

# 1

---

## Conservation *ex situ* de la flore cupro-cobalticole du Haut-Katanga en banque de graines

Wilfried MASENGO KALENGA, Sylvain BOISSON, Julie LEBRUN, Guylain HANDJILA,  
Michel NGONGO LUHEMBWE, Mylor NGOY SHUTCHA, Jan BOGAERT, Soizig LE STRADIC,  
Maxime SÉLECK, Grégory MAHY\*

La conservation *ex situ* des espèces végétales sous forme de banque de graines nécessite un savoir-faire et une infrastructure appropriés au contexte local. Nous décrivons la mise en place d'une banque de graines d'espèces cupro-cobalticoles menacées en réponse à la destruction des habitats cuprifères, dans les conditions locales, à l'Université de Lubumbashi (Haut-Katanga, République Démocratique du Congo). Deux régions ont été choisies pour la collecte de graines : Lubumbashi et Fungurume. Au laboratoire, les graines ont été nettoyées, conservées en lots et une base de données a été mise en place sur le site web Copperflora.org pour échanger l'information. Les graines ont été stockées dans trois conditions différentes : à la température de la salle, au réfrigérateur et en ultra-séchage pour maximiser les chances de réussites. Au total, 36 espèces appartenant à 13 familles ont été conservées à l'Université de Lubumbashi. Septante-deux pourcents des espèces sont des endémiques strictes et larges des gisements de cuivre du Katanga ; 50% d'entre elles sont des espèces en danger et danger critique d'extinction selon les critères de l'UICN. Quatre espèces connues d'un seul site, en voie d'extinction, sont conservées dans la banque de graines, il s'agit de : *Crepidiorhopalon perennis* (P.A.Duvign.) Eb.Fisch., *Gutenbergia pubescens* (S.Moore) C.Jeffrey, *Euphorbia fanshawei* LC.Leach et *Vigna dolomitica* R.Wilczek. Le programme devrait être poursuivi avec deux priorités : étendre la zone géographique de l'échantillonnage pour récolter les taxons endémiques des collines de cuivre qui ne sont pas encore présents dans la banque de graines ; étendre les collections aux espèces d'intérêt pour les stratégies de réhabilitation des sites miniers.

### **Ex situ conservation of the Upper Katanga copper flora in a seed bank**

*Ex situ* conservation in seed banks is dependent on adequate know-how and infrastructure. We describe the implementation of an *ex situ* seed bank at the University of Lubumbashi for the conservation of Katangan copper plant taxa threatened by the destruction of their habitat due to mining activities. Two sites were selected for seed collection: Lubumbashi and Fungurume. After harvesting, seeds were cleaned, counted and stored in seed lots. A database was set up to manage and share the information on the web site Copperflora.org. Seeds were stored under three conditions: at room temperature, in the refrigerator and in ultra-drying conditions. Thirty-six copper species belonging to 13 families were stored at the University of Lubumbashi. Seventy-two percent of the species are strict and broad endemics; 50% of the species are in danger and/or

critically in danger (IUCN). Four species with a limited distribution (one single known location) are preserved in the seed bank, i.e. *Crepidorhopalon perennis* (P.A.Duvign.) Eb.Fisch., *Gutenbergia pubescens* (S.Moore) C. Jeffrey, *Euphorbia fanshawei* L.C.Leach et *Vigna dolomitica* R.Wilczek. The program should be extended with two priorities: the extension of the collection zone to include endemic species currently not yet present in the seed bank; and the inclusion of species suitable for rehabilitation programs of polluted soils.

## 1. Introduction

Les espèces animales et végétales présentent aujourd'hui des taux d'extinction cent à dix mille fois plus élevés que ceux observés durant les périodes géologiques passées (Schoen & Brown, 2001 ; He & Hubbell, 2011). Les biologistes de la conservation attribuent ce phénomène à un niveau accru de destruction d'habitats naturels et d'anthropisation globale de la biosphère (Wilcox & Murphy, 1985 ; Pimm et al., 1995). La conservation des ressources naturelles vivantes est devenue une préoccupation centrale dans les débats internationaux sur la protection de l'environnement et le réchauffement climatique (CDB, 2010). Dans un contexte d'anthropisation global, la conservation *ex situ* de la biodiversité, en particulier des espèces végétales, complète la conservation *in situ* qui dépend des habitats naturels (Cohen et al., 1991 ; Hamilton, 1994 ; Schoen & Brown, 2001 ; Havens et al., 2006). Parmi les menaces planant sur le règne végétal sont pointées les activités minières, et plus particulièrement l'exploitation à ciel ouvert des gisements qui mène à la destruction des habitats de populations d'espèces végétales (Lande, 1998 ; Bradshaw, 2000 ; Woodruff, 2001 ; Hill et al., 2002 ; Jacobi et al., 2007). La conservation *ex situ* est, dans cette situation, nécessaire puisqu'elle est caractérisée par une exportation d'individus ou d'organes en dehors de leur milieu naturel et, pour les végétaux, peut se réaliser en jardin botanique ou en banque de graines (Phartyal et al., 2002 ; Godefroid et al., 2013).

La Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et la Stratégie Mondiale pour la Conservation des Plantes (SMCP) ont recommandé de stocker 75 % des espèces menacées en collections *ex situ* accessibles, de préférence situées dans leurs pays d'origine (SMCP, 2012). Les priorités de conservation des végétaux ont été fixées à l'aide des critères établis par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Au sein du groupe menacé (CR : critiquement en danger, EN : en danger et VU : vulnérable), les critères retenus pour identifier la catégorie sont la réduction de la taille de la population (critère A), la répartition géographique (critère B), le nombre d'individus des petites populations et le déclin (critère C), le nombre d'individus des très petites populations (critère D) et l'analyse quantitative de la probabilité d'extinction dans la nature (critère E). Considérant ces critères, le risque d'extinction toucherait plus particulièrement les espèces endémiques à distribution restreinte (Ginocchio & Baker, 2004). Même si les écosystèmes forestiers ont longtemps été considérés comme les zones prioritaires pour la conservation, le débat s'ouvre aujourd'hui sur les prairies et les savanes tropicales (Veldman et al., 2015).

