

**Rapport complémentaire sur la situation environnementale à la  
mine uranifère de Shinkolobwe  
en République démocratique du Congo  
Novembre 2004**

---

## **1. ANALYSES ET INTERPRETATION**

### **1.1 Analyses**

Devant l'absence de risque de pollution pouvant résulter de l'effondrement partiel de la mine de Shinkolobwe et compte tenu de l'entreposage anarchique des sacs de minerai constaté à Likassi, il fut décidé de restreindre les analyses des échantillons aux composants inorganiques.

Les échantillons ont été analysés en Suisse par le Laboratoire Spiez (Swiss NBC Defense Establishment) au moyen d'un spectromètre de masse (ICP-MS).

La teneur des échantillons de sol et de sédiments a été établie pour quarante-neuf éléments et celle des échantillons d'eau pour soixante-neuf éléments (métaux, métaux de transition, non métaux, actinides et lanthanides).

Les résultats complets des analyses sont donnés en annexe.

### **1.2 Présentation et interprétation des résultats**

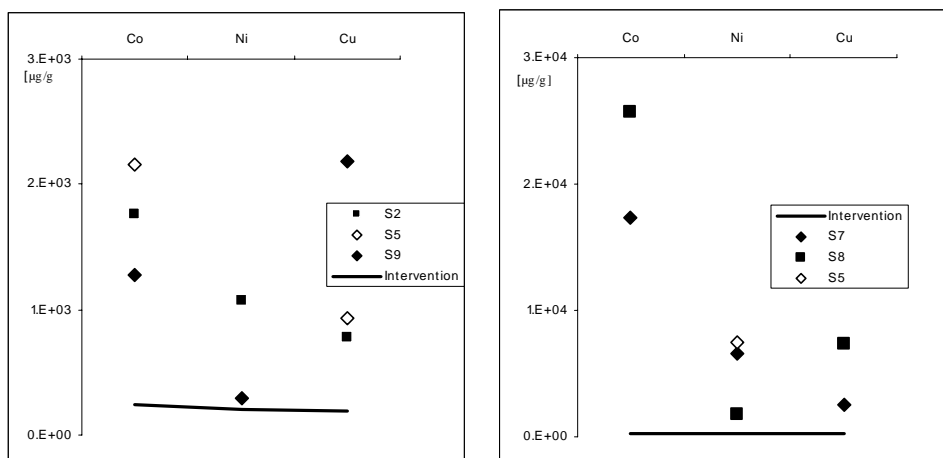
L'interprétation porte essentiellement sur la teneur des échantillons en chrome (Cr), cobalt (Co), nickel (Ni), cuivre (Cu), zinc (Zn), plomb (Pb), arsenic (As) et uranium (U).

Pour évaluer le niveau de contamination, les valeurs obtenues pour les échantillons de sol et de sédiments sont comparées aux valeurs « cible » et « intervention » données dans « Dutch standards for soil contamination assessment in total concentration of heavy metals in soil ». La valeur cible correspond à la teneur maximum souhaitable dans un sol non contaminé. Selon ces standards, un sol dont les teneurs dépassent la valeur « intervention » est considéré comme contaminé.

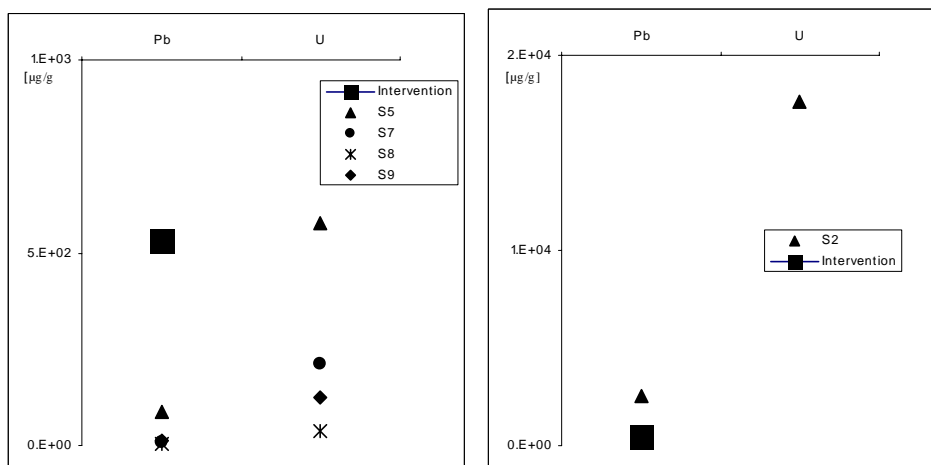
Les valeurs obtenues pour les échantillons d'eau sont comparées aux directives 2004 de l'OMS pour la qualité de l'eau (WHO guidelines for drinking water quality 2004).

### 1.2.1 Prélèvements a l'intérieur du périmètre de la mine

#### Echantillons de sol S2, S5, S7, S8 et S9

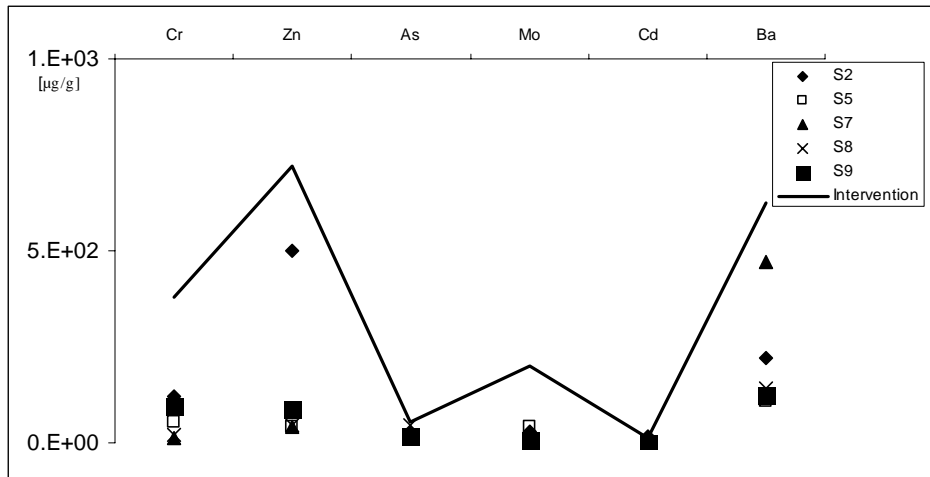


Ces échantillons ont des teneurs en cobalt, nickel et cuivre nettement supérieures à la valeur «d'intervention». Les teneurs S7 et S8 sont particulièrement élevées.



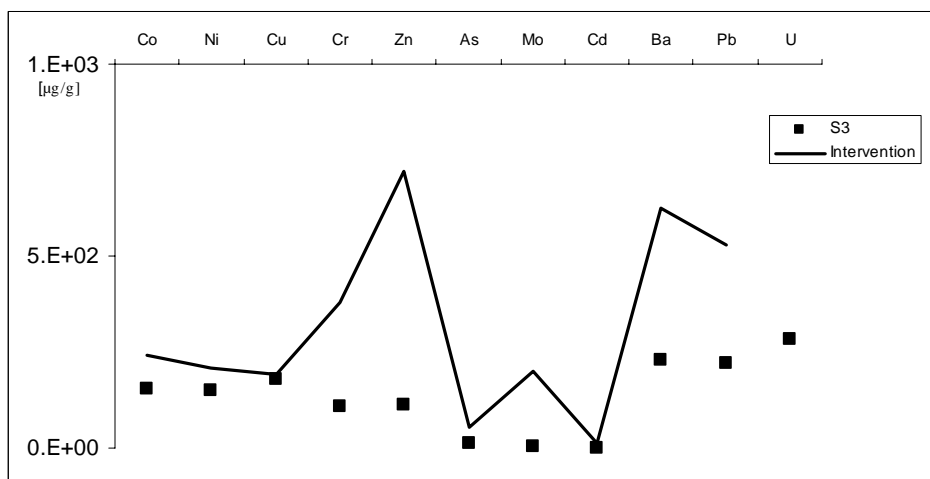
Les teneurs en plomb des échantillons S5, S7, S8 et S9 sont inférieure à la valeur d'intervention et présentent une grande variation de leur teneur en uranium (le standard utilisé ne prévoit pas de valeur limite pour cet élément).

