équivalents du point de vue écologique;

-la concentration en cuivre n'est certainement pas le seul facteur écologique qui explique les variations spatiales de la végétation.

4.2. L'écologie fonctionnelle des communautés

L'écologie fonctionnelle des communautés propose que l'assemblage des communautés végétales est déterminé par deux processus: le filtre écologique et le partage des niches (Violle & Jiang 2009).

a) Filtre écologique

Dans la flore régionale, seules un petit nombre d'espèces peuvent s'établir dans un habitat donné. Le "filtre environnemental" ne laisse passer que les espèces présentant des traits particuliers. Ces "traits fonctionnels" sont reliés à la tolérance aux facteurs physico-chimiques limitants (métaux lourds, saison sèche, feu, etc.). Le filtre environnemental sélectionne donc des espèces présentant des convergences adaptatives.

b) Partage des niches

Ensuite, ces espèces doivent se partager l'habitat en y occupant des niches différentes; ce processus élimine les espèces qui présentent des traits trop semblables (principe d'exclusion compétitive de Gause).

4.3. Mise en œuvre sur une colline de cuivre

La variation des traits fonctionnels le long des gradients écologiques est du plus haut intérêt en écologie des communautés. Ces traits fonctionnels sont, par exemple:

- des attributs architecturaux de la plante entière (types biologiques);
- des caractères foliaires : dimensions de la feuille, teneur en eau, concentration en azote, surface foliaire spécifique (rapport surface/masse), concentration en cuivre, ...;
- des traits de la reproduction: dimension des semences, mécanismes de dissémination,...

Au centre de l'arc cuprifère katangais, sur la colline de Fungurume V, la végétation a été échantillonnée selon un système de quadrats de 1 m², organisés en transects. Dans chaque quadrat, on réalise les observations suivantes: i) liste floristique avec évaluation du recouvrement de chaque espèce (en % de la surface), ii) mesure des traits sur deux individus de chaque espèce; pour simplifier, nous ne retiendrons ici que trois traits: la hauteur de la plante, le type biologique, la concentration foliaire en cuivre.

A partir des valeurs des traits de chaque espèce, on peut calculer la valeur moyenne pondérée de la communauté, pour le trait considéré (moyenne arithmétique des traits des espèces, pondérée par leurs abondances respectives).

Sur ce jeu de données, les questions qui peuvent être testées sont les suivantes (Cornwell & Ackerly 2009; Violle & Jiang 2009):

- Comment varient les traits moyens de la communauté le long du gradient écologique?
- Cette variation s'explique-t-elle par un remplacement des espèces le long du gradient, ou par une réponse de chaque espèce (plasticité phénotypique)?
- Les espèces endémiques présentent-elles des traits distincts et une niche particulière le long du gradient?