Au sud de la République Démocratique du Congo, plus de 550 espèces composent les formations de végétations herbacées originales incluant des taxons endémiques

(Duvigneaud & Denaeyer-De Smet, 1963; Leteinturier, 2002; Séleck et al., 2013). Cette végétation herbacée est distribuée sur des sols dont les teneurs biodisponibles en cuivre (Cu) et cobalt (Co) sont 100 à 1 000 fois plus élevées que les sols non métallifères de la région (Duvigneaud & Denaeyer-De Smet, 1963; Saad et al., 2012; Séleck et al., 2013; Faucon et al., 2016). Cette particularité tire son origine dans la présence d’affleurements (ou gisements) métallifères riches en Cu et en Co, dessinant dans le paysage des collines (Cailteux et al., 2005; Kampunzu et al., 2009). Plusieurs centaines d’affleurements forment un arc s’étendant de Kolwezi (République Démocratique du Congo) jusqu’à la province du Copperbelt en Zambie. La partie katangaise, nommée Arc cuprifère katangais (ACK), entre Kolwezi et Lubumbashi, présente plus de 160 collines. Cette flore, définie comme cupro-cobalticole, comporte 57 métalphytes endémiques à l’Arc cuprifère, parmi lesquelles 32 présentent toutes leurs populations sur des sites métallifères (endémiques strictes) et 25 présentent au moins 75 % de leurs populations sur des sites métallifères (endémiques larges) (Faucon et al., 2010). À l’échelle mondiale, la flore cupro-cobalticole du Haut-Katanga est reconnue pour la grande diversité de métalphytes qui la constituent (Brooks & Malaisse, 1985).

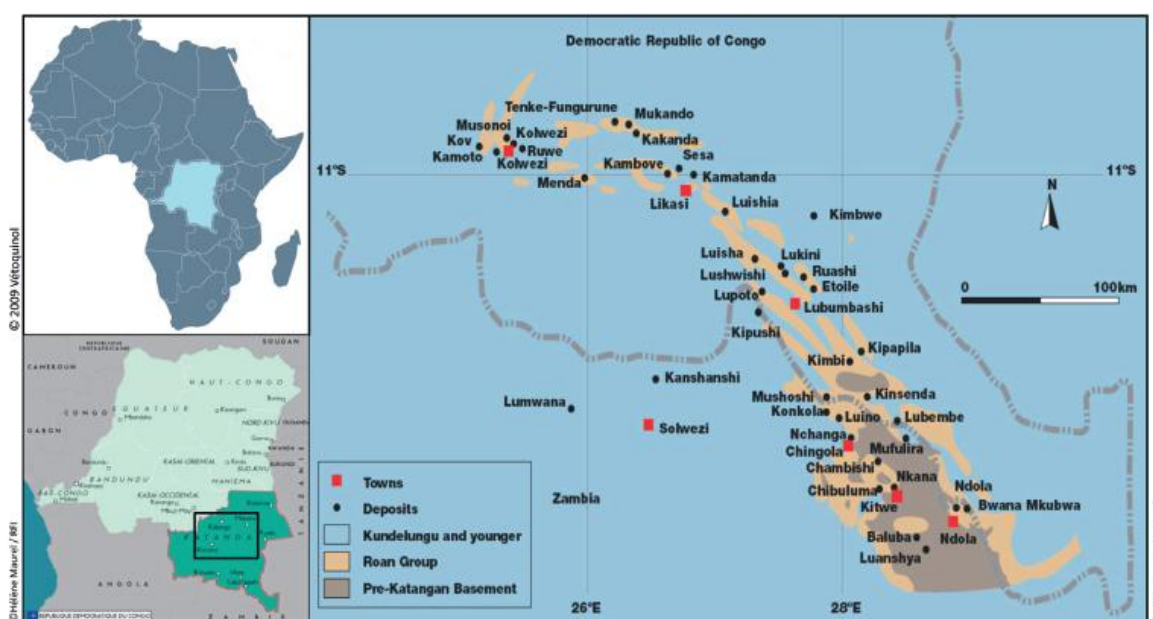
Les gisements de Cu et Co de l’Arc cuprifère katangais sont également connus pour leur intérêt géologique et économique. La reprise de l’exploitation minière dans la province est intervenue dans les années 2000 avec un impact significatif sur la biodiversité, sur l’environnement et sur la santé (Banza et al., 2009; Manda et al., 2010; Cheyys et al., 2014). Faucon et al. (2010) ont montré que 89 % des espèces endémiques sont menacées d’extinction selon les critères UICN. Au regard de ces menaces, la conservation des espèces cupro-cobalticoles est nécessaire afin de répondre aux exigences internationales.

Même si les recherches sur la flore cupro-cobalticole du Katanga existent depuis plus de 50 ans, la mise en place de stratégies de conservation a démarré il y a 10 ans grâce à la collaboration internationale entre plusieurs institutions (Le Stradic et al., 2016). Deux stratégies de conservation complémentaires ont été développées : i) la conservation de collections vivantes d’individus ou de populations métalphytes dans leur milieu natif (*in situ*) et, ii) en dehors de l’habitat d’origine, notamment au jardin botanique de l’Université de Lubumbashi (*ex situ*). Leur mise en place a nécessité plusieurs années de recherches demandant de caractériser les relations plante-sol ou communautés-sol, notamment les niches édaphiques des métalphytes ou leur tolérance aux métaux du sol en conditions naturelles et artificielles (Chipeng et al., 2010; Faucon et al., 2012; Saad et al., 2012; Ilunga Wa Ilunga et al., 2013; Ilunga Wa Ilunga et al., 2015; Boisson et al., 2016a; Boisson et al., 2016b; Boisson et al., 2016c; Delhaye et al., 2016; Faucon et al., 2016; Boisson et al., 2017). Cependant, peu de données sur les possibilités de conservation *ex situ* sous forme de banque de graines sont disponibles, malgré l’opportunité d’une telle approche. Dans ce contexte, l’objectif général de cette étude est d’analyser la faisabilité de la constitution d’une banque de graines d’espèces cupro-cobalticoles d’intérêt de conservation, en réponse à l’exploitation des ressources naturelles des habitats cuprifères.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Site d'étude

La banque de graines et les sites de récoltes sont situés sur l'Arc cuprifère katangais, qui se trouve dans le district phytogéographique du Haut-Katanga (République Démocratique du Congo) (Figure 1). C'est une sous-région de la grande région soudano-zambézienne se trouvant dans le domaine zambézien, (Duvigneaud & Timperman, 1959). Elle comprend environ 160 sites métallifères répartis sur plus de 300 km de long et 50 km de large (Duvigneaud & Denayer-De Smet, 1963 ; Leteinturier, 2002 ; Malaisse et al., 2016). La région a un climat subtropical humide du type Cw6 selon la classification de Köppen (Bultot, 1950).



