

L'optimisation Des Paramètres Physico-Chimiques De La Mise En Solution Du Cobalt(III) Dans Un Minerai Cuprocobaltifère Du Gisement De Mutoshi

Martin Mutala Kabimbi¹, Teddy Mucaïl-A-Mucaïl², John Siloe Mwenge³, Syntiche, Elemba⁴, Luhembwe Baruani Jean⁵

^{1,2,3}Ministère de la recherche scientifique, Commissariat Général à l'Energie Atomique, Antenne Provinciale, RDC.

⁴Chimiste au Laboratoire de la Société kisanfu Mining, KOLWEZI, RDC.

⁵Université de Lubumbashi, Ecole supérieure des Ingénieurs Industrielles, RDC.

ABSTRACT

This project aims to optimize the physico-chemical parameters for the dissolution of Cobalt (III) in a cuprocobaltiferous ore from the Mutoshi deposit. The objective is to determine the optimal conditions of temperature and pH, under which the dissolution of cobalt occurs from the Mutoshi site, in order to establish fixed parameters for acid leaching.

In relation to the objective, several tests are carried out under varying conditions, specifically the temperature (25°C, 35°C, and 45°C,) and the pH of the reducer SMBS (Sodium Metabisulfite) at 5.5, 6.0, and 6.5, while working at a temperature of 55°C solely for cobalt.

Keywords : Cobalt (III), Cuprocobaltiferous, Optimization, dissolution, physico-chemical parameters.

RESUME

Le présent projet vise sur l'optimisation des paramètres physico-chimiques de la mise en solution du Cobalt(III) dans un minerai cuprocobaltifère, de ce fait on fera recours à la lixiviation acide en milieu réducteur.

L'objectif poursuivi est de définir la masse du réducteur et la température avec lesquelles, une solubilisation du Cobalt contenu dans le minerai cuprocobaltifère du gisement de Mutoshi sera rentable ; l'idéal est donc d'évaluer les paramètres optimaux susceptibles de favoriser une mise en solution du

Cobalt à un bon rendement ; toute fois ces paramètres fixés en faveur du Cobalt lors de la lixiviation sachant que le Cobalt s'accompagne toujours de certaines proportions de Cuivre, Fer, Manganèse. Pour atteindre l'objectif retenu, les essais de lixiviation ont été réalisés sur deux échantillons du type A et B, dont la série déterminante était d'effectuer sur un échantillon de minerai titrant 1,42% et 1,54% en Co auquel on a varié la masse du réducteur SMBS (7 g, 9 g, 11 g et 13 g) et la température (25°C, 35°C, 45°C, 55°C et 65°C) Au cours de ces essais, nous avons déterminé les meilleures conditions pour un rendement en Cobalt en utilisant moins de réducteur 7g de SMBS soit (95,5 et 96,1%) en travaillant à une température de 55°C soit (95,51%) en Cobalt.

Mots clés : Cobalt (III), Cuprocobaltifère, optimisation, Mise en solution, paramètres physico-chimique.

INTRODUCTION

Le Cobalt est un métal très dur doué des propriétés très spéciales (caractère réfractaire, propriétés magnétiques spécifiques, bonne résistance à la corrosion, propriétés mécaniques exceptionnelles). Il est utilisé en raison de ses propriétés notamment dans la fabrication des batteries, dans l'industrie des super-alliages, aujourd'hui c'est l'un des métaux dont les réserves importantes se retrouvent en République Démocratique du Congo.

La production des métaux par voie hydrométallurgie nécessite la mise en solution du minerai ou concentré afin de solubiliser l'élément à valoriser. Cette solubilisation consiste en une récupération maximale de l'élément à valoriser sous forme dissoute dans un solvant bien approprié ce qui traduit la définition de paramètres ou conditions de mise en solution.

Toutefois, la solubilisation de minerais cuprocobaltifère en milieu acide sulfurique freine le processus de solubilisation à cause de l'étage d'oxydation du Cobalt. L'extraction du Cobalt à partir du minerai contenant l'Hétérogénite se prête aussi mal à la solubilisation suite à la présence du Cobalt trivalent qui ne se solubilise qu'en milieu réducteur.

Par ailleurs, pour palier à ces difficultés plusieurs réducteurs sont souvent utilisés entre autres l'oxygène, les ions ferriques, $K_2Cr_2O_7$, le métabisulfite de sodium, le dioxyde de soufre, les ions ferreux. La dissociation du métabisulfite de sodium en solution aqueuse libère les ions disulfite ($S_2O_5^{2-}$) ; ceux-ci réduisent le Co^{3+} de l'hétérogénite en Co^{2+} avec formation d'un résidu de Na_2SO_3 et un dégagement de SO_2 .

Dans ce projet, nous nous fixons comme objectif de déterminer la solubilisation maximale du Cobalt dans le minerai qui est l'Hétérogénite en milieu acide réducteur. C'est ainsi que notre projet portera sur « **l'optimisation des paramètres physico-chimiques de la mise en solution du cobalt(III) dans un minerai cuprocobaltifère du gisement de Mutoshi** ». Pour atteindre l'objectif visé, les essais de lixiviation ont été réalisés afin de déterminer la solubilisation maximale du Cobalt dans le minerai cuprocobaltifère de Mutoshi en variant respectivement la masse de métabisulfite de sodium et la température.

I. CARACTERISTIQUE DU MINERAI

1.1. Composition minéralogique du minerai

Pour cette analyse on a utilisé le microscope optique en lumière réfléchi et transmise polarisée au laboratoire de la Faculté des Sciences au département de Géologie. Après analyse voici, le résultat ci-dessous:

Tableau I. Composition minéralogique du minerai

<i>Minéraux</i>	<i>Formules chimiques</i>	<i>Couleurs</i>
<i>chalcopyrite</i>	CuFeS_2	Jaune vive
<i>Pyrite</i>	Fe_2S	Jaune
<i>hétérogénite</i>	Co O(OH)	Rose
<i>Hématite ou spherocobaltite</i>	Fe_2O_3	Grise rose, gris, rouge
<i>goethite</i>	Fe O(OH)	Noire, brun, jaunâtre
<i>Malachite</i>	$\text{Cu}_2\text{CO}_3 (\text{OH})_2$	Verte noirâtre, vert foncé
<i>manganite</i>	MnO (OH)	noire grise
<i>limonite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$	Blanche
<i>Quartz</i>	SiO_2	Brune
<i>Carrollite</i>	CuCo_2S_4	Rouge
<i>Azurite</i>	$\text{Cu}_3 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_2$	Bleu Claire
<i>Pyrolusite</i>	Mn O_2	Noir à gris un peu sombre
<i>Cuprite</i>	Cu_2O	

I.2.METHODES ET MATERIELS, APPAREILLAGES ET REACTIFS

METHODES

I.2.1 Origine de l'échantillon de minerai

Le minerai sur lequel a porté notre recherche expérimentale provient de la mine de Mutoshi.