L'échantillon S2 a une teneur en plomb supérieure à la limite d'intervention (> 4 fois) et la plus forte teneur en uranium obtenue. Le prélèvement a été effectué à l'endroit indiquant l'activité la plus élevée mesurée sur ce site. Le rapport Pb/U qui est de 14% environ laisse penser que cet échantillon est en bonne partie constitué de Pechblende (minerai d'uranium).



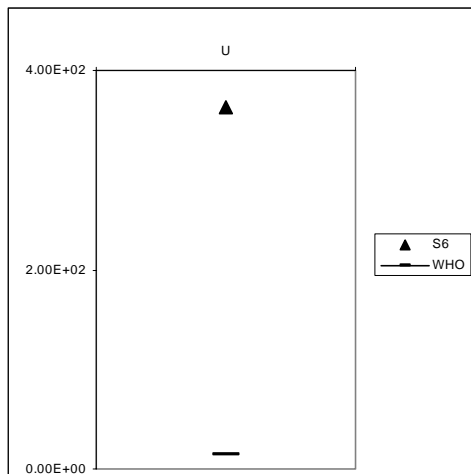
Tous les échantillons ont une teneur en chrome, zinc, arsenic, molybdène, cadmium et baryum inférieure à la limite d'intervention.

### Echantillon de sol S3

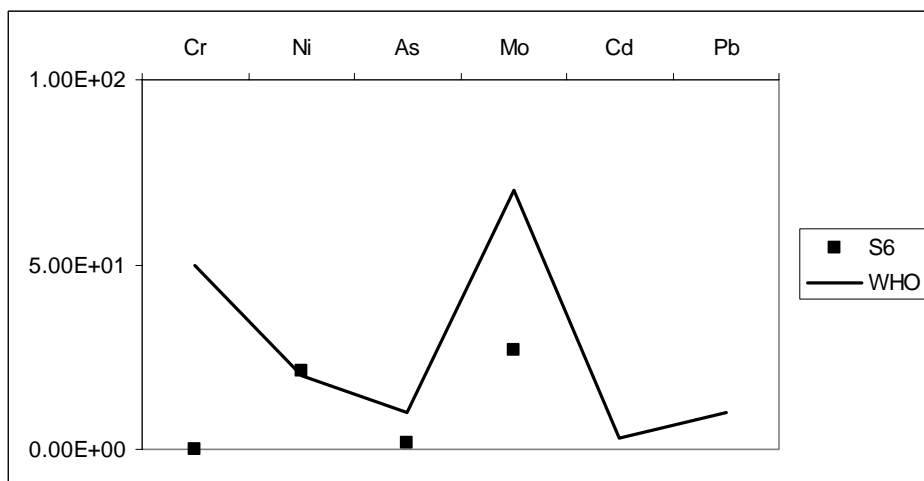


Les teneurs de l'échantillon S3 sont toutes inférieures aux limites d'intervention.

### Echantillons d'eau S6 (Eaux vertes)



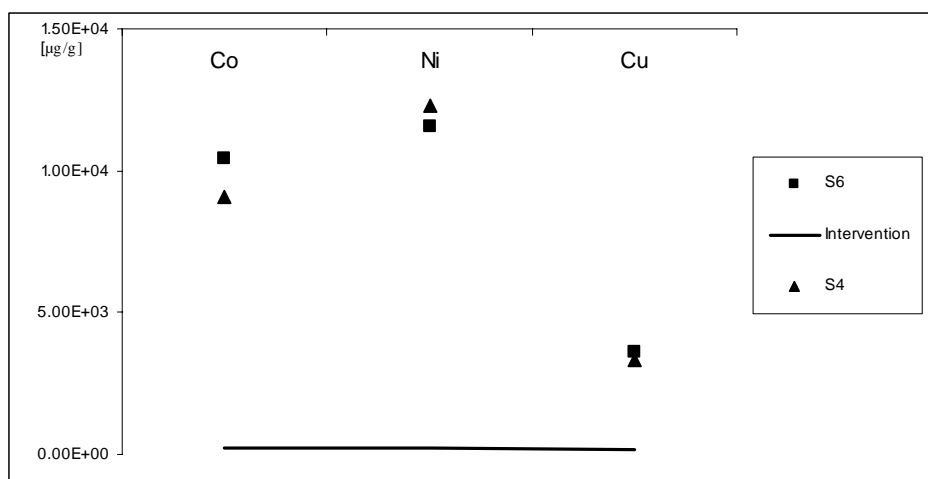
La teneur en uranium de l'eau dépasse nettement la valeur admise par les directives de l'OMS.



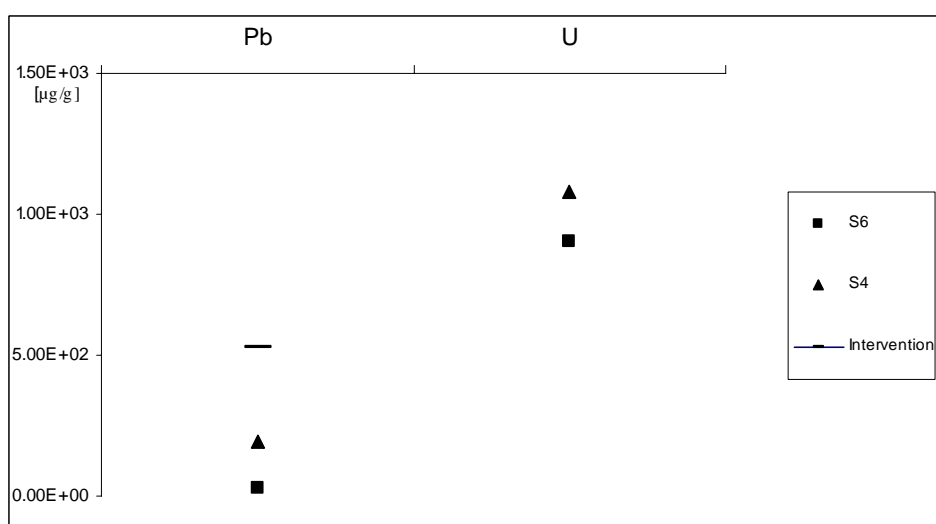
Les autres teneurs sont en dessous de la directive OMS. Les concentrations en cadmium et plomb ne sont pas portées sur le graphique car leurs valeurs sont respectivement 50 et 700 fois inférieure à la directive.

Les teneurs en manganèse, cuivre et baryum sont également très inférieures à la directive OMS.

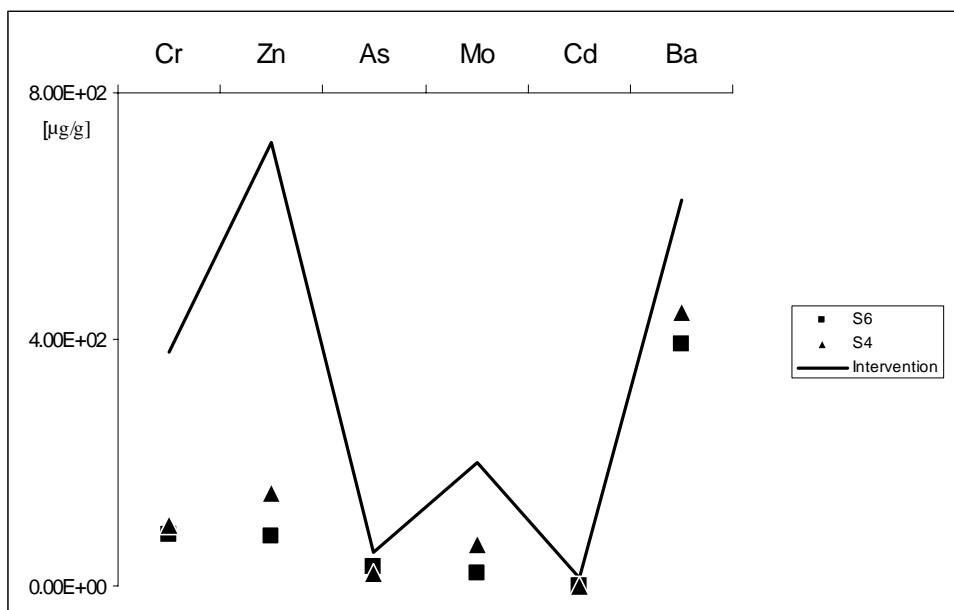
## Echantillons de sédiments S4 et S6



Les teneurs des sédiments en cobalt, nickel et cuivre sont également très supérieures aux limites d'intervention.



