

Etude comparative des collecteurs (T3Y, AERO MX5149, FLOMIN C7160 et du melange KAX/MIXTURE RINKALORE10) sur les performances de la flottation du minerai du REMBLAI R022 de KZC

[Comparative study of collectors (T3Y, AERO MX5149, FLOMIN C7160 and KAX/MIXTURE RINKALORE10 mixture) on the performance of flotation of ore from KZC embankment R022]

Kyungu Lukomba Demers, Kaij Kanz Ntet Tony, Mwenge Kahinda Jhon, Mucaïl A. Mucaïl Teddy, Kashala Kapalola Jean Luc, Mutala Kabimbi Martin, and Kumwimba Masengo Clarisse

Commissariat Général à l'Energie Atomique, Ministère de la Recherche Scientifique, Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2025 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: GECAMINES often uses the minerals from the R022 embankment to feed the Kolwezi concentrator when there is a shortage of deposits.

The objective pursued is to make a comparative study of the collectors (T3Y, FlominC7160, AERO MX5149 and KAX/MixtureRinkalore10 mixture) on the flotation performances of the mineral from the R022 embankment rich in chrysocolla grading 3.23% copper and 1.6% cobalt at the concentrator.

Flotation tests were carried out using T3Y as a collector under the conditions of the reagents in use regime, at the end of which we have:

26.3% copper recovery yield with a content of 19.29% for the head concentrate and 73.8% copper recovery yield with a content of 6.99% for the rough concentrate with a rejection depletion of 0.98%.

So, these results constituted the reference conditions for our work.

Other tests were carried out to compare the performances of T3Y to FlominC7160 collectors, AEROMX5149 and KAX/MixtureRinkalore10 on the copper-cobalt ore of the R022 embankment.

It appears from the tests that the use of FlominC7160 gave good performances for copper. The best performance was deduced at the dose of 6 g/t with 50.2% copper recovery yield and a copper content of 28.21% for the head concentrate, 88.8% copper recovery yield with 12.49% copper content for the rough concentrate with a rejection depletion of 0.91%. The FlominC7160 collector therefore allowed good selectivity.

KEYWORDS: concentrator, flotation, collectors, reagents, performance, selectivity, copper, cobalt.

RESUME: La GECAMINES souvent à court de gisement utilise les minerais du remblai R022 pour alimenter le concentrateur de Kolwezi.

L'objectif poursuivi est de faire une étude comparative des collecteurs (T3Y, FlominC7160, AERO MX5149 et mélange KAX/MixtureRinkalore10) sur les performances de la flottation du minerai du remblai R022 riche en chrysocolle titrant en cuivre 3,23% et 1,6% en cobalt au concentrateur.

Des essais de flottation ont été effectués en utilisant le T3Y comme collecteur dans les conditions du régime des réactifs en usage, à l'issue desquels on a:

26,3% de rendement de récupération en cuivre avec une teneur de 19,29% pour le concentré de tête et 73,8% de rendement de récupération en cuivre avec une teneur de 6,99% pour le concentré ébauché avec un appauvrissement en rejet de 0,98%.

Ainsi donc ces résultats ont constitué les conditions de référence pour notre travail.

D'autres essais ont été réalisés en vue de comparer les performances du T3Y aux collecteurs FlominC7160, à l'AEROMX5149 et au KAX/MixtureRinkalore10 sur le minerai cuprocobaltifère du remblai R022.

Il ressort des essais que l'usage du FlominC7160 a donné des bonnes performances pour le cuivre. On a déduit la meilleure performance à la dose de 6 g/t avec 50,2% de rendement de récupération en cuivre et une teneur de 28,21% en cuivre pour le concentré de tête, 88,8% de rendement de récupération en cuivre avec 12,49% de teneur en cuivre pour le concentré ébauché avec un appauvrissement en rejet de 0,91%. Le collecteur FlominC7160 a donc permis une bonne sélectivité.

MOTS-CLEFS: concentrateur, flottation, collecteurs, réactifs, performance, sélectivité, cuivre, cobalt.

1 INTRODUCTION

Le concentrateur de Kolwezi (KZC) produit par flottation un concentré riche en cuivre et en cobalt titrant respectivement 18,2 % Cu et 2,8 % Co. Il est actuellement alimenté par du minerai provenant de la mine à ciel ouvert de KINGAMYAMBO ou des anciens remblais de la Gécamines en cas de non approvisionnement par la mine. La teneur de coupure est fixée à 2,5 % pour le Cu et 0,6 % pour le Co. Le concentré obtenu est directement expédié pour l'extraction du cuivre et cobalt aux usines hydrométallurgiques de Shituru à Likasi.

Plusieurs travaux ont été initiés par la Gécamines portant sur l'étude des conditions permettant d'améliorer la flottation des minerais stockés sous forme des remblais aux airs de stockage dans l'enceinte même de KZC. Ces différents remblais servent de tampon pour alimenter l'usine en cas d'absence de minerai pouvant être due au fait que la Gécamines est souvent à court de gisement bien connu pour son exploitation. C'est en vue de pallier à cette problématique que le Département de Contrôle d'Exploitation du concentrateur de Kolwezi a initié plusieurs études de traitements de ces remblais.

Outre les objectifs généraux (préparation de l'échantillon, caractérisation du minerai, détermination des doses optimales, etc.), l'objectif spécifique de notre étude réalisée au LABO/KZC est de faire une étude comparative de ces collecteurs sur les performances de la flottation du minerai de notre remblai et voir par la suite qui donnerait premièrement un meilleur concentré de tête et un bon rendement de récupération du cuivre comme métal principal suivie de celui du cobalt et deuxièmement voir le réactif qui pourrait le plus appauvrir le rejet en teneur cuivre à moins de 0,95 %.

L'intérêt de ce travail est de permettre enfin à KZC d'alimenter seul le remblai R022 riche en chrysocolle afin d'obtenir des concentrés riches en teneur cuivre avec de bons rendements de récupération.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 ECHANTILLONNAGE

L'échantillon sur lequel nous avons mené notre étude provient des carrières de MUSONOI, MUPINE, KOV et MUTOSHI stockés actuellement aux airs de stockage 022, c'est un minerais oxydé cuprocobaltifère et dont le remblai est indexé R022.



(1)

(2)

Fig. 1. Vue (1 et 2) des Air de stockage du remblai R022

En vue de réduire la masse de notre minerai, notre composite de 40 Kg a été fragmenté dans un concasseur à mâchoire ARBED puis tamisé sur un tamis de 8 mesh.

Avant de soumettre notre échantillon à la caractérisation c'est-à-dire à une analyse minéralogique, chimique et granulochimique, ce dernier a été homogénéisé par la méthode de quartage en utilisant un diviseur à riffles. L'échantillon ainsi obtenu après homogénéisation a été placé à l'étuve.

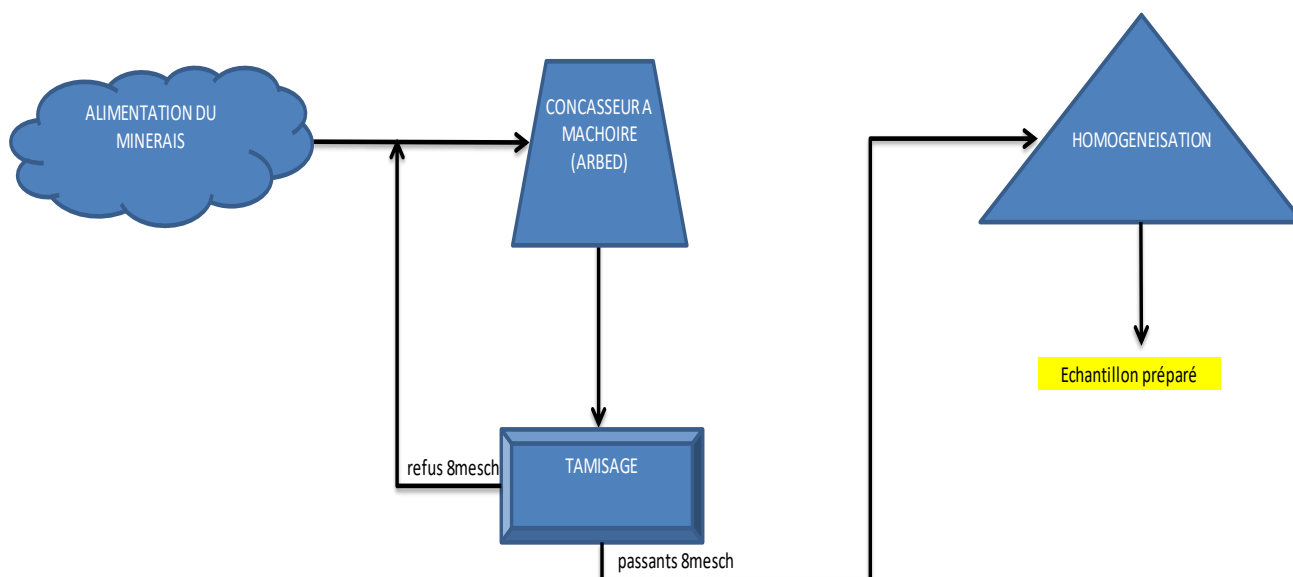


Fig. 2. Les différentes étapes pour l'obtention d'un échantillon au laboratoire

2.2 MATÉRIEL UTILISÉ

L'échantillonnage s'est fait en utilisant le matériel suivant:

- Une bêche;
- Un sac afin de porter l'échantillon;
- Un concasseur à mâchoires de type ARBED;
- Un tamis de 8mesh;
- Une balance électronique;
- Un diviseur pour l'homogénéisation de l'échantillon;
- Un Etuve



Fig. 3. (1) minerais alimenté au concasseur et (2) Passant au tamis de 8 mesh après concassage

2.3 CARACTERISATION DE L'ECHANTILLON

Après concassage les passants au tamis de 8mesh ont fait l'objet d'une série de caractérisation à savoir une analyse minéralogique, une analyse chimique, une analyse granulochimique et un test de broyabilité. Mais étant donné que pour la flottation on exige à KZC 30 % de refus au passant de 200 mesh un broyage sera effectué sur les passants du tamis de 8 mesh avant la caractérisation granulochimique.

