

Utilisation du calcaire comme agent précipitant des impuretés des solutions cobaltifères des usines de Ruashi Mining en R.D.C.

[Use of limestone as an agent precipitating impurities from cobalt-rich solutions at Ruashi Mining plants, D.R.C.]

L. Zeka¹⁻²⁻³, A. Kafat⁴, F. Manene¹⁻²⁻³, and A. Ilunga¹

¹Département de Chimie Industrielle, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, B.P. 1825, Lubumbashi, RD Congo

²Section de Chimie et Métallurgie Appliquées, Institut Supérieur des Techniques Appliquées, B.P. 299, Kolwezi, RD Congo

³Centre de Recherche et d'Expertise ZEBRE – CreZ, RD Congo

⁴Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Likasi, B.P. 1946, Likasi, RD Congo

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The possibility of using limestone instead of lime as an agent precipitating impurities from cobalt-rich solutions from the hydrometallurgical plants of Ruashi Mining in R.D. Congo was studied. These solutions come from the copper solvent extraction circuit and are intended for the production of cobalt hydrates. Precipitation tests performed in the laboratory have shown that limestone competes with lime in terms of precipitation of Fe, Mn and Cu impurities and co-precipitation of Co. The parameters which were exploited are: Eh, pH, time, % Solid and the particle size. Reduced to the equivalent quantities which enter into a precipitation reaction with 1.5 as the evaluated value of the limestone/lime ratio, the consumption of these two precipitating agents is almost the same. Co-precipitation of cobalt was acceptable and was limited to a yield of 3.0 % Co. Under these same conditions, copper was also removed with yields of around 40 %. The iron precipitated in good yields reaching over 90 %. On the other hand, Mn showed too low precipitation yields of less than 40 % by the fact that it required real oxidizing conditions which could bring it back to its insoluble form of MnO₂. Finally, with the considerations on the cost of acquisition on the Ruashi Mining site of 160 and 50 USD respectively for the ton of lime and limestone, without integrating the cost linked to the fragmentation of the limestone to have the correct grain size, it is technically possible to substitute lime by limestone.

KEYWORDS: Purification by selective precipitation, Cobalt, Iron, Manganese, Lime and Limestone.

RESUME: La possibilité d'utiliser le calcaire en lieu et place de la chaux comme agent précipitant des impuretés des solutions cobaltifères des usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en R.D. Congo a été étudiée. Ces solutions proviennent du circuit de l'extraction par solvant du cuivre et sont destinées à la production des hydrates de cobalt vendables. Les tests de précipitation réalisés en laboratoire ont montré que le calcaire permet d'obtenir des résultats concurrentiels d'avec la chaux en termes de la précipitation des impuretés Fe, Mn et Cu et de la coprécipitation du Co. Les paramètres qui ont été exploités sont: Eh, pH, temps, % Solide et la granulométrie. Ramenée aux quantités équivalentes qui entrent en réaction de précipitation avec la valeur évaluée de 1,5 comme le ratio calcaire/chaux, la consommation de ces deux agents précipitants est quasiment la même. La coprécipitation du cobalt a été acceptable et s'est limitée à un rendement de 3,0 % Co. Dans ces mêmes conditions, le cuivre a été également éliminé avec des rendements avoisinant 40 %. Le fer s'est précipité avec de bons rendements atteignant plus de 90 %. Par contre, le Mn a accusé des rendements de précipitation trop faibles de moins de 40 %. Enfin, avec les considérations sur le coût d'acquisition de 160 et 50 USD respectivement pour la tonne de chaux et de calcaire, sans intégrer le coût lié à la fragmentation du calcaire pour avoir la bonne granulométrie, il est possible techniquement de substituer la chaux par le calcaire.

MOTS-CLEFS: Purification par précipitation sélective, Cobalt, Fer, Manganèse, Chaux et Calcaire.

1 INTRODUCTION

En hydrométallurgie des minerais cuprocobaltifères (figure 1), le Cu est extrait en premier par précipitation sous forme de dépôt cathodique tandis que le Co est extrait en second lieu par précipitation sous forme d'hydroxydes de Co par utilisation d'un agent précipitant [1].

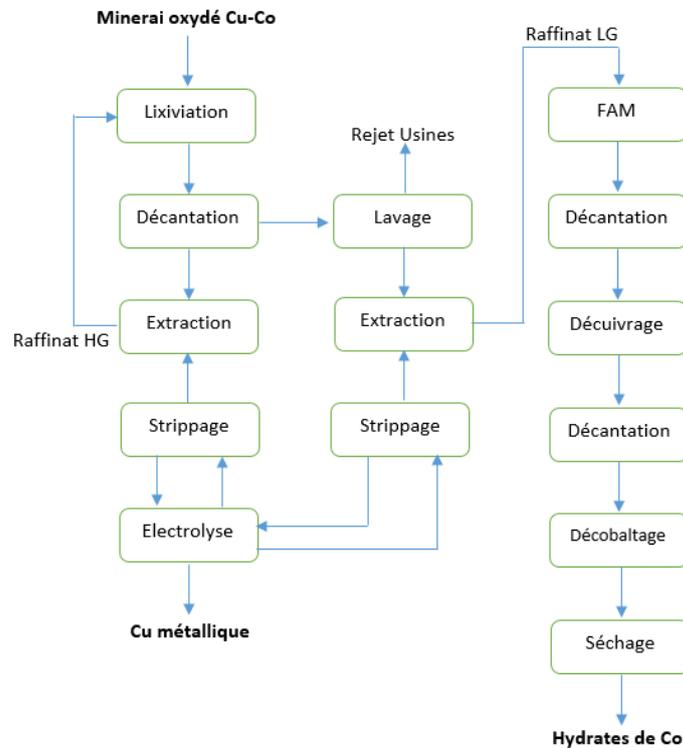


Fig. 1. Schéma de principe de traitement des minerais oxydés Cu-Co rencontré dans les industries minières de la RD Congo