Les teneurs en plomb des échantillons S6 et S4 sont inférieures à la valeur d'intervention.



Les teneurs des échantillons S4 et S6 sont toutes inférieures aux limites d'intervention.

### Synthèse

A une exception près (S3), tous les échantillons de sol et de sédiment prélevés dans le périmètre de la mine ont des teneurs en cobalt, nickel et cuivre qui dépassent les normes de référence. Ils montrent des concentrations en uranium qui sont très variables et parfois très élevées (S2). Cela n'est guère surprenant pour des échantillons prélevés à l'intérieur du périmètre d'une ancienne mine d'uranium qui n'a pas été décontaminée.

La teneur en uranium de l'échantillon d'eau dépasse largement la valeur indiquée par la directive OMS pour cet élément.

Le site doit donc être considéré comme contaminé. Comme, à l'intérieur du périmètre de la mine, le sol et l'eau ne sont pas utilisés pour l'agriculture, l'irrigation ou l'élevage, le risque d'un effet néfaste pour la santé de la population humaine par contamination de la chaîne alimentaire (bioaccumulation et bioconcentration des métaux lourds) est en principe négligeable.

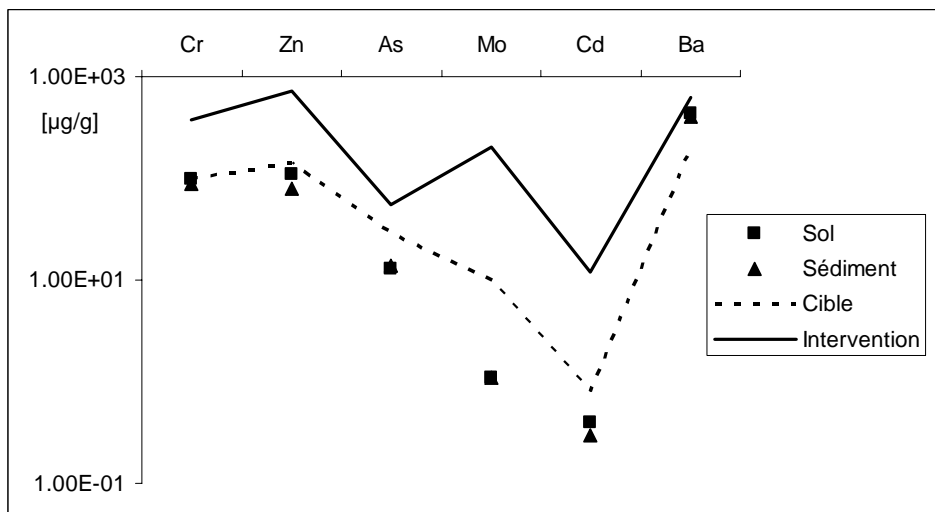
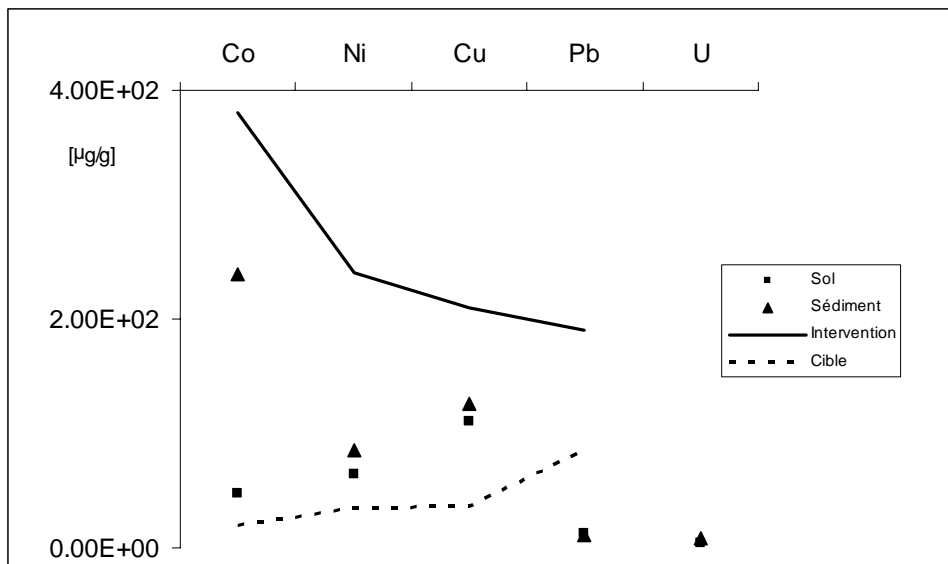
Le risque pour la flore et la faune qui a recolonisé ce site n'a pas pu être déterminé car la mobilité des éléments analysés ainsi que les caractéristiques des populations animales et végétale vivant dans le périmètre de la mine n'ont pas pu être établies lors de cette courte mission.

La contamination constatée ne présente pas un risque aigu pour l'environnement mais plaide en faveur de la fermeture du site.

### 1.2.2 Prélèvements à l'extérieur du périmètre de la mine

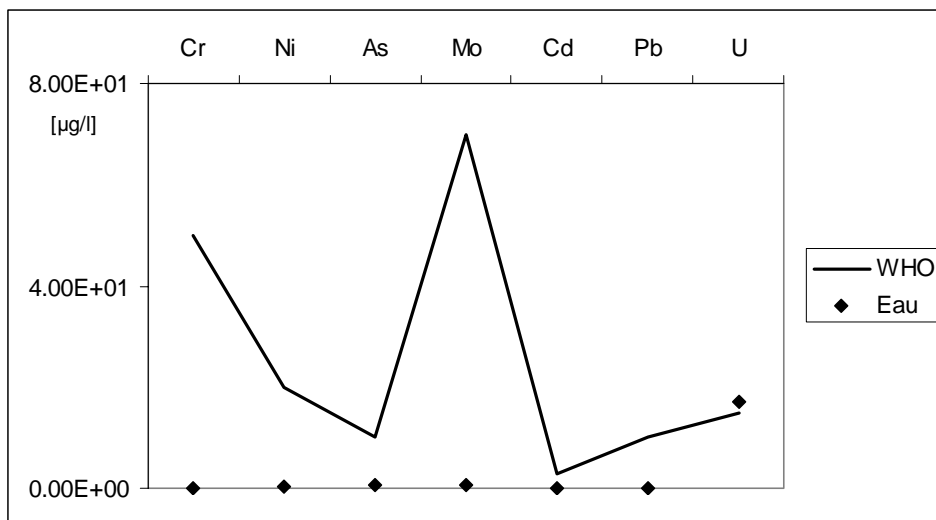
Des échantillons de sol, de sédiment et d'eau ont été prélevés dans une zone agricole qui est située à approximativement 3 km à vol d'oiseau de l'entrée de la mine.

#### Echantillons de sol et de sédiment S1



Les teneurs des échantillons de sol et sédiment sont toutes inférieures aux limites d'intervention. Les teneurs en plomb, chrome, zinc, arsenic, molybdène, cadmium sont inférieures à la valeur cible.

### Echantillons d'eau S1



Bien qu'ayant une teneur en uranium à la limite de la recommandation OMS, l'échantillon d'eau respecte cette dernière.

Les concentrations en cadmium et plomb ne sont pas portées sur le graphique car leurs valeurs sont respectivement 500 et 1'000 fois inférieures à la directive.

Les teneurs en manganèse, cuivre et baryum sont également très inférieures à la directive OMS.