**Figure 1.** Arc cuprifère katangais dans le sud-ouest de la République Démocratique du Congo (Boisson, 2016).

### 2.2. Choix des espèces et mise en place de l'infrastructure de conservation

La mise en place de la structure de la banque de graines a suivi un mode opératoire spécifique (Tableau 1) afin d'optimiser le choix des espèces cupro-cobalticoles à conserver. Cette démarche a nécessité, à chaque étape, de répondre à des questions à propos de la biologie, de la physiologie, et du comportement des graines et des espèces (Smith et al., 2003). À partir de la liste exhaustive des espèces végétales, trois groupes prioritaires ont été définis : i) les espèces endémiques strictes des affleurements métallifères de l'ACK (certaines espèces ont été identifiées sur 1 à 5 sites), ii) les espèces endémiques larges (certaines espèces se retrouvent sur plus de 30 sites) et, iii) les espèces tolérantes aux fortes concentrations de cuivre dans le sol, qui peuvent être des espèces endémiques strictes ou larges. Pour la classification, nous avons utilisé comme source d'information principale la publication de synthèse de Faucon et al. (2010) qui est la référence la plus récente de révision taxonomique.

L'infrastructure nécessaire à la conservation de graines a été établie dans un local de 2,70 m × 4,30 m. Ce local a été aménagé avec du matériel adapté à une banque de graines, tel que des armoires de stockage (armoires de conservation, réfrigérateur, silicagel, etc.), du matériel de mesure (thermomètre, balance de précision, etc.), du matériel de nettoyage (tamis, microscope, etc.), du matériel de test (boîtes de Pétri, etc.) et un ordinateur pour traiter les données.

**Tableau 1.** Questions principales à prendre en compte pour la mise en place d'une banque de graines *ex situ* d'espèces destinées à la conservation.




Questions	Sources d'information/référence	Implication pour la mise en place
1. Quel type de graines à conserver ?	Littérature (Pérez-García et al., 2007)	Toutes les stratégies
2. Comment conserver et expédier les graines chez les utilisateurs ?	Décision fondamentale	Nombre de graines (volume) requis
3. Le statut est-il national, régional ou international ?	Herbarium/littérature (Faucon et al., 2010)	Stratégies de récolte
4. Comment est leur écologie ?	Littérature (Faucon et al., 2010; Ilunga Wa Ilunga et al., 2013; Malaisse et al., 2016)	Stratégies de récolte
5. Quel est le système de reproduction ?	Littérature (Le Stradic et al., 2015; Delhayé et al., 2016)	Stratégies de récolte
6. Quelle est la phénologie de la fructification ?	Herbarium/littérature (Delhayé et al., 2016)	Logistique de récolte
7. Quel type de fruit/ou de graines ?	Littérature (Malaisse et al., 2016)	Logistique et volume de récolte
8. Les graines sont-elles fertiles ?	Littérature (Godefroid et al., 2013)	Nombre de graines possible dans le fruit ou pas (volume)
9. Quelle est la taille de graines ?	Littérature (Leishman et al., 1995)	Volume de collection et taille du matériel pour le stockage
10. Quel est le contenu en huile ?	Littérature (Li et al., 2006)	Le niveau requis pour le séchage
11. Quel est le contenu en eau dans les graines matures ?	Littérature (Li et al., 2006)	Le niveau requis pour le séchage
12. Comment est la dormance de graines ?	Littérature (Baskin & Baskin, 2000)	Matériels et coût du test de germination
13. Quelle est la longévité de graines ?	Littérature (Baskin & Baskin, 2000)	Conditions de séchage et de stockage

### 2.3. Récolte de graines

Les différents sites de récoltes sont situés dans la région centrale de l'ACK (Fungurume) et autour de Lubumbashi (Figure 1). Comme le montre la fiche de récolte (Figure 2), chacune a été réalisée en prenant systématiquement les mêmes informations concernant le lot (identifiant, nom du taxon, nombre de graines), la récolte (le nom du récolteur, la date de récolte, le site et les coordonnées géographiques, la surface de la population échantillonnée en m<sup>2</sup>, la méthode d'échantillonnage, la taille de la population, le nombre de plantes matures, le nombre de plantes échantillonnées, l'état phénologique de la population, la formation végétale, les espèces associées et la pente) et la conservation (site de conservation, date de conservation et nombre de graines). Des herbiers et des photos ont été collectés au besoin. Au total, 99 personnes ont participé aux récoltes de graines, parmi lesquelles certaines ont participé à plus de 10% de toutes les récoltes, assurant la cohérence de la méthodologie : H. Kabulo,

G. Handjila, T. Ilunga, J.J. Luzanga, R. Ilunga, S. Le Stradic et C. Kabey. Chaque récolte a été divisée en deux lots qui étaient envoyés respectivement au Jardin Botanique de Meise (anciennement Jardin Botanique National de Meise-BR) et à l'Université de Lubumbashi. Une fois au laboratoire, les graines ont été séchées, nettoyées, comptées. Les lots ont été divisés pour la répartition entre BR et UNILU et stockés, à l'UNILU, au sein d'un lot identifié. La base de données interne a été créée en reprenant les informations de chaque lot de graines et en différenciant toujours les lots de graines conservés au Jardin Botanique de Meise et la banque de graines de l'Université de Lubumbashi. En 2012, l'ensemble des données relatives à la collecte et à la conservation des lots de graines ont été transférées dans une base de données externe (en ligne) intégrant les actions de conservation (Copperflora.org, 2012).