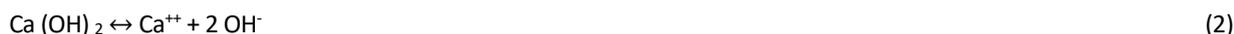
Comme les solutions desquelles le Co est extrait doivent être exemptes d'impuretés comme le Fe, Al, Mn et Cu résiduel, on recourt également à un agent précipitant pour éliminer de manière sélective ces impuretés par précipitation [2], [3], [4], [5], [6]. Cette élimination par précipitation est rendue possible au vu des valeurs de produits de solubilité qui sont plus faibles pour les impuretés que pour l'élément à valoriser qui est le Co (Tableau 1).

Tableau 1. Produits de solubilité à 25°C [7], [8], [9]

Métal	Composés	Formule	Ks	pKs	pH de précipitation
Co	Hydroxyde de cobalt	Co (OH) ₂	1,3*10 ⁻¹⁵	14,9	8,0 – 8,5
	Carbonate de cobalt	CoCO ₃	1,0*10 ⁻¹⁰	10,0	
Cu	Hydroxyde de cuivre	Cu (OH) ₂	4,8*10 ⁻²⁰	19,3	5,0 – 5,5
	Carbonate de cuivre	CuCO ₃	2,5*10 ⁻¹⁰	9,6	
Fe	Hydroxyde de fer (II)	Fe (OH) ₂	4,1*10 ⁻¹⁵	14,4	8,0 – 8,5
	Hydroxyde de fer (III)	Fe (OH) ₃	2,0*10 ⁻³⁹	38,7	3,0 – 3,5
	Carbonate de fer (II)	FeCO ₃	2,1*10 ⁻¹¹	10,7	
Mn	Hydroxyde de manganèse	Mn (OH) ₂	2,0*10 ⁻¹³	12,7	8,0 – 8,5
	Carbonate de manganèse	MnCO ₃	5,0*10 ⁻¹⁰	9,3	-
Al	Hydroxyde d'aluminium	Al (OH) ₃	3,0*10 ⁻³⁴	33,5	3,0 – 3,5
Ca	Hydroxyde de calcium	Ca (OH) ₂	6,5*10 ⁻⁰⁶	5,2	-
	Carbonate de calcium	CaCO ₃	4,5*10 ⁻⁰⁹	8,3	-
	Sulfate de calcium	CaSO ₄	2,4*10 ⁻⁰⁵	4,6	-
Mg	Hydroxyde de magnésium	Mg (OH) ₂	7,1*10 ⁻¹²	11,1	-
	Carbonate de magnésium	MgCO ₃	3,5*10 ⁻⁰⁸	7,5	-

Les agents précipitants le plus utilisés sont la chaux (CaO) et la magnésie (MgO). Si la chaux est utilisée pour à la fois éliminer les impuretés et obtenir les hydrates de Co, la magnésie, quant à elle, n'est utilisée qu'à l'obtention des hydrates de Co. La raison est que la pureté de la magnésie (99 % MgO) est plus élevée que celle de la chaux (80 % CaO). Elle conduit en conséquence à des hydrates de Co de teneurs élevées en Co. Ce qui présente un gros avantage lors de la vente de ces hydrates. De plus, compte tenu du fait que la magnésie coûte plus cher que la chaux, son usage est exclusif à la précipitation des hydrates de Co et non à celle des impuretés accompagnant le Co.

En milieu aqueux, la chaux vive devient de la chaux éteinte et se comporte comme une base faible. Dans la pratique industrielle, avant son ajout dans le réacteur de précipitation, la chaux est préparée sous forme de lait à environ 20 % en poids de solide. Cette chaux donne des ions OH⁻ qui à leur tour vont précipiter l'ion métallique pour lequel le produit de solubilité est plus faible que celui de Ca(OH)₂ (Tableau 1) selon les réactions d'équilibre ci-dessous [4], [10], [11], [12]:



où M est un métal (Co, Cu, Fe, Al).

Au cours de la précipitation, la nature de l'agent précipitation et le pH sont parmi les paramètres les plus importants [13], [14], [15], [16]. Avec les valeurs de produits de solubilité, on peut déterminer, à l'aide de la relation 4, le pH de précipitation des éléments métalliques en se basant sur les valeurs habituelles de concentration en ces éléments dans les circuits hydrométallurgiques. Ces gammes de pH sont données dans la dernière colonne du tableau 1 et montrent qu'il est possible de séparer sélectivement ces éléments par précipitation par ajout des ions OH⁻.

$$\text{pH de précipitation} = 14 - \frac{1}{n} (\log [\text{M}^{n+}] + \text{pks}) \quad (4)$$

Les ions Fe et Al ayant des pH voisins de précipitation sont précipités ensemble surtout qu'ils constituent des impuretés à jeter à l'étape de « FAM » c'est-à-dire l'étape de l'élimination du Fe, Al et Mn. Au vu du pH élevé de précipitation du Mn, on ne peut pas le précipiter avant le Co. Comme son pH est voisin du Co, il risque, en le laissant en solution, de polluer les hydrates de Co à produire. Pour ce faire, il est oxydé pour enfin le précipiter sous forme de MnO₂. Son oxydation est difficile et les théories qui en expliquent le mécanisme sont controversées. En effet, l'oxydation du Mn est favorisée par le mélange Air-SO₂ introduit dans le milieu réactionnel dans une proportion telle que ce mélange produit de l'oxygène naissant, intermédiaire réactionnel très réactif, qui va alors oxyder le Mn et le conduire à la précipitation:



En pratique, la réalisation de ce mélange est difficile. Alors, on se contente d'insuffler de l'air et d'introduire également le SO₂ soit directement sous forme de gaz soit en ajoutant le métabisulfite qui va ensuite générer le SO₂ nécessaire selon ses réactions:



Le Cu se trouve seul dans une gamme de précipitation. Il est de ce fait précipité seul. Cela présente d'ailleurs un gros avantage puisque ses précipités sont généralement recyclés dans le premier circuit qui valorise le Cu par électrodéposition.