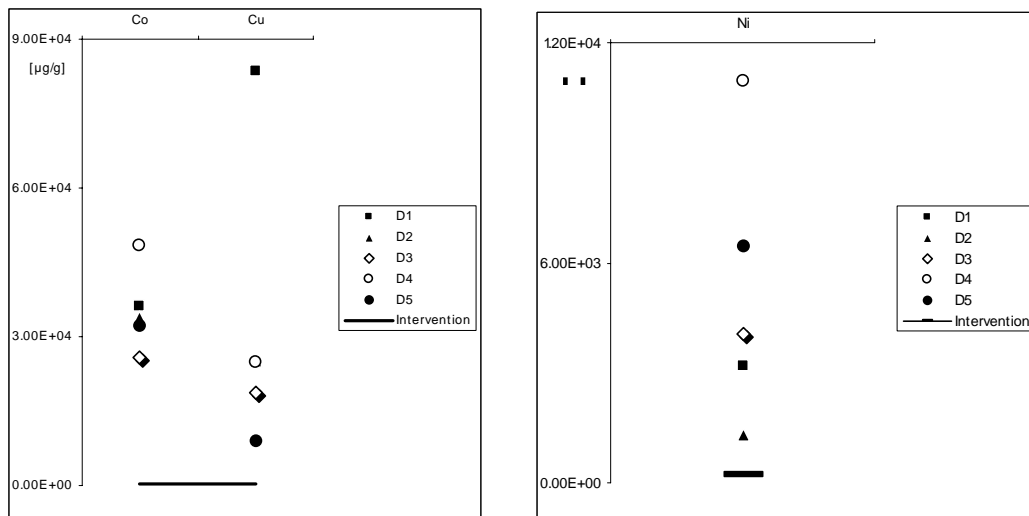
#### Synthèse

Les teneurs en cobalt, nickel, cuivre, plomb et uranium sont très inférieures à celles trouvées dans les échantillons provenant de la mine. Il semble donc que la contamination soit limitée au périmètre de cette dernière. Il faut toutefois relativiser ce résultat car il n'est pas possible de tirer des conclusions générales sur la base d'un seul échantillon.

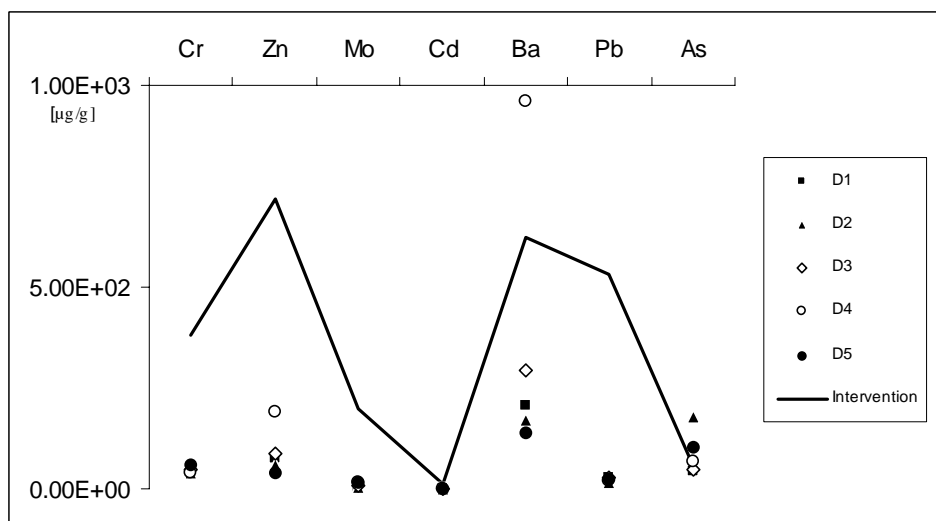
#### 1.2.3 Prélèvements à Likasi

Le stockage anarchique des sacs de minerai d'origines diverses nous a conduit à prélever des échantillons de sol dans les principaux entrepôts de Likasi ainsi que des échantillons d'eau et de sédiments dans les cours d'eaux susceptibles d'être contaminés.

### Echantillons de sol D1 à D5



Les échantillons montrent de fortes teneurs en cobalt, cuivre et nickel.

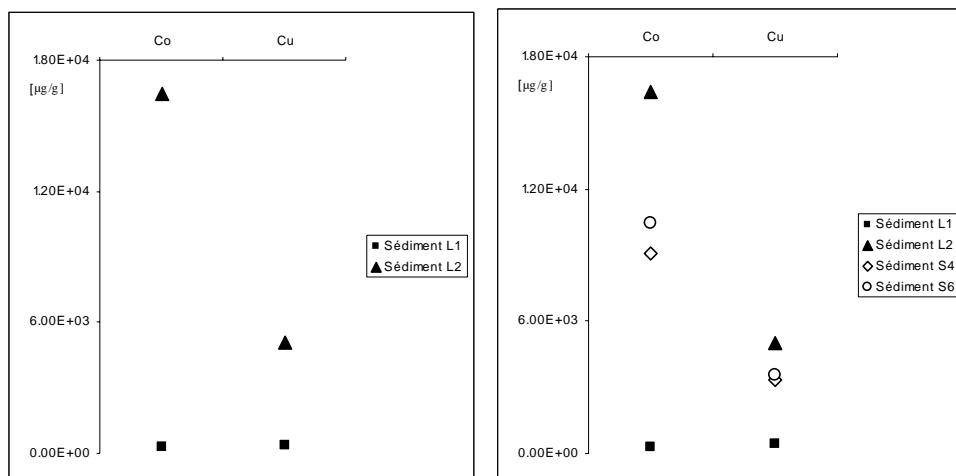


Les teneurs en chrome, zinc, molybdène, cadmium et plomb sont toutes inférieures à la valeur d'intervention.

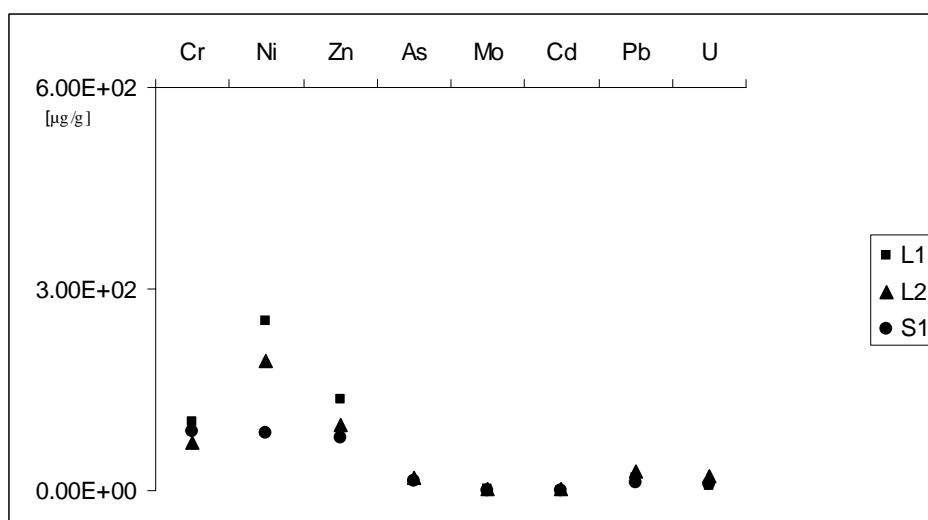
Quatre échantillons sur cinq ont une teneur en baryum inférieure à la limite d'intervention (seul D4 à une teneur 5 fois supérieure à la valeur d'intervention).

D2 et D5 ont des teneurs respectives 3 fois et 2 fois plus élevées que la valeur d'intervention. Les autres échantillons respectent la norme.

