

# Impact du Lavage des Solutions de Lixiviation par le Diluant SHELLSOL 2325 sur l'Extraction par Solvant du Cuivre des Usines de Luita en R.D. Congo

MUKANDA MUKUNA Trésor<sup>1,5</sup>, KAPYA TSHINANGI Fabrice<sup>2</sup>, MANENE NGOIE Francine<sup>3,4</sup>, KABUNDA TSHIBANGU Henri<sup>4</sup>, ZEKA MUJINGA Léon<sup>4,5\*</sup>

## Paper History

Received : December 13, 2020

Revised : March 17, 2021

Accepted : May 23, 2021

Published : July 27, 2021

## Keywords

Washing, Shellsol, Luita, Solvent extraction.

## ABSTRACT

**Impact of Washing Leach Solutions Using SHELLSOL 2325 Diluent on Copper Solvent Extraction at Luita plants in D.R. Congo.**

The significance of pre-treatment by washing using Shellsol 2325 diluent was investigated on heap leach solutions of oxidized ores from Luita plants. These solutions contained as metal of value 14 g/L Cu and as impurities to be removed by washing 487 ppm of dissolved silica and 550 ppm of suspended solids. The washed solutions were then treated to solvent extraction. The results showed that increasing the PO/PA ratio and the stirring speed led to the increase in the washing impurity removal efficiency with a minimum removal efficiency of 57%. The solutions washed in organic continuity led to lower values of phase disengagement time during copper extraction than those performed in aqueous continuity. By pre-treating the solutions by washing in organic continuity in this way, the washing showed a positive effect regardless of the continuity used in the copper solvent extraction on copper efficiency. The study of the contact time, the PO/PA ratio and the pH showed that their increase leads to an increase in the extraction yield with a maximum efficiency of 98.4 % Cu. On the other hand, considering the disengagement time, the washing showed only a net advantage for the case of copper extraction in aqueous continuity and is little influenced in organic continuity. Washing is therefore of considerable interest in ensuring the performance of the solvent extraction circuit at Luita plant.

<sup>1</sup>Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Likasi, B.P. 1946, Likasi, R.D. Congo ;

<sup>2</sup>Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, University of Pretoria, South Africa ;

<sup>3</sup>Section de Chimie et Métallurgie Appliquées, Institut Supérieur des Techniques Appliquées, B.P. 1825, Kolwezi, R.D. Congo ;

<sup>4</sup>Département de Chimie Industrielle, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, B.P. 1825, Lubumbashi, R.D. Congo ;

<sup>5</sup>Centre de Recherche et d'Expertise ZEBRE – CreZ, R.D. Congo, 824 Av. Ikuku, C/ Dilolo, Kolwezi, R.D. Congo.

\*Corresponding author, e-mail: zekamujinga@yahoo.fr

## INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo (R.D.C.) regorge d'importants gisements de cuivre et de cobalt qui représentent respectivement 3 % et 50 % des réserves mondiales [USGS, 2014]. Ces gisements sont rencontrés dans l'arc cuprifère de l'Afrique Centrale dans l'ex-province du Katanga. La grande partie de ces réserves se trouve sous forme des sulfures en profondeur. Les oxydés en faible proportion se rencontrent en surface et se

prêtent plus facilement au traitement métallurgique que les sulfures.

Compte tenu justement de la technologie et du coût minier, la quasi-totalité de l'exploitation actuelle de ces gisements cuprocobaltifères est axée principalement sur les oxydés. Ceux-ci lorsqu'ils sont traités par hydrométallurgie sont d'abord lixiviés dans l'acide sulfurique avant d'extraire le cuivre et le cobalt par précipitation. Ce schéma de traitement classique a été utilisé pendant très longtemps. Après la lixiviation, aucune étape de purification chimique n'était envisagée dans ce schéma classique

en dehors du deséléniage réservé aux seuls gisements riches en sélénium [ZEKA, 2015].

Dans les années 2000, une nouvelle technique a été introduite pour purifier les solutions avant la précipitation par électrodéposition du cuivre. Il s'agit de l'extraction par solvant organique du cuivre [ZEKA, 2015] qui permet l'obtention d'un cuivre métallique à une pureté très élevée atteignant 99,999 % Cu.

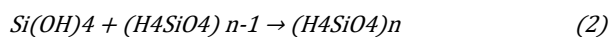
Comme toute technique, l'extraction par solvant a des exigences parmi lesquelles il y a la limitation de la quantité de silice et des solides en suspension dans la solution à traiter. La silice peut se trouver dans les solutions de lixiviation lorsque le minerai traité contient du silicium dans les minéraux utiles de cuivre de type silicate ou dans les minéraux de la gangue [DREISINGER et LITTLEJOHN, 2007].