2.3.1 ANALYSE MINÉRALOGIQUE

L'analyse minéralogique de l'échantillon effectuée par le Département d'Etudes Métallurgiques (EMT) de Likasi à l'aide du microscope stéréoscopique, révèle la présence des minéraux suivants:

- Comme minéraux de cuivre: une prédominance de Chrysocolle $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et la présence de la Malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})$;
- Comme minéral de cobalt: l'heterogénite $\text{CoO} \cdot 3\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CuO} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- Comme minéraux de gangue: le quartz, oxydes de fer, limonite, goetite, argile.

2.3.2 ANALYSE CHIMIQUE

2.3.2.1 MATÉRIEL UTILISÉ

Le but de l'analyse chimique est de déterminer les éléments constitutifs de l'échantillon et leurs proportions. Dans le cas du minerai de remblai R022 faisant l'objet de notre étude, l'analyse chimique a été effectuée par le laboratoire EMT/KZC en utilisant les appareils et matériels suivants:

- Un porte échantillon;
- Une spatule;
- Un bécher;
- Un diffractomètre à Rayons X;
- Un spectromètre d'absorption atomique.

2.3.2.2 RÉSULTATS D'ANALYSES

L'analyse de notre échantillon de minerai du remblai R022 a été réalisée grâce aux appareils vus dans la figure 4 et a révélé la présence des composés repris dans le tableau V.1 suivants.

Tableau 1. Analyse chimique complète de l'échantillon du remblai R022

Elément ou composé	Teneur	Elément ou composé	Teneur
Cu_{Tot}	3,23	CaO _{Tot}	3,26
Cu_{ox}	2,4	CaO _{Sol}	1,09
Co_{tot}	0,16	SiO ₂	71,1
MgO_{Tot}	2,22	Al ₂ O ₃	11,21
MgO_{Sol}	0,32	Fe _{Tot}	2,25



Fig. 4. *Diffractomètre des rayons X à gauche et le spectromètre d'absorption atomique à droite*

L'examen du tableau fournit les renseignements suivants:

- 74,30 % du cuivre total se présente sous forme oxydée ;
- En ce qui concerne la nature de la gangue de notre minerai, selon la classification Gécamines elle est de nature dolomitique. En effet, la relation ci-dessus permet de le confirmer compte tenu de la valeur du rapport $\%Cu_{Tot}/CaO_{sol}$ qui est de:
 $3,23/1,09 = 2,96 < 15$;

Sa gangue justifie le choix de la flottation par sulfuration qui sera notre cas.

2.3.3 DETERMINATION DU TEMPS DE BROyage DE L'ÉCHANTILLON

L'objectif de notre test de broyabilité est de fixer un temps de broyage nécessaire pour atteindre une granulométrie voulue, pour notre cas nous devons réduire notre minerai de -8mesh à une granulométrie d'un d_{70} de $75\mu m$ (200 mesh). Ce temps est déterminé à partir d'une courbe tracée à différents temps de broyage de passant au tamis de $75\mu m$.

2.3.3.1 MATÉRIEL UTILISÉ

- Broyeur à boulets du laboratoire ayant les caractéristiques suivantes:
 - vitesse de rotation: 123 tours/min;
 - longueur: 285 mm;
 - diamètre: 183 mm;
 - masse des corps broyants: 7 kg de boulets de diamètre compris entre 12,5 et 35 mm;
- Balance électronique;
- Chronomètre;
- Tamis de 200 mesh (S/ TYLER);
- Pans;
- Étuve.

Voici en image les quelques matériels utilisés lors de notre caractérisation au labo/KZC présentés ci-dessous.



Fig. 5. Matériel utilisé au laboratoire (chronomètre, broyeur à boulet, balance, étuve et pan)

2.3.3.2 MODE OPÉRATOIRE

- Peser 1000 g de minerai auxquels on ajoute 1000 ml d'eau dans le broyeur afin d'obtenir une dilution de 50/50;
- Exécuter plusieurs broyages à différents temps, dans le cas présent, les temps suivants ont été retenus: 0, 5, 10, 15 et 20 minutes;
- Tamise à la maille de 200 mesh la décharge du broyeur;
- Sécher et déterminer chaque fois le poids et le pourcentage de refus au tamis de 200 mesh;
- Tracer la courbe de broyabilité en portant en abscisse les différents temps de broyage et en ordonnées les pourcentages poids des refus à 200 mesh;
- Déterminer sur la courbe, le temps correspondant à 30 % de refus à 200 mesh donc faire correspondre l'ordonné à son abscisse.

2.3.3.3 RÉSULTATS D'ANALYSES

Le tableau, nous donne les résultats des essais de broyage et la figure nous donne sa représentation graphique.

Tableau 2. Résultats de l'étude de broyabilité de l'échantillon R022

Temps de broyage (minutes)	Poids d'alimentation(g)	Poids refus +200mesch(g)	Proportion de la fraction +200mesch
0	1000	700	70
5	1000	440	44
10	1000	290	29
15	1000	175	17,5
20	1000	105	10,5

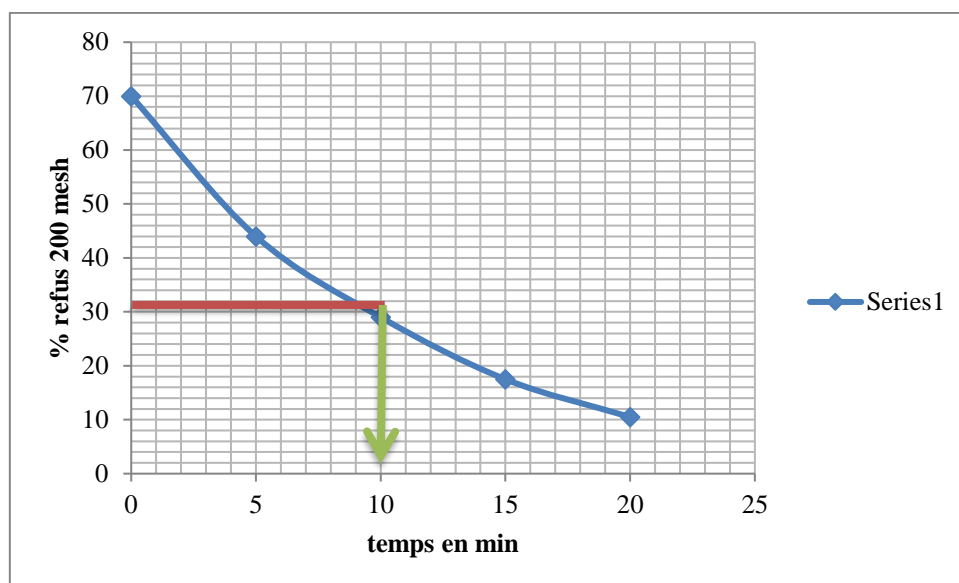


Fig. 6. Courbe de broyabilité de l'échantillon R022

En se référant à la figure V.6, il ressort de la courbe de broyabilité que le temps de broyage correspondant à 30 % de refus au tamis de 200 mesh est de 9 minutes et 45 secondes.

2.3.4 ANALYSE GRANULOCHIMIQUE DE L'ÉCHANTILLON

L'analyse granulométrique est définie comme étant la séparation d'un ensemble de particules en fonction de leur grosseur afin d'obtenir des ensembles de particules appelées fractions granulométriques; les fractions granulométriques ont été soumises à l'analyse chimique pour le cuivre et le cobalt. Le but poursuivi dans cette étude est de déterminer la répartition du cuivre et cobalt dans chaque fraction fine, moyenne ou grossière.

2.3.4.1 MATÉRIEL UTILISÉ

- Un jeu de tamis de la série de TYLER de 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200, 270 et 325 mesh;
- Un tamiseur de marque MACSLAB (ROTAPE);
- Une balance électronique de marque SARTORUIS;
- Une minuterie.

2.3.4.2 PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

- Peser 1000 g de minerai auxquels on ajoute 1000 ml d'eau dans le broyeur à boulets du laboratoire pour obtenir une pulpe à dilution dans le rapport 1/1;
- Exécuter le broyage pendant 9 minutes et 44 secondes;
- Tamiser la pulpe sur un tamis de 325 mesh (45 μ m);
- Sécher les refus et les passants de 45 μ m obtenus dans l'étuve durant 24 h;
- Tamiser les refus de 45 μ m sur le ROTAPE en utilisant le jeu de 9 tamis;
- Mêler la fraction de -45 μ m obtenue par tamisage sur le rotape avec les passants de 45 μ m préalablement séché à l'étuve;
- Peser les poids des refus des différents tamis et déterminer leurs proportions en pourcentage;
- Faire analyser les métaux cuivre et cobalt de chaque fraction granulométrique;
- Calculer les répartitions.



Fig. 7. (a) Tamisage des refus de 45µm sur le rotape et (b) Tamisage à l'eau

2.3.4.3 RÉSULTATS D'ANALYSES

Les résultats d'analyse granulochimique de notre minerai sont repris dans le tableau 3.