## Echantillons de sédiments

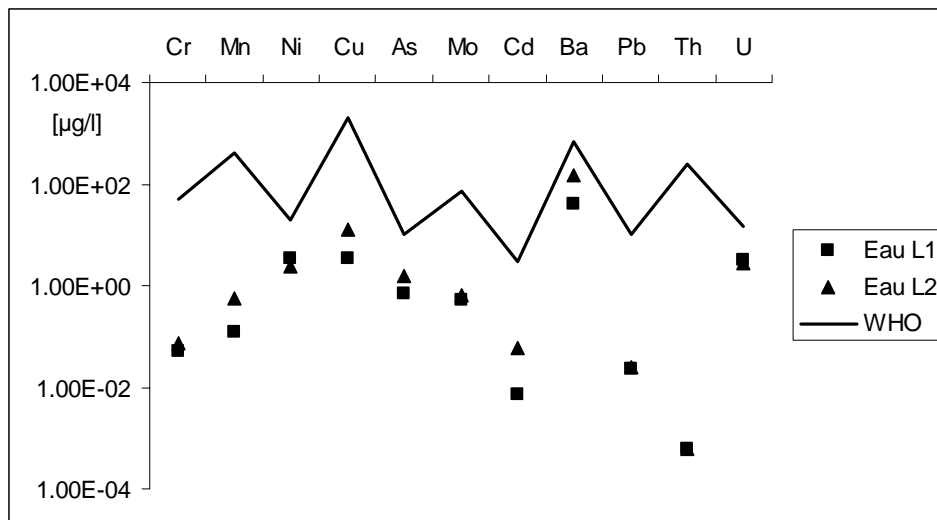


Les valeurs les plus élevées en cobalt et cuivre ont été obtenues dans l'échantillon L2 qui provient d'un petit cours d'eau à proximité duquel des traces d'entreposage de minerai ont été relevée et qui a vraisemblablement été utilisé pour laver du minerai. Ces teneurs sont encore plus fortes que celle mesurées dans les échantillons de sédiments provenant de la mine.



Pour les autres éléments, les teneurs sont comparables avec celles de l'échantillon prélevé dans un petit cours d'eau coulant dans une zone agricole située à trois kilomètres environ de l'entrée de la mine.

## Echantillons d'eau



Les échantillons d'eau respectent la norme OMS.

## Synthèse

Les échantillons de sols prélevés dans les entrepôts de minerai ont une teneur en cobalt, le nickel et le cuivre nettement supérieure à la valeur d'intervention. Comme ces sols sont situés en milieu urbain et qu'ils ne sont pas utilisés pour l'agriculture ou l'élevage, le risque de contamination de la chaîne alimentaire ne se pose pas.

Les teneurs particulièrement élevées en cuivre et cobalt ont été trouvées dans des échantillons de sédiments prélevés à proximité d'un lieu ayant servi à l'entreposage et peut-être aussi au lavage de minerai.

Les échantillons prélevés dans deux cours d'eau ne montrent pas de contamination imputable à l'entreposage ou au traitement de minerai. Il est à noter que le résultat de ces investigations ne préjuge en rien de la qualité de ces eaux tant sur le plan chimique (contamination possible par des substances toxiques, des pesticides, etc.) que sur le plan biologique (présence de micro-organismes pathogènes, par exemple).

## 2. CONCLUSION

Les analyses effectuées sur les échantillons de sol, de sédiments et d'eau confirment les conclusions du rapport préliminaire de mission:

- L'éboulement qui s'est produit dans la mine de Shinkolobwe n'a eu aucun effet néfaste sur l'environnement.
- Aucun risque environnemental immédiat résultant de l'exploitation de la mine n'a été constaté.
- L'entreposage anarchique de minerai à Likassi a provoqué une augmentation marquée des teneurs en cobalt, cuivre et nickel des sols sur lesquels les sacs sont stockés.

Les analyses des échantillons d'eau prélevés à Likassi n'ont pas mis en évidence de contamination liée à l'entreposage ou au traitement de minerai. En revanche, l'un des échantillons de sédiment a été manifestement contaminé par l'entreposage et, peut-être, le lavage de minerai.

## 3. RECOMMANDATIONS

Les recommandations formulées dans le rapport préliminaire de mission concernant la fermeture de la mine et l'entreposage du minerai sont confirmées.

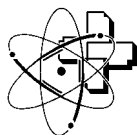
### 3.1 Fermeture de la mine

Les teneurs particulièrement élevées en uranium de certains échantillons de sol et de l'échantillon d'eau plaident nettement en faveur d'une interdiction d'accès à la mine.

### 3.2 Stockage anarchique

Le stockage du minerai sous abris et sur un sol bétonné est nécessaire pour éviter une contamination du sol et des sédiments.

Les analyses n'ont apporté aucun élément qui infirme les autres mesures générales proposées pour Likassi. Ces dernières demeurent donc valables.



**LABOR SPIEZ**  
CH-3700 Spiez

Tel +41 (0)33 228 14 00  
Fax +41 (0)33 228 14 02

e-mail  
laborspiez@babs.admin.  
ch  
internet [www.labor-spiez.ch](http://www.labor-spiez.ch)

---

## **Annex:**

# **Element analysis of soil, sediment and water samples from Kongo**

## **Introduction**

12 soil, 6 sediment and 4 water samples were taken by A. Pasche and brought to Spiez Laboratory. The element composition of the samples was measured semi-quantitatively with the Finnigan Element 2 ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometer). The analysis method allows a rapid determination of many main and trace elements within a precision of 10 - 50%.

## **Sample preparation**

### **Soil and sediment samples**

The samples were dried at 40° C in air re-circulating drying ovens until weight constancy was achieved. The dried samples were then crushed and sieved (2 mm / mesh 10). The sieved materials were homogenised in soil sample bottles in a TURBULA® mixer for 10 minutes. 50 g of the homogenised soil samples were then ashed in quartz crucibles at 520°C in high temperature furnaces for 16 hours (weight constancy). The ashed soil was milled in a 250 ml Syalon (silicium nitride; SiN<sub>4</sub>) ball-mill with silicium nitride balls (15 balls, diameter 20 mm) for 2 minutes at 600 rpm. 5 g of the milled soil ash was mixed well with 7 g of fluxing agent (Lithium metaborate / Lithium tetraborate 80 % / 20 %). The mixture was transferred in a platinum-gold crucible (Pt/Au; 95/5) and 250 µl of a 1000 µg/ml In solution was added as internal standard. After drying in a drying oven for 30 minutes at 70°C, the samples were fused in a high temperature furnace for 20 minutes at 1100°C. The melt was poured into a 250 ml beaker containing 200 g 4.5 M HNO<sub>3</sub>. 1 ml of 0.2 M polyethylene glycol (PEG-2000) was added as flocculating agent for the silicates. This mixture was heated to 40° C with

constant stirring for 3 hours. After cooling down, 1.4 ml of the upper layer solution was filtered <0.45 µm (Spartan 30/0.45 RC; Schleicher & Schüll) and diluted with 2% HNO<sub>3</sub> to a final concentration of 0.02 g soil per litre for ICP-MS analysis.

## Water samples

50 ml of each sample were filtered through < 0.45 µm cellulose filters (Spartan 30/0.45 RC, Schleicher & Schüll) and acidified with 65% nitric acid to a final nitric acid concentration of 2%. The samples were diluted 1:1 with 2% nitric acid. In was added as internal standard.

## Standards and guidelines

### *Dutch standards for soil contamination assessment in total concentration of heavy metals in soils*

In the UNEP report "Depleted Uranium in Bosnia and Herzegowina" it was referred to the following tables (<http://www.agnet.org/library/image/eb473t6.html>):

Elements	Target values	Intervention value
	----- mg/kg soils -----	-----
As	29	55
Ba	200	625
Cd	0.8	12
Cr	100	380
Co	20	240
Cu	36	190
Hg	0.3	10
Pb	85	530
Mo	10	200
Ni	35	210
Zn	140	720

Notes:

1. Target values are specified to indicate desirable maximum levels of elements in uncontaminated soils.
2. B value: Former B values are to identify whether possible risks are likely (Mocn *et al.* 1986)  
The former B value is now replaced by the average of the target and intervention values, or (where no target value is listed) by half the intervention values.
3. Intervention value: Intervention values are available to identify serious contamination of soils and to indicate when remedial action is necessary.
4. For heavy metals, the target and intervention values are dependent on clay/silt and organic matter content, and the standard soil values must be modified by the formula:  

$$I_b = I_s [(A + B\% \text{ clay/silt} + C\% \text{ organic matter})] / (A + 25B + 10C)$$
 where  $I_b$  = Intervention values for a particular soil  
 $I_s$  = Intervention values for a standard soils (10% organic matter and 25% clay)  
 A, B, and C = compound dependent constants (Table K.7 shows the detail values)

Elements	A value	B value	C value
As	15	0.4	0.4
Ba	30	5	0
Cd	0.4	0.007	0.021
Cr	50	2	0
Co	2	0.28	0
Cu	15	0.6	0.6
Hg	0.2	0.0034	0.0017
Pb	50	1	1
Mo	1	0	0
Ni	10	1	0
Zn	50	3	1.5

### ***WHO guidelines for drinking water***

The WHO guidelines for drinking water (2004) were taken from the internet ([http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/en/)). No guidelines for Fe and Zn exist. However, concentrations should be less than 3 mg/L.