**Collecting data form (seedbank)**

<b>Collection number</b>		TFM	
<b>Collector name</b>			
<b>Collection date</b>		YYYY	MM
<b>Site</b>		<b>GPS réf</b>	
<b>Taxon name</b>			
<b>Herbarium voucher</b>	Yes/No	<b>Ref</b>	<b>Photos</b> Yes/No
<b>Sampling area (m<sup>2</sup>)</b>			
<b>Sampling method</b>	Random..... Systematic..... Transect (linear)..... Core of pop..... Edge of pop..... Other.....	<b>Population size</b>	< 5 ind..... 5-50 ind..... 50-500 ind..... 500-1000 ind..... 1000- 5000 ind..... > 5000 ind.....
<b>Number of mature plants found</b>	1..... 2-5..... 5-10..... 10-25..... 25-50..... 50-100..... 100-500..... 500-1000..... >1000.....	<b>Number of plants sampled</b>	BR.....Ind UNILU (bis).....Ind
<b>Prevalent aspect</b>	N..... N-E..... E..... S-E..... S..... S-W..... W..... N-W..... No prevalent aspect	<b>Percentage of rocks (%)</b>	<b>Phenological status</b> More flowers than fruits..... More fruits than flowers..... Only fruits..... Fruits already dispersed..... Other.....
		<b>Associated species</b>	<b>Vegetation unit description</b> The chasmophytic vegetation on rocky outcrops.. The steppe on rocky outcrops..... The natural sward ..... Sward on mineralized rock debris..... The stappic savanna (summit)..... The stappic savanna (slope)..... The shrubs on rocky outcrops..... Uapaca fringe..... Transition shrub savanna..... Miombo open forest.....
		1 2 3	<b>Destination</b> <input type="checkbox"/> BR <input type="checkbox"/> UNILU
		<b>Collecting Notes/ Remarks</b>	

Fill in one sheet per (sub)population  Encode sur copperflora

**Figure 2.** Fiche standard de récolte de graines de la flore cupro-cobalticole.

#### 2.4. Stockage de graines et conditions de conservation

Les lots de graines ont été stockés selon trois conditions (Figure 3) : i) température et humidité ambiante (salle de stockage, S), ii) basse température et humidité ambiante (réfrigérateur, R) et, iii) température ambiante et humidité basse (ultra-séchage en

bocal, U). En l'absence de connaissance sur le comportement des graines des espèces cibles, une diversité de méthodes de conservation réduit le risque d'échec. À terme, les meilleures méthodes de conservation pourront être identifiées. Les graines ont été conservées dans des enveloppes en papier de  $9,5 \times 14,5$  cm. Les différents lots de graines ont été stockés dans les armoires en bois de  $25 \times 80$  cm. Au réfrigérateur, la température varie de  $0^{\circ}\text{C}$  à  $10^{\circ}\text{C}$  et l'humidité relative (RH) est de 15%. En ultra-séchage, les enveloppes de graines ont été stockées dans des bocaux en verre hermétiquement fermés (1 et 1,5 litres) contenant du silicagel – afin de baisser RH à moins de 5% – isolé des graines par de l'ouate. Le silicagel avec indicateur coloré permet un séchage progressif et continu des graines. Il doit être remplacé lorsqu'un changement de couleur des cristaux est observé afin d'éviter une réhumidification des lots. La température et RH dans la salle de stockage des graines et dans le réfrigérateur ont été mesurées à partir d'une station météo portable de marque TFA Dostmann/Wertheim.



**Figure 3.** Stockage de graines dans les armoires à la température de la salle (à gauche), au réfrigérateur à  $5^{\circ}\text{C}$  (au centre) et par ultra-séchage (à droite).

### 3. Résultats

La liste des taxa cupro-cobalticoles conservés en banque de graines s'élève à 36, répartis dans 16 familles botaniques (Tableau 2). Cinquante-six pourcents de taxa sont des géophytes dont 42,2% sont des géophytes à rhizomes et 13,9% des géophytes à bulbe, 25% des thérophytes, 11,1% des chaméphytes et 2,8% des hémicryptophytes. Vingt-six taxa conservés sont des endémiques des sites cuprifères dont la moitié est constituée d'endémiques strictes (SE) et l'autre moitié d'endémiques larges (BE). Treize taxa sont des hyperaccumulateurs (Hy). Suivant la classification de Faucon et al. (2010), dix taxa sont en danger critique d'extinction (CR), huit taxa sont en danger (EN) et sept sont vulnérables (VU). Vingt-cinq espèces (69,4%) ont été conservées dans les trois conditions de stockage, quatre espèces (11,1%) dans deux conditions et sept espèces (19,4%) dans une seule condition. Le nombre de conditions de stockage dépend du nombre de graines disponibles. L'ensemble du stock de graines constitue 319 lots de graines (avec 90,9% représentés par les graines et 9,1% par les fruits), le plus grand nombre de lots est observé chez *S. neptunii* avec dix-neuf lots (6%). Dix-huit espèces (36,7%) ont plus de dix lots dans la banque de graines et le plus faible nombre de lots a été observé chez *E. fanshawei*, *G. pubescens* et *H. lejolyanum*. Trente-trois espèces (91,7%) présentent plus

**Tableau 2.** La conservation *ex situ* des espèces cupro-cobalticoles dans la banque de graines de l'Université de Lubumbashi (UNILU). (a) : graine, (b) : fruit, P : habitat primaire, S1 : habitat secondaire avec substrat perturbé par les activités minières, S2 : sol contaminé par la fumée atmosphérique chargée en métaux des hauts-fourneaux, GphR : géophyte à rhizome, GphB : géophyte à bulbe, Th : thérophYTE, Ch : chaméphyte frutescent, He : hémicryptophyte, U : conservation en ultra-séchage, R : conservation à 5°C au réfrigérateur, S : conservation à température ambiante de la salle, SE : endémique stricte, BE : endémique large, Hy : hyperaccumulatrice, CR : en danger critique, EN : en danger et VU : vulnérable.