On peut observer aussi le phénomène de coprécipitation lors de la précipitation. C'est un phénomène au cours duquel des composés s'incorporent au précipité durant sa formation, alors qu'ils sont solubles. Cette coprécipitation se réalise de 4 façons: l'adsorption de surface, la formation de cristaux mixtes, l'occlusion et le piégeage mécanique [7], [8]. En hydrométallurgie, à l'étape de FAM, il est souvent observé une coprécipitation du cobalt qui peut être expliquée en grande partie par l'existence au sein du réacteur des zones localisées où le pH est élevé.

Au vu des valeurs de produits de solubilité des carbonates données dans le tableau 1, les réactions de précipitation décrites ci-dessus peuvent aussi avoir lieu si l'on remplace l'ion OH⁻, l'ion responsable de la précipitation, par l'ion CO₃²⁻. Et, cet ion peut être amené dans la solution par le calcaire (CaCO₃).

Dans ce travail, il a été utilisé d'une part la chaux et d'autre part le calcaire comme agent précipitant dans les solutions cobaltifères des usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en République Démocratique du Congo. Son objectif est de comparer les performances de ces deux agents précipitants. Le calcaire provient de la carrière de Kakontwe et la chaux provient de la transformation de la même pierre calcaire par calcination.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SOLUTION À PURIFIER

Notre étude a porté directement sur les solutions industrielles (raffinat) issues de l'extraction par solvant organique de cuivre aux usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en République Démocratique du Congo. Ces usines produisent du cuivre sous forme cathodique et du cobalt sous forme d'hydrates à partir d'un minerai oxydé cuprocobaltifères contenant 3,5 % Cu et 0,9 % Co, et ce, après un schéma classique de traitement comme celui de la figure 1 comprenant une lixiviation mettant en solution le Cu et le Co, une séparation solide-liquide conduisant à deux flow, l'un à concentration élevée (HG de l'anglais High Grade) et l'autre de concentration faible (LG de l'anglais Low Grade), une électrodéposition du cuivre, une recirculation du raffinat HG à la lixiviation, une purification par précipitation sélective du raffinat LG en élimination les impuretés Fe, Al et Mn (étape FAM) et le cuivre résiduel (étape de décuivrage) et enfin une précipitation du cobalt sous forme d'hydrates de Co qui sont filtrés et séchés.

Une quantité de 90 L de raffinat LG a été prélevée en une fois sur le conduit de renvoi de raffinat vers la précipitation FAM. L'échantillon a été mis dans quatre bidons de 20 L de capacité lesquels bidons étaient bien fermés et gardés dans les armoires pour éviter la contamination. Les métaux contenus ont été analysés par spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif (ICP-AES) et les résultats sont donnés dans le tableau 2. Le Co est présent dans le raffinat à une concentration de 2,8 g/L et il est accompagné des impuretés Cu, Fe, Al et Mn à éliminer.

Tableau 2. Composition chimique du raffinat LG des usines de Ruashi Mining

g/L Co	g/L Cu	g/L Fe	g/L Mn	g/L Al	g/L H ₂ SO ₄	Eh (mV)
2,80	0,07	0,42	1,34	0,50	8,9	495

2.2 AGENTS PRÉCIPITANTS (CHAUX ET CALCAIRE)

Deux agents précipitants ont été utilisés: la chaux et le calcaire. Le calcaire provient du grand gisement de calcaire de Kakontwe dans le Grand Katanga en République Démocratique du Congo. Nous avons étudié la même chaux que Ruashi Mining utilise dans son circuit. Cette chaux provient de la même pierre calcaire transformée par calcination à la Grande Cimenterie du Katanga, GCK en sigle.

La pureté de la chaux a été déterminée par neutralisation à l'aide de HCl 1N. La réactivité a été évaluée en termes de la durée nécessaire pour atteindre la température de 60 °C lorsqu'on mélange 150 g de chaux à 600 mL d'eau. Enfin, l'activité de la chaux a été évaluée en termes de la quantité de CaO soluble dans une solution de HCl à 3 mol/L. Au regard des résultats de la caractérisation du tableau 3, la chaux étudiée est de meilleure qualité.

Tableau 3. Résultats de caractérisation chimique de la chaux étudiée

CaO total (%)	CaO disponible (%)	Réactivité (min)	Activité (%)
94,0	78,0	5,3	99,8

L'échantillon de calcaire a été caractérisé chimiquement (tableau 4). Il s'agit d'un échantillon de calcaire de meilleure qualité. Sa granulométrie a été aussi déterminée par tamisage sur une série de tamis de laboratoire et évaluée à 20 % de refus sur le tamis de 180 µm. Dans les tests où la granulométrie a été étudiée, le calcaire a été broyé en humide dans un broyeur de laboratoire de 300 mm de diamètre avec une vitesse de 50 tours/minutes. Nous avons broyé à des temps différents de 12, 15, 20 et 25 minutes pour obtenir des granulométries de plus en plus fines. Chaque fois, nous avons pris 1 kg de calcaire et 1 L d'eau avec 1328 g de petites barres de 25 mm de diamètre comme corps broyants. La décharge du broyeur était tamisée sur un tamis de 37 µm.