Tableau 3. Analyse granulochimique du minerai du remblai R022

Tamis (mesh)	Masse(g)	Masse(%)	CUIVRE		COBALT	
			Teneur	Répartition	Teneur	Répartition
+28	5	0,51	4,26	0,70	0,18	0,59
-28 +35	5	0,51	2,58	0,42	0,22	0,72
-35 +48	10	1,02	2,55	0,84	0,25	1,64
-48 +65	55	5,61	2,45	4,46	0,2	7,22
-65 +100	35	3,57	2,63	3,05	0,18	4,13
-100 +150	105	10,71	2,9	10,09	0,16	11,03
-150 +200	105	10,71	3	10,44	0,16	11,03
-200 +270	130	13,26	2,93	12,63	0,14	11,95
-270 +325	30	3,061	2,6	2,58	0,12	2,36
-325	500	51,02	3,3	54,72	0,15	49,27
Alim	980	100		100		100

Au vu des résultats consignés dans le tableau IV.3, les commentaires suivants peuvent être formulés:

- environ 29 % de cuivre et 36 % de cobalt sont contenus dans la fraction supérieur à 200 mesh.
- environ 15,18 % de cuivre et 14,26 % de cobalt se retrouvent dans la fraction -200 +325 mesh;
- et 54,72 % de cuivre et 49,27 % de cobalt sont compris dans la fraction -325 mesh.

2.3.5 INVENTAIRE DES MOYENS UTILISES POUR LES ESSAIS DE FLOTTATION

2.3.5.1 MATÉRIEL UTILISÉ

Pour l'accomplissement des essais de flottation, on a employé les matériels suivants:

- Une machine de flottation de laboratoire de marque DENVER;
- Un broyeur à boulet;
- Une étuve;
- Des pans pour recueillir la mousse chargée des particules;
- Une raclette en caoutchouc;
- Une balance électronique;

- Un chronomètre;
- Un erlen meyer;
- Des pipettes;
- Des seringues de 1cc, 2cc, 5cc et 10cc;
- Des emballages 0.5.

2.3.5.2 RÉACTIFS UTILISÉS

Les réactifs cités ci-dessous ont été utilisés lors de nos essais en campagne de sulfuration:

- Le nahs: Le sulfhydrate de sodium, qui est un agent sulfurant préparé à une concentration de 240 g/l.

Le calcul de la dose se fait comme suit: (% Cu + % Co) x 800 g/t

- Le T3Y: Collecteur composé du KAX à 80%, du Tall oil à 10% et du Rinkalore à 10%, préparé à une concentration de 55 g/l.

Le calcul de la dose:

$$\frac{\text{dose NaHS} \left[\frac{g}{t} \right]}{8}$$

- La mixture rinkalore10: c'est le second collecteur. Il s'agit d'un collecteur à longue chaîne qui va jouer sur la récupération. Elle est préparée à 10 % dans l'eau sous émulsion et elle comprend: 73 % rinkalore10, 24 % Gasoil et 3 % tall oil.
- La mixture dolomitique: collectrice d'appoint composé du Gasoil à 70% et du Rinkalore à 30%, préparé à une concentration de 860 g/l.

Le calcul de la dose:

$$\frac{T3Y \left[\frac{g}{t} \right]}{2}$$

- Le senfroth G41: agent moussant préparé à une concentration de 900g/l.

Le calcul de la dose G41:

$$\frac{\text{Dose M.D} \left[\frac{g}{t} \right]}{2}$$

- Le silicate de sodium: agent jouant 2 rôles de dispersant pour les fines particules et déprimants pour la gangue, préparé à une concentration variant entre 100 et 300 g/l.
- Le Booster: agent activant de cobalt, préparé à 50 g/l.
- La mixture rinkalore10: acides gras utilisé comme une mixture composé de Rinkalore à 75 % et du Gasoil à 25 % stabilisée par du carbonate de sodium.
- Flomin C7160: collecteur huileux de allyl amyl xanthate ester / isopropyl ethyl thionocarbamate, sont des excellents collecteurs pour the metallic copper, molybdenite et sulfidized base metal oxides.
- AERO MX5149: collecteur huileux de thionocarbamate modifié, elle est prise comme collecteur principale en remplaçant les xanthates, elle donne des biens meilleurs résultats lorsque les grains sont bien broyés.

Vues les faibles quantités de réactifs à utiliser au laboratoire il est commode de convertir les quantités des doses en volume de solution de réactif. Pour les réactifs utilisés en solution, la conversion des quantités en volume de solution se fait à l'aide de la formule suivante:

$$V = \frac{m.C1}{10.C2}$$

Avec:

- V: volume de la solution du réactif [ml];
- m: masse de minerai à flotter [kg];

- C1: masse en gramme de réactif à utiliser pour traiter une tonne de minerai [g/t];
- C2: concentration en pourcentage pondéral du réactif considéré dans sa solution de laboratoire [%].

Par exemple, pour la flottation au laboratoire de 1 kg de minerai, 10 g/t de AERO MX5149 correspondant à un volume V de la solution de AERO MX5149 à 100 % est égal à:

$$V = \frac{1 \times 10}{10 \times 100} = 0.01 \text{ ml} = 10 \text{ } \mu\text{l}$$

2.3.5.3 MODE OPÉRATOIRE

Voici la procédure que nous avons suivie pour nos essais:

- Peser 1000 g de l'échantillon et le placer dans le broyeur à boulet;
- Ajouter 1 litre d'eau et 7 kg des corps broyant dans le broyeur à boulet;
- Réaliser le broyage humide pendant 9 min et 45 sec;
- Recueillir la pulpe dans la cellule de flottation;
- Réaliser la flottation dans les conditions précises des tests élaborés comme suit;
- Ajouter les réactifs tout en observant le temps de conditionnement nécessaire pour un mélange homogène. Ce temps est de 5 minutes;
- Admettre de l'air après le conditionnement pour recueillir la mousse. La flottation se fait pendant 6 minutes.
- Ajuster le pH autour de 9;
- On récupère la première fraction après 30 secondes; la deuxième fraction après 90 secondes et la troisième fraction après 4 minutes;
- Le rejet est recueilli en fin de flottation puis il est séché pour analyse. Il en est de même pour les différentes fractions et;
- Après séchage, les solides sont pesés avant de prélever les échantillons pour analyse.

Nos essais de flottation se sont réalisés suivant le schéma représenté à la figure 8 ci-dessous.

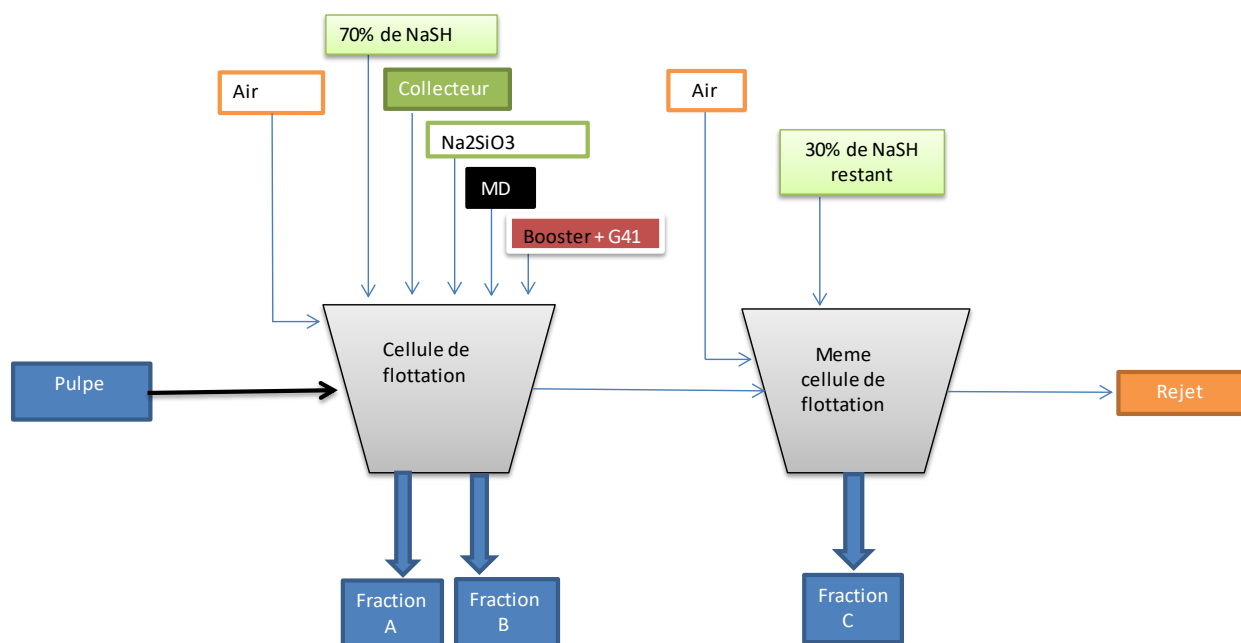


Fig. 8. Schéma des essais de flottation

Voici, ci-dessous, la figure 9 qui représente en image le déroulement d'un essai de flottation.



Fig. 9. Essai de flottation avec le denver

3 RESULTATS

3.1 PRESENTATION DES ESSAIS

Notre travail est une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, du Flomin C7160, de l'AERO MX5149 et du rapport KAX/RINKALORE10 utilisés comme collecteur sur la flottation d'un minerai oxydé cuprocobaltifère du remblai R022 alimenté seul.