I.2.2. Analyses Minéralogiques

L'analyse minéralogique de l'échantillon du minerai sur lequel a porté notre étude a été réalisée à l'aide d'un microscope optique binoculaire en lumière transmise polarisée et réfléchi au laboratoire de la faculté des sciences de l'Université de Lubumbashi. Pour ce faire, nous avons utilisé une plaque chauffante thermostatée et de la colle thermofusible qui fond à 150°C.



Figure 1. Image de la préparation des lames

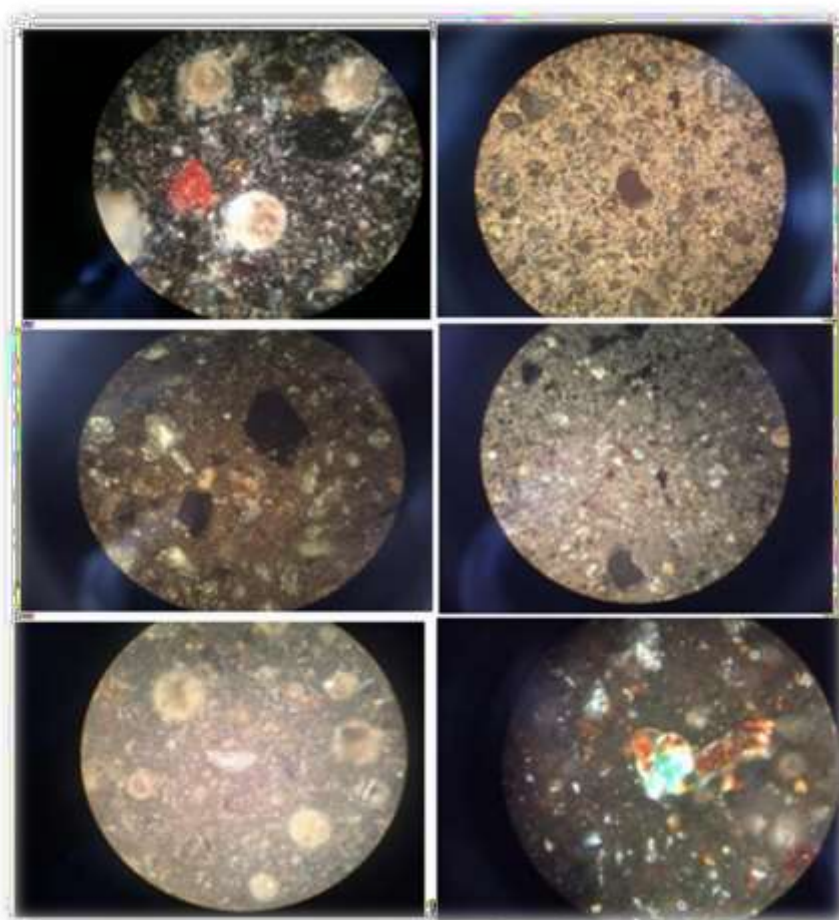


Figure 2. *Images des différents minéraux au microscope*

1.2.3. Analyse granulochimique

Pour notre échantillon le temps fixé était de 15 minutes. Prendre chaque quantité de refus. Faire une analyse chimique avec le spectromètre de fluorescence à rayon X.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes.

Après cette analyse le minerai a été pulvérisé jusqu'à 135 microns

L'étude de l'analyse chimique du minerai montre que le minerai étudié est constitué du cobalt, cuivre, le fer et le manganèse. Les métaux principaux sont le fer (5,27% et 4,25%), le manganèse (1,74% et 1,46%), le cobalt (1,42% et 1,54%), le cuivre (0,34% et 0,31%).

1.2.4. ESSAI DE LIXIVIATION

Deux types de lixiviation ont été effectués : les essais de lixiviation d'orientation et les essais de lixiviation proprement dit. A ce stade, les tests de lixiviation ont été effectués d'une part en milieu acide seul et en milieu acide réducteur sur l'échantillon du minerai enfin d'obtenir une solution riche en cobalt en fixant les paramètres notamment la masse du métabisulfite et la température conduisant à l'obtention d'un meilleur rendement de la mise en solution du minerai utilisé et plusieurs tests ont été effectués au cours de notre recherche.



Figure 3. Image du montage de lixiviation

II. Matériels, appareils et réactifs utilisés

a. Matériels utilisés

Nous avons pu utiliser les matériels suivants :

- Tamis ;
- Emballage;
- Becher de 700ml comme cuve de lixiviation ;
- Becher de 200ml ;
- Verre de montre ;
- Pied gradué ;
- Thermomètre ;
- Ballon jaugée de 1L, 500ml ; 250ml, 100ml ;
- Pissette ;
- Flacons ;
- Pan ;
- Statif ;
- Papiers filtres ;
- Propipette ;
- Entonnoir ;
- Emballages

b. Appareils utilisés

Les appareils suivant ont été utilisés :

- Balance analytique ;
- Spectromètre de fluorescence à rayon X (XRF).
- Vibro-tamiseur ;
- Étuve;
- Agitateur mécanique ;
- Chronomètre;
- Plaque chauffante.

c. Réactifs

- Acide sulfurique à 10%;
- Acide sulfurique à 98% qu'on a préparé à 60g/l;
- Soude caustique 0,1N ;

- Eau distillée;
- Flocculant RHEOMAX 1050;
- Indicateur coloré méthyl orange ;
- Eau ;
- Métabisulfite de sodium.

II.1 Préparation des solutions

a). Préparation de l'acide sulfurique à 60g/l dans un ballon de 1L

L'acide sulfurique utilisé au départ était concentré et avait une densité de 1,84 avec une pureté de 98% et de masse molaire 98g/mol.

La concentration initiale en normalité $N_1 = \frac{10 \times \% \times d}{Meq}$

La concentration en normalité ; $N_2 = \frac{x \times C}{Mm}$

Pour trouver le volume à utiliser, nous allons utiliser l'équation suivante :

$N_1 V_1 = N_2 V_2$, d'où $N_2 \times V_2$

Le volume d'acide à prélever :

Avec $V_2 = \text{volume d'eau} + V_1$

Préparation de l'acide sulfurique à 10%

On prélève 10ml de l'acide sulfurique concentré que l'on mélange 80ml d'eau dans un ballon de 100ml

b). Préparation du flocculant

Le flocculant utilisé lors des essais de lixiviation a été préparé de la manière suivante : peser 1g de flocculant (Rhéomax), placer dans une bouteille de 1,5litre, ajouter de l'eau minéralisée jusqu' au remplissage de la bouteille, homogénéiser la solution.