Tableau 4. Résultats de la caractérisation chimique du calcaire étudié

CO ₃ ²⁻ total (%)	CaO total (%)	CO ₂ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Humidité (%)
96,1	50,6	42,3	0,9	1,9	6

2.3 ELIMINATION DES IMPURETÉS PAR PRÉCIPITATION

Les tests de précipitation ont été réalisés sous agitation mécanique dans un bécher de 5 L de capacité en prenant chaque fois 2 L de raffinat LG. Les paramètres pH et Eh ont été maintenus constants autour de la valeur de travail par ajout progressif de l'agent précipitant (calcaire ou chaux), de l'air ou du métabisulfite. La valeur de Eh est prise par rapport à une électrode Ag/AgCl. La

précipitation s'est réalisée pendant 4 heures à partir du moment où les valeurs de travail sont atteintes. Le précipité était chaque fois filtré, séché et analysé chimiquement. Le rendement de précipitation a été calculé en prenant la masse de l'élément dans le précipité par rapport à celle de ce même dans la solution initiale.

La quantité de calcaire consommée était déterminée par la relation suivante:

$$\text{Masse (agent précipitant)} = 1,588 \cdot V_p \cdot (dp-1) \tag{8}$$

Où V_p : le volume ajouté de la pulpe de l'agent précipitant; dp : la densité de la pulpe utilisée pour l'essai. Le facteur 1,588 est un facteur lié à la densité solide du calcaire. La même formule de la relation 8 a été utilisée pour calculer la quantité de chaux consommée.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 TESTS PRÉLIMINAIRES AVEC LE CALCAIRE

Les tests préliminaires avec le calcaire ont consisté en l'étude de la granulométrie et de la densité pulpe exprimée sous forme de pourcentage solide. Les résultats sont présentés aux figures 2 à 4. L'influence de la granulométrie et celle du pourcentage solide sont peu prononcées sur les réactions. Mais on sait observer qu'une grande quantité de fer a été précipitée contrairement au manganèse. Cela peut être expliqué par le fait que toutes les conditions d'oxydation des ions Mn^{2+} en MnO_2 n'ont pas été totalement réunies (réactions 5 à 7). Le cuivre s'est aussi précipité dans ces conditions.

Les résultats montrent également que la consommation des agents précipitants diminue avec la diminution de la granulométrie. On observe un palier à la valeur de 35,2 % de refus sur le tamis de 37 μm . Cette consommation augmente par contre lorsque la densité pulpe augmente pour dire qu'il n'est pas nécessaire de travailler à des valeurs élevées de densité pulpe.