## **Results**

The following tables show the measured concentrations of some heavy metals in soils, sediments and water samples. The accuracy of a semi-quantitative analysis method is estimated to 10 - 50%. In order to interpret the concentrations, the dutch target and the WHO guidelines are listed as well.

**soil samples** (concentrations expressed on a dry weight basis)

	V [µg/g]	Cr [µg/g]	Mn [µg/g]	Fe [µg/g]	Co [µg/g]	Ni [µg/g]	Cu [µg/g]	Zn [µg/g]
Soil Shinkolobwe S1	197	99	1'157	50'541	48	65	110	109
Soil Shinkolobwe S2	200	121	1'066	74'240	1'759	1'067	775	501
Soil Shinkolobwe S3	202	109	549	63'298	156	150	178	111
Soil Shinkolobwe S5	603	53	213	13'459	2'163	7'442	937	40
Soil Shinkolobwe S7	248	14	13'847	21'045	17'396	6'577	2'563	40
Soil Shinkolobwe S8	314	22	9'710	26'774	25'753	1'802	7'313	44
Soil Shinkolobwe S9	157	94	845	54'939	1'271	293	2'185	88
Soil Likasi D1	277	36	16'873	69'761	36'281	3'178	83'606	75
Soil Likasi D2	237	39	5'470	41'403	33'971	1'328	25'007	59
Soil Likasi D3	271	48	10'000	73'646	25'727	4'060	18'733	86
Soil Likasi D4	417	40	26'523	130'159	48'360	10'958	24'997	192
Soil Likasi D5	471	58	12'727	135'023	32'406	6'467	9'168	39
target values		100			20	35	36	140

	As [µg/g]	Sr [µg/g]	Mo [µg/g]	Cd [µg/g]	Ba [µg/g]	Pb [µg/g]	Th [µg/g]	U [µg/g]
Soil Shinkolobwe S1	< 13	42	1.1	0.39	436	12	9.4	4.8
Soil Shinkolobwe S2	23	93	31	16	221	2'504	12	17'644
Soil Shinkolobwe S3	< 14	21	4.20	0.47	231	220	12	283
Soil Shinkolobwe S5	< 13	35	41	0.63	109	86	7.5	578
Soil Shinkolobwe S7	21	13	25	0.33	472	10	3.5	212
Soil Shinkolobwe S8	45	14	3.0	0.43	142	5.2	7.3	36
Soil Shinkolobwe S9	17	20	8.32	0.25	124	14	7.2	124
Soil Likasi D1	44	21	4.0	0.63	205	28	12	19
Soil Likasi D2	179	171	5.1	0.28	169	16	7.5	47
Soil Likasi D3	47	150	8.9	0.53	294	26	9.2	88
Soil Likasi D4	66	25	15	1.1	960	19	8.3	149
Soil Likasi D5	105	11	17	0.27	137	23	12	365
target values	29		10	0.8	200	85		

**sediment samples** (concentrations expressed on a dry weight basis)

	V [µg/g]	Cr [µg/g]	Mn [µg/g]	Fe [µg/g]	Co [µg/g]	Ni [µg/g]	Cu [µg/g]	Zn [µg/g]
Sediment Shinkolobwe S1	170	89	1'102	47'871	239	86	126	78
Sediment Shinkolobwe S4	452	100	2'512	63'058	9'061	12'308	3'318	150
Sediment Shinkolobwe S6	727	83	5'357	47'403	10'423	11'583	3'583	80
Sediment Likasi L1	127	103	571	54'037	276	252	402	136
Sediment Likasi L2	157	72	1'298	24'527	16'430	194	5'044	98
Sample from oven	227	19	8'939	12'652	4'127	603	507	< 19
target values		100			20	35	36	140

	As [µg/g]	Sr [µg/g]	Mo [µg/g]	Cd [µg/g]	Ba [µg/g]	Pb [µg/g]	Th [µg/g]	U [µg/g]
Sediment Shinkolobwe S1	< 14	57	1.1	0.30	397	11	10	8.5
Sediment Shinkolobwe S4	22	36	68	0.96	444	191	11	1'079
Sediment Shinkolobwe S6	30	42	22	0.52	393	31	11	904
Sediment Likasi L1	< 14	31	1.9	0.67	275	18.3	6.3	7.2
Sediment Likasi L2	19	25	3.3	1.7	236	29.2	11	22
Sample from oven	< 29	255	1.18	0.10	176	< 2	8.9	107
target values	29		10	0.8	200	85		

## water samples

	V [µg/L]	Cr [µg/L]	Mn [µg/L]	Fe [µg/L]	Co [µg/L]	Ni [µg/L]	Cu [µg/L]	Zn [µg/L]
Water Shinkolobwe S1	0.78	< 0.04	0.076	1.0	0.056	0.32	2.3	3.3
Water Shinkolobwe S6	0.60	< 0.04	0.39	2.51	31	21	3.3	0.80
Water Likasi L1	0.80	0.053	0.12	1.5	0.12	3.4	3.4	0.66
Water Likasi L2	1.2	0.072	0.54	0.62	31.3	2.4	12.8	7.1
WHO guideline2004		50	400			20	2'000	

	As [µg/L]	Sr [µg/L]	Mo [µg/L]	Cd [µg/L]	Ba [µg/L]	Pb [µg/L]	Th [µg/L]	U [µg/L]
Water Shinkolobwe S1	0.62	165	0.70	< 0.006	56	< 0.01	< 0.0005	17
Water Shinkolobwe S6	1.6	51	27	0.057	210	0.014	< 0.0005	363
Water Likasi L1	0.68	186	0.53	< 0.007	41	0.023	< 0.0006	3.2
Water Likasi L2	1.5	244	0.64	0.061	150	0.024	< 0.0006	2.8
WHO guideline 2004	10		70	3	700	10	247	15

## Conclusions

The concentrations of some heavy metals in soil and sediment samples have been compared to the dutch target values for soil contamination. The tables show high concentrations of cobalt, nickel, copper and uranium for most of the soils and sediments. Cobalt, nickel and copper concentrations up to 1 - 8 % were found. Soil sample Shinkolobwe S2 contained about 1.8 % uranium.

The concentrations of some heavy metals in water samples have been compared to the WHO guidelines for drinking water. Except for uranium all the concentrations were lower than the WHO guidelines for drinking water. Water sample Shinkolobwe S6 contained more than 20 times higher uranium concentrations than the WHO guideline.

LABORATORY FOR THE  
DETERMINATION OF RADIONUCLIDE  
CONCENTRATION

## TEST REPORT

**Test report No. NUC-2004-014**  
:

Page  
18/19

Customer : Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA)  
Herr Toni Frisch

Order : **Semi-quantitative analysis of samples from Kongo  
(soil, sediment and water) with ICP-MS.**

Summary : Soil and sediment samples were dried at 40°C, sieved,  
homogenized, ashed, milled and finally fused. The fusion  
was dissolved in nitric acid and diluted for ICP-MS analysis.  
Water samples were filtered, acidified and diluted with  
nitric acid for ICP-MS analysis.

All samples were measured with the Finnigan Element 2  
HR-ICP-MS. The results are summarized in chapter 10 of  
this test report.

Spiez, 7 December 2004  
64400 / ROF

Signed:

Approved:

Author:

SPIEZ LABORATORY  
Department of physics  
The Head

SPIEZ LABORATORY  
Department of physics  
Radioactivity

SPIEZ LABORATORY  
Department of physics  
Radioactivity

Dr. P. Roder

Dr. M. Burger

Dr. S. Röllin

---

---

The contents of this report refer to the test sample only. This report is to be published in full, or extracts have to be checked with the SPIEZ LABORATORY

**STS 028**

**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
**S** SWISS TESTING SERVICE

Distribution to: - Direktion für Entwicklung und  
Zusammenarbeit , DEZA, Alain Pasche,  
Sägestrasse 77, Köniz, CH-3003 Bern

- Alain Pasche, 22, rue du Centre, P.O. Box 45,  
CH-1131 Tolochenaz

- Office for the Coordination of Humanitarian  
Affaires, Mr. R. Nijenhuis,  
Palais des Nations, CH-1211 Genève 10

- Spiez Laboratory: RPE, BURG, SET, AST,  
ROF, SAHH, HO, BYF  
→ Reg.