I.2. Essai de solubilité du minerai

Cet essai permet de voir si notre minerai peut passer en solution dans ces conditions

- Peser 30gr du minerai ;
- Ajouter une solution 10% en H_2SO_4 pour un volume de 300ml ;
- Ajouter 10gr de SMBS avant de commencer la lixiviation ;
- Lixivier pendant 30minutes à une température entre 55 et 60°C ;
- Ajouter 3 bouchons de flocculant et attendre la décantation ;
- Séparer le filtrat du gâteau au fond du bécher après lixiviation ;
- Laver le gâteau trois fois avec 350ml d'eau à chaque lavage;
- Sécher le gâteau à l'étuve pendant 24 heures
- puis l'analysé au XRF ;
- déterminer l'acide libre dans le filtrat par dosage;
- calculer le taux d'insolubilité du Co^{3+} en pourcentage

$$Co^{3+} = \frac{\text{masse du cobalt a l'alimentation} - \text{masse du cobalt contenue dans le residu}}{\text{masse du cobalt a l'alimentation}} \times 100$$

I.3. Essai sur l'influence de la variation de la masse de métabisulfite de sodium (SMBS)

Cet essai se réalise en préparant l'acide sulfurique toujours à 60g/l et la durée de lixiviation est de 2heures mais on varie la masse de SMBS à des proportions tels que:7g, 9g, 11g, 13g.

- Peser 30 g du minerai ;

- Ajouter 300 ml d'acide sulfurique a 60g/l ;
- Ajouter le SMBS suivant les proportions:7g, 9g, 11g, 13g ;
- Lixivier pendant 2 heures et à une température entre 55-60°C
- Lixivier en se basant sur ces trois paramètres déjà fixes de tel sorte que les différentes proportions de SMBS soient respectées ;
- Ajouter 3 bouchons de flocculant puis laisser décanter ;
- Filtrer la solution pour récupérer le filtrat
- laver le gâteau trois fois avec 350ml d'eau à chaque lavage;
- sécher le gâteau et peser ;
- analyser le gâteau au XRF ;
- déterminer l'acide libre dans le premier filtrat par dosage; ☐ Prélever le potentiel redox du premier filtrat.

I.4. Essai sur l'influence de la variation de la température

Cet essai se réalise en préparant l'acide sulfurique toujours à 60g/l et la durée de lixiviation de 2heures mais on varie la température a des proportions tels que:25°C, 35°C, 45°C, 55°C ,65°C.

- Peser 30g du minerai ;
- Ajouter 300ml d'acide sulfurique a 60g/l ;
- Ajouter le 7g de SMBS ;
- Lixivier pendant 2heures et en variant la température en suivant les proportions: 25° C, 35° C, 45° C, 55° C, 65° C.
- Lixivier en se basant sur ces trois paramètres déjà fixes de tel sorte que les différentes températures soient respectées ;
- Ajouter 3 bouchons de flocculant puis laisser décanter ;
- Filtrer la solution pour récupérer le filtrat
- Laver le gâteau trois fois avec 350ml d'eau à chaque lavage;
- Sécher le gâteau et peser ;
- Analyser le gâteau au XRF ;
- Déterminer l'acide libre dans le premier filtrat par dosage; ☐ Prélever le potentiel redox du premier filtrat.

III : RESULTATS ET DISCUSION

L'objectif étant de définir les paramètres optimaux de lixiviation du cobalt trivalent contenue dans le minerai ; c'est-à-dire déterminer l'optimum des paramètres de lixiviation du minerai et les conditions auxquelles un rendement de lixiviation serait rentable.

III.1.Composition chimique du minerai

Nous avons effectué la caractérisation chimique du minerai a étudiée par spectrophotomètre de fluorescence à rayon X. Les résultats obtenus sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau I. Composition chimique du minerai

Type d'échantillon	Elément ou composé	Cobalt	Cuivre	Fer	Manganèse
Type A	Teneur(%)	1,42%	0,340%	5,270%	1,740%
Type B	Teneur(%)	1,54%	0,310%	4,250%	1,460%

Les résultats de la composition chimique du minerai repris dans le tableau ci-haut révèlent que le minerai est cuprocobaltifère avec également une teneur élevée en fer par rapports aux autres éléments, ce dernier est une impureté majeure dans l'hydrométallurgie du cobalt.

III.2. Analyses granulochimique

Après avoir séché à l'étuve pour 24heures, nous avons placé les échantillons dans une série des tamis allant de 500 à -38 micron que nous avons soumis au vibor-tamiseur pendant 15 minutes pour une analyse granulométrique. Les refus de chaque tamis ont été pesés et mit dans les emballages et analysé au XRF. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II. Résultats de l'analyse granulométrique

Type Tranche (μm) Poids de Pourcentage d'échantillon refus en (g) de refus (%)

Type A	500	105,6	52,83
	250	33,16	16,59
	200	10,85	5,43
	150	16,34	8,17
	100	13,69	6,85
	75	8,58	4,43
	38	9,50	4,75
	-38	1,91	0,96
TOTAL		199,90	100

L'analyse granulométrique effectuée avant broyage nous a montré que la tranche renfermant une majeure quantité des particules est celle de tamis de 500 microns (52,83%). Alors qu'une meilleure lixiviation se fait lorsque les particules ont une taille de -75microns donc le minerai étudié nécessite un broyage avant lixiviation (Alvayai., 2006).

Tableau III. Résultats de l'analyse granulométrique

Type Tranche (μm) Poids de Pourcentage d'échantillon refus en (g) de refus (%)

Type B	500	59,81	29,91
	250	30,66	15,33
	200	12,26	6,3

	150	34,80	17,40
	100	33,26	16,63
	75	13,14	6,57
	38	12,96	6,48
	-38	3,09	1,55
TOTAL		199,98	100,00

L'analyse granulométrique effectuée avant broyage nous a montré que la tranche renfermant une majeure quantité des particules est celle de tamis de 500 microns (29,91%). Alors qu'une meilleure lixiviation se fait lorsque les particules ont une taille de -75microns donc le minerai étudié nécessite un broyage avant lixiviation (Alvayai., 2006).

En plus de cette analyse granulométrique, nous avons effectué une analyse granulochimique pour déterminer dans quelle fraction les métaux sont concentrés. Les résultats de cette analyse sont repris dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV. résultats de l'analyse granulochimique

Type d'échantillon	Tranche distribution	Masse métal (g)							
	granulochimique (%)								
Type A	(µm)	Cu	Co	Fe	Mn	Cu	Co	Fe	Mn
	500	44,10	56,27	39,71	63,45	0,19	2,42	0,48	1,25
	250	14,99	16,74	15,33	13,19	0,07	0,72	0,19	0,26
	200	4,55	3,95	5,64	4,06	0,02	0,17	0,08	0,08
	150	11,36	6,97	10,49	6,6	0,05	0,30	0,13	0,13
	100	9,09	6,30	11,30	5,58	0,04	0,27	0,14	0,11
	75	6,81	3,95	7,57	3,55	0,03	0,17	0,09	0,07
	38	6,83	4,64	8,07	3,51	0,03	0,20	0,10	0,07
	-38	2,27	1,16	2,43	0,5	0,01	0,05	0,03	0,01
	TOTAL	100	100	100	100	0,44	4,30	1,24	1,97

Il ressort de ce tableau que la distribution du cobalt, du cuivre, du fer et du manganèse en fonction de leur granulométrie c'est à dire plus la granulométrie augmente plus la quantité de ce quatre éléments devient de plus en plus importante. Ceci prouve à suffisance que le minerai à étudier est grossier ; nous trouvons sur une tranche supérieure à 150 microns 75%, en Cuivre ; 83,93% en Cobalt ; 71,17% en Fer ; 87,3% en Manganèse et pour la tranche inférieure à 150 microns nous trouvons 25% en Cuivre ; 16,07% en Cobalt ; 28,83% en Fer et 12,7% en Manganèse où il est nécessaire de passer au préalable à un broyage avant de préconiser une étape de la mise en solution.