Taxon	Famille	Lots de graines ou de fruits	Nombre de graines ou de sites	Habitat	Forme biologique	Conditions de stockage	Statut de conservation
<i>Acalypha cupricola</i> Robyns	Euphorbiaceae	2	50-100 (a)	P, S1	GphR	U	SE, EN
<i>Acollanthus saxatilis</i> P.A.Duvign. & Denaeys-De Smet	Lamiaceae	10	10000-50000 (a)	P	GphB	S, R et U	BE, CR
<i>Acollanthus subcaulis</i> (Baker) Hua & Briq. var. <i>ericoides</i> (De Wild.) Ryding/ <i>Icomum tuberculatum</i> De Wild.	Lamiaceae	5	1 000-5 000 (a)	P	GphB	S et U	Hy
<i>Anisopappus chinensis</i> (L.) Hook.f. & Arn. subsp.	Asteraceae	17	100 000-500 000 (a)	P, S1	GphR	S, R et U	Hy
<i>Ascolepis metallorum</i> P.A.Duvign. & Léonard	Cyperaceae	14	100 000-500 000 (a)	P, S1, S2	GphB	S, R et U	BE, EN, Hy
<i>Barleria lobelioides</i> Champl.	Acanthaceae	2	100-5 000 (a)	P, S1	GphR	U	SE, CR
<i>Batopedina pukinellata</i> Robbr. ssp. <i>pukinellata</i>	Rubiaceae	3	500 000-1 000 000 (a)	P	GphR	U	BE, EN
<i>Bulbosylis cupricola</i> Goetgh.	Cyperaceae	17	500 000-1 000 000 (a)	S1	Th	S, R et U	BE, VU
<i>Bulbosylis pseudoperennis</i> Goetgh.	Cyperaceae	11	100 000-500 000 (a)	S1, S2	Th	S, R et U	BE, VU, Hy
<i>Celosia trigyna</i> L.	Amaranthaceae	5	100 000-500 000 (a)	S1	Th	U	Hy
<i>Crepidolopalon perennis</i> (P.A.Duvign.) Eb.Fisch./ <i>Lindernia perennis</i> P.A.Duvign.	Linderniaceae	11	50 000-100 000 (a)	S1	He	S, R et U	SE, CR
<i>Crotalaria cobalticola</i> P.A.Duvign. & Plancke	Fabaceae	11	100 000-500 000 (a)	P, S1	Th	S, R et U	SE, EN
<i>Crotalaria peschiana</i> P.A.Duvign. & Timp.	Fabaceae	3	5 000-10 000 (a)	P	GphR	S, R et U	SE, CR
<i>Diplolophium marthozianum</i> P.A.Duvign.	Apiaceae	16	50 000-100 000 (b)	P	GphR	S, R et U	BE, EN
<i>Dissotis derricksiana</i> P.A.Duvign.	Melastomataceae	7	1 000 000-5 000 000 (a)	P	GphR	S, R et U	BE, EN
<i>Eragrostis racemosa</i> (Thunb.) Steud.	Poaceae	13	100 000-500 000 (a)	S1	He	S, R et U	Hy



Taxon	Famille	Lots de graines ou grains de fruits	Nombre de graines ou de fruits	Habitat	Forme biologique	Conditions de stockage	Statut de conservation
<i>Euphorbia fanchawei</i> L.C.Leach	Euphorbiaceae	1	100-500 (a)	P	GphB	U	BE, EN
<i>Fava chalcophila</i> P.Taylor	Gentianaceae	6	100 000-500 000 (a)	SI	Th	S, R et U	SE, CR
<i>Fava malaisae</i> Bamps	Gentianaceae	17	100 000-500 000 (a)	P	Th	S, R et U	SE, CR
<i>Gladiolus ledocxi</i> P.A.Duvign. & Van Bockstal	Iridaceae	10	50 000-100 000 (a)	P	GphB	S, R et U	BE, EN
<i>Gutenbergia pubescens</i> (S.Moore) C.Jeffrey	Asteraceae	1	10 000-50 000 (a)	SI	Th	S, R et U	SE, CR
<i>Haumaniastrum katangense</i> (S.Moore) P.A.Duvign. & Plancke / <i>Acrocephalus katangensis</i> S.Moore	Lamiaceae	2	10 000-50 000 (a)	SI	Th	S et U	Hy
<i>Haumaniastrum robertii</i> (Robyns) P.A.Duvign. & Plancke / <i>Acrocephalus robertii</i> Robyns	Lamiaceae	16	100 000-500 000 (a)	SI	Th	S, R et U	SE, VU, Hy
<i>Haumaniastrum rosulatum</i> (De Wild.) P.A.Duvign. & Plancke / <i>Acrocephalus rosulatus</i> De Wild.	Lamiaceae	18	10 000-50 000 (a)	P	GphR	S, R et U	NT, Hy
<i>Helichrysum lejolyanum</i> Lisowski	Lamiaceae	1	5 000-10 000 (a)	P	GphR	U	BE, VU
<i>Lopholena deltombei</i> P.A.Duvign.	Asteraceae	17	50 000-100 000 (a)	P	GphR	S, R et U	SE, CR
<i>Mirochloa altera</i> (Rendle) Stapf / <i>Rendlia cupricola</i> P.A.Duvign.	Poaceae	10	10 000-50 000 (a)	7	SI, S2	He	S, R et U
<i>Ocimum vanderystii</i> (De Wild.) A.J.Paton / <i>Becium grandiflorum</i> (Lam.) Pic.Serm. var. <i>vanderystii</i> (De Wild.) Sebald / <i>Becium aureovide</i> P.A.Duvign.	Lamiaceae	11	10 000-50 000 (a)	9	P	GphR	S, R et U
<i>Pandiaka carsonii</i> (Baker) C.B.Clark	Amaranthaceae	6	5 000-10 000 (a)	6	SI	GphR	S, R et U
<i>Sopubia mannii</i> Skan var. <i>metallorum</i> (P.A.Duvign.)	Orobanchaceae	7	500 000-1 000 000 (a)	5	P	GphR	S, R et U
<i>Sopubia nepunii</i> P.A.Duvign. & Van Bockstal	Orobanchaceae	19	500 000-1 000 000 (a)	14	P	GphR	S, R et U
<i>Sporobolus congensis</i> Franch.	Poaceae	7	10 000-50 000 (a)	4	SI	He	S, R et U
<i>Tinnea coerulescens</i> Gürke var. <i>obovata</i> (Robyns & Lebrun) Vollesen / <i>T. obovata</i> Robyns & Lebrun	Lamiaceae	3	500-1 000 (a)	4	P	Ch	S et U
<i>Triumfetta likasensis</i> De Wild.	Tiliaceae	10	10 000-50 000 (b)	9	P	GphR	U
<i>Triumfetta welwitschii</i> Mast. var. <i>welwitschii</i>	Tiliaceae	3	5 000-10 000 (b)	3	P	GphR	S et U
<i>Vigna dolomitica</i> Wilczek	Fabaceae	5	10 000-50 000 (a)	1	SI	GphR	S, R et U