La silice est présente dans les solutions soit sous forme des fines particules soit sous forme dissoute [KATHRYUN et al., 2018]. Dans les deux cas, la silice pose énormément des problèmes à l'extraction par solvant du cuivre. Les fines particules stabilisent les émulsions, augmentent le temps de désengagement des phases (TDP) et conduisent à la formation des cruds qui conduisent à leur tour à des pertes de la phase organique, au transport de plus d'impuretés vers l'électrolyse contaminant ainsi le dépôt électrolytique [COLE et al., 2016 ; SOLE et TINKLER, 2016 ; MEGAW and BURELLI, 2015 ; MUSADAIDZWA et TSHININGAYAMWE, 2009 ; CYTEC, 2006 ; IBANA, et al., 2006 ; COGNIS, 2005 ; WANG, 2005 ; PATIÑO, 2004 ; MILLER et al., 1997 ; RITCEY, 1980].

La silice dissoute passe en solution sous forme de siloxane, un monomère portant des groupements hydroxyde selon la réaction 1 [MANFOUMBI, 2017 ; ALVAYI, 2006 ; COOPER, 1998 ; SEIDEL et al., 1997 ; LINDSAY, 1994 ; POURBAIX, 1963] :



Et la molécule de siloxane précipite et se polymérise selon la réaction 2 [HEARN et al., 2016; DREISINGER et LITTLEJOHN, 2007; READETT et MILLER, 1995; BERGNA, 1994].



La silice dissoute est de densité très faible et est difficile à être séparée de la phase aqueuse. Elle absorbe la phase organique et forme difficilement une phase compacte.

Les usines hydrométallurgiques de Luita de l'Entreprise Boss-Mining en R.D. Congo traitent les minerais oxydés cuprocobaltifères de Kwatebala, Kabolela, Mukondo qui contiennent du silicium sous forme de silicate de cuivre et de quartz dans la gangue. De par leurs caractéristiques, ces minerais sont susceptibles de conduire à la silice dissoute et poseraient donc de gros ennuis à l'extraction par solvant tel que décrit précédemment. En effet, cette impureté, lorsqu'elle n'est pas suffisamment éliminée aux étapes de séparation solide/liquide

(décantation et filtration), interfère négativement sur le déroulement normal de l'extraction par solvant à cause de son incidence sur la germination des cruds et des émulsions dans les settlers. Dès lors, un lavage des solutions de lixiviation (PLS de l'anglais Pregnant leach solutions) avant l'extraction par solvant avec le diluant Shellsol 2325, utilisé à Luita dans la préparation de l'extractant à base du LIX® 984N-C, a été étudié afin de parachever l'élimination de ces impuretés.

## MATERIEL ET METHODES

### Caractérisation de l'échantillon

L'étude a porté directement sur les solutions industrielles issues de la lixiviation acide en tas de différents minerais oxydés cuprifères alimentés aux usines hydrométallurgiques de Luita. Des échantillons ont été prélevés de manière systématique à la sortie de trois tas (Tas 1, 5 et 7 du bloc 1 de Luita) pour en constituer 100 L d'un seul échantillon composite.

La caractérisation chimique de cet échantillon a été réalisée par la Spectrométrie d'Absorption Atomique (A.A.S.) et la Spectrométrie d'Emission Atomique à Plasma à Couplage Inductif (I.C.P.-A.E.S.). La concentration en solides en suspension a été déterminée en retenant les solides sur du papier filtre. Ces solides sont ensuite séchés dans une étuve et pesés. Pour ce faire, un volume de 100 mL de l'échantillon était requis chaque fois.

### Élimination des solides en suspension et de la silice dissoute par lavage

Les tests d'élimination des solides en suspension (T.S.S.) et de la silice ont été réalisés par lavage au diluant de notre échantillon au Laboratoire des usines hydrométallurgiques de Luita. Ce lavage a consisté à mélanger dans un bécher de 1 L pendant 180 secondes sous agitation mécanique chaque fois un volume de 300 mL de solution (PA) avec un volume donné de diluant (PO) dans un rapport PO/PA bien défini. La procédure prévoit de mettre avant l'une de deux solutions (soit PA soit PO) et à ajouter ensuite l'autre sous agitation afin d'obtenir une continuité aqueuse ou organique (CA ou CO). En effet, la CA est obtenue en ajoutant d'abord la PA puis la PO tandis que la CO est obtenue en ajoutant d'abord la PO puis la PA.