Tableau V. Résultats de l'analyse granulochimique

Type d'échantillon	Tranche (μm)	distribution granulochimique (%)				Masse métal (g)			
		Cu	Co	Fe	Mn	Cu	Co	Fe	Mn
Type B	500	16,2	18,59	27,48	23,50	0,17	0,34	3,52	0,85
	250	16,19	16,32	14,35	16,48	0,17	0,29	1,84	0,59
	200	6,67	6,74	5,92	6,45	0,07	0,12	0,76	0,23
	150	21,90	21,34	18,64	19,37	0,23	0,38	2,39	0,69
	100	20,00	19,67	17,55	18,24	0,21	0,35	2,25	0,65
	75	8,57	7,83	7,02	7,28	0,09	0,14	0,90	0,26
	38	8,57	7,83	7,09	7,01	0,09	0,14	0,91	0,25
	-38	1,90	1,68	1,95	1,67	0,02	0,03	0,25	0,06
	TOTAL	100	100	100	100	1,05	1,78	12,82	3,56

Il ressort de ce tableau que la distribution du cobalt, du cuivre, du fer et du manganèse en fonction de leur granulométrie c'est à dire plus la granulométrie augmente plus la quantité de ce quatre éléments devient de plus en plus importante. Ceci prouve à suffisance que le minerai à étudier est grossier ; nous trouvons sur une tranche supérieure à 150 microns 60,96 %, en Cuivre ; 62,99 % en Cobalt ; 66,39 % en Fer ; 65,8 % en Manganèse et pour la tranche inférieure à 150 microns nous trouvons 39,04 % en Cuivre ; 37,01% en Cobalt ; 33,61% en Fer et 34,2% en Manganèse où il est nécessaire de passer au préalable à un broyage avant de préconiser une étape de la mise en solution.

Les deux diagrammes présentent les allures des courbes des proportions des métaux en fonction de leur tranche granulométrique dans le minerai (type A et type B)

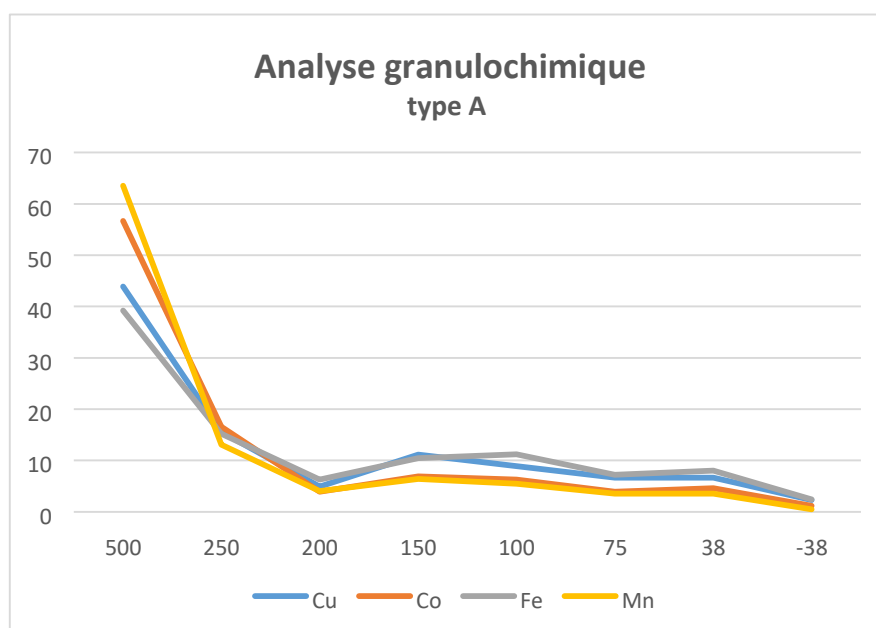


Figure III.2. Courbe Granulochimique type A

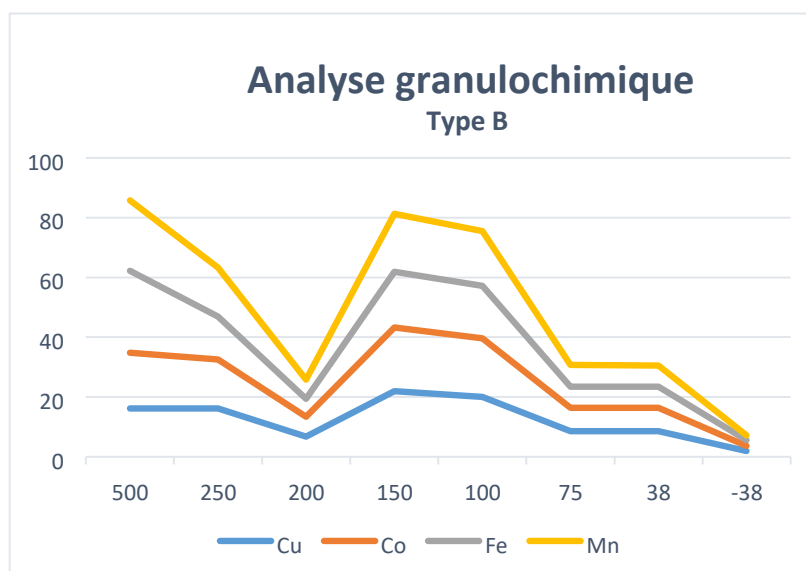


Figure III.2. Courbe Granulochimique type B

En observant l'allure de notre courbe de l'analyse granulochimique, nous pouvons dire que de 500 à 250 microns l'allure de la courbe descend moyennement et de 250 à 200 elle descend brusquement puis de 200 à 150 elle remonte brusquement et de 150 à 100 elle descend légèrement ce qui prouve c'est à cette intervalle que notre minerai regorge une grande quantité des minéraux utiles donc il faut passer au broyage avant de préconiser une étape de mise en solution

III.3. ESSAIS DE LIXIVIATION

III.3.1. Détermination de la teneur en Co^{3+} dans le minerai

Tableau VI. Détermination de la teneur en cobalt trivalent dans le minerai

Type	Teneur	Co	Cu	Fe	Mn d'échantillon
Type A	Alimentation(%)	1,42%	0,340%	5,270%	1,740%
	Résidu	0,701	0,154	4,890	1,600
Type B	Alimentation(%)	1,54%	0,310%	4,250%	1,460%
	résidu	0,701	0,154	4,890	1,600

Les résultats présentés ci-haut montrent qu'une faible quantité de cobalt est passée en solution et donc la teneur en cobalt présent dans le résidu obtenu après lixiviation correspondrait à la quantité de Co^{3+} que contient ce minerai soit 0,701% ; pareil pour le type B.