de 1 000 graines et le plus grand nombre a été observé chez *S. neptunii* avec plus de 10 000 000 de graines, alors que *T. digitata* en a moins de 500. Vingt-deux espèces (45 %) ont été récoltées sur plus de cinq sites, parmi celles-ci *H. rosulatum* a été récoltée sur seize sites (34 %). Six espèces (16 %) ont été récoltées seulement sur un site : *C. perennis*, *C. peschiana*, *E. fanshawei*, *G. pubescens*, *H. lejolyanum*, *V. dolomitica*. Les graines des espèces conservées dans la banque ont été récoltées sur des populations installées à 62 % sur des habitats primaires, 51 % sur des habitats secondaires perturbés et remaniés par les activités minières, et seulement 8,1 % des populations installées sur un habitat contaminé par une pollution atmosphérique provenant des hauts fourneaux.

## 4. Discussion

La stratégie mondiale pour la conservation des plantes a comme but ultime à long terme d'enrayer l'appauvrissement actuel et continu de la diversité végétale (Rodrigues et al., 2006). La conservation *ex situ* des plantes en banque de graines est recommandée en tant que stratégie de conservation pour faciliter le stockage et la préservation de la diversité génétique et biologique des plantes sauvages (Hamilton, 1994; Geurrant et al., 2004; Godefroid & Vanderborcht, 2010). C'est ainsi que les universités belges et congolaises, principalement l'Université de Liège, l'Université Libre de Bruxelles et l'Université de Lubumbashi, sous la supervision de la Commission Universitaire au Développement et le soutien financier de Tenke Fungurume Mining SA, sont parvenues à mettre en place une infrastructure de conservation de graines des espèces cupro-cobalticoles à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi. Cette infrastructure de conservation des graines s'inscrit dans une stratégie globale de conservation de la flore cupricole décrite sur Copperflora.org. Cette infrastructure offre un accès immédiat aux ressources stockées, permettant aux chercheurs et biologistes de la conservation d'entreprendre des programmes de restauration d'habitats, de réintroduction d'espèces ou d'utilisation des espèces dans les méthodes de phytoremédiation (Shutchka et al., 2010; Boisson et al., 2015; Shutchka et al., 2015). Dans son bulletin d'informations internationales qui lui permet de communiquer avec ses partenaires, le *Millennium Seed Bank Project* (MSBP) nous informe qu'au cours de ces 15 dernières années, ils ont effectué de vastes contributions pour la conservation des plantes, qui ont conduit à la conservation de plusieurs millions de graines de milliers d'espèces à travers le monde et plus spécialement dans les zones arides de la planète. Les lots de graines sont chaque fois conservés en doublon, dans le pays d'origine et au Royaume-Uni (Kew.org, 2001). Dans le même ordre d'idée, la collection de l'Université de Lubumbashi est conservée à la fois dans le Haut-Katanga (République Démocratique du Congo) et en Belgique. En moyenne, le nombre d'individus sur lesquels a eu lieu la récolte de graines pour la conservation est conforme aux normes fixées par le centre de conservation des plantes (USA, <https://www.cbd.int/gspc/>) qui recommande, pour les espèces en danger, de garder en collection au minimum de dix à cinquante individus par lot (Falk, 1991). Bien que la constitution d'une banque de graines des taxa cupro-cobalticoles d'intérêt conservatoire soit un pas significatif pour la conservation de ces ressources phytogénétiques exceptionnelles, l'effort doit

être poursuivi pour assurer la représentativité du programme en terme d'enjeux de conservation et de structure phytogéographique de l'échantillon.

Quatre espèces connues d'un seul site ont été préservées dans la banque de graines : *C. perennis*, *G. pubescens*, *E. fanshawei* et *V. dolomitica*. Ces espèces sont au bord de l'extinction vu l'intensification des travaux miniers dans les concessions recouvrant leur distribution (Mine de l'Étoile, Lubumbashi pour *C. perennis*, *G. pubescens* et *V. dolomitica*; collines de Fungurume pour *E. fanshawei*). Les efforts de collecte pour la conservation *ex situ* de ces populations devraient être accentués et faire l'objet en priorité de programme de régénération en jardin botanique (Le Stradic et al., 2015). Par contre, 17 des 32 taxa endémiques stricts ne sont pas présents dans la banque de graines : *Acalypha dikuluwensis* P.A.Duvign. & Dewit, *Actiniopteris kornasii* Medwecka-Kornas, *Basananthe cupricola* A.Robyns, *Bulbostylis fusiformis* Goetgh., *Cheilanthes inaequalis* (Kunze) Mett. var. *inaequalis*, *Commelina mwatayamwoana* P.A.Duvign. & Dewit, *Crotalaria cupricola* Leteinturier, *Digitaria nitens* Rendle subsp. *festucoides* P.A.Duvign., *Euphorbia cupricola* (Malaisse & Lecron) Bruyns (*Monadenium cupricola* Malaisse & Lecron), *Hartliella cupricola* Fischer, *Loudetia kagerensis* (K.Schum.) C.E.Hubb. subsp. *Jubata* P.A.Duvign., *Pandiaka metallorum* P.A.Duvign. & Van Bockstal, *Silene cobalticola* P.A.Duvign. & Plancke, *Vernonia duvigneaudii* Kalanda, *Vernonia ledocteanae* P.A.Duvign. & Van Bockstal, *Wahlenbergia ericoidella* (P.A.Duvign. & Denaeyer) Thulin (*Lightfootia ericoidella* P.A.Duvign. & Denaeyer) et *Wahlenbergia malaissei* Thulin. L'absence d'une partie des taxa cupro-cobalticoles endémiques vient du fait que toutes les récoltes de notre collection ont été réalisées principalement dans la région de Tenke-Fungurume (centre ouest de l'arc) et celle de Lubumbashi (sud de l'arc). La région de Kolwezi, située au nord-ouest de l'arc, n'a aucun lot de graines présent dans la collection à cause du manque de prospection dans cette région. Cette limitation géographique de l'échantillonnage est due à la difficulté d'accès aux sites, la plupart des sociétés minières opérant dans la région n'étant pas informées des enjeux de conservation de la biodiversité liés à leurs activités. Les efforts devront être faits pour que ces taxa puissent aussi bénéficier d'une préservation *ex situ*, et ces efforts demandent en priorité une communication avec les acteurs publics et privés sur l'opportunité que présente le programme de conservation *ex situ* développé à l'Université de Lubumbashi.