Le diluant était le Shellsol 2325 de densité 0,814 et de viscosité 2,2 Centipoise. Ce diluant étant immiscible à la solution aqueuse (PA), les deux phases ont été séparées après lavage dans une ampoule à décanter pour pouvoir analyser dans la phase aqueuse les concentrations résiduelles en solides en suspension (T.S.S.) et en silice. Ces mesures permettent d'évaluer en conséquence les performances du lavage par la détermination des proportions de T.S.S. et SiO<sub>2</sub> éliminées dans l'échantillon initial.

Pour opérer le choix de la continuité à l'étape de lavage, les solutions lavées dans différentes conditions ont été ensuite

placées en contact avec l'extractant. L'évaluation a porté sur les valeurs du temps de désengagement des phases (TDP) à l'extraction du cuivre.

### Tests d'extraction par solvant du cuivre

Les tests d'extraction par solvant du cuivre ont été réalisés à température ambiante pendant un temps donné par mélange de la phase aqueuse (PA) et la phase organique (PO) en continuité aqueuse ou organique (CA ou CO) sous agitation mécanique dans un bécher de 1 L au Laboratoire des usines hydrométallurgiques de Luita. La phase aqueuse était constituée de notre échantillon purifié par lavage ou non (L ou NL). La phase organique était préparée à 25 % de l'extractant LIX® 984N-C pur dilué dans le Shellsol 2325.

Chaque fois, un volume de 250 mL de PA était mélangé à la PO dans un ratio PO/PA donné. Après agitation, le mélange était ensuite laissé au repos pour séparer les deux phases par décantation dans une ampoule à décanter et ainsi déterminer le temps de désengagement des phases (T.D.P.). Le raffinat était aussi analysé chimiquement par Spectrométrie d'Absorption Atomique (A.A.S.) pour déterminer la quantité résiduelle du cuivre et en déduire celle extraite dans la phase organique en vue d'évaluer l'opération par le rendement d'extraction du cuivre.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Caractérisation chimique de l'échantillon des usines Luita

Les résultats de la caractérisation chimique de l'échantillon sont donnés dans le [Tableau 1](#).

*Tableau 1. Composition chimique de l'échantillon des solutions des usines de Luita*

Cu	Co	Mg	Fe	Ca	SiO <sub>2</sub> aq	T.S.S.	pH
g/L	g/L	g/L	g/L	ppm	ppm	ppm	
14	4,66	13	2,19	637	487	550	1,5

Ces résultats montrent la présence du cuivre et du cobalt, ce qui confirme que cette solution provient d'une lixiviation des minerais oxydés cuprocobaltifères. La concentration en Mg est très élevée et peut être expliquée par la nature dolomitique de la gangue. La solution est très acide (pH autour de 1,5) et contient la silice à la fois sous forme dissoute et sous forme des TSS. On peut ainsi supposer ici que la grande partie des TSS est constituée de la silice. La présence de la silice sous ces deux formes serait due à la nature de minéraux présents dans les minerais alimentés à Luita.

La concentration en silice de 487 ppm est élevée puisque cette valeur est voisine du seuil admissible de 500 ppm à partir de laquelle il y a apparition de certains problèmes à l'extraction par solvant tels que la lente séparation des phases et la formation

du crud [COGNIS, 2005]. De même, la concentration en solides en suspension est élevée et supérieure au seuil admissible de 100 ppm.

La solution étudiée présente donc des caractéristiques ne facilitant pas l'extraction par solvant du cuivre. C'est ce qui motive à juste titre l'investigation sur l'élimination des difficultés liées à la présence de la silice et aux solides en suspension par le lavage de la solution au diluant Shellsol 2325.

### Influence de la vitesse d'agitation et du ratio PO/PA sur le lavage

Pour l'étude de la vitesse d'agitation, le ratio PO/PA choisi a été de 1,8, la vitesse a été maintenue 1900 tr/min. Les résultats obtenus sont présentés aux [Figures 1 et 2](#).

L'augmentation de la vitesse d'agitation et l'augmentation du ratio PO/PA conduisent à une augmentation des rendements d'élimination des impuretés (TSS et silice dissoute). Le lavage a donc globalement un effet positif sur l'élimination de ces impuretés avec des rendements compris entre 57 et 73 % ([Figure 1](#)). Cette élimination serait favorisée par le pH de l'échantillon qui était inférieur à 2 (pH = 1,5). En effet, à cette valeur de pH, la silice aqueuse subit une polycondensation pour former des gels. Ceux-ci à leur tour vont amasser par physisorption les solides en suspension pour leur éventuelle élimination sous forme de gels polymériques constitués de petites particules de quelques nanomètres [MANFOUMBI, 2017]. Cela est visible en ce sens que plus on élimine la silice plus on diminue les solides en suspension.