Tableau VII. Proportion en teneur du Co^{3+} contenu dans les résidus

Type d'échantillon	paramètres		Teneurs(%)			
		fraction	Co	Cu	Fe	Mn
Type A	H ₂ SO ₄ 10% sans SMBS	filtrat	50,63	54,71	7,21	8,04
		résidu	49,37	45,29	92,79	91,96
Type B	H ₂ SO ₄ 10% sans SMBS	filtrat	54,48	50,32	-15,05	-9,59
		résidu	45,52	49,68	115,05	109,59

Les résultats de ce tableau montrent clairement que le minerai contient une quantité moyenne en Co^{3+} qui n'est donc pas passé en solution et qui est resté dans le résidu, comparativement au Co^{2+} ayant passé en solution pour se retrouver dans le filtrat avec respectivement des proportions de 49,29% ; 50,63% et 45,52% ; 54,48%.

III.3.2.Essai de solubilité du minerai

Tableau VIII. Lixiviation à 10 % en Acide Sulfurique sans réducteur SMBS

Type	Teneur	Co	Cu	Fe	Mn d'échantillon
Type A	Alimentation(%)	1,42%	0,340%	5,270%	1,740%
	Résidu	0,077	0,039	3,590	0,050
Type B	Alimentation(%)	1,54%	0,310%	4,250%	1,460%
	Résidu	0,096	0,029	3,810	0,077

Les résultats présentés ci-haut montrent qu'une faible quantité de cobalt est passée en solution et donc la teneur en cobalt présent dans le résidu obtenu après lixiviation correspondrait à la quantité de Co^{3+} que contient ce minerai soit 0,077% ; tandis que le type B nous présente 0,096% dans le résidu.

Tableau IX. Taux d'insolubilité du Co^{3+}

Type d'échantillon	paramètres	fraction	Teneurs(%)			
			Co	Cu	Fe	Mn
Type A	H ₂ SO ₄ 10% avec 10g de SMBS	filtrat	50	45,29	92,79	91,95
		résidu	50	54,71	7,21	8,05
Type B	H ₂ SO ₄ 10% avec 10g de SMBS	filtrat	46	49,67	115,05	109,59
		résidu	54	50,33	-15,05	-9,59

Nous constatons qu'il y a une perte en cobalt soit 50% pour le type A et 54% pour le type B

Tableau X. Rendement de solubilité du cobalt trivalent en milieu acide réducteur

Type d'échantillon	paramètres	fraction	Teneurs(%)			
			Co	Cu	Fe	Mn
Type A	H ₂ SO ₄ 10% avec 10g de SMBS	filtrat	94,58	88,53	31,88	97,13
		résidu	5,42	11,47	68,12	2,87
Type B	H ₂ SO ₄ 10% avec 10g de SMBS	filtrat	93,77	90,65	10,35	94,73
		résidu	6,23	9,35	89,65	5,27

Le tableau ci haut montre que le test de lixiviation acide avec usage d'un réducteur, les valeurs montrent une mise en solution significative de différents métaux soit 94,58% et 93,77% en cobalt.

Tableau XI. Poids initial, poids des résidus et perte des résidus

Type d'échantillon Masse SMBS Poids initial(g) Poids des Perte des

			résidus(g)	poids(%)
Type A	7	30	25,50	15,00
	9	30	27,58	8,07
	11	30	27,77	7,43
	13	30	29,36	2,13
Type B	7	25	21,67	13,32
	9	25	22,19	11,24
	11	25	21,69	13,24
	13	25	24,06	3,76

La variation de la masse du réducteur SMBS est un paramètre majeur lors de la lixiviation de notre minéral car elle influence la perte de poids.

Tableau XII. Poids initial, poids final, perte de poids

Type d'échantillon	température	Poids initial(g)	Poids des résidus(g)	Perte des poids(%)
Type A	25°C	28	24,733	11,66
	35°C	28	26,468	5,47
	45°C	28	26,8035	4,27
	55°C	28	26,8974	3,93
	65°C	28	26,6924	4,67
Type B	25°C	22	20,4563	7,01
	35°C	22	19,11	13,13
	45°C	22	19,1944	12,75
	55°C	22	19,756	10,2
	65°C	22	19,2826	12,35

La variation de la température est un deuxième paramètre majeur lors de la lixiviation de notre minéral car elle influence la perte de poids.

III.3.3. Essais sur l'influence de la variation de la masse de métabisulfite de sodium (SMBS)

Tableau XIII. Rendement de lixiviation avec la variation de la masse de SMBS

Type d'éch			Masse du métal en gramme				Rendement en %des métaux dans les résidus					
	paramètre	fraction	Co	Cu	Fe	Mn	Co	Cu	Fe	Mn	FA g/l	E (mv)
Type A		alimentation	0,355	0,085	1,32	0,435	1,42	0,34	5,27	1,74	0	0
	7g de SMBS	filtrat	0,299	0,064	-1,46	0,394	96,1	93,8	47,2	97,6	34,6	505
		résidu	0,056	0,021	2,780	0,041						
	9g de SMBS	filtrat	0,288	0,053	-1,82	0,399	95,3	90,6	40,4	97,9	47,04	490
		résidu	0,067	0,032	3,140	0,036						
	11g de SMBS	filtrat	0,354	0,064	-0,98	0,397	99,9	93,8	56,3	97,8	35,28	464
		résidu	0,001	0,021	2,300	0,038						
	13g de	filtrat	0,288	0,052	-2,02	0,366	95,2	90,2	36,6	96,0	49,04	457

	SMBS	résidu	0,067	0,033	3,340	0,069						
Type B		alimentation	0,462	0,093	1,275	0,438	1,54	0,310	4,25	1,46	0	0
	7g de SMBS	filtrat	0,393	0,066	-2,93	0,395	95,5	91,29	0,94	97,0	35,77	482
		résidu	0,069	0,027	4,210	0,043						
	9g de SMBS	filtrat	1,41	0,288	1,47	1,415	96,0	92,9	34,5	96,9	46,06	471
		résidu	0,061	0,022	2,780	0,045						
	11g de SMBS	filtrat	1,376	0,262	-0,62	1,375	93,8	84,51	-14,6	94,1	49,49	465
		résidu	0,095	0,048	4,870	0,085						
	13g de SMBS	filtrat	1,392	0,277	-0,49	1,415	94,9	89,35	-11,5	96,6	53,9	463
		résidu	0,079	0,033	4,740	0,045						

Après analyse des résultats du tableau ci-dessus, nous constatons que le cobalt, cuivre et le manganèse sont les métaux qui présentent des rendements assez élevés comparativement au fer qui lui présente des faibles rendements de lixiviation quel que soit la quantité du réducteur SMBS utilisé .