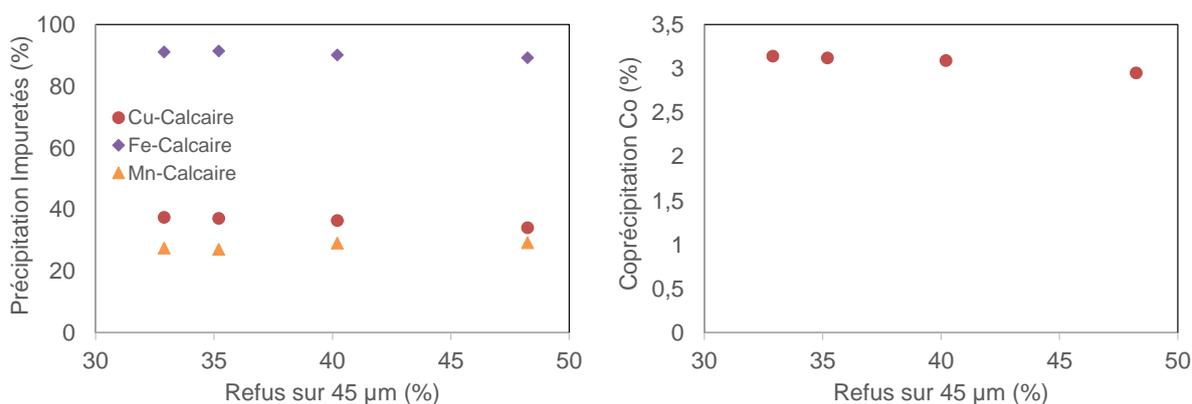


Fig. 2. Influence de la granulométrie sur la précipitation avec le calcaire

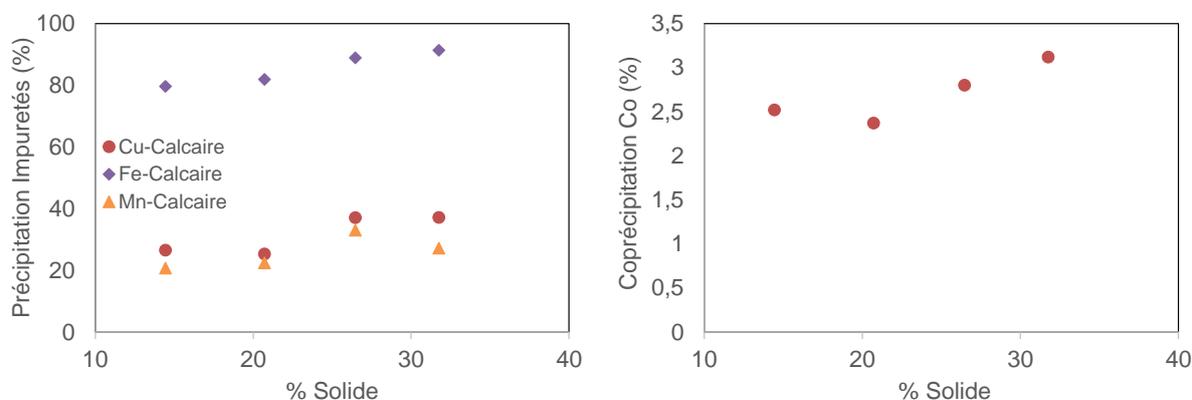


Fig. 3. Influence du pourcentage solide sur la précipitation avec le calcaire

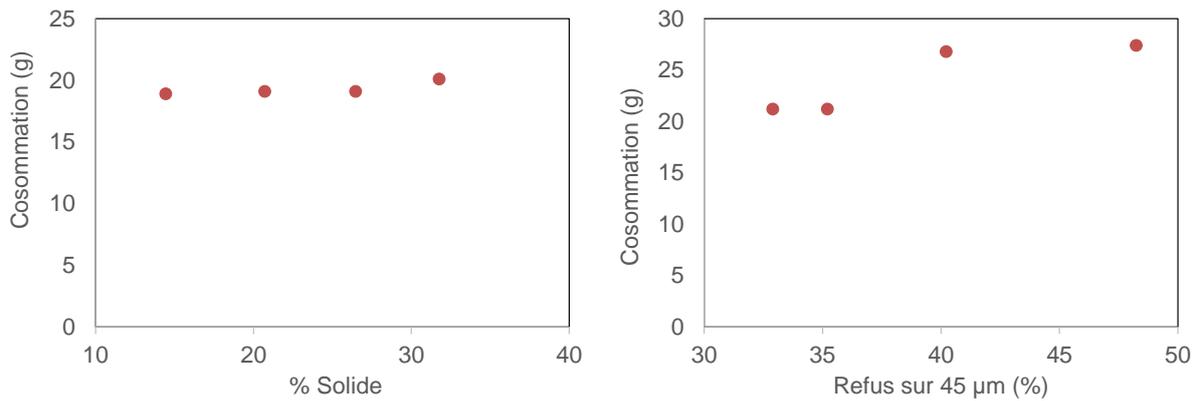


Fig. 4. Evolution de la consommation du calcaire lors des tests préliminaires

3.2 COMPARAISON ENTRE LE CALCAIRE ET LA CHAUX

Une série des tests a été réalisée dans les mêmes conditions pour comparer les performances de deux agents précipitants étudiés. Ces conditions sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5. Conditions opératoires

Agent précipitant	Paramètres étudiés ou maintenus fixes				
	pH	Eh (mV)	Temps (h)	% Solide	% Refus sur 37 µm
Chaux	4,0	Etudié	4	20	-
Calcaire	4,0	Etudié	4	26	35,2
Chaux	Etudié	600	4	20	-
Calcaire	Etudié	600	4	26	35,2
Chaux	4,0	600	Etudié	20	-
Calcaire	4,5	600	Etudié	26	35,2

3.2.1 INFLUENCE DU POTENTIEL D'OXYDO-RÉDUCTION

De manière générale, l'augmentation du Eh conduit à l'augmentation des rendements de précipitation et de coprécipitation. Mais à 600 mV, nous observons un palier. L'influence de Eh est justifiée par le fait que les conditions oxydantes favorisent la précipitation du Fe et du Mn, augmentant ainsi leurs rendements de précipitation.

L'obtention des rendements élevés de précipitation du fer, malgré une présence certaine des ions fer ferreux dans la solution initiale bien que non analysés ici, peut être justifiée par le fait que seule la présence de l'air insufflé suffit pour oxyder la grande partie des ions fer ferreux en ions fer ferrique qui peuvent précipiter à des pH faibles. En effet, la littérature sous-tend que les ions fer ferreux précipitent très difficilement et qu'ils nécessitent souvent leur oxydation en ions fer ferrique pour précipiter aisément [7], [8], [9].

La différence entre les deux agents précipitants n'est pas très prononcée pour la précipitation du fer et la coprécipitation du cobalt. Mais pour les impuretés Mn et Cu et pour des faibles valeurs de Eh, la chaux donne de bons rendements d'élimination.

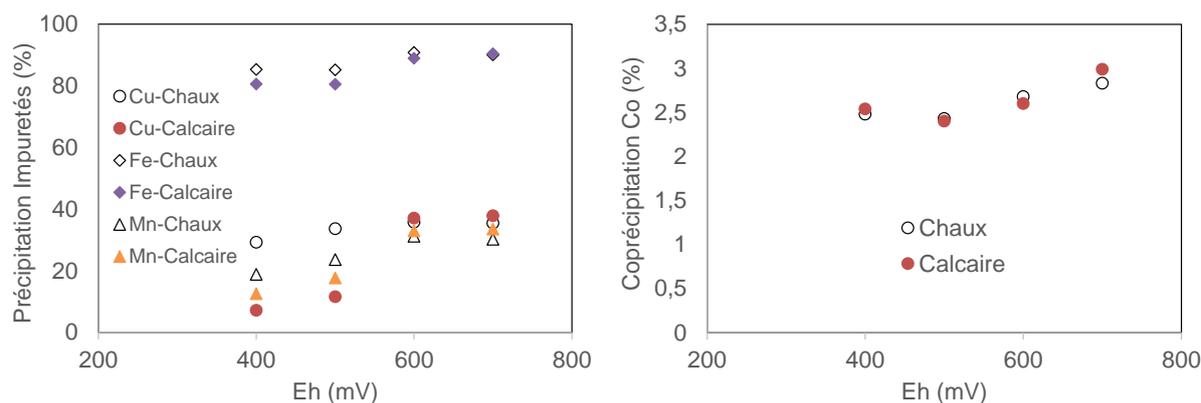


Fig. 5. Influence de Eh sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.2 INFLUENCE DU PH

L'influence du pH est vraiment marquée. A des pH faibles, la coprécipitation du Co est de plus en plus quasi-inexistante. Au contraire, l'augmentation de pH conduit à l'augmentation des rendements de coprécipitation du Co et de précipitation des impuretés. Il est également observable que la précipitation du Mn est toujours faible. Cela peut s'expliquer par les mêmes raisons évoquées précédemment.