Bien que l'agitation et le ratio PO/PA conduisent à la diminution de deux impuretés (la silice et les suspensions colloïdales), l'augmentation de deux paramètres contribue par contre à l'augmentation du temps de désengagement à l'étape de l'extraction par solvant ([Figure 2](#)). Il faut donc trouver un compromis entre les deux situations pour travailler dans les conditions optimales. Les valeurs de 1,4 de ratio PO/PA et de 1500 tr/min de vitesse ont été retenues.

Les résultats montrent également que le lavage en continuité aqueuse offre les meilleures conditions en termes d'élimination des impuretés. Cela est plus visible au regard de la silice dissoute résiduelle pour les solides en suspension ([Figure 1](#)). Mais les solutions lavées en continuité aqueuse conduisent à l'étape de l'extraction à des temps de désengagement trop élevés et ce, malgré la continuité utilisée à l'extraction ([Figure 2](#)). La conséquence au niveau industriel d'un temps de désengagement élevé est l'augmentation des entraînements d'une phase dans l'autre par suite d'une vitesse faible de la coalescence des particules. Ceci va entraîner la perte de la phase organique et la pollution de l'électrolyte riche en impuretés dans le circuit SX. Il s'avère donc qu'au lavage, la continuité organique est plus avantageuse que la continuité aqueuse.

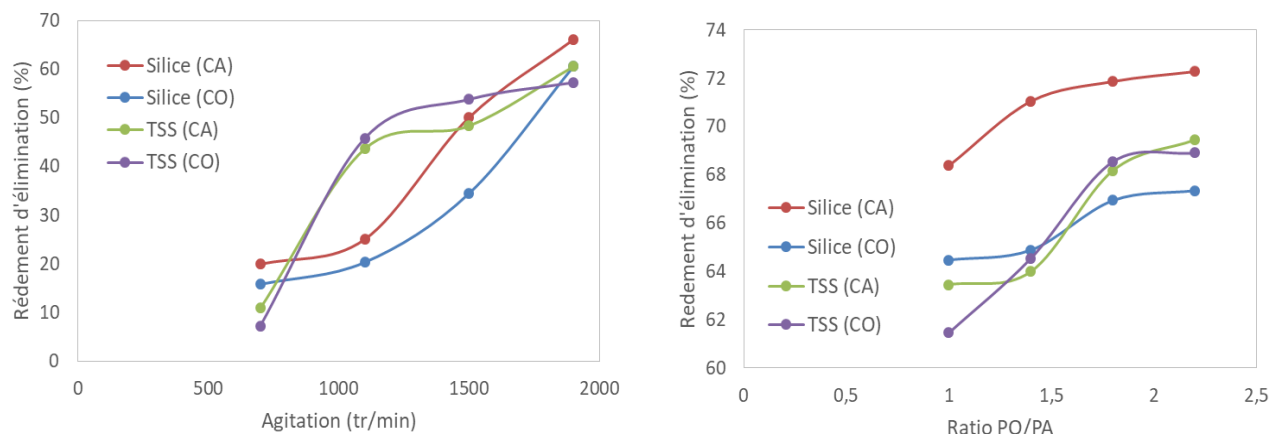


Figure 1. Evolution du rendement de l'élimination du TSS et de la silice dissoute en fonction de la vitesse d'agitation et du ratio PO/PA lors du lavage au diluant Shellsol 2325