La majorité des lots conservés dans la banque de graines provient des populations installées dans les communautés primaires où se regroupent la plupart des géophytes. Cette forme de vie est la plus répandue dans notre collection. Les géophytes, en particulier les xylopoïdes, sont des formes de vie caractéristiques et structurantes des communautés végétales des collines de cuivre (Le Stradic et al., 2015). Ces taxa sont indispensables pour mettre en place des programmes de restauration des écosystèmes cuprifères. Toutefois, en vue de programmer des projets de réhabilitation, de restauration ou de phytoremédiation de sites perturbés par l'activité minière, les objectifs de la banque de graines devraient être étendus à d'autres formes de vies structurant les végétations cupro-cobalticoles. Par exemple, Boisson et al. (2015) ont identifié plusieurs espèces de graminées utiles pour la phytostabilisation des sites pollués par le Cu ou le Co. La collecte en masse des graines des populations métallicoles de ces espèces permettrait de disposer des ressources nécessaires à la mise au point de straté-

gies de remédiation associant enjeux de qualité des sols et enjeux de conservation de la biodiversité.

## Remerciements

Nous remercions la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi pour nous avoir octroyé un local qui abrite désormais le laboratoire de conservation *ex situ* de graines et toute l'équipe de récolteurs, sans oublier la société Tenke Fungurume Mining pour son soutien financier, qui a rendu possible la matérialisation de ce travail. Cette recherche a été financée par l'actuelle Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES, Belgique) via une bourse d'étude octroyée à Wilfried Masengo Kalenga.

## Bibliographie

- Banza C.L.N. et al., 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environ. Res.*, **109**(6), 745-52.
- Boisson S. et al., 2015. Potential of copper-tolerant grasses to implement phytostabilisation strategies on polluted soils in south D.R. Congo. *Environ. Sci. Pollu. Restor.*, **23**(14), 13693-13705. Doi:10.1007/s 11356-015-5442-2.
- Boisson S. et al., 2016a. Copper tolerance of three *Crotalaria* species from southeastern D.R. Congo at the early development stage. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **20**(2), 151-160.
- Boisson S. et al., 2016b. Edaphic niches of copper endemics from southeastern D.R. Congo: implications for post-mining restoration. *J. Nat. Conserv.*, **33**, 18-24.
- Boisson S. et al., 2016c. No copper required for germination of an endangered endemic species from the Katangan Copperbelt (Katanga, D.R. Congo): *Diplolophium marthozianum*. *Trop. Ecol.*, **57**(5).
- Boisson S. et al., 2017. Specialized edaphic niches of threatened copper endemic plant species in the D.R. Congo: implications for *ex situ* conservation. *Plant Soil*, **413**(1-2), 261-273.
- Bradshaw A.D., 2000. The use of natural processes in reclamation-advantages and difficulties. *Landsch. Urban Plan.*, **51**, 89-100.
- Brooks R.R. & Malaisse F., 1985. The heavy metal tolerant flora of Southcentral Africa – A multidisciplinary approach. Rotterdam, The Netherlands: A.A. Balkema.
- Bultot F., 1950. *Carte des régions climatiques du Congo belge établie d'après les critères de Köppen*. Bruxelles : INEAC.
- CDB, 2010. *Global Strategy for Plant Conservation*, <http://www.Biodiscee.univ-rennes1.fr/F/International/Biodiversité/Divers/CDB>, accessed in 2016.
- Cailteux J.L.H. et al., 2005. Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt deposits, central African Copperbelt. *J. Afr. Earth Sci.*, **42**(1-5), 134-158.
- Cheyns K. et al., 2014. Pathways of human exposure to cobalt in Katanga, a mining area of the D.R. Congo. *Sci. Total Environ.*, **490**, 313-321.
- Chipeng F.K. et al., 2010. Copper tolerance in the cuprophyte *Haumaniastrum katangense* (S. Moore) P.A. Duvign. & Plancke. *Plant Soil*, **328**(1-2), 235-244.