4.4. Résultats

Types biologiques

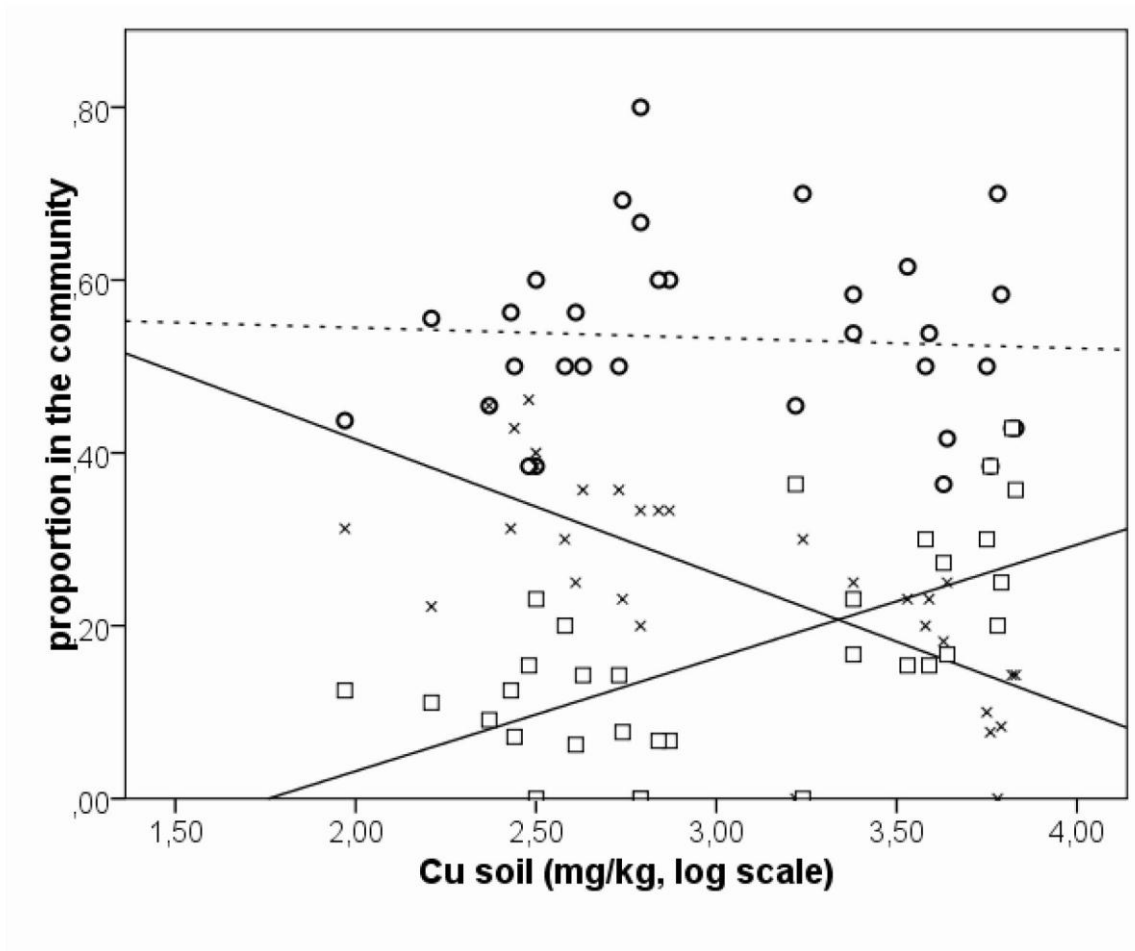


Fig. 3

Les types biologiques représentés dans la végétation varient énormément le long du gradient: les géofrutex à xylopoïde (plantes à tronc ligneux souterrain, renouvelant toutes les tiges chaque année), diminuent d'importance en fonction des concentrations croissantes en cuivre dans le sol; inversement, les plantes herbacées non graminéoïdes augmentent fortement leur représentation.