## Order Management

Date of order: 8 November 2004

Order by: Letter

## Order Number and test plan

SOP: L 028 005 00

Order number: NUC-04-014

Test plan: NUC-04-014

## Sampling

Samples taken by A. Pasche / UNEP

Sampling plan: A. Pasche / UNEP

## Samples and code

SOP: L 028 006 00

Code	Sample	Visible check	Date sampling	of
NUC-04-014-00001	Soil Shinkolobwe S1	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00002	Soil Shinkolobwe S2	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00003	Soil Shinkolobwe S3	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00004	Soil Shinkolobwe S5	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00005	Soil Shinkolobwe S7	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00006	Soil Shinkolobwe S8	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00007	Soil Shinkolobwe S9	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00008	Soil Likasi D1	O.K.	29.10.04	
NUC-04-014-00009	Soil Likasi D2	O.K.	29.10.04	
NUC-04-014-00010	Soil Likasi D3	O.K.	29.10.04	
NUC-04-014-00011	Soil Likasi D4	O.K.	29.10.04	
NUC-04-014-00012	Soil Likasi D5	O.K.	29.10.04	
NUC-04-014-00101	Sediment Shinkolobwe S1	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00102	Sediment Shinkolobwe S4	O.K.	28.10.04	
NUC-04-014-00103	Sediment Shinkolobwe S6	O.K.	28.10.04	

NUC-04-014-00104	Sediment Likasi L1	O.K.	30.10.04
NUC-04-014-00105	Sediment Likasi L2	O.K.	30.10.04
NUC-04-014-00106	Sample from oven	O.K.	
NUC-04-014-00201	Water Shinkolobwe S1	O.K.	28.10.04
NUC-04-014-00202	Water Shinkolobwe S6	O.K.	28.10.04
NUC-04-014-00203	Water Likasi L1	O.K.	30.10.04
NUC-04-014-00204	Water Likasi L2	O.K.	30.10.04

## Sample preparation

SOP: L 028 067 00  
L 028 068 00

Soils and sediments:

- The samples were dried at 40°C in air re-circulating drying ovens until weight constancy was achieved.
- The dried samples were then sieved (2mm / mesh 10).
- The sieved materials were homogenised in soil sample bottles in a TURBULA® mixer for 10 minutes.
- 50 g of the homogenised soil samples were then ashed in quartz crucibles at 520°C in high temperature furnaces for 16 hours (weight constancy). The furnace was heated gradually to 520°C within 4 hours to avoid sample burning.
- The ash was milled in a 250 ml Syalon (SiN<sub>4</sub>) ball-mill with Syalon balls (15 balls, diameter 20 mm) for two minutes at 600 rpm.
- 5 g of the mixed ash were fused with 7 g of fluxing agent (20% Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> / 80% LiBO<sub>2</sub>) with In as internal standard according to SOP L 028 067 00.
- The fusion was dissolved in 4.5 M nitric acid. Silicates were precipitated with polyethylene glycol (PEG-2000). 1.4 ml was filtered through < 0.45 µm cellulose filters (Spartan 30/0.45 RC, Schleicher & Schüll) and diluted with 2% nitric acid for ICP-MS analysis.

Water:

- 50 ml were filtered through < 0.45  $\mu\text{m}$  cellulose filters (Spartan 30/0.45 RC, Schleicher & Schüll) and acidified with 65% nitric acid to a final nitric acid concentration of 2%.
- The samples were diluted 1:1 with 2% nitric acid. In was added as internal standard to get a concentration of 50 ng/ml In.

### determination of dried and ashed material

Sample	Dried material at 40°C expressed as a percentage of fresh material [%]	Ashed residue at 520°C, expressed as a percentage of dried material at 40°C [%]
Soil Shinkolobwe S1	88.6	89.4
Soil Shinkolobwe S2	92.2	86.5
Soil Shinkolobwe S3	95.6	93.0
Soil Shinkolobwe S5	92.1	90.1
Soil Shinkolobwe S7	96.7	97.8
Soil Shinkolobwe S8	99.4	97.8
Soil Shinkolobwe S9	99.0	95.3
Soil Likasi D1	84.5	93.0
Soil Likasi D2	99.3	96.2
Soil Likasi D3	98.4	96.3
Soil Likasi D4	92.2	92.6
Soil Likasi D5	98.4	94.6
Sediment Shinkolobwe S1	44.0	88.6
Sediment Shinkolobwe S4	86.5	92.9
Sediment Shinkolobwe S6	67.4	93.7
Sediment Likasi L1	74.9	91.2

Sediment Likasi L2	76.9	96.8
Sample from oven	80.1	99.9

## Measurement methods

SOP: L 028 049

Method: ICP-MS (semi-quantitative)

- The Response of 26 elements was measured with a one point calibration of a 10 ng/ml multi element standard solution. The response of the other elements were extrapolated.
- Soil and sediment samples were diluted to 0.02 mg soil/ml. Water samples were diluted 1:1 with 2% nitric acid
- The precision is expected to be in the range  $\pm 10 - 50 \%$ .

## Date of analysis

Date: November 2004

Test executing staff: SAHH / HO / ROF

## Archiving

SOP: L 028 010 00

Test report / raw data: 10 years

Samples: 1 year

## results

**Soil samples** (concentrations expressed on a dry weight basis)

Element	Soil Shinkolobwe S1 [µg/g]	Soil Shinkolobwe S2 [µg/g]	Soil Shinkolobwe S3 [µg/g]	Soil Shinkolobwe S5 [µg/g]	Soil Shinkolobwe S7 [µg/g]	Soil Shinkolobwe S8 [µg/g]
Be	2.2	1.3	1.00	2.6	2.7	21.8
Na	767	863	590	254	104	136
Mg	6'929	7'155	2'532	66'876	7'117	36'275
Al	65'078	41'233	61'441	33'350	13'648	22'177
K	13'054	7'669	6'475	5'242	1'306	92
Ca	25'690	23'696	2'118	26'722	296	652
Sc	12	15	11	12	17	14
Ti	3'729	2'366	3'085	1'528	640	1'079
V	197	200	202	603	248	314
Cr	99	121	109	53	14	22
Mn	1'157	1'066	549	213	13'847	9'710
Fe	50'541	74'240	63'298	13'459	21'045	26'774
<b>Co</b>	<b>48</b>	<b>1'759</b>	<b>156</b>	<b>2'163</b>	<b>17'396</b>	<b>25'753</b>
Ni	65	1'067	150	7'442	6'577	1'802
Cu	110	775	178	937	2'563	7'313
Zn	109	501	111	40	40	44
Ga	19	17	28	32	11	20
As	< 13	22.98	< 14	< 13	21	45
Se	< 78	< 81	< 82	< 71	< 92	< 87
Rb	98	48	54	18	4	0.57
Sr	42	93	21	35	13	14
Y	33	34	31	19	16	45
Mo	1.1	31	4.20	41	25	3.0
Ag	0.43	1.0	0.48	0.53	0.60	0.24
Cd	0.39	16	0.47	0.63	0.33	0.43
Cs	7.3	2.6	3.3	0.4	0.056	0.0
Ba	436	221	231	109	472	142
La	28	97	41	311	58	7.4
Ce	59	137	88	336	78	7.5
Pr	8.0	23	10.6	63	15.3	2.0
Nd	28	71	35	173	49	8.2
Sm	7.1	15	8.0	24.6	8.1	5.0
Eu	1.5	4.4	2.0	6.5	2.1	2.0
Gd	7.3	17	8.4	25.2	9.8	14.5
Tb	1.0	3.1	1.1	2.29	1.3	3.80
Dy	5.8	14	6.3	8.2	5.4	19.7
Ho	1.2	1.9	1.22	1.08	0.71	2.70
Er	3.4	4.5	3.4	2.8	1.7	5.7
Tm	0.64	0.75	0.65	0.41	0.25	0.91
Yb	4.1	4.7	4.2	2.6	1.6	5.4
Lu	0.56	0.59	0.57	0.35	0.21	0.66
W	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.8	< 0.8
Tl	0.57	0.25	0.32	0.09	0.42	0.17
Pb	12	2'504	220	85.8	10.4	5.2
Bi	0.26	0.51	0.33	0.14	< 0.13	< 0.2
Ac	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Th	9.4	12.4	12.0	7.5	3.5	7.3
Pa	< 0.001	< 0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