Partant de cela, nos essais de flottation ont été réalisés suivants la méthodologie ci-après:

1. Le tout premier essai de flottation (essai de référence) a été réalisé dans les conditions d'usine du concentrateur de Kolwezi avec le T3Y comme collecteur,
2. La deuxième série d'essais de flottation a été réalisé dans le but de vérifier et de déterminer la dose optimale des différents réactifs de flottation avec le T3Y comme collecteur,
3. La troisième série d'essais est une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, du FlominC7160, de l'AERO MX5149 et du rapport KAX/RINKALORE10 utilisé comme collecteur pour la flottation. Et l'un des objectifs visés étant également d'avoir un rejet inférieur à 95% de cuivre.

Pour cela on a effectué: la détermination de la dose optimale du FlominC7160; la détermination de la dose optimale de l'AERO MX5149 et la détermination de la dose optimale du mélange KAX/RINKALORE10 (KAX/MR10).

Toutefois il faudra noter que la proportion du mélange KAX/MR10 à varier dans ces rapports 50/50, 75/25 et 25/75.

Pour se faire, nous avons retenus deux types de critères pour l'évaluation des résultats des essais de flottation, à savoir: la teneur en Cuivre et Cobalt du concentré ainsi que le rendement de récupération du Cuivre et du Cobalt.

3.2 PREMIERE SERIE D'ESSAI (ESSAI DE REFERENCE)

3.2.1 DOSE

Les conditions initiales sont les suivantes:

- Densité pulpe: 1300;
- Granulométrie: $d_{70} = 74$ microns;
- Temps de conditionnement: 5 minutes.

Les doses des réactifs sont les suivantes:

C'est sur base de la dose de NaHS que l'on détermine la proportion des autres réactifs à l'exception du silicate et booster.

$$\text{NaHS} = (\% \text{Cu} + \% \text{Co}) \times 800 = (3,23 + 0,16) \times 800 = 2712 \text{ g/t}$$

La suite des doses des réactifs est reprise dans le tableau qui suit:

Tableau 4. Dose des réactifs aux conditions standards d'usine

Réactif	Proportion par rapport au NaHS	Dose g/t
T3Y	$\frac{\text{Dose NaHS}}{8}$	339 g/t
Mixture dolo	$\frac{\text{Dose T3Y}}{2}$	169 g/t
G41	$\frac{\text{Dose Mixture dolo}}{2}$	84,75 g/t
Silicate		200 g/t
Booster		40 g/t

3.2.2 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau VI.2:

Tableau 5. Synthèse de résultat métallurgique aux conditions standard de l'usine

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT	
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)
KL-1	Conc de tete	19,29	26,3	0,31	7,5
	Conc éb	6,99	73,83	0,22	42,33

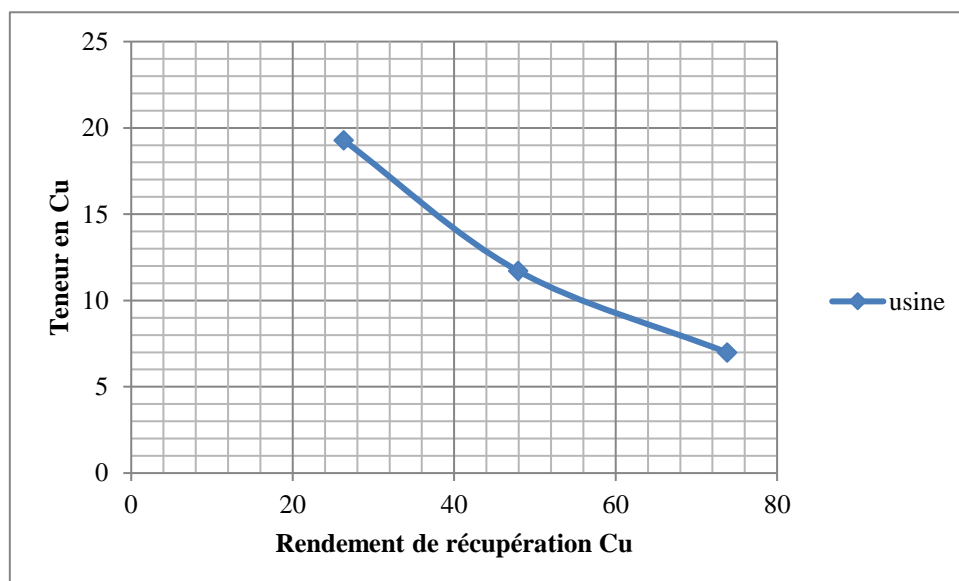


Fig. 10. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre aux conditions standards de l'usine

En examinant la figure et tableaux ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Les résultats de cet essai montrent que nous avons atteint pour le concentré de tête un rendement de récupération de 26,3 % avec une teneur en cuivre de 19,29 % et nous avons atteint pour le concentré ébauché un rendement de récupération de 73,8 % avec une teneur en cuivre de 6,99 %.
- Une analyse minéralogique des rejets (voir annexe) indique pour le cuivre une forte proportion de chrysocolle suivi de la malachite et pour le cobalt de l'hétérogonite avec le quartz, l'oxyde de fer, la goéthite comme minéral de la gangue.
- La forte proportion de chrysocolle dans les rejets indique que le minéral n'a pas flotté correctement et le cuivre présent dans le concentré pourrait être en majorité celui sous forme de malachite, ceci confirme que la chrysocolle flotte réellement mal et c'est pourquoi le remblai r022 n'est jamais alimenté seul.

3.3 DEUXIEME SERIE D'ESSAI DE FLOTTATION

La deuxième série d'essai de flottation a été réalisée dans le but de vérifier et de déterminer la dose optimale des différents réactifs de flottation avec le T3Y comme collecteur.

3.3.1 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DE T3Y

Une série de trois essais ont été effectués à différentes doses du T3Y (0, 200 et 300 g/t). Les doses du NaHS, du Silicate et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t, 200 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t; les résultats métallurgiques sont donnés dans le tableau avec illustration graphique sur les figures qui suivent:

Tableau 6. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose T3Y

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(T3Y)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-9	Conc de tête	7,56	15	0,18	6,5	0g/t
	Conc éb	5,77	38,9	0,19	22,6	
KL-10	Conc de tête	12,74	28,7	0,24	10,9	200g/t
	Conc éb	7,33	73,1	0,22	43,5	
KL-11	Conc de tête	13,5	28	0,24	10,1	300g/t
	Conc éb	7,85	72,2	0,23	43,4	