Hauteur des plantes

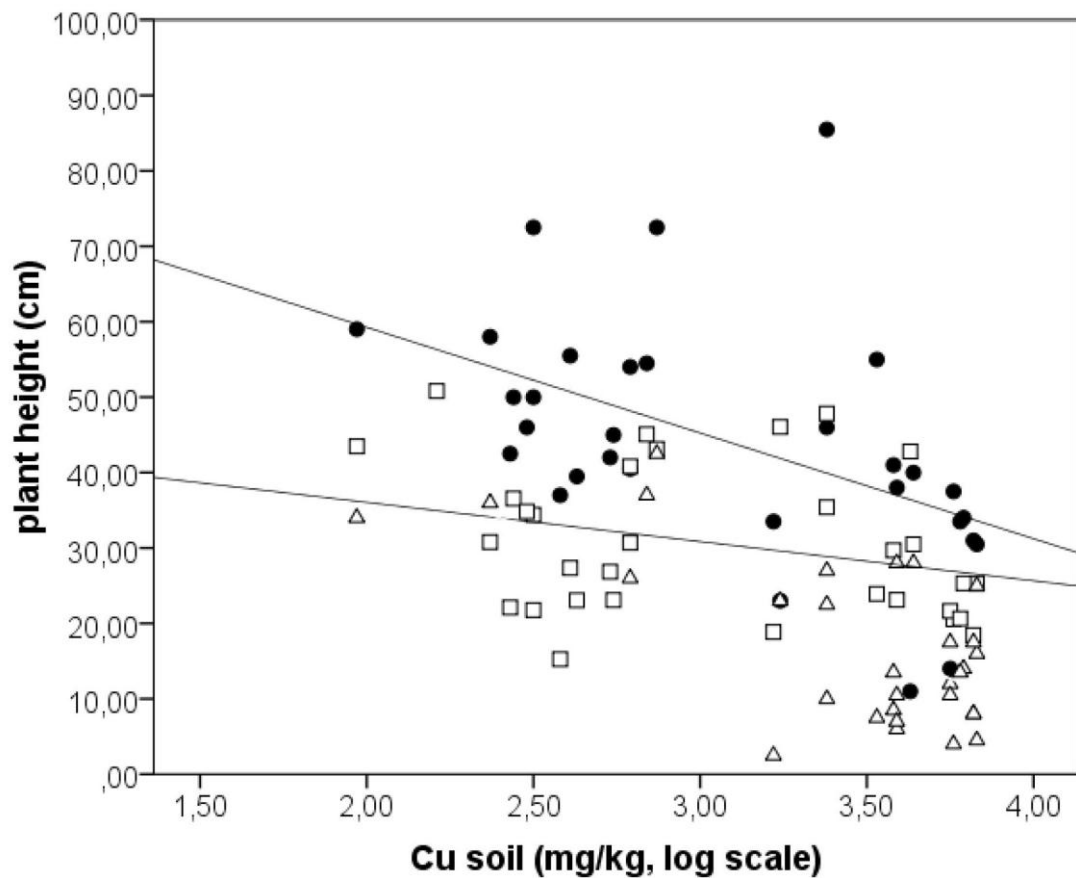


Fig. 4

La hauteur moyenne de la communauté diminue en raison inverse de la teneur en Cu du sol. Cette réponse est due en partie à de la variation intraspécifique, comme le montre une espèce à large amplitude le long du gradient (*Andropogon shirensis*); il s'agit, selon toute vraisemblance, de plasticité phénotypique, bien que l'hypothèse d'une variation génétique à petite échelle ne puisse être exclue. Il s'agit aussi d'un effet du remplacement des espèces ("filtre environnemental"), puisque des espèces de petite taille sont étroitement localisées aux sols haute teneur en Cu. Ce sont souvent, d'ailleurs, des espèces endémiques.