<b>U</b>	<b>4.8</b>	<b>17'644</b>	<b>283</b>	<b>578</b>	<b>212</b>	<b>36</b>
----------	------------	---------------	------------	------------	------------	-----------

Element	Soil Shinkolobwe S9 [µg/g]	Soil Likasi D1 [µg/g]	Soil Likasi D2 [µg/g]	Soil Likasi D3 [µg/g]	Soil Likasi D4 [µg/g]	Soil Likasi D5 [µg/g]
Be	0.89	3.6	5.6	5.9	10	3.9
Na	158	515	386	397	396	300
Mg	3'945	38'530	48'328	29'900	19'860	27'826
Al	27'698	31'151	34'432	29'079	30'086	44'909
K	3'366	2'599	4'146	3'378	3'777	5'659
Ca	1'669	2'955	123'147	90'851	2'553	787
Sc	5.6	12	12	17	29	23
Ti	1'739	1'415	1'600	1'385	1'572	2'271
V	157	277	237	271	417	471
Cr	94	36	39	48	40	58
Mn	845	16'873	5'470	10'000	26'523	12'727
Fe	54'939	69'761	41'403	73'646	130'159	135'023
<b>Co</b>	<b>1'271</b>	<b>36'281</b>	<b>33'971</b>	<b>25'727</b>	<b>48'360</b>	<b>32'406</b>
Ni	293	3'178	1'328	4'060	10'958	6'467
Cu	2'185	83'606	25'007	18'733	24'997	9'168
Zn	88	75	59	86	192	39
Ga	14	20	14	14	18	51
As	17	44	179	47	66	105
Se	< 80	< 91	< 89	< 84	< 86	< 92
Rb	24	13	19	18	22	19
Sr	20	21	171	150	25	11
Y	21	47	44	64	72	130
Mo	8.32	4.0	5.1	8.9	15	17
Ag	0.47	1.7	1.0	1.1	1.7	0.83
Cd	0.25	0.63	0.28	0.53	1.1	0.27
Cs	1.1	0.5	0.75	0.8	0.87	0.5
Ba	124	205	169	294	960	137
La	42	119	197	243	135	446
Ce	82	260	368	448	200	661
Pr	10	37	63	81.8	35	143
Nd	33	138	214	278	118	471
Sm	6.8	33.3	44	53.8	28	87
Eu	1.7	8.2	10.0	12.2	8.2	18
Gd	6.8	31	36.0	47.9	35	78
Tb	0.83	3.4	3.55	5.05	4.7	9.1
Dy	4.0	14	14.1	21.2	22	41
Ho	0.73	2.1	2.10	3.12	3.2	6.6
Er	2.1	5.3	5.3	7.7	7.4	17
Tm	0.37	0.83	0.81	1.14	1.1	2.6
Yb	2.4	5.1	4.9	6.8	6.7	16
Lu	0.32	0.65	0.62	0.88	0.84	2.1
W	< 0.8	0.96	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< DL
Tl	0.15	0.50	0.17	0.27	0.74	0.20
Pb	14	27.9	16.0	25.6	19	23
Bi	0.75	9.6	2.28	2.72	3.3	0.99
Ac	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Th	7.2	12	7.5	9.2	8.3	12
Pa	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>U</b>	<b>124</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>88</b>	<b>149</b>	<b>365</b>





<b>U</b>	<b>8.5</b>	<b>1'079</b>	<b>904</b>	<b>7.2</b>	<b>22</b>	<b>107</b>
----------	------------	--------------	------------	------------	-----------	------------

## water samples

Element	Water Shinkalobwe S1 [µg/L]	Water Shinkalobwe S6 [µg/L]	Water Likasi L1 [µg/L]	Water Likasi L2 [µg/L]
Li	5.8	11	13	11
Be	< 0.07	< 0.08	< 0.08	< 0.09
B	< 116	< 120	< 132	< 136
Na	2'741	1'925	15'526	20'208
Mg	23'663	57'102	22'409	20'679
Al	1.68	< 0.8	< 0.9	1.4
Si	3'925	3'047	3'922	5'285
K	773	1'435	932	2'569
Ca	51'522	37'967	50'237	66'634
Sc	0.0055	< 0.004	0.0054	0.0058
Ti	< 0.4	< 0.4	< 0.5	< 0.5
V	0.78	0.60	0.80	1.2
Cr	< 0.04	< 0.04	0.053	0.072
Mn	0.076	0.39	0.12	0.54
Fe	1.0	2.51	1.5	0.62
<b>Co</b>	<b>0.056</b>	<b>31</b>	<b>0.12</b>	<b>31.3</b>
Ni	0.32	21	3.4	2.4
Cu	2.32	3.27	3.4	12.8
Zn	3.3	0.80	0.66	7.1
Ga	< 0.05	< 0.05	< 0.06	< 0.06
Ge	< 0.6	< 0.5	< 0.6	< 0.6
As	0.62	1.6	0.68	1.5
Se	< 3	< 3	< 3	< 3
Rb	1.8	3.7	1.9	4.3
Sr	165	51	186	244
Y	0.018	0.0052	0.015	0.013
Zr	0.012	0.0032	0.0088	0.0089
Nb	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	0.00082
Mo	0.70	27	0.53	0.64
Ru	0.00087	< 0.0006	0.0012	0.0011
Rh	0.0055	0.0019	0.0084	0.012
Pd	0.072	0.032	0.13	0.19
Ag	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.006
Cd	< 0.006	0.057	< 0.007	0.061
Sn	< 0.006	< 0.007	< 0.007	< 0.007
Sb	0.015	0.031	0.014	0.13
Te	< 0.02	0.027	< 0.02	< 0.02
Cs	0.0023	0.049	0.030	0.068
Ba	56	210	41	150
La	0.0050	0.0036	0.0043	0.0041
Ce	0.0043	< 0.001	0.0028	< 0.002
Pr	0.0013	< 0.0005	0.0013	0.00064
Nd	0.0046	0.0013	0.0058	0.0047
Sm	0.0016	0.0010	0.0015	0.0031
Eu	0.0073	0.032	0.0072	0.0254
Gd	0.0021	0.0013	0.0020	0.0034
Tb	0.00023	< 0.0002	0.00017	0.00024
Dy	0.0018	0.00038	0.0013	0.0014

Ho	0.00036	0.00008	0.00028	0.00029
Er	0.0013	< 0.0003	0.0012	0.0013
Tm	0.00026	< 0.00005	0.00027	0.00033
Yb	0.0016	< 0.0005	0.0016	0.0033
Lu	0.00029	< 0.00008	0.00022	0.00084
Hf	< 0.001	< 0.001	< 0.002	< 0.002
Ta	< 0.00008	< 0.0001	< 0.00008	< 0.0002
W	< 0.002	0.021	< 0.002	0.024
Re	0.0026	1.02	0.013	0.031
Os	< 0.001	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Ir	< 0.00009	< 0.0002	< 0.0002	< 0.001
Pt	0.012	0.029	0.038	0.040
Au	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0006	< 0.0006
Hg	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Tl	0.0020	0.011	< 0.003	0.0043
Pb	< 0.01	0.014	0.023	0.024
Bi	< 0.004	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Ac	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Th	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0006	< 0.0006
Pa	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>U</b>	<b>17</b>	<b>363</b>	<b>3.2</b>	<b>2.8</b>

## Remarks

The measurements were made according to the extended and revised standard operating procedure to analyse samples semi-quantitatively with the Finnigan Element 2 ICP-MS. Part of the analysis (stable isotopes) are formally outside the STS 028 accreditation scope. However, the same quality assurance as for the radioactive isotopes (U, Th) has been applied.