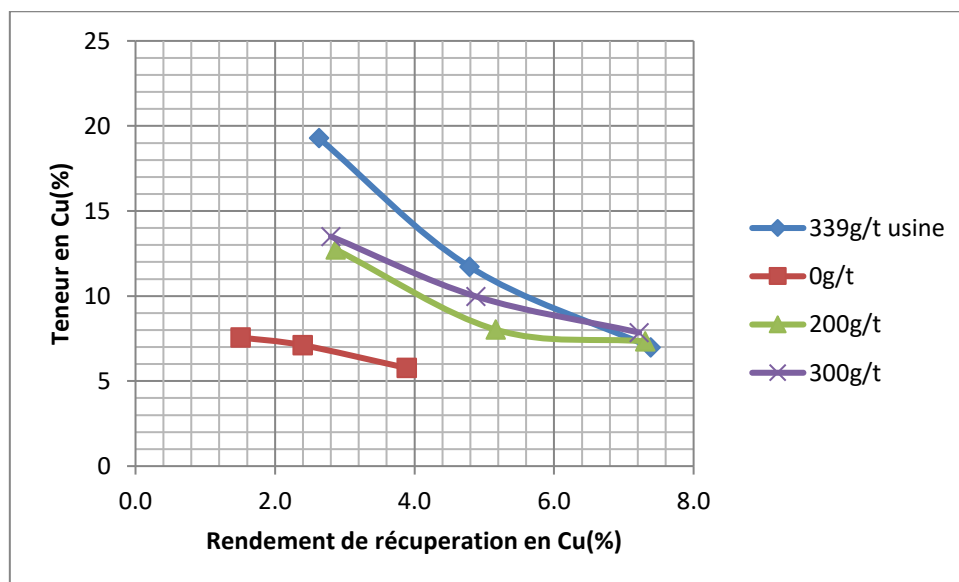


Fig. 11. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose de T3Y

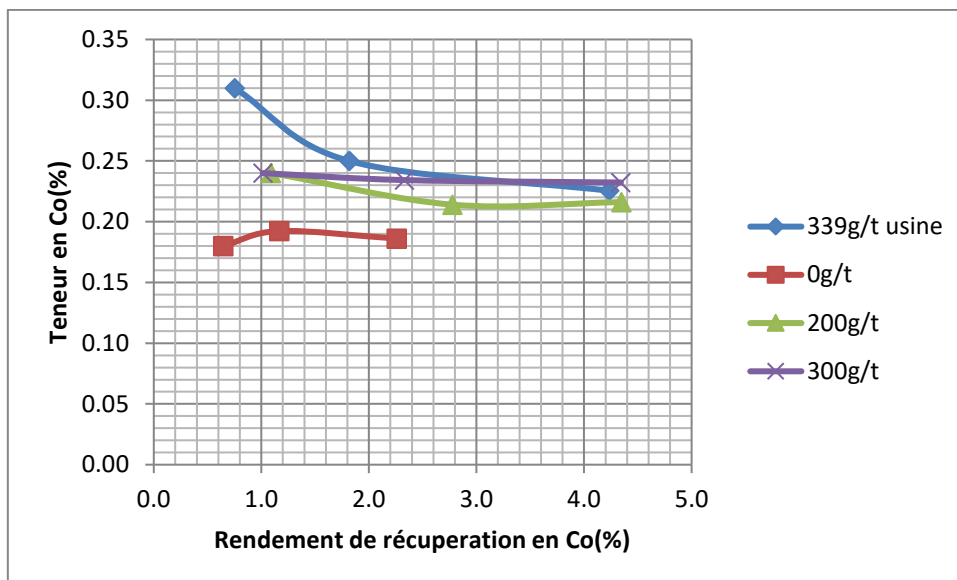


Fig. 12. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose de T3Y

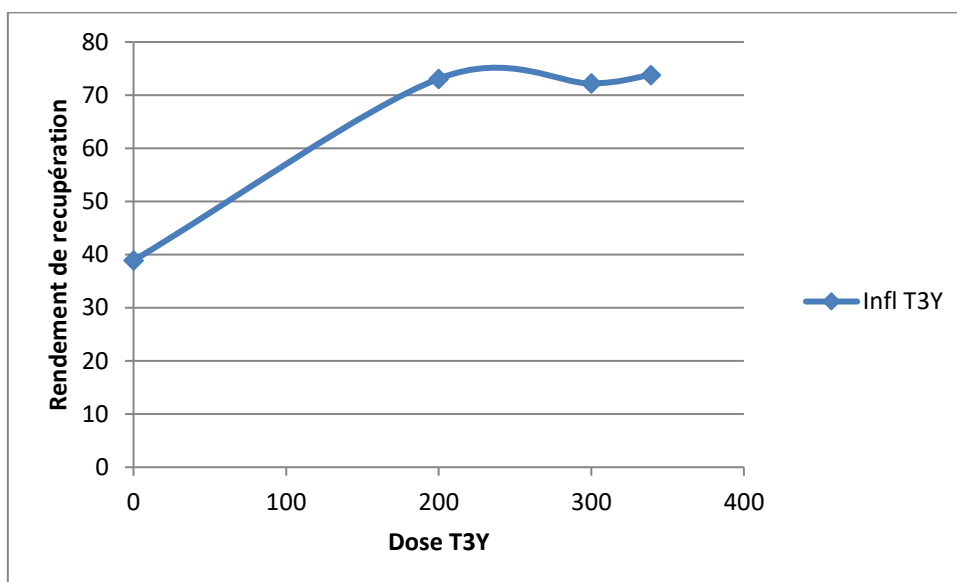


Fig. 13. Influence de la dose T3Y en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Par rapport à la courbe de sélectivité on constate que l'ajout du collecteur, étant donné que les doses choisies sont plus basse que celle que nous devons avoir avec la correspondance de la quantité de NaHS on a une influence positive sur les performances métallurgiques.

A 339 g/t on a atteint la valeur optimale et en deçà de 339 g/t l'allure décroissante de la courbe serait peut-être due au fait qu'en deçà de la dose nécessaire le déficit de la dose réduit ainsi la récupération des minéraux utiles.

- Les figures montrent que la qualité du concentré est améliorée avec l'augmentation de la dose du T3Y jusqu'à la dose de 339 g/t. Comme les meilleures performances métallurgiques sont obtenues à 339 g/t de T3Y, nous avons donc retenu cette dose comme étant optimale.

3.3.2 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DE L'AERO MX5149 COMME COLLECTEUR PRINCIPALE

Cinq essais ont été réalisés pour voir l'influence sur la flottation de l'AERO MX5149 aux doses suivantes: 20 g/t, 40 g/t, 60 g/t, 80 g/t et 100 g/t. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t. Le tableau VI.7 repris ci-dessous nous donne la synthèse des résultats métallurgiques obtenus au cours de nos cinq essais de flottation.

Tableau 7. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose de l'AERO MX5149

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(MX)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-12	Conc de tête	9,34	11,2	0,22	3,8	20g/t
	Conc éb	4,3	53,5	0,16	29,6	
KL-13	Conc de tête	21,54	20,5	0,38	7,2	40g/t
	Conc éb	7,21	65,1	0,23	41,4	
KL-14	Conc de tête	19,44	29,7	0,25	7,5	60g/t
	Conc éb	6,94	69,9	0,18	36,2	
KL-15	Conc de tête	11	21	0,22	8,8	80g/t
	Conc éb	5,67	70,4	0,17	44,2	
KL-16	Conc de tête	21,54	19	0,38	7,1	100g/t
	Conc éb	7,04	71,3	0,23	48,9	

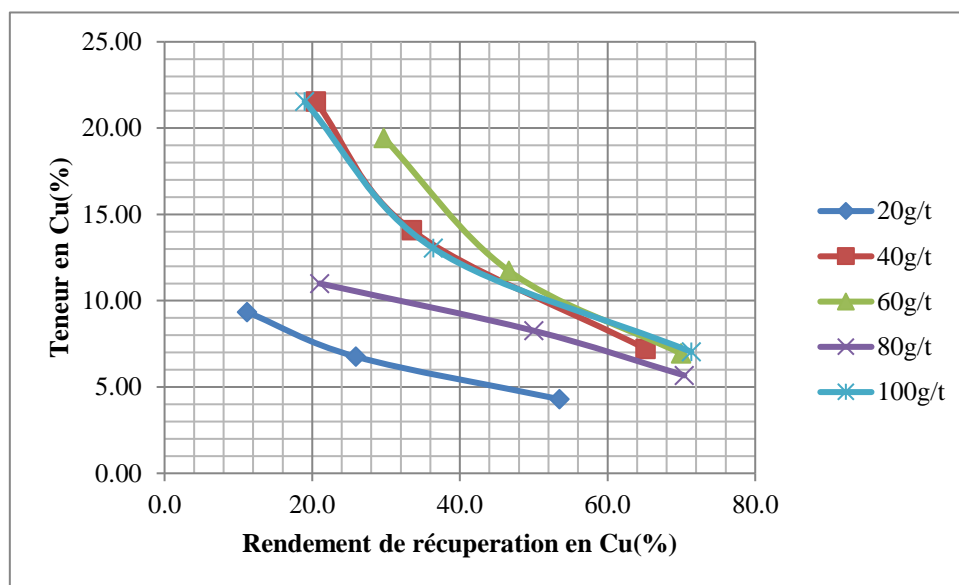


Fig. 14. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose de l'AERO MX5149

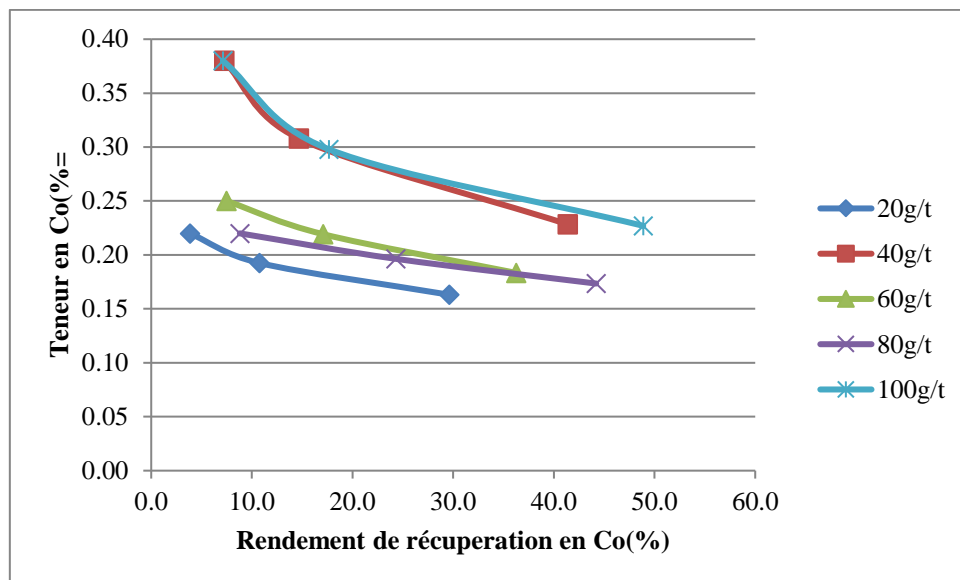


Fig. 15. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose de l'AERO MX5149

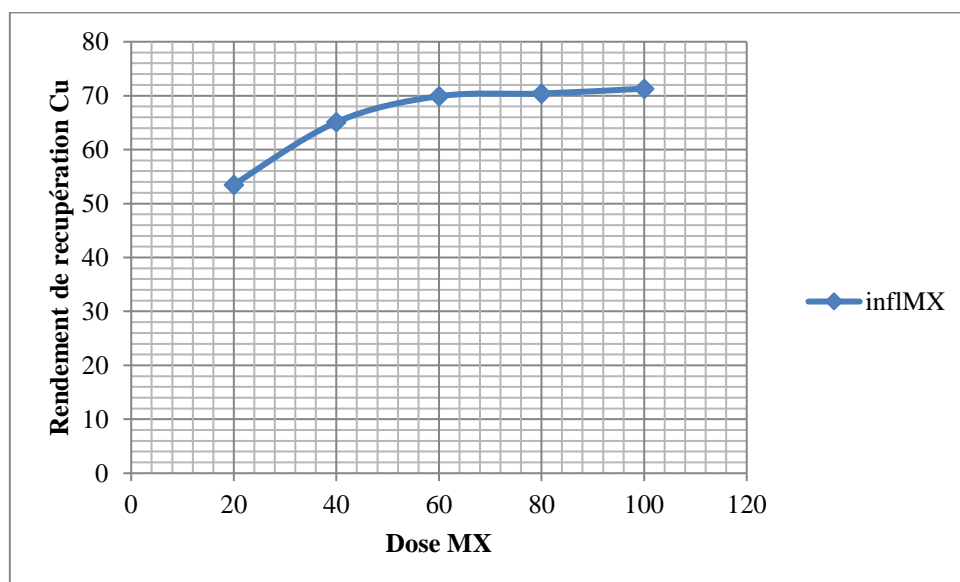


Fig. 16. Influence de la dose de l'AERO MX5149 en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- L'allure de la courbe représentant le rendement de récupération de nos cinq essais en fonction de la dose nous indique une évolution croissante du rendement de récupération du cuivre au fur et à mesure de l'ajout du collecteur.
- Le collecteur est le réactif principal de la flottation, on l'utilise généralement en faible quantité car on utilise essentiellement la dose nécessaire pour la formation d'une couche mono moléculaire sur la surface des particules. Une concentration trop élevée du collecteur tend à flotter les autres minéraux réduisant sa sélectivité et augmentant le coût de production. Pour constater l'utilisation d'une dose excessive de l'aero mx5149 l'allure de la courbe aurait atteint un optimum et serait décroissante après cet optimum. Les doses retenues pour nos essais ne nous permettent pas de dire qu'à 100 g/t nous avons atteint cet optimum.
- L'essai réalisé à 100 g/t de l'aero mx5149 fournit les meilleurs résultats de cette série d'essai, elle se traduit par une légère augmentation du concentré de tête de cuivre (de + 2 %) mais une baisse excessive du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de 7 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC.