Les rendements de Cu et Mn sont serrés. Mais la chaux conduit à des rendements de coprécipitation de cobalt et de précipitation du fer inférieurs à ceux du calcaire. Ainsi donc le calcaire conduirait à une coprécipitation élevée.

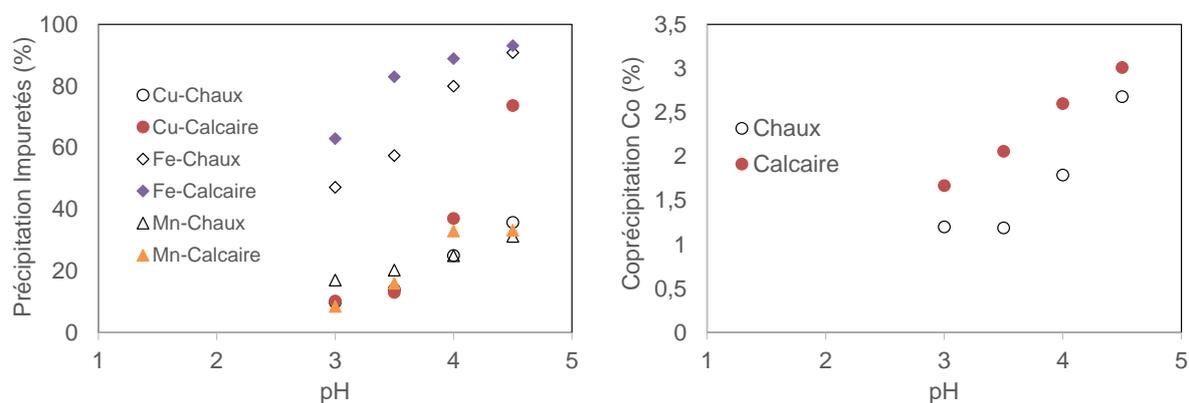


Fig. 6. Influence du pH sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.3 INFLUENCE DU TEMPS

Le calcaire conduit à des rendements de précipitation des impuretés et de coprécipitation du Co plus élevés que ceux obtenus avec la chaux comme c'est le cas lors de l'influence du pH. Mais, plus la durée est élevée, plus la différence entre les agents précipitants diminue. Le temps a une forte influence sur les réactions avec la chaux alors que les tests avec le calcaire en sont peu influencés. Cette différence peut être analysée dans le sens de dire que les réactions avec le calcaire sont plus rapides que celles avec la chaux. En considérant le fer, la durée minimale de la réaction avec la chaux est estimée à 2 heures, valeur à partir de laquelle on obtient un palier. La vitesse rapide du calcaire est difficile à expliquer au regard des données présentées ici d'autant plus que la valeur de produit de solubilité du calcaire est faible. Nous pouvons aussi comprendre cela dans le sens de dire que le calcaire entraîne une plus grande coprécipitation du Co.

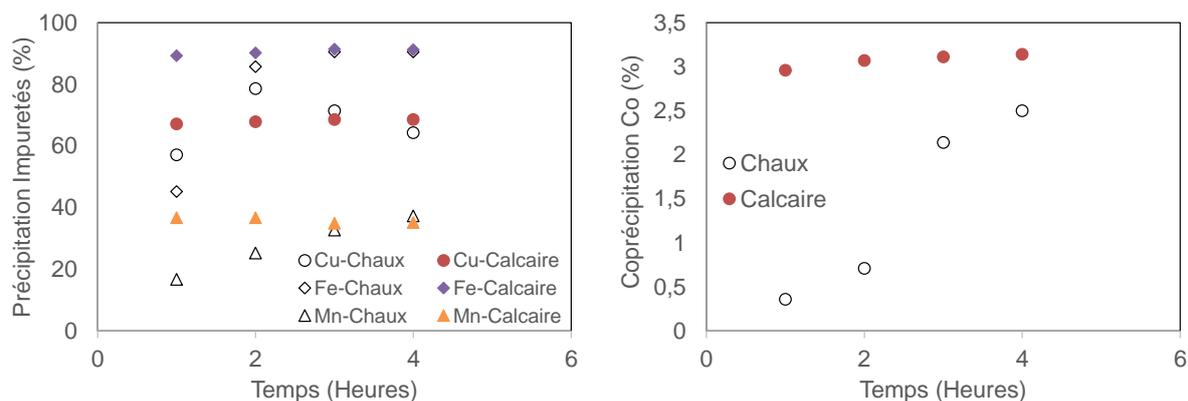


Fig. 7. Influence du temps sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.4 CONSIDÉRATIONS SUR LA CONSOMMATION DE DEUX AGENTS PRÉCIPITANTS

Les tests ont été réalisés dans les mêmes conditions opératoires pour la chaux et pour le calcaire. Il a été important de considérer la consommation des agents précipitants. Comme les conditions sont les mêmes, nous avons jugés de considérer la quantité ajoutée de ces agents au lieu de considérer une quantité spécifique. Les résultats sont présentés aux figures 8 et 9.

En considérant les réactions de précipitation décrites précédemment, il se dégage qu'on a besoin chaque fois du même nombre de mole de chaux et de carbonate pour précipiter une même quantité d'un ion donné. En prenant la même référence et en considérant les compositions chimiques données dans les tableaux 2 et 3, une mole de CaO correspond à 71,8 g de chaux et une mole $MgCO_3$ correspond à 104 g de calcaire. Ce qui nous donne un ratio calcaire/chaux de 1,5. Ce ratio représente les proportions équivalentes de calcaire et de chaux engagés dans l'élimination d'un ion.