Concentration en cuivre dans les feuilles

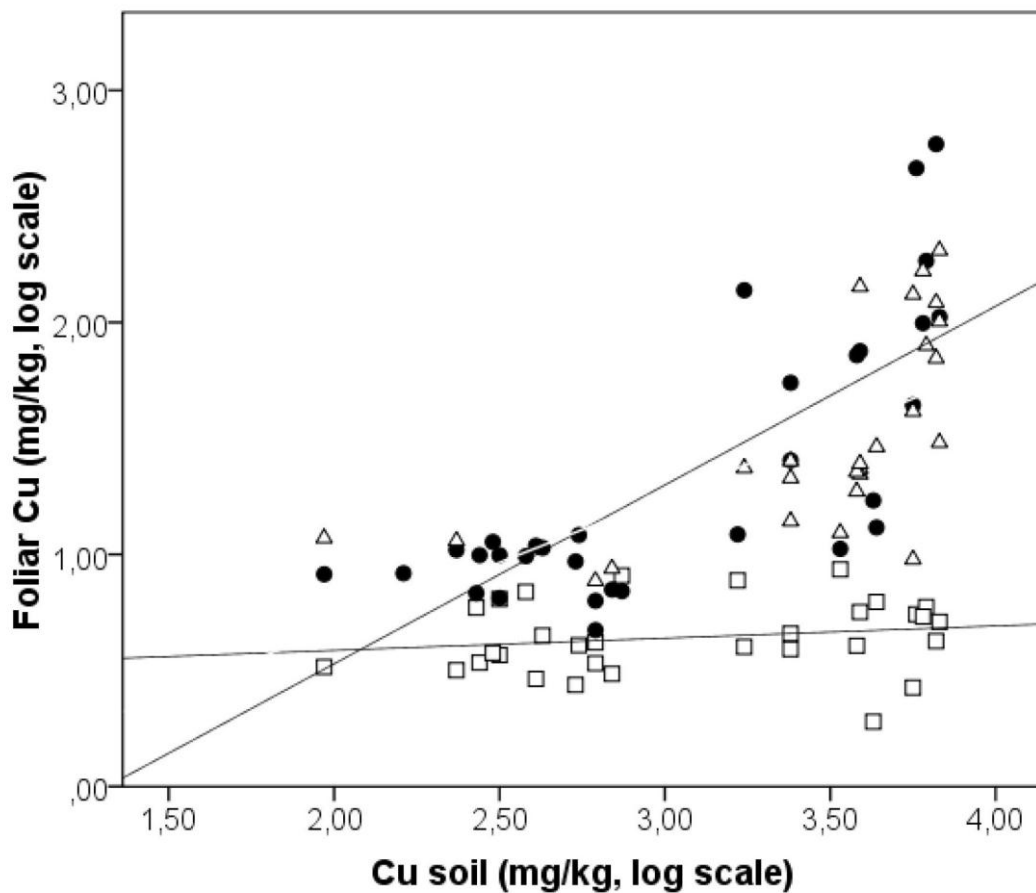


Fig. 5

La concentration en cuivre dans les feuilles augmente fortement le long du gradient, une réponse qui peut sembler triviale. Examinons pourtant la réponse d'une graminée dominante, à large amplitude le long du gradient (*Andropogon shirensis*): la concentration foliaire en cuivre est pratiquement constante le long du gradient, indiquant que la plante se comporte comme une exclueuse de cuivre. L'élévation de la teneur moyenne en cuivre dans la communauté s'explique donc surtout par l'apparition, vers l'extrémité supérieure du gradient, d'espèces fortement accumulatrices de cuivre. Beaucoup sont des endémiques des sols cuprifères.

Au total, l'approche que nous venons d'esquisser fournit une image beaucoup plus riche et plus subtile de la variation spatiale des tapis végétaux. Elle montre notamment que les

endémiques du cuivre sont des plantes de petite taille, souvent annuelles, accumulatrices de cuivre, et à amplitude écologique étroite. Selon toute vraisemblance, leur niche étroite est le résultat d'une aptitude compétitive réduite.

5. Ecologie appliquée et enjeux pour un développement durable

L'activité minière au Katanga, depuis un siècle, a dispersé des métaux lourds toxiques dans l'environnement. De vastes étendues de sol ont été contaminées. Il s'agit, en particulier, des déblais produits par les sites d'extraction, des sédiments issus de la décantation des boues de lavage des minerais ("tailings") et, enfin, des sols contaminés par les poussières transportées par les fumées issues des fonderies. Des études épidémiologiques récentes ont démontré une exposition aux métaux toxiques très alarmante, dans les populations humaines établies à proximité des sources polluantes au Katanga (Banza et al. 2009). Les poussières constituent, selon toute vraisemblance, une voie d'exposition très importante.

Il sera indispensable de restaurer une couverture végétale sur les sols contaminés, surtout à proximité des zones d'habitat. En effet, l'érosion de ces sols par le vent et la pluie contribue à disperser les métaux toxiques.

La technique de "phytostabilisation" consiste à confiner les métaux toxiques dans le sol, grâce à une couverture végétale. Sa mise en œuvre nécessite une bonne compréhension de l'écologie des végétations naturelles établies sur les sols métallifères. D'autre part, la flore des affleurements naturels constitue un réservoir de biodiversité dans lequel on peut puiser les espèces les plus adaptées à chaque situation particulière (Leteinturier 2002; Whiting et al. 2004). Cette biodiversité ne se limite pas aux plantes, il est probable que des microorganismes très spécialisés, notamment des mycorhizes, jouent un rôle important dans la stabilisation des couvertures végétales sur les sols métallifères.

C'est l'approche qui a été développée dans le cadre d'un projet interuniversitaire ciblé (ULB-ULg Gembloux -Université de Lubumbashi) (Commission Universitaire pour le Développement). Dans ce cadre, un Jardin botanique expérimental a été créé à la Faculté des Sciences agronomiques de l'Université de Lubumbashi. Une formation de troisième cycle a été mise en place (Diplôme d'Etudes approfondies en Agronomie, spécialisation Biologie végétale et Environnement), et quatre thèses de doctorat ont été défendues. Un résultat concret du projet a été la mise au point d'un protocole de phytostabilisation à l'aide d'une espèce de graminée (*Microchloa altera*) (Ngoy Shutcha et al. 2010). Ce protocole a été appliqué avec succès dans une expérience-pilote sur le plateau de Penga Penga, au SW de Lubumbashi, contaminé par les retombées de la cheminée de l'usine métallurgique de Lubumbashi



Fig. 6

Conclusions

Les ressources de la biodiversité végétale de l'Afrique centrale sont encore insuffisamment connues. De nouvelles explorations, ciblées vers les régions les moins bien échantillonnées, sont indispensables. D'autre part, la révision taxonomique de groupes importants reste à faire. Les riches collections conservées en Belgique et en RD. Congo représentent des ressources essentielles dans cette démarche.