- Cohen J.I., Williams J.T., Plucknett D.L. & Shands H., 1991. *Ex situ* conservation of plant genetic resources: global development and environmental concerns. *Science*, **253**, 866-872.
- Copperflora.org, 2012. Copper flora. *In*: Biodivers. Landsc. Unit, www.copperflora.org. Accessed 9 Nov 2016.
- Delhay G. et al., 2016. Community variation in plant traits along copper and cobalt gradients. *J. Veg. Sci.*, **27**(4), 854-864.
- Duvigneaud P. & Timperman J., 1959. Plantes cobaltophytes dans le Haut Katanga. *Bull. Soc. R. Bot. Belg.*, **91**, 111-134.
- Duvigneaud P. & Denaeys-De Smet S., 1963. Cuivre et végétation au Katanga. *Bull. Soc. R. Bot. Belg.*, **96**, 92-231.
- Falk D.A. & Holsinger K.E. (Eds), 1991. *Genetics and conservation of rare plants*. New York, USA: Oxford University Press.
- Faucon M.-P. et al., 2010. Copper endemism in the Congolese flora: a database of copper affinity and conservational value of cuprophytes. *Plant Ecol. Evol.*, **143**(1), 5-18.
- Faucon M.-P. et al., 2012. Copper tolerance and accumulation in two cuprophytes of south central Africa: *Crepidorrhopalon perennis* and *C. tenuis* (Linderniaceae). *Environ. Exp. Bot.*, doi:10.1016/j.envexpbot.2012.04.012.
- Faucon M.-P. et al., 2016. Implication of plant-soil relationships for conservation and restoration of copper-cobalt ecosystems. *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-015-2745-5.
- Geurrant E.O., Havens K. & Maunder M. (Eds), 2004. *Ex situ plant conservation supporting species survival in the wild*. NW, Washington, USA: Island Press.
- Ginocchio R. & Baker A.J.M., 2004. Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, **77**, 185-194.
- Godefroid S. & Vanderborght T., 2010. Seed banking of endangered plants: are we conserving the right species to address climate change? *Biodivers. Conserv.*, **19**, 3049-3058.
- Godefroid S. et al., 2013. Germination capacity and seed storage behaviour of threatened metallophytes from the Katanga copper belt (D.R. Congo): implications for *ex situ* conservation. *Plant Ecol. Evol.*, **146**, 183-192.
- Hamilton M.B., 1994. *Ex situ* conservation of wild plant species: time to reassess the genetic assumptions and implications of seed banks. *Conserv. Biol.*, **8**, 39-49.
- Havens K. et al., 2006. *Ex situ* plant conservation and beyond. *BioScience*, **56**, 525-531.
- He F. & Hubbell S., 2011. Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature*, **473**, 368-371.
- Hill M.F., Hastings A. & Botford L.W., 2002. The effects of small dispersal rates on extinction times in structured metapopulation models. *Am. Nat.*, **160**(3), 389-402.
- Ilunga Wa Ilunga E. et al., 2013. Small-scale diversity of plant communities and distribution of species niches on a copper rock outcrop in Upper Katanga D.R. Congo. *Plant Ecol. Evol.*, **146**(2), 173-182.
- Ilunga Wa Ilunga E. et al., 2015. Plant functional traits as a promising tool for the ecological restoration of degraded tropical metal-rich habitats and revegetation of metal-rich bare soils: A case study in copper vegetation of Katanga, DRC. *Ecol. Eng.*, **82**, 214-221.
- Kampunzu A.B. et al., 2009. Sediment-hosted Zn-Pb-Cu deposits in the Central African Copperbelt. *Ore Geol. Rev.*, **35**(3-4), 263-297.
- Kew.org, 2001. Kew. *In*: Millennium seed bank project. www.kew.org/science-conservation. Accessed in May 2016.

- Jacobi C.M., Carmo F.F., Vincent R.C. & Stehmann J.R., 2007. Plant communities in ironstone outcrops—a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers. Conserv.*, **16**, 2185-2200.
- Lande R., 1998. Anthropogenic ecological and genetic factors in extinction and conservation. *Popul. Ecol.*, **40**, 259-264.
- Leishman M.R., Westoby M. & Jurado E., 1995. Correlates of seed size variation: a comparison among five temperate floras. *J. Ecol.*, **83**(3), 517-529.
- Le Stradic S. et al., 2015. Comparison of translocation methods to conserve metalophyte communities in the southeastern D.R. Congo. *Environ. Sci. Pollut. Restor.*, 1-12. Doi:10.1007/s11356-015-5448-6.
- Le Stradic S. et al., 2016. Ten years of research on copper-cobalt ecosystems in southeastern D.R. Congo. In: Malaisse F., Schaijjes M. & D'Outreligne C. (Eds). *Copper-Cobalt flora of Upper Katanga and Copperbelt – field guide*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux.
- Leteinturier B., 2002. Évaluation 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.
- Li Y., Beisson F., Pollard M. & Ohlrogge J., 2006. Oil content of *Arabidopsis* seeds: The influence of seed anatomy, light and plant-to-plant variation. *Phytochem.*, **67**(9), 904-91.
- Malaisse F., Schaijjes M. & D'Outreligne C., 2016. *Copper-Cobalt flora of Upper Katanga and Copperbelt – field guide*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux.
- Manda B.K. et al., 2010. Évaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/D.R. Congo). *Tropicultura*, **28**, 246-252.
- Phartyal S.S., Thapliyal R.C., Koedam N. & Godefroid S., 2002. *Ex situ* conservation of rare and valuable forest tree species through seed-gene bank. *Curr. Sci.*, **83** (11), 1351-1357.
- Pimm S.L., Russel G.J., Gittleman J.L. & Brooks T.M., 1995. The future of biodiversity. *Science*, **269**, 347-350.
- Rodrigues A.S.L. et al., 2006. The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends Ecol. Evol.*, **21**, 71-76.
- Saad L. et al., 2012. Investigating the vegetation-soil relationships on the copper-cobalt rock outcrops of Katanga (D.R. Congo), an essential step in a biodiversity conservation plan. *Restor. Ecol.*, **20**, 405-415.
- Schoen D.J. & Brown A.H.D., 2001. The conservation of wild plant species in seed banks. *Bioscience*, **51**(11), 960-966.
- Séleck M. et al., 2013. Chemical soil factors influencing plant assemblages along copper-cobalt gradients: implications for conservation and restoration. *Plant soil*, **373**, 455-469.
- Shutchka M.N. et al., 2010. Phytostabilisation of copper-contaminated soil in Katanga: an experiment with three native grasses and two amendments. *Int. J. Phytoremediat.*, **12**, 616-632.
- Shutchka M.N. et al., 2015. Three years of phytostabilisation experiment of bare acidic soil extremely contaminated by copper smelting using plant biodiversity of metal-rich soils in tropical Africa (Katanga, D.R. Congo). *Ecol. Eng.*, **82**, 81-90.
- SMCP, 2012. *Global Strategy for Plant Conservation*, <http://www.plants2020.net/>, accessed in 2016.
- Smith R.D. et al. (Eds), 2003. *Seed conservation: turning science into practice*. Kew, London, UK: The Royal Botanic Gardens.

- Veldman J.W. et al., 2015. Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Front. Ecol. Environ.*, **13**(3), 154-162.
- Wilcox B.A. & Murphy D.D., 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *Am. Nat.*, **125**, 879-887.
- Woodruff D.S., 2001. Declines of biomes and biotas and the future of evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **98**, 5471-5476.