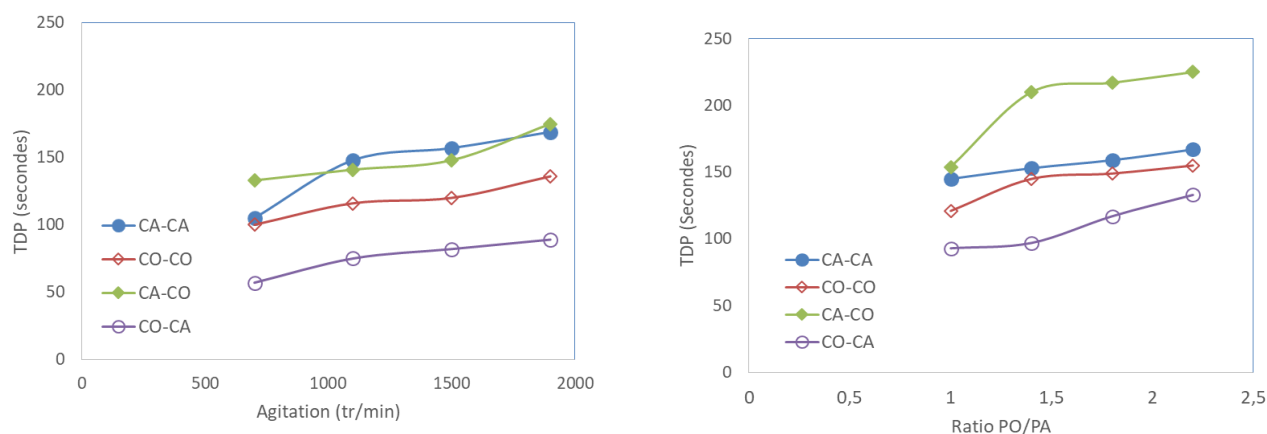


Figure 2. Influence de la continuité au lavage sur le temps de désengagement à l'extraction

L'élimination des impuretés n'a pas été totale à l'étape de lavage (Figure 1). Cette élimination partielle peut s'expliquer aussi par le fait que le temps de lavage de 180 secondes n'était peut-être pas suffisant pour que la polymérisation de la silice dissoute soit compétitive, afin d'entraîner comme expliqué précédemment l'élimination des solides. Cela ne se justifie qu'à des pH compris entre 1 et 3, le temps de gélification est très long car les réactions de polymérisation sont lentes [MANFOUMBI, 2017 ; KIRK et OTHMER, 1982]. Par contre, en-dessous du pH de 1, ces réactions sont rapides.

### Influence du lavage sur l'extraction par solvant

L'étude a porté sur l'influence du temps de contact, du ratio O/A et du pH sur le rendement d'extraction du cuivre et le temps de séparation des phases. Ces tests ont porté d'une part sur les solutions lavées et d'autre part sur des solutions non lavées au diluant pour mettre en exergue l'influence du lavage. Les résultats sont présentés aux Figures 3-5.

Une augmentation de tous les 3 paramètres étudiés (Temps de contact, PO/PA et pH) induit une amélioration du rendement d'extraction du cuivre eu égard au fait que les solutions ont été lavées ou pas. Mais l'influence est moins prononcée pour le paramètre temps de contact.

Le TDP est moins influencé par les 3 paramètres étudiés. On observe néanmoins qu'une augmentation du ratio PO/PA induit une nette augmentation du TDP (Figure 5). Les résultats montrent également que les TDP en continuité aqueuse sont systématiquement supérieurs à ceux de la continuité organique.

La séparation des phases à l'extraction par solvant est nettement améliorée par le traitement préalable des solutions par lavage. Les solutions lavées conduisent systématiquement à des meilleurs rendements d'extraction du cuivre. Mais l'influence positive du lavage est uniquement vérifiable pour un travail en continuité aqueuse.

Le traitement de la phase aqueuse par le diluant Shellsol est un bon choix pour résoudre les problèmes des impuretés. Leur réduction a permis certes de réduire leur effet qui n'était sans nul

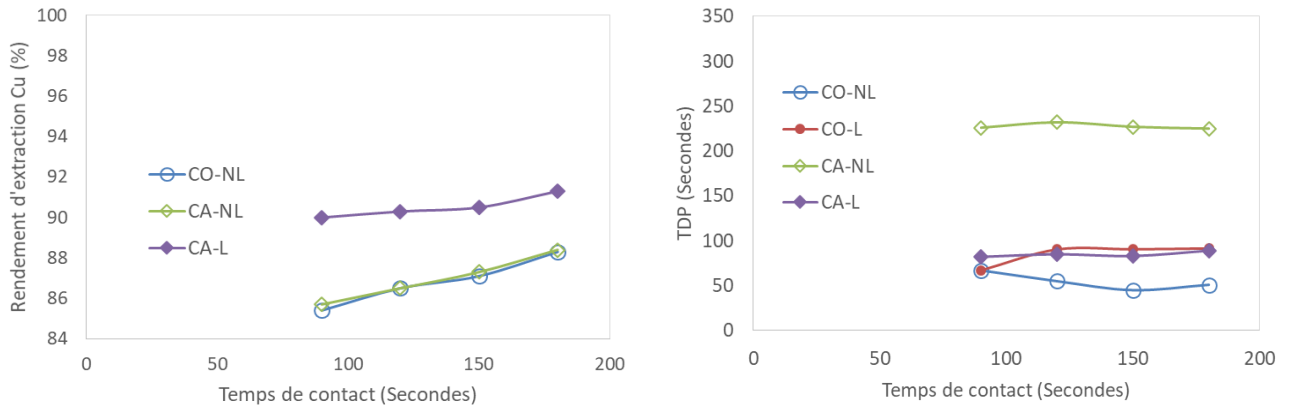


Figure 3. Influence de la continuité à l'extraction sur le rendement d'extraction et le temps de désengagement en fonction du temps de contact