3.3.3 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DU FLOMINC7160 COMME COLLECTEUR PRINCIPAL

Cinq essais ont été réalisés pour voir l'influence sur la flottation du Flomin C7160 aux doses suivantes: 2 g/t, 4 g/t, 6 g/t, 8 g/t et 10 g/t. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t. Le tableau VI.8 repris ci-dessus nous donne la synthèse de résultats métallurgiques obtenus au cours de nos cinq essais de flottation.

Tableau 8. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose du FlominC7160

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(FloM)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-17	Conc de tête	14,99	30,8	0,27	10,9	2 g/t
	Conc éb	5,40	69,9	0,19	47,9	
KL-18	Conc de tête	24,64	31,4	0,26	6,3	4 g/t
	Conc éb	7,85	73,8	0,21	37,4	
KL-19	Conc de tête	28,21	50,2	0,35	16,2	6 g/t
	Conc éb	12,49	88,8	0,26	48,9	
KL-20	Conc de tête	27,87	31,5	0,47	11,4	8 g/t
	Conc éb	8,56	67,6	0,26	45	
KL-21	Conc de tête	25,91	16,6	0,26	3,6	10 g/t
	Conc éb	8,47	69,4	0,21	37,3	

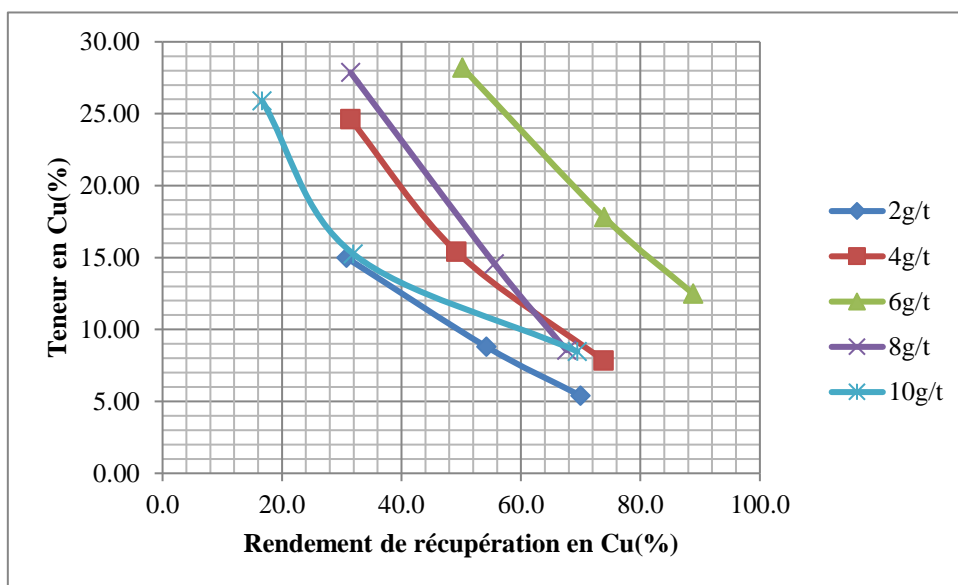


Fig. 17. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du Flomin C7160

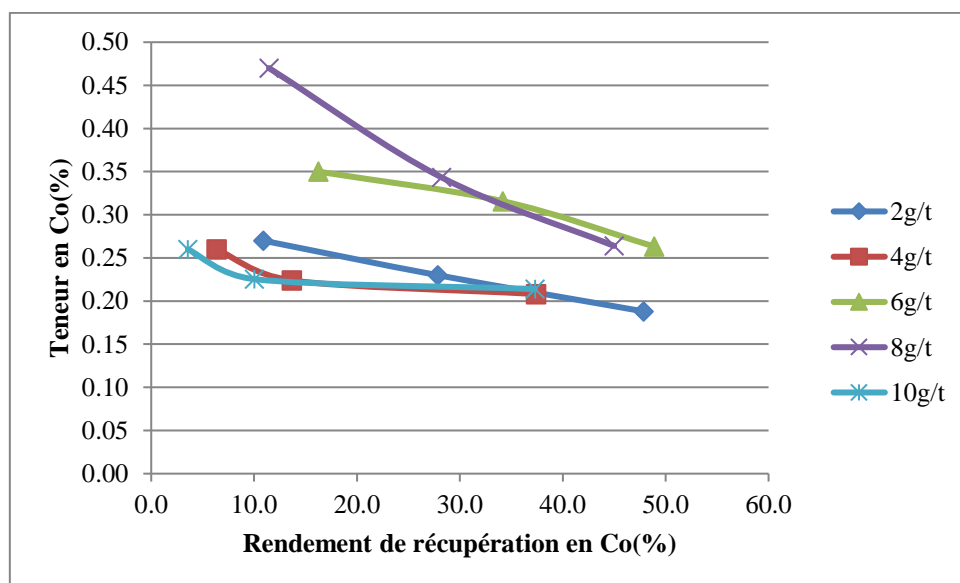


Fig. 18. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose du Flomin C7160

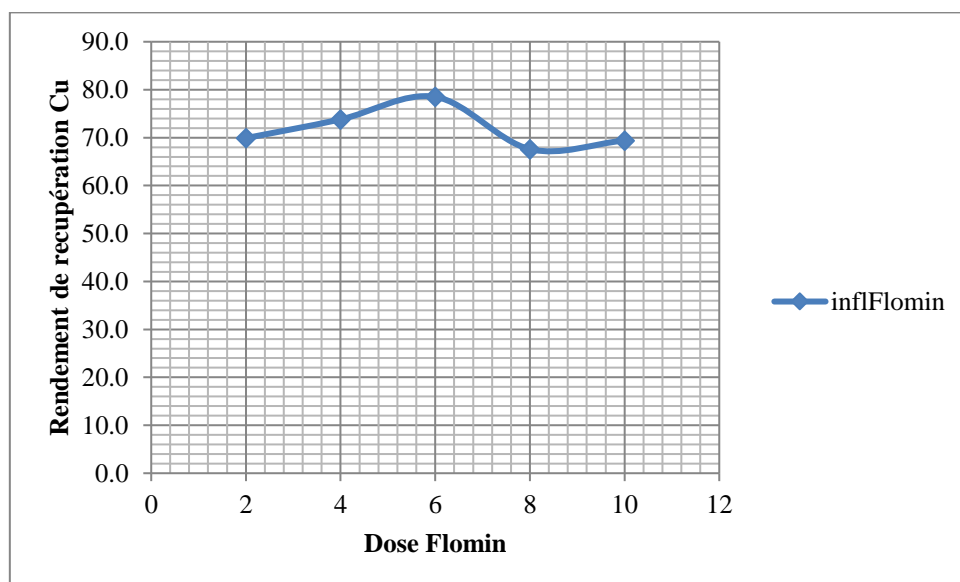


Fig. 19. Influence de la dose du Flomin C7160 en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- L'allure de la courbe du rendement de récupération en fonction de la dose indique que dans la gamme de 2 à 6 g/t, l'allure est en augmentation et atteint un optimum à 6 g/t et qu'après cet optimum l'allure est décroissante.
- Une telle allure pourrait s'interpréter par le fait qu'au-delà de 6 g/t nous atteignons une concentration trop élevée du collecteur, une des conséquences de l'excès du collecteur est celle d'avoir tendance à flotter d'autres minéraux et ainsi réduire la sélectivité et augmenter le coût de production.
- L'analyse des différentes courbes de sélectivité obtenue aux différentes doses de Flomin C7160 comme collecteur indique pour le cas d'ébauchage que le meilleur résultat métallurgique en termes de récupération est obtenu à une dose de 6 g/t au-delà de laquelle la dose du collecteur semble être en excès.
- Il y a une amélioration des performances métallurgiques sur la sélectivité du cuivre, on déduit que l'essai réalisé à 6 g/t de Flomin C7160 fournit les meilleurs résultats de cette série d'essai, elle se traduit par une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 8,92 % et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 23,9 % pour le concentré ébauché on a constaté également une augmentation du concentré ébauché de + 5,5 % et du rendement de

récupération de l'ordre de + 14,97 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC.

3.3.4 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DU RAPPORT KAX/MR10 COMME COLLECTEUR PRINCIPAL

Cette série d'essais a été effectuée avec le mélange des collecteurs à savoir xanthate et acides gras (KAX et Mixture Rinkalore10) dans certaines proportions à savoir: 75/25, 50/50 et 25/75, et cela, en vue de chercher à améliorer les performances métallurgiques de la flottation par rapport aux conditions de référence. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t; les résultats métallurgiques sont donnés dans le tableau avec illustration graphique sur les figures ci-dessous.