L'analyse des figures 8 et 9 montre que les valeurs expérimentales tournent autour de cette valeur théorique de 1,5 et les différences sont jugées faibles. Ceci montre que les deux réactifs ont un comportement similaire. Le fait de recourir au calcaire n'induit donc pas des consommations supplémentaires en réactif.

En outre, la consommation des agents précipitants est plus marquée en fonction du pH qu'en fonction du Eh. L'influence du pH est normale puisque les réactions de précipitation sont des réactions de métathèse [17], [18], [19], [20], [21].

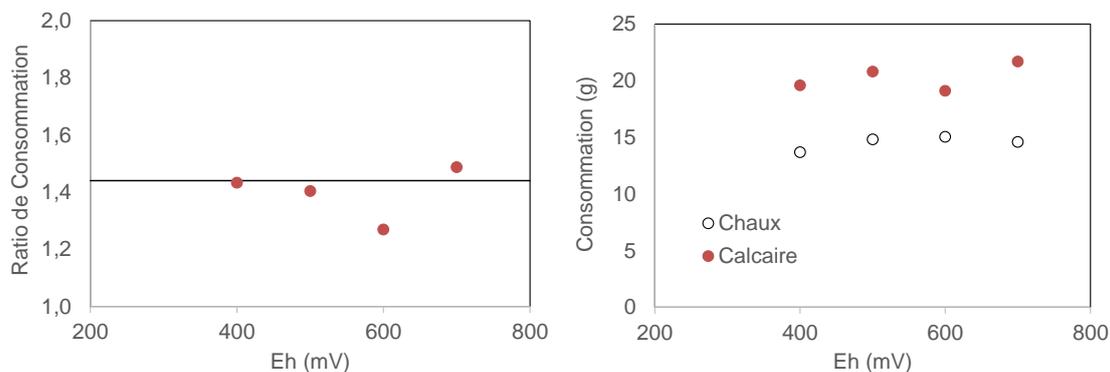


Fig. 8. Evolution de la consommation lors de l'influence du Eh

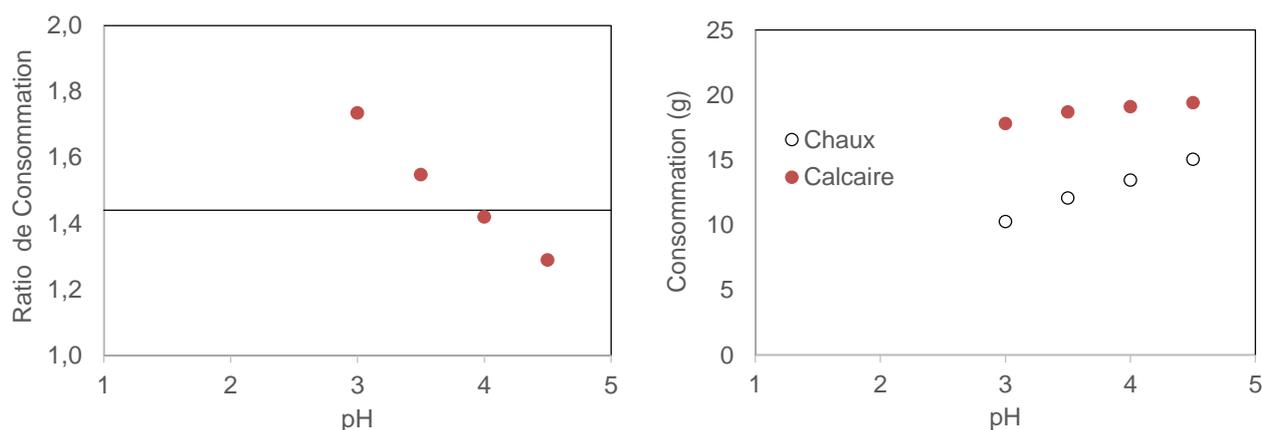


Fig. 9. Evolution de la consommation lors de l'influence du pH

3.3 POSSIBILITÉ DE SUBSTITUTION DU CALCAIRE PAR LA CHAUX

Les résultats ont montré que la chaux et le calcaire conduisent à des résultats concurrentiels. La substitution de la chaux est en conséquence possible. A cela, il faut juste ajouter le fait que l'utilisation du calcaire requiert l'installation d'une unité de broyage devant amener le calcaire à la bonne granulométrie. En effet, en se référant aux coûts d'acquisition des agents précipitants jusqu'aux usines de Ruashi Mining qui sont de 160 et 50 USD respectivement par tonne de chaux et de calcaire, l'utilisation du calcaire présente un gros avantage par rapport à la chaux. Les résultats ayant montré des performances similaires pour un ratio calcaire/chaux proche du ratio théorique de 1,5, on engagera respectivement 160 et 75 USD pour la chaux et le calcaire soit de la moitié de l'argent dans le cas du calcaire.

Il faudra intégrer également le fait que l'utilisation du calcaire induit l'introduction de beaucoup des solides qu'il faudra évacuer car on ajoute toujours une quantité 1,5 fois supérieure à celle de la chaux pour les mêmes performances.

4 CONCLUSION

L'utilisation du calcaire lors de l'élimination des impuretés accompagnant les solutions cobaltifères de Ruashi a été étudiée dans cet article. En effet, le circuit de production du cobalt de Ruashi est alimenté par la solution pauvre en cuivre (LG Raffinat) contenant non seulement du cobalt à valoriser par précipitation sous forme d'hydrates de cobalt mais aussi des impuretés nocives (Fe, Al, Mn, Cu, ...) qu'il faudra éliminer au préalable.