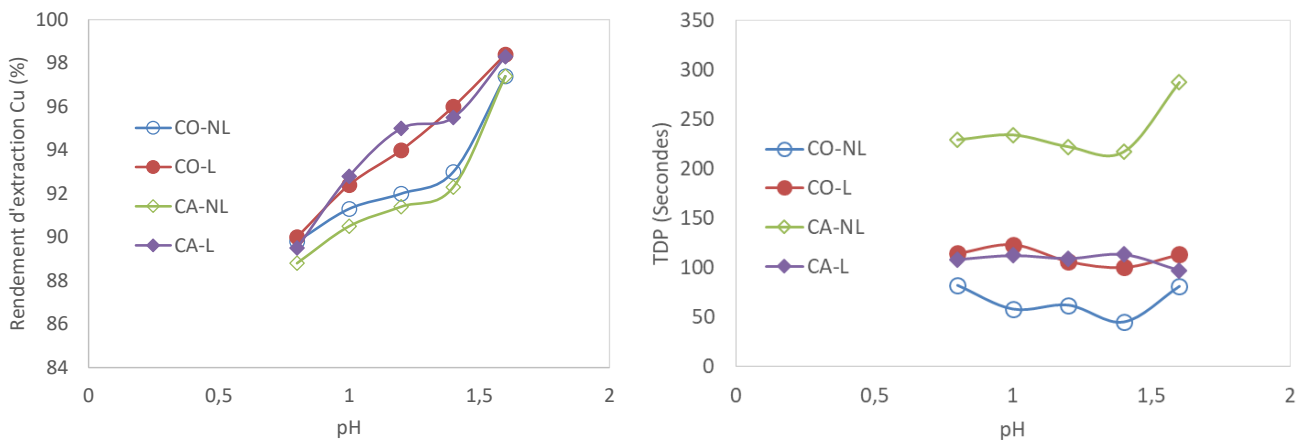


Figure 4. Influence de la continuité à l'extraction sur le rendement d'extraction et le temps de désengagement en fonction du pH

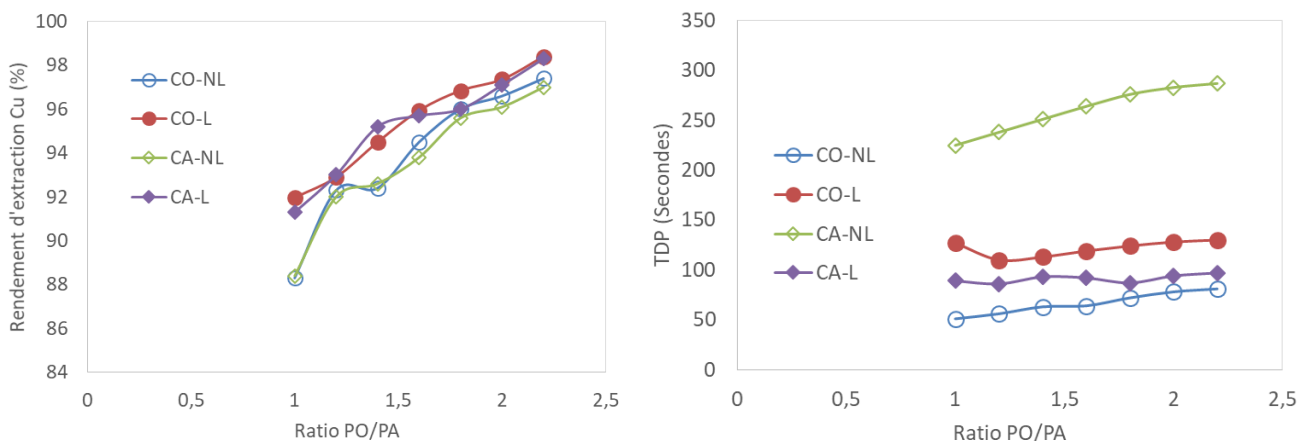


Figure 5. Influence de la continuité à l'extraction sur le rendement d'extraction et le temps de désengagement en fonction du ratio PO/PA

doute que celui de se concentrer à l'interface organique-aqueux détériorant ainsi le transfert chimique de cuivre à travers l'interface et l'interface tout en entravant aussi l'amincissement durant la coalescence.

