

Etude de l'influence de la granulométrie sur la lixiviation en tas des minerais de KABOLELA en RD Congo

Patrick MBWEB KATSHIL and Robert LWAMBA ILONDA

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

Copyright © 2018 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 extraction of cobalt in the ore Kabolela, leads us to look for techniques and methods to extract a good amount of it (Cobalt) low cost without passing the gangue in the solution while minimizing costs .

For this purpose to determine the leach parameters to recover the cobalt in the ore processed by the Company Kabolela BOSS MINING, we conducted experimental testing laboratory heap leach ore, preceded by size analyzes and granulochimiques different slices to determine the operating parameters can give satisfactory results. After collection, sifting and weighing of each particle size range for chemical analysis to determine the chemical distribution and know the slice that will allow good dissolution after leaching tests; we noticed that, in the same leaching time 48 hours, dissolution of metal in acid is a function of particle size. And to recover much of the metal, go to more than 48 hours and use a reducer solution to all Cobalt (divalent and trivalent).

KEYWORDS: Study, influence, size, leach heap ores.

RESUME: L'extraction du Cobalt dans le minerai de KABOLELA, nous amène à chercher des techniques et méthodes permettant à extraire une bonne quantité de ce dernier (le Cobalt) à faible coût sans faire passer la gangue dans la solution tout en minimisant les dépenses.

A cet effet, pour déterminer les paramètres de lixiviation en vue de récupérer le Cobalt dans le minerai de KABOLELA traité par l'Entreprise BOSS MINING, nous avons procédé aux essais expérimentaux au laboratoire de lixiviation en tas du minerai, précédé par des analyses granulométriques et granulochimiques des différentes tranches en vue de déterminer les paramètres de travail pouvant donner des résultats satisfaisants. Après prélèvement, tamisage et pesé de chaque tranche granulométrique pour analyse chimique, afin de déterminer la répartition chimique et connaître la tranche qui va permettre une bonne mise en solution après essais de lixiviation ; nous avons remarqué que, à un même temps de lixiviation de 48 heures, la dissolution du métal dans l'acide est fonction de la taille des particules. Et pour récupérer une bonne partie des métaux, il faut aller à plus de 48 heures et utiliser un réducteur pour mettre en solution tous les Cobalt (le bivalent et le trivalent).

MOTS-CLEFS: Etude, influence, granulométrie, lixiviation, tas, minerais.

1 INTRODUCTION

Aujourd'hui plus que hier, l'appauvrissement des gisements cupro-cobaltifère du système katanguien, conduit à affronter différents problèmes rencontrés lors de la production et à mener des recherches sur les techniques et méthodes à mettre en œuvres pour récupérer les métaux contenus dans les minerais contenant des faibles quantité des métaux.

A cet effet, l'une des méthodes d'extractions auxquelles les industriels recourent actuellement pour récupérer les métaux, est l'extraction par solvant précédée de la lixiviation des minerais tout en respectant la granulométrie, la concentration de la solution de lixiviation, le temps de lixiviation et le débit de la solution de lixiviation. Et ces derniers permettront la mise en

solution d'une grande partie des métaux tout en y minimisant le passage des éléments indésirables. C'est dans cette optique que l'entreprise minière BOSS MINING, nous a permis de faire **une étude de l'influence de la granulométrie sur la lixiviation en tas des minerais de KABOLELA en RDCongo.**

Tout en ayant le souci de présenter à l'entreprise un résultat meilleur qui leur permettra d'étudier les conditions favorables de récupération du Cobalt et autre métaux qui l'accompagne et d'une manière plus économiquement rentable.

2 GENERALITES SUR BOSS MINING

2.1 LOCALISATION

L'entreprise Minière BOSS MINING, BM en sigle est une société privée à responsabilités limitées « SPRL ». Elle est implantée au Katanga en République Démocratique du Congo dont le siège social est situé sur la route Likasi dans la commune Annexe.

2.2 DESCRIPTION DE L'USINE

L'usine de BOSS MINING (LUITA) comprend en son sein deux grandes sections :

- La section de concassage et laverie
- La section d'usine à cuivre

Actuellement les minerais traités à BOSS MINING sont de nature oxydée en provenance des mines de MUKONDO et de KABOLELA.