L'exemple de la végétation des sols riches en cuivre montre qu'il est possible de concevoir des projets combinant avec succès de la recherche fondamentale, de la recherche orientée et de la coopération au développement. D'autres défis pour le développement, comme l'approvisionnement en énergie renouvelable (bois), représentent autant d'opportunités de développer des programmes de recherche valorisant les ressources naturelles de la biodiversité du Katanga.

Remerciements

Je remercie tous les collègues qui collaborent à nos travaux au Katanga, spécialement les partenaires du projet PIC "REMEDLU": J. Bogaert, G. Colinet, J. Lejoly, G. Mahy, M. Ngongo Luhembwe, N. Verbruggen, les doctorants associés au projet (F. Chipeng Kayemb, M-P. Faucon, M. Mpundu Mubemba, F. Munyemba Kankumbi, M. Ngoy Shutcha), et des chercheurs de Gembloux AgroBiotech (J. Lebrun, M. Seleck). La CUD et le FNRS ont soutenu financièrement nos travaux, de même que Biodiversité au Katanga-BAK. Tenke Fungurume Mining est remercié pour avoir autorisé l'accès aux sites inclus dans sa concession.

Références

- Banza, C.L. et al. 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. --*Environmental Research* 109: 745–752
- Brooks, R.R., Malaisse, F. (Eds) 1985. *The Heavy Metal-Tolerant Flora of South central Africa - A Multidisciplinary Approach*. Balkema. Rotterdam. 199 pp.
- Cornwell, W.K. & Ackerly, D.D. 2009. Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California. --*Ecological Monographs*, 79(1): 109–126
- Duvigneaud, P. 1958. La végétation du Katanga et de ses sols métallifères. --*Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 90 : 127-286.
- Duvigneaud, P., Denaeyer- De Smet, S. 1963. Cuivre et végétation au Katanga. --*Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 96 : 92-231.
- Faucon, M.P., Meersseman, A., Shutcha, M., Mahy, G., Malaisse, F., Ngongo Luhembwe, M., Meerts, P. 2010. Copper endemism in the Congolese flora: A database of copper affinity and conservation value of cuprophytes. --*Plant Ecology and Evolution* 143:5-20.
- Leteinturier, B. 2002 Evaluation du potentiel phytocénotique des gisements cuprifères d’Afrique centro-australe en vue de la phytoremédiation de sites pollués par l’activité minière. PhD. Thesis, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgium. 361 pp.
- Malaisse, 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. --*Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 127: 3–16.
- Meerts, P. & Bjora, C.S. 2012. Synopsis of the genus *Chlorophytum* (Asparagaceae) in Central Africa (DR. Congo, Rwanda, Burundi). --*Plant Ecology and Evolution*, in press.
- 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.

Violle, C. & Jiang, L. 2009. Towards a trait-based quantification of species niche --Journal of Plant Ecology 2: 87–93.

Whiting, S.N. et al. 2004. Research Priorities for Conservation of Metallophyte Biodiversity and their Potential for Restoration and Site Remediation. Restoration Ecology 12:106-116.

Légende des figures

Figure 1. Les collines cupro-cobaltifères de Tenke (Haut-Katanga). Noter la végétation herbacée (savane steppique), contrastant avec la forêt claire environnante.

Figure 2. Le "modèle de Duvigneaud": transect topo-lithologique à travers une colline de cuivre typique, avec sa zonation caractéristique de la végétation (Duvigneaud & Denaeyer-De Smet 1963).

Figure 3. Variation de l'assemblage des types biologiques, le long d'un gradient de concentration en cuivre dans le sol, dans la végétation de la colline Fungurume V. × : géofrutex; ○ : graminoides; □ : herbacées non graminoides.

Figure 4. Variation de la hauteur des plantes, le long d'un gradient de concentration en cuivre dans le sol, sur la colline Fungurume V. ● : moyenne de la communauté; □ : la graminée à large amplitude *Andropogon shirensis*; △ : moyenne des espèces endémiques.

Figure 5. Variation de la concentration en cuivre dans les plantes, le long d'un gradient de concentration en cuivre dans le sol, sur la colline Fungurume V. ● : moyenne de la communauté; □ : la graminée à large amplitude *Andropogon shirensis*; △ : moyenne des espèces endémiques.

Figure 6. Expérience-pilote de phytostabilisation avec la graminée *Microchloa altera*, sur le site de Penga Penga (Lubumbashi), lourdement contaminé par les métaux lourds issus de la cheminée de l'usine de la raffinaderie de Lubumbashi, deux ans après plantation. Chaque placette mesure 1 m x 1 m.