En outre il est à noter que les valeurs de rendement d'extraction par solvant obtenues sont élevées. En fait, à la valeur

de pH de l'échantillon concerné (pH = 1,5), l'extractant utilisé lors de l'extraction par solvant (LIX® 984N-C) est généralement jugé très sélectif du cuivre [KITOBO, 2009].

## CONCLUSION

La présence des impuretés telles que la silice dissoute et les solides en suspension posent d'énormes problèmes dans le

circuit d'extraction par Solvant dont notamment l'augmentation du temps de désengagement. Les usines de Luita de Boss-Mining en RD Congo sont face à ces problèmes. L'élimination de ces impuretés s'avère donc une nécessité.

Ce travail a porté sur l'élimination de ces impuretés par un lavage préalable par utilisation du diluant (le Shellsol 2325) qui est également utilisé pour préparer l'extractant à base du LIX® 984N-C. Les tests de purification par lavage ont permis d'éliminer effectivement ces impuretés avec un rendement supérieur à 57 % dans nos conditions de travail. Le diluant étant aussi une phase organique, le lavage en continuité organique a donné les meilleurs résultats au regard des valeurs faibles de temps de désengagement, bien que c'est la continuité aqueuse qui a conduit à l'élimination d'une grande partie de ces deux impuretés.

En prétraitant les solutions par lavage en continuité organique, le lavage a montré un effet positif quelle que soit la continuité utilisée à l'extraction par solvant du cuivre sur les rendements d'extraction du cuivre. La grande valeur obtenue a été de 98,4 %. Par contre, en considérant le temps de désengagement, le lavage a montré un avantage que pour le cas d'une extraction du cuivre en continuité aqueuse. Le lavage au diluant Shellsol 2325 est donc bénéfique au circuit SX des usines de Luita.

## RESUME

L'importance du prétraitement au lavage en utilisant le diluant Shellsol 2325 a été étudiée sur les solutions de lixiviation en tas des minerais oxydés des usines de Luita. Ces solutions contenaient comme métal de valeur 14 g/L Cu et comme impuretés à éliminer par lavage 487 ppm de silice dissoute et 550 ppm des solides en suspensions. Les solutions traitées par lavage ont été ensuite soumises à l'extraction par solvant. Les résultats ont montré que l'augmentation du ratio PO/PA et de la vitesse d'agitation a conduit à l'augmentation du rendement d'élimination de ces impuretés au lavage avec un rendement minimum d'élimination de 57 %. Les solutions traitées au lavage en continuité organique ont conduit à des valeurs plus faibles de temps de désengagement à l'extraction que celles traitées en continuité aqueuse. En prétraitant ainsi les solutions par lavage en continuité organique, le lavage a montré un effet positif quelle que soit la continuité utilisée à l'extraction par solvant sur les rendements d'extraction du cuivre. L'étude du temps de contact, du ratio PO/PA et du pH a montré que leur augmentation conduit à l'augmentation du rendement d'extraction avec un rendement maximal de 98,4 % Cu. Par contre, en considérant le temps de désengagement, le lavage n'a montré un avantage net que pour le cas d'une extraction du cuivre en continuité aqueuse et a moins influencé en continuité organique. Le lavage présente donc un intérêt considérable grâce à son impact positif sur les

performances du circuit d'extraction par solvant des usines de Luita.

## Mots clés

Lavage, Shellsol, Luita, Extraction par solvant.