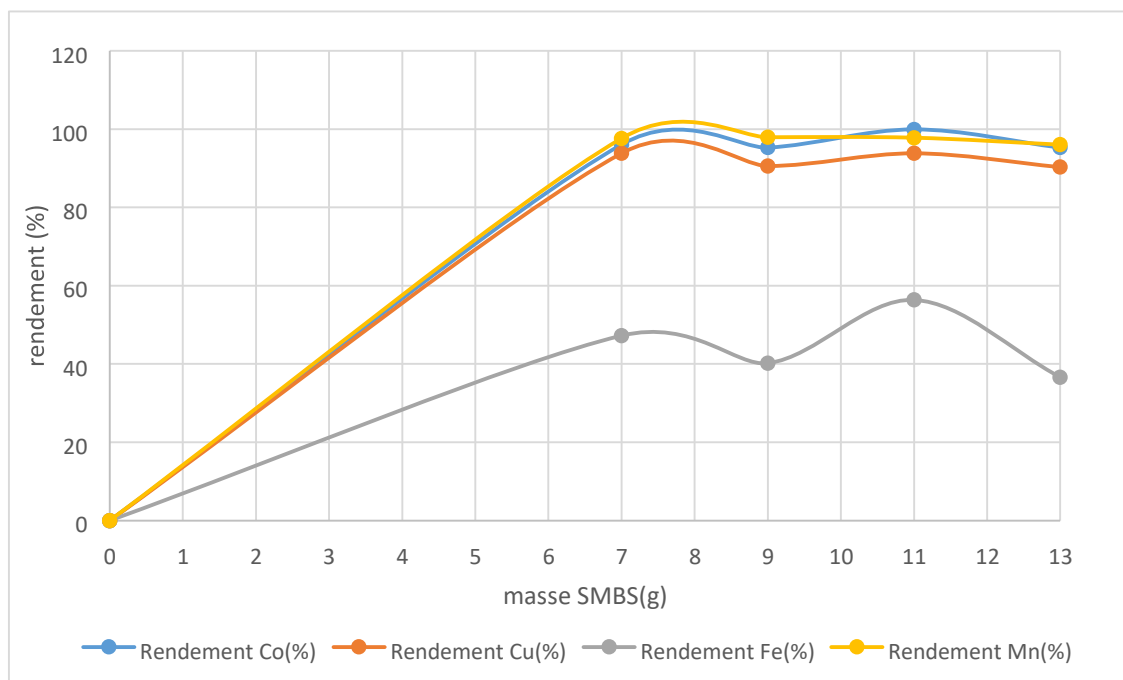


Figure III.3. Évolution du rendement de lixiviation en variant la masse de SMBS (Type A)

En effectuant la lixiviation en variant la masse de SMBS entre 7 g et 13 g, les graphiques nous montrent que la quantité du réducteur a une influence sur le rendement de lixiviation, particulièrement celui du cobalt du fait qu'au premier essai avec 7g de SMBS on avait un rendement de 96,1 % et le meilleur rendement est obtenu avec 11g de SMBS soit 99,9%.

Quant aux autres éléments, la courbe d'évolution du rendement de lixiviation du Manganèse, Cuivre est rentable par rapport au fer qui passe en solution difficilement toute fois nous pouvons dire que à 11g de SMBS le Fer a atteint la valeur de 56,36 %.

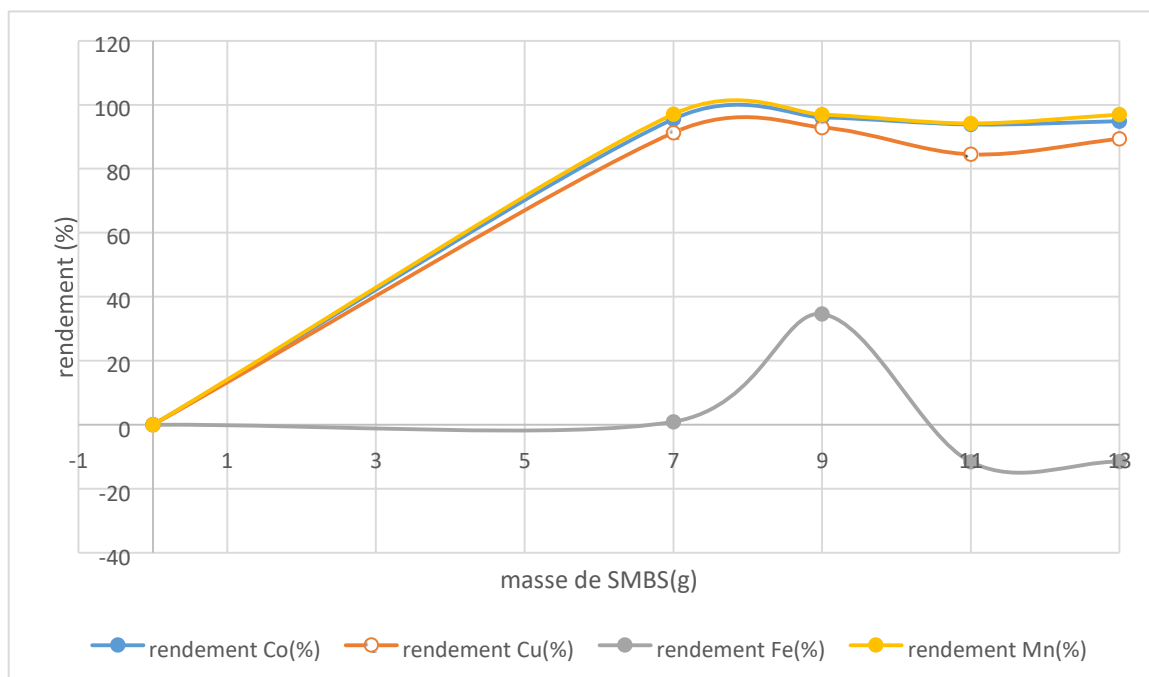


Figure III.3. Evolution du rendement de lixiviation en variant la masse de SMBS (type B)

Le deuxième graphique nous montre que la quantité du réducteur a une influence sur le rendement de lixiviation, entre autre celui du cobalt du fait qu'au premier essai avec 7g de SMBS on avait un rendement de 95,51 % et le meilleur rendement est obtenu avec 9 g de SMBS soit 96 %.

Quant aux autres éléments, la courbe d'évolution du rendement de lixiviation du manganèse, cuivre est rentable par rapport au fer qui passe en solution difficilement toute fois nous pouvons dire que a 9 g de SMBS le fer a atteint la valeur de 34,59 %.