Le tableau VI.9 indique les proportions pondérales des mélanges de collecteurs xanthate/acides gras (KAX/Mixture Rinkalore10) soumises à l'essai.

Tableau 9. Proportions pondérales des collecteurs dans les mélanges testés

KAX (g/t)		300	300	300
Proportion KAX/MR10(%)		75/25 (5)	50/50 (1)	25/75 (0,33)
Mixture Rinkalore10 (g/t)		100	300	900
Composition Mixture Rinkalore10				
Rinkalore10 (g/t)	75%	75	225	675
Gasoil (g/t)	25%	25	75	225

Hormis la variation des doses de collecteurs KAX/mixture Rinkalore10 telle que renseignée ci-avant, tous les autres réactifs ont été utilisés aux mêmes doses que dans les essais de référence.

La synthèse des résultats obtenus en utilisant comme collecteur est consignée dans le tableau 10.

Tableau 10. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose du mélange KAX/MR10

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE (KAX/MR10)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-23	Conc de tête	20,52	11,5	0,32	3,4	75/25
	Conc éb	4,22	74,2	0,20	67,7	
KL-24	Conc de tête	27,2	34,5	0,52	15,7	50/50
	Conc éb	9,34	82,9	0,27	56,4	
KL-25	Conc de tête	24,53	35,4	0,52	19,1	25/75
	Conc éb	9,83	81,2	0,27	56,7	

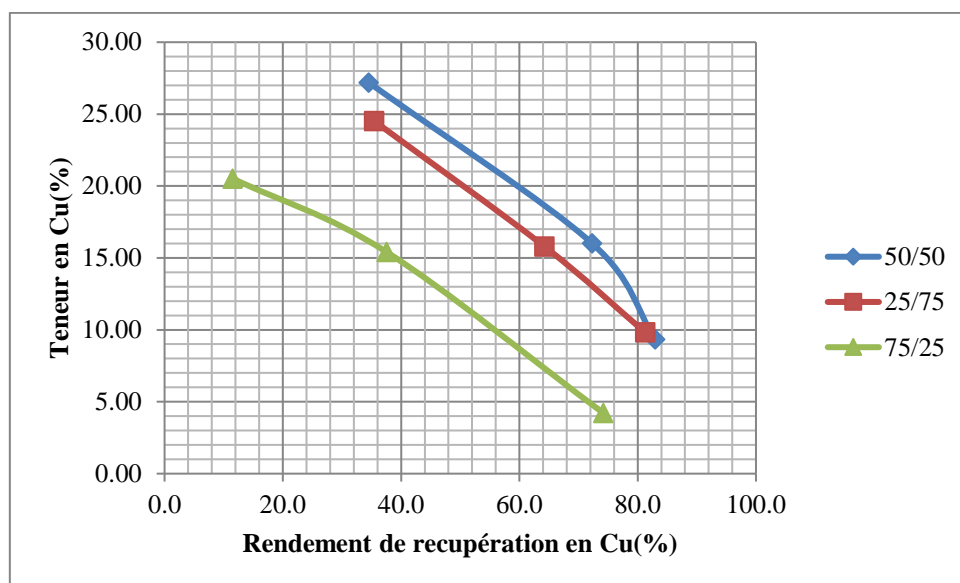


Fig. 20. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du KAX/MR10

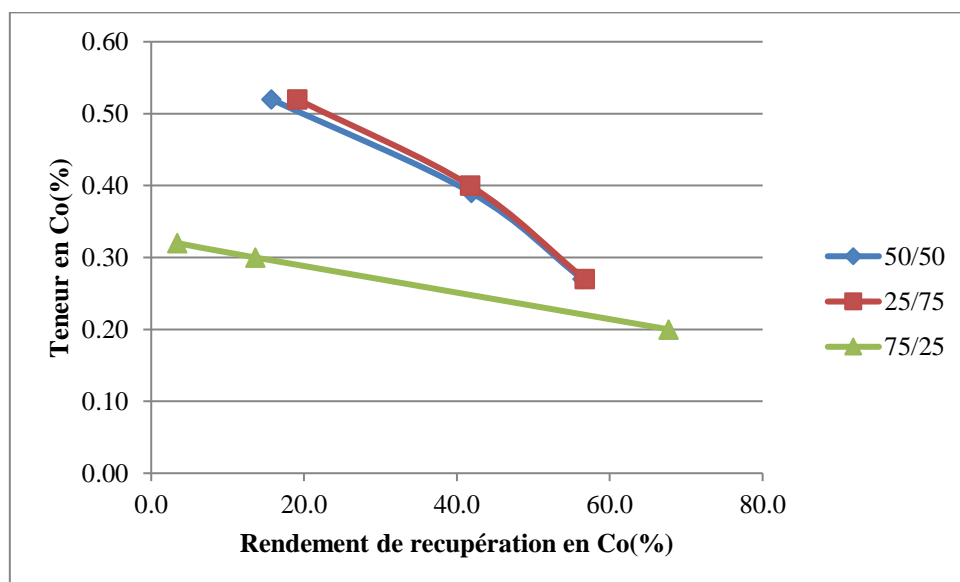


Fig. 21. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du KAX/MR10

Les résultats du tableau ci-dessus ainsi que les figures montrent que l'effet de synergie semble plus prononcé aux proportions KAX/Mixture Rinkalore10 de 50/50 où l'obtient une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête (+ 7,91 %) et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 8,2 % par contre pour le concentré ébauché on a une légère augmentation du concentré ébauché (+ 2,35 %) et une augmentation du rendement de récupération de l'ordre de + 9,07 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC. Et sur le plan pratique, cela se traduit par la formation d'une mousse coulante abondante et chargée aux fractions de tête, et une mousse épaisse et blanchâtre dans la dernière fraction; signe d'un épuisement poussé (Kanda, 2012).

Nous retenons dans cette partie que pour les trois séries d'essais d'optimisation de la dose de Flomin C7160, de l'AERO MX5149 et du mélange KAX/Mixture Rinkalore10 qui ont été réalisées, il s'est avéré par les résultats obtenus qu'on doit établir une synthèse de tous ces résultats afin de déterminer celui qui aurait répondu à nos objectifs.

3.3.5 SYNTHESE DES MEILLEURS RESULTATS DES DIFFERENTS ESSAIS

En examinant les essais de flottation ayant donné les meilleurs résultats pour la série des essais d'optimisation avec le T3Y (condition de référence), et des essais d'optimisation avec l'AERO MX5149, le Flomin C7160 et le mélange KAX/Mixture Rinkalore10; on a le tableau suivant:

Tableau 11. Meilleurs résultats obtenus pour les essais avec le T3Y (KL-1), avec l'AERO MX5149 (KL-16), avec le Flomin7160 (KL-19) et avec le mélange KAX/MR10 (KL-23)

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT	
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)
KL-1	Conc de tête	19,29	26,3	0,31	7,5
	Conc éb	6,99	73,83	0,22	42,33
KL-16	Conc de tête	21,54	19	0,38	7,1
	Conc éb	7,04	71,3	0,23	48,9
KL-19	Conc de tête	28,21	50,2	0,35	16,2
	Conc éb	12,49	88,8	0,26	48,9
KL-23	Conc de tête	27,2	34,5	0,52	15,7
	Conc éb	9,34	82,9	0,27	56,4

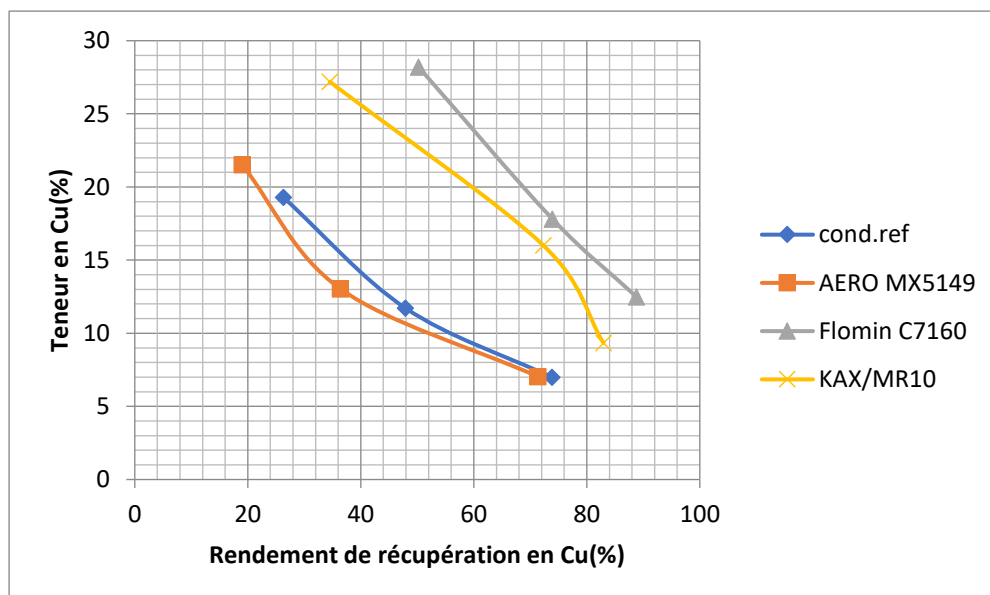


Fig. 22. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre de chaque meilleur résultat