## REFERENCES

- ALVAYI C. [2006]. Traitement hydrométallurgique de minerais cupro-cobaltifères du Katanga, Mémoire d'Etudes Approfondies, Université de Liège, Faculté des sciences appliquées.
- BERGNA H.E. [1994]. Colloid chemistry of silica. *Advances in Chemistry*, Vol. 234. American Chemical Society, Washington DC. pp. 1-47.
- COGNIS [2005]. Guide pratique sur la conduite des usines d'extraction par solvant, vue d'ensemble par Cognis. Harizona, Cognis.
- COLE P., BEDNARSKI L., THOMAS D., MUTEBA D., BANZA G., SODERSTROM M. [2016]. Understanding aqueous-in-organic entrainment in copper solvent extraction. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116, 525-531.
- COOPER R. [1998]. Silica precipitation from electrolyte zinc solutions. PhD thesis, Curtin University.
- CYTEC [2006]. Crud: how it forms and techniques for controlling it. <http://www.cytec.com/specialtychemicals/PDFs/SolventExtraction/CrudFormationandControlinC%20SX.pdf>. Consulté le 27 Avril 2021.
- DREISINGER D., LITTLEJOHN P. [2007]. Technical Review – Copper Solvent Extraction in Hydrometallurgy. <https://www.researchgate.net/publication/237335021>. Consulté le 27 Avril 2021.
- HEARN S., SMERTHURST A., BOSKOVIC S. [2016]. The application of Polysil coagulants to reduce crud formation by controlling colloidal silica. Proceedings IMPC 2016, XXVIII International Minerals Processing Conference 11-15 September 2016. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal.
- IBANA D.C., HELM D.J., COLLARD J.M., STEFFENS M.J. [2006]. Assessment of crud formation in the Skopion Solvent Extraction Circuit, Anglo American Research Blue Cover Report, Project No. 49600, Report No. 2.
- KATHRYUN C.S., FRANK K., CRUNDWELL F., DLAMINI N., GREGORY K. [2018]. Mitigating Effects of Silica in Copper Solvent Extraction. Copper Cobalt Africa, incorporating the 9th Southern African Base Metals Conference July 2008. Livingstone, Zambia.
- KIRK OTHMER [1982]. Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 20, John Wiley and Sons, 766-799.
- KITOBO W.S. [2009]. Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfurés du Katanga, cas des tailing de l'ancien concentrateur de Kipushi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège, Belgique, Faculté des sciences appliquées.
- LINDSAY N.M. [1994]. Process Mineralogy at Manto Verde, Chile. *The AusIMM Proceedings*, 299, 2, 29-34.
- MANFOUMBI M. [2017]. Précipitation des gels de silice en solution aqueuse sursaturée à forte acidité : mécanismes et mésostructures, application à la filtrabilité des pulpes dans les procédés hydrométallurgiques. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse III, France.
- MEGAW D.C., BURELLI S. [2015]. Crud Forx™ - A new approach to crud management. Proceedings Copper Cobalt Africa and 8th Base Metals Conference 6-8 July 2015. Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp. 327-334.

- MILLER G., READETT D., HUTCHINSON P. [1997]. Experience in operating the Girilambone Copper SX-EW plant in changing chemical environments. *Minerals Engineering*, 10 ,5, 467-481.
- MUSADAIDZWA J., TSHININGAYAMWE E. [2009]. Skorpion Zinc solvent extraction: the upset conditions. Proceedings Base Metals Conference 2009. Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg. pp. 245-258.
- PATIÑO E. [2004]. Apuntes de hidrometalurgia, Universidad Arturo Prat, Chile, pp. 50-55.
- POURBAIX M. [1963]. Atlas d'équilibre thermodynamique à 25 °C, Gauthier Villars et Cie, Paris.
- READETT D.J., MILLER G.M. [1995]. The impact of silica on solvent extraction: Girilambone Copper Circuit Company, case study. Copper 95- Cobre 95, Vina del Mar, Chile.
- RITCEY G.M. [1980]. Crud in Solvent Extraction Processing—A Review of Causes and Treatment. *Hydrometallurgy* 5, 97-107.
- SEIDEL A., LOBBYS N., VOGELSBERGER W., SONNERFELD J. [1997]. The kinetics of dissolution of silica 'Monospher' into water at different concentrations of background electrolyte, *Solid State Ionics*, 101-103, 713-719.
- SOLE K.C., TINKLER O. [2016]. Copper solvent extraction: status, operating practices, and challenges in the African Copperbelt. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116, 553-560.
- USGS (US Geological Survey) [2014]. Mineral Commodity Summaries: cobalt.
- WANG C. [2005]. Crud formation and its control in solvent extraction. [https://www.researchgate.net/publication/274377125\\_Crud\\_Formation\\_and\\_Its\\_Control\\_in\\_Solvent\\_Extraction](https://www.researchgate.net/publication/274377125_Crud_Formation_and_Its_Control_in_Solvent_Extraction). Consulté le 27 Avril 2021.
- ZEKA MUJINGA L. [2015]. Lixiviation du cobalt trivalent de l'hétérogénite d'un minerai oxydé cuprocobaltifère du Katanga par le fer ferreux provenant de l'oxydation chimique et/ou bactérienne de la pyrite-arsénopyrite. Thèse de doctorat. Université de Lubumbashi.



This work is in open access,

licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>