Essais sur l'influence de la variation de la température

Tableau XIV. Rendement de lixiviation avec la variation de la température

Type d'éc h			Masse du métal en gramme				Rendement en %des métaux dans les résidus					
	paramètr e	fraction	Co	Cu	Fe	Mn	Co	Cu	Fe	Mn	FA g/l	E
Type A		alimentation	0,40	0,10	1,47	0,487	1,42	0,34	5,27	1,74	0	0
	25°C	filtrat	0,12	-0,02	-4,23	0,38	82,39	64,70	-8,16	93,67	30,87	397

		résidu	0,2 5	0,1 2	5,7 0,11							
	35°C	filtrat	0,2 8	0,0 3	- 2,2 7	0,35	91,5 4	82,3 5	29,0 3	92,1 8	19,6	54 5
		résidu	0,1 2	0,0 6	3,7 4	0,13 6						
	45°C	filtrat	0,2 9	0,0 5	- 2,3 1	0,37 2	92,2 5	85,2 4	28,2 7	93,1 5	21,0 7	45 0
		résidu	0,1 1	0,0 5	3,7 8	0,11 5						
	55°C	filtrat	0,2 9	0,0 5	- 2,0 7	0,38 9	92,9 6	88,2 4	32,8 3	94,3 6	38,7 1	46 6
		résidu	0,1 0	0,0 4	3,5 4	0,09 8						
	65°C	filtrat	0,2 8	0,0 6	- 1,9 5	0,39 3	91,5 4	88,2 5	35,1 0	94,6 6	27,4 4	45 9
		résidu	0,1 2	0,0 4	3,4 2	0,09 3						
Typ e B		alimentatio n	0,3 4	0,0 7	0,9 4	0,32	1,54	0,31 0	4,25 0	1,46 0	0	0
	25°C	filtrat	0,1 5	- 0,1 4	- 4,1 2	0,23	87,6 6	32,2 5	- 19,0 6	93,7 7	30,3 8	41 7
		résidu	0,1 9	0,2 1	5,0 6	0,09 1						
	35°C	filtrat	0,2 0	- 0,1 4	- 4,0 3	0,24	90,9 1	32,2 5	- 16,9 4	94,5 2	15,1 9	36 5
		résidu	0,1 4	0,2 1	4,9 7	0,08 0						
	45°C	filtrat	0,2 4	- 0,0 7	- 4,0 2	0,25	93,5 1	54,8 4	- 16,7 1	94,9 3	37,7 3	46 1
		résidu	0,1 0	0,1 4	4,9 6	0,07 4						
	55°C	filtrat	0,2 4	0,0 2	- 3,0 7	0,25	93,5 1	80,6 4	5,65	94,9 3	20,0 9	37 3

		résidu	0,1 0	0,0 6	4,0 1	0,07 4						
	65°C	filtrat	0,2 3	0,0 1	- 2,6 2	0,25	92,8 6	80,6 4	16,2 3	94,9 3	29,9 8	39 0
		résidu	0,1 1	0,0 6	3,5 6	0,07 4						

Après analyse des résultats du tableau ci-dessus, nous constatons que le Cobalt, Cuivre et le Manganèse sont les métaux qui présentent des rendements assez élevés comparativement au fer qui lui présente des faibles rendements de lixiviation quel que soit la variation de la température de lixiviation.

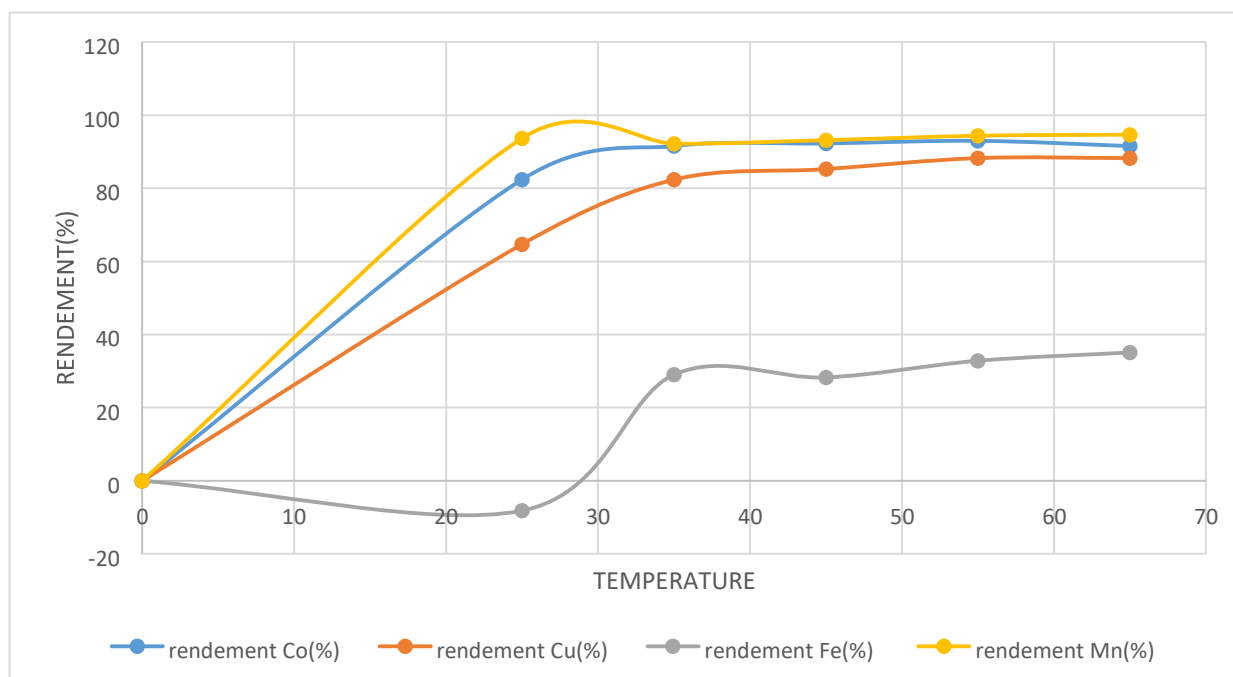


Figure III.3. Evolution du rendement de lixiviation avec la variation de la température (type

A)

Ce graphique nous montre qu'en maintenant la masse de notre réducteur constante, la variation de la température a une influence sur le rendement de lixiviation, entre autre celui du cobalt du fait qu'on a un meilleur rendement à 55°C soit 92,96 %.

Quant aux autres éléments, la courbe d'évolution du rendement de lixiviation du manganèse, cuivre est rentable par rapport au fer qui passe en solution difficilement toute fois nous pouvons dire qu'à 65°C, le fer a atteint un rendement de 35,1 %.