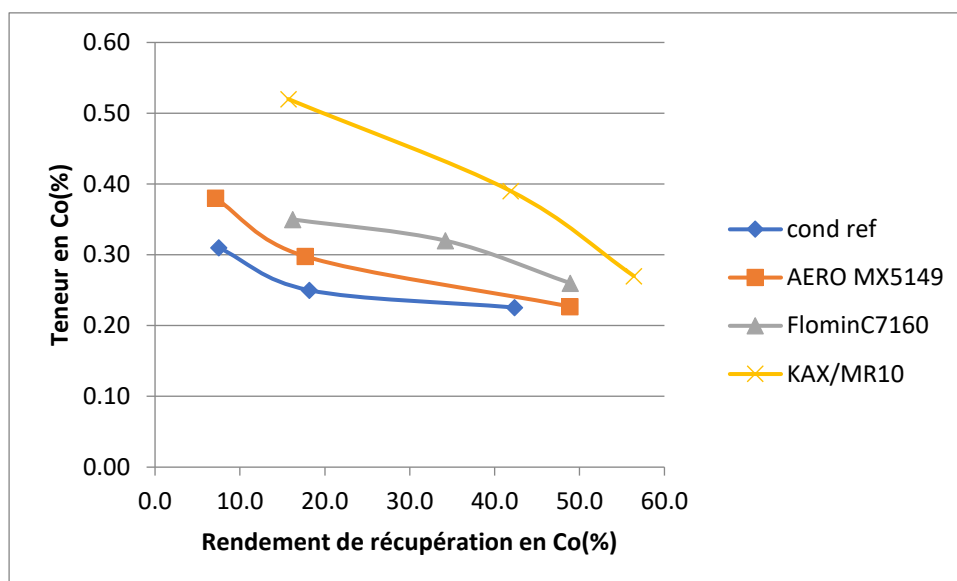


Fig. 23. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre de chaque meilleur résultat

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Le T3Y nous donne des moins bonnes performances métallurgiques par rapport à l'utilisation d'autres collecteurs, on a des bonnes teneurs en cuivre mais pour de rendement de récupération faible pour un rejet de 1,13 %.
- L'aero MX5149 nous offre une nette amélioration sur les performances métallurgiques, on remarque une légère amélioration sur la sélectivité du cuivre et une amélioration considérable sur la sélectivité du cobalt comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 1,55 %.
- Le flominc7160 nous offre une excellente amélioration sur les performances métallurgiques que celle de l'aero MX5149, on remarque une très bonne sélectivité du cuivre comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 0,91 %.
- Le mélange KAX/MR10 nous donne aussi une très bonne amélioration des performances métallurgiques sur la sélectivité du cuivre que celle de l'aero MX5149, et donnant aussi une très bonne sélectivité du cobalt comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 0,93 %.

4 CONCLUSION GENERALE

Dans notre travail, il a été question de faire une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, de l'AERO MX5149, du FlominC7160 et du mélange KAX/Mixture Rinkalore10 utilisé comme collecteur sur le minerai oxydé cuprocobaltifère du remblai R022 à prédominance de la chrysocolle.

La caractérisation de notre échantillon a montré qu'il titre en cuivre et cobalt respectivement 3,23 % et 0,16 %. Il est constitué en majeure partie de la chrysocolle, de la malachite et de l'hétérogénite comme minéraux utiles et le quartz, les oxydes de fer, la limonite, la goéthite ainsi que l'argile comme minéraux de gangue, ensuite il a été soumis aux essais de flottation par sulfuration.

Le tout premier essai de flottation a été réalisé dans les conditions d'usine du concentrateur de Kolwezi. Le but était de maintenir ce premier résultat comme référence pour la suite de nos essais, et les résultats obtenus sont les suivants:

- Dose des réactifs maintenues: 2712 g/t pour le NaHS, 339 g/t pour le T3Y, 169,5 g/t pour le MD, 84,75 g/t pour le G41, 200 g/t pour le Na_2SiO_3 et 40 g/t pour le booster;
- Les teneurs dans le concentré de tête ont été de 19,29 % en cuivre et 0,31 % en cobalt pour des rendements de récupération de 26,3 % pour le cuivre et 7,5 % pour le cobalt;
- Les teneurs dans le concentré ébauché titrent 6,99 % en cuivre et 0,22 % en cobalt pour des rendements de récupération de 73,83 % en cuivre et 42,33 % en cobalt.

La seconde partie des essais de flottation a été réalisée dans le but de vérifier et de déterminer l'optimal de flottabilité avec les réactifs utilisés généralement au concentrateur de Kolwezi. On a donc varié la dose de NaHS (2000 g/t, 4000 g/t et 5000 g/t), de la Mixture dolomitique (200, 250 et 300 g/t), du Na_2SiO_3 (100, 200 et 300 g/t) et du T3Y (0, 200, 300 g/t). Les résultats obtenus sont les suivants:

- Dose des réactifs: 2712 g/t pour le NaHS, 339 g/t pour le T3Y, 169,5 g/t pour le MD, 84,75 g/t pour le G41, 200 g/t pour le Na_2SiO_3 et 40 g/t pour le booster;
- Les teneurs dans le concentré de tête ont été de 19,29 % en cuivre et 0,31 % en cobalt pour des rendements de récupération de 26,3 % pour le cuivre et 7,5 % pour le cobalt;
- Les teneurs dans le concentré ébauché sont de 6,99 % en cuivre et 0,22 % en cobalt pour des rendements de récupération de 73,83 % en cuivre et 42,33 % en cobalt.

On peut dire ici que l'optimal maintenu est la même que celle prise dans les conditions de référence lors de notre premier essai.

La troisième partie des essais de flottation a visé l'utilisation de l'AERO MX5149, du FlominC7160 et du mélange KAX/RINKALORE10 en vue toujours d'atteindre nos objectifs à savoir, obtenir des meilleurs résultats métallurgiques et que l'appauvrissement en rejet soit très poussé. Ces essais ont conduit aux résultats ci-après:

- À la dose de 100 g/t de AERO MX5149, on constate une légère augmentation de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 2 % mais une baisse excessive du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de 7 % par rapport aux résultats de l'essai avec T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC;
- À la dose de 6 g/t du FlominC7160, on constate une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 8,92 % et du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de + 23,9 %. Pour le concentré ébauché on constate également une augmentation de la teneur en cuivre de + 5,5 % et du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de + 14,97 % par rapport aux résultats de l'essai avec le T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC;
- L'utilisation du mélange du KAX/Rinkalore10 pris dans une proportion de 50/50, nous donne aussi une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 7,91 % et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 8,2 %. Par contre pour le concentré ébauché, on a une légère augmentation de la teneur en cuivre de + 2,35 % et une augmentation du rendement de récupération de l'ordre de + 9,07 % par rapport aux résultats de l'essai avec le T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC.

L'utilisation de ces trois collecteurs à savoir le FlominC7160, l'AERO MX5149 et le mélange KAX/RINKALORE10 nous a donné des meilleurs résultats métallurgiques comparativement à celui avec l'utilisation du collecteur T3Y. C'est avec le Flomin C7160 que nous avons obtenu des biens meilleures résultats métallurgiques et avons appauvri le rejet jusqu'à atteindre une teneur de 0,91 %. Nous pouvons conclure en disant que les objectifs que nous sommes fixés ont été tous atteints. Nous suggérons à l'exploitant de continuer les recherches avec d'autres combinaisons de dosage des réactifs et d'autres facteurs afin de donner une option définitive sur l'utilisation du Flomin C7160 sans oublier le caractère économique que cela impliquerait.

REFERENCES

- [1] Blazy P., 1970, La valorisation des minerais, Presse universitaire de France, Paris.
- [2] Bouchard S., 2001, Traitement du minerai, Edition le Griffon d'argile; Québec.
- [3] Bouchard S., 2005, Traitement du minerai, Edition le Griffon d'argile, Polytechnique, Université de Lubumbashi.
- [4] Bulatovic, S.M., 2007. Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores, Elsevier Science & Technology Books.
- [5] Cytec., 2010. Mining Chemical Handbook.
- [6] Ek C., et Masson A., 1973, Cours de Minéralurgie et Préparation des minerais, Edition Deroux, Liège.
- [7] Evrard. LM., 1971, Contribution à l'étude de la flottabilité des oxydes hydratés de cobalt du groupe de l'hétérogénite: amélioration de leur flottation à l'aide de l'alkylhydroxamates.
- [8] Fr.wikipedia.org/wiki/Chrysocolle, 2008.
- [9] Fullston, D., Fornasiero, D. Et Ralston, J., (1999), Zeta potential study of the oxidation of copper sulphide minerals. Colloids and surfaces. A: Physicochemical and Engineering.
- [10] Gill, C.B., 1991, Material Beneficiation, New York: Springer-Verlag.
- [11] Gosselin, A., Blackburn, D., Bergeron, M., 1999, Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgique, Sainte-Foy.
- [12] Kalenga P., 1992, Cours de Préparation des minerais, Lubumbashi, Faculté.

- [13] Kamanda M., (2014): Contribution à l'étude de la flottation de minerai cuprocobaltifère à prédominance de chrysocolle à l'aide du rinkalore X1A.
- [14] Kanda J.M., 2012, Etude de la flottabilité de la malachite à l'aide de l'amyl xanthate de potassium et des acides gras. Cas d'étude: Flottation du minerai oxydé de Kamfundwa au Katanga en RD Congo. Thèse de doctorat. Université de Liège.
- [15] Kitobo W., 2009, Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfurés du Katanga. Thèse. Université de Liège.
- [16] Richard T.A., 1921, Concentration by flotation, New York: Springer-Verlag.
- [17] Shengo L.M. (2013): Étude du recyclage de l'eau résiduaire dans la flottation des minerais oxydés cuprocobaltifères du gisement de Luiswishi.
- [18] SNFflomin., 2015. Chemical Catalogue.