Cette précipitation pouvant se faire en utilisant le calcaire moins coûteux et beaucoup plus disponible dans la région que la chaux qui nécessite une transformation préalable du calcaire, Ruashi Mining envisage de substituer l'utilisation de la chaux par celle du calcaire comme agent précipitant à l'étape de FAM (élimination de Fe, Al et Mn). Ainsi des tests de neutralisation et d'élimination de ces impuretés par précipitation sélective sur les solutions cobaltifères de Ruashi Mining ont été réalisés dans le but d'étudier la possibilité de substituer la chaux usuellement utilisée par le calcaire.

Etant livré très grossier, le calcaire a été broyé en vue d'obtenir la finesse devant permettre une bonne précipitation. Les résultats ont montré que la consommation du calcaire diminue avec la finesse des grains tendant vers un palier après la valeur de 35,2 % de refus sur le tamis de 37 μm . Et, l'effet du pourcentage solide a montré qu'il n'est pas nécessaire de travailler à des valeurs élevées de plus de 20 %.

L'influence du Eh est peu prononcée par rapport à celles du pH et du temps sur le phénomène étudié. En effet, l'augmentation du pH et temps conduit à l'augmentation du rendement de précipitation. En particulier, l'influence du temps a montré que le calcaire réagit assez vite par rapport à la chaux. Ce qui reste une hypothèse à infirmer.

En somme, les deux agents précipitants conduisent à des résultats concurrentiels et en conséquence la substitution de la chaux par le calcaire est faisable techniquement. A cela, il faudra intégrer le coût lié à la fragmentation au niveau industriel du calcaire jusqu'à la bonne finesse.

Le Co a été coprecipité à des valeurs acceptables de rendement de maximum 3,0 %. Le Cu s'est éliminé jusqu'à des rendements de 40 %. Le Fe a été éliminé jusqu'à des rendements de 90 %. Le Mn n'a pas été suffisamment éliminé car les rendements obtenus ont été autour de 40 %. Cela peut être expliqué par des conditions oxydantes non totalement réunies pour oxyder les ions Mn^{2+} en

MnO₂. Quant à la consommation des agents précipitants, les résultats ont montré que ces agents, ajoutés à des quantités équivalentes, conduisent à des résultats similaires.

REFERENCES

- [1] Zeka 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. 310 p.
- [2] Charles N.; Colin S. and Lefebvre G., 2017. Mémento Carbonates calciques et magnésiens. Rapport final. Rapport BRGM/RP-67125-FR, 85 p. 33 fig., 9 tab.
- [3] Boussen, R., 2007. Valorisation de l'acide phosphorique par précipitation du cadmium et pertraction de l'Uranium. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mohammed V – AGDAL.
- [4] Foucher, S. avec la collaboration de Battaglia-Brunet F.; Ignatiadis I.; Morin D. and Richalet G., 1999. Etude de la précipitation de certains métaux, contenus dans des solutions complexes, par l'hydrogène sulfuré. Rap. BRGM R 40554, 83p., 21 fig., 8 tabl., 4 ann.
- [5] Dreulle, N., 1981. Les bases théoriques de l'hydrométallurgie. Revue de l'industrie minière, p. 403-410.
- [6] Hopkins, D.W., 1958. Aspects physico-chimiques de l'élaboration des métaux. Dunod, Paris.
- [7] Skoog, West, Holler and Crouch, 2015. Chimie analytique. Traduction de la version anglaise et révision scientifique de Buess-Herman, C., Dauchot, J. et Doneux, T. 3ème Edition. De boeck, Bruxelles, 1049p.
- [8] Atkins and Jones, 2011. Principes de chimie. Traduction de la version anglaise par Pousse, A. 5ème édition. Deboek, Bruxelles, 792p.
- [9] Martell, A.E. and Smith, R.M. Critical stability constants, vol. 3-6. New York: Plenum, 1976-1989.
- [10] Ngenda, R., 2010. Etude de valorisation des rejets des usines à zinc de Kolwezi, R.D.C; Thèse de Doctorat. Université Libre de Bruxelles.
- [11] Tatangelo, A., 2006. Optimisation de la précipitation des métaux lourds en mélange et valorisation des boues d'hydroxydes – Application aux effluents de traitement de surfaces. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale supérieure des mines.
- [12] Thomas, F.-P., 2006. Précis de Physique-chimie. Bréal, Rome. 224p.
- [13] Philibert, J.; Vignes, A.; Bréchet, Y. and Combrade, P., 2013. Métallurgie du minerai au matériau. 2e Edition. Dunod, Paris. 1140p.
- [14] Mirgoux, O., 2007. Modélisation de la purification de l'aluminium liquide par procédé de flottation en cuve agitée. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.
- [15] Winand, R., 1982. Hydrométallurgie du cuivre – Etat actuel de la technique. Mémoires et Etudes scientifiques de la revue de métallurgie, p. 125-134.
- [16] Habashi, F., 1970. Principles of extractive metallurgy. Gordon and Breach, New-York.
- [17] Davids, G., 1987. Potentiel-pH diagrams and their application to hydrometallurgy system in separation processus in metallurgy, society of chemical industry, Chichester.
- [18] Charlot, G., 1983. Les réactions chimiques en solution aqueuse. 7ème Edition. Masson, Paris.
- [19] Bernard, M. and Busnot, F., 1978. Chimie générale et minière. Aide-mémoire. Dunod, Paris.
- [20] Pourbaix, M., 1963. Atlas d'équilibre thermodynamique à 25 °C. Gauthier Villars et Cie, Paris.
- [21] Charlot, G., 1963. L'analyse qualitative et les réactions en solution. Masson, Paris.