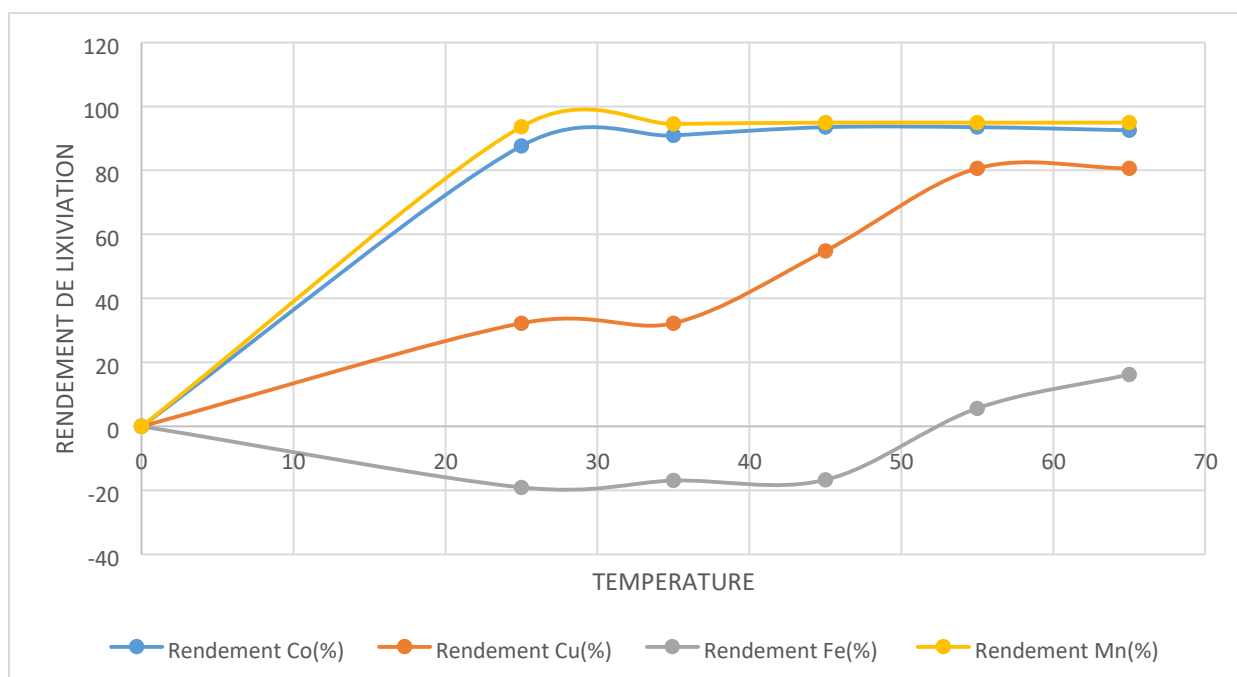


Figure III.3 . Evolution du rendement de lixiviation avec variation de la température (type B)

Ce graphique nous montre qu'en maintenant la masse de notre réducteur constante, la variation de la température a une influence sur le rendement de lixiviation, entre autre celui du Cobalt du fait qu'on a un meilleur rendement à 45°C et 55°C soit 93,51%. Quant aux autres éléments, la courbe d'évolution du rendement de lixiviation du Manganèse, Cuivre est rentable par rapport au Fer qui passe en solution difficilement toute fois nous pouvons dire qu'à 65°C, le Fer a atteint un rendement de 16,23%.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de déterminer les conditions opératoires pour Optimiser les paramètres physico-chimiques de la dissolution du cobalt dans un minerai cuprocobaltifère du gisement de Mutoshi. Pour ce faire, un échantillonnage a été réalisé, analysant le minerai et ses composants ainsi que les températures des tests avec le réducteur SMBS.

L'analyse minéralogique a montré que le minerai étudié, renferme les minéraux suivants : **l'hétérogénite, la malachite, la goethite, la chalcoppyrite, la pyrite, quartz, hématite, manganite, limonite, pyrolusite, Carrollite, cuprite enfin l'azurite.**

Nous avons noté que l'analyse chimique a relevé que le premier échantillon renfermait : 1,42% en Cobalt ; 0,340% en Cuivre ; 5,270% en Fer et 1,740% en Manganèse et notre deuxième échantillon renferme 1,54 % en Cobalt ; 0,310 % en Cuivre ; 4,250 % en Fer ; 1,460% en Manganèse.

Pour atteindre cet objectif, des essais de lixiviation ont été réalisés sur deux échantillons.

Le premier essai a permis de définir les conditions optimales de lixiviation, aboutissant à un rendement de 95.5% pour un échantillon contenant 1.42 % Co à 55°C et avec 7 g de SMBS.

Le second essai a permis d'optimiser davantage, atteignant un rendement de 92.96% de cobalt pour un échantillon de 1.54% de Co, dans des conditions similaires.

Ces résultats ouvrent la voie à des études futures sur l'extraction de cobalt et le traitement du manganèse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

1. Alvayai.C., (2006). Traitement hydrométallurgique des minerais du Katanga, Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, GEOMAC, Université de Liège p36-38.
2. Blazy.P., (1979), « La métallurgie extractive des métaux non ferreux », Société de l'industrie minière, Saint-Etienne.
3. Blazy.P., (1984). Métallurgie des métaux non ferreux, Presses universitaires de France, Paris, p 6-74.
4. Burkin. R. and SPON LTD., (1966), *Chemistry of hydrometallurgical process*, Institution of mining and metallurgy, London.
5. Cailteux ., (1983) : Le «Roan» Shabien dans la région de Kambove (Shaba, Zaïre). Etude sédimentologique et métallogénique. Thèse de Doctorat en Sciences appliquées, Univ. Liège.
6. Cailteux et al., (1994): Lithostratigraphy of the Neoproterozoic Shaba-type (Zaire) Roan Super- group metallogenesis of associated mineralization
7. Cailteux et al., (2005): Genesis of sediment hosted stratiform copper-cobalt deposits, central African Copperbelt. Journal of African Earth Sciences 42, p 134-158. Corneille, EK., (1973). Préparation des minerais p85.
8. Cognis., (2005) *Conduite des usines d'extraction par solvant*.
9. Devillies D. et MAHE E., (2002), cellules électroniques : aspect thermodynamique et cinétique, p1719-1742.
10. François. A., (1973) : L'extrémité occidentale de l'arc cuprifère shabien. Etude géologique. Bureau d'études géologiques. Gécamines-Exploration, Likasi, Zaïre, p64.
11. Habashi.F,(1970), *Principles of extractive metallurgy, Vol. II, Ed. Gordon and Breach, New York.* H.T. BART, R. MARR, J Slater, E.C. Biscara Junior.,(2002) hydrométallurgie 2, p117 – 126.
12. Ilunga.T., (2008) « Contribution à l'étude de lixiviation d'un concentré sulfuré par le sulfate ferrique », UNILU, Faculté Poly technique, inédit.
13. KALENGA K.,(2018).valorisation simultanée du cobalt (III) et du cuivre par lixiviation en milieu acide sulfurique de l'hétérogénite et de minerai sulfuré de cuivre en présence de la pyrite.
14. KANIKLAT (2008). Caractérisation environnementale des rejets minéraux-métallurgiques du Copperbelt congolais. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur. Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège. Collège de Doctorat Architecture, Géologie et Construction. p.14-15.
15. Kitobo.W., (2009), Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfures du Katanga (cas des tailing de Kipushi), Thèse défendu à l'université de Liège, Belgique, p64.
16. Meruane. G.,(1999). Criterio de Diseñodel Circuito de soluciones en la lixiviación Bacteriana de sulfuros de Cobre en Pilas, Universidad de chile, pp 15-30.
17. Ilunga.Mutombo.,(2016), *Valorisation du cobalt du minerai de Mukondo par lixiviation acide en présence de la chalcopirite suivie de la purification par échange d'ions à l'aide de la résine LSC 710*, UNILU, Polytechnique ; inédit.
18. Rizet L.,et Charpentier P., « Métallurgie Extractive-Hydrométallurgie », édition Techniques de l'ingénieur.
19. VILLAR, D., (2006). Procédés minéralurgique, Université de Laval, p 150-159.