2.2.1 LA SECTION CONCASSAGE ET LAVERIE

Cette section réalise la réduction granulométrique des minerais jusqu'à atteindre la dimension appropriée pour la lixiviation en tas (qui va de 0,6mm à 25mm) pour les débarrasser de toutes les fines de moins de 0,6mm car elle diminue la porosité du tas lors de la lixiviation et causent la migration verticale des fines pendant la lixiviation, provoquant ainsi des problèmes de drainage de solution.

Le concassage se réalise à deux niveaux :

- Le concassage primaire : dans le concasseur à mâchoires ($\pm 100\text{mm}$)
- Le cassage secondaire : dans le concasseur à cône ($\pm 25\text{mm}$)

Le lavage quant à lui commence par le débourbeur où le minerai est mélangé avec de l'eau puis basculé sur les tamis vibreurs où on arrose la pulpe par des rampes d'arrosage avec de l'eau sous pression. **(Prasad M.S, 1989)**

Les deux circuits (concassage et laverie) sont en série c'est-à-dire dès que le minerai sort du concasseur à cône par où s'arrête l'opération de réduction granulométrique, le transporteur l'amène directement au débourbeur par où commence le lavage.

Après avoir subi le concassage et le lavage, le minerai est envoyé à la section d'usine à cuivre.

A. USINE À CUIVRE

Cette usine produit le cuivre cathodique par le procédé hydro métallurgique. Elle comprend trois grandes sections :

- La lixiviation
- La neutralisation – déferrage actuellement by passé
- L'électrolyse

B. LIXIVIATION EN TAS DU CUIVRE (HEAP LEACHING)

En vue de son extraction ultérieure à la salle d'électrolyse, le cuivre solide dans les minerais concassés et lavés subit une mise en solution par une solution sulfurique qui est aspergée sur les tas (heap) pendant deux à trois mois.

Le principe de la lixiviation est d'asperger la solution sulfurique qui percole à travers le tas en solubilisant le métal à valoriser (cuivre) ; la solution riche en cuivre est recueillie au bas du tas et est envoyé vers le bassin de stockage

L'usine dispose de deux sections des lixiviations avec au total 14 heaps (tas à lixivier) à raison de 7 heaps par section de tonnage moyen de tous les heaps est de 40.000 tonnes et les dimensions moyennes sont :

Dimension	L	L	H	S	V	α
Section I	150m	60m	4m	9.600m ²	38.400m ³	34°
Section II	150m	60m	4m	9.000m ²	36.000m ³	31°

AVEC :

- L : Longueur du Heap
- l : largeur du heap
- H : hauteur du heap
- S : Surface Du heap
- V : volume du heap
- α : l'angle du talus du heap

Chaque heap est connecté à un bassin de stockage et chaque bassin possède 3 pompes qui assurent la circulation du solvant vers le heap. Les dimensions des bassins sont les suivantes :

Section I :

Cette section compte 13 bassins : 6 pour le circuit cuivre et 7 pour le circuit cobalt. Donc sur les 7 Heaps de cette section, nous comptons 3 heaps des minerais de Cobalt (heap 5,6 et 7).

Dimensions des bassins	L	L	H	S	V
Bassin 1 à 7	51m	28m	3m	1428 m ²	4284 m ³
Big 1 et PIS 1	64m	53m	3m	3392 m ²	10.176 m ³
Big Bassin Co	51m	51m	3m	2583 m ²	7.749 m ³
PLS Co	52m	52m	3m	2704 m ²	8.112 m ³
Bassin relai Co (1&2)	12m	12m	3m	144 m ²	432 m ³

Section II :

Cette section compte 9 bassins, tous pour le circuit cuivre :

Dimensions des bassins	L	L	H	S	V
Bassin 8 à 14	50m	30m	3m	1.500 m ²	4.500m ³
Big Bassin 2	65m	54m	3m	3.510m ²	10.530m ³
PLS 2	50m	30m	3m	1.500m ²	4.500m ³

Hormis la solution d'attaque du heap frais qui est préparé dans le bassin ; les bassins reçoivent aussi les solutions tel que les spent électrolyte (DM : Départ moyen).

Tous les bassins sont rendu imperméables par le tapis HDPE (Poly éthylène haute densité) pour une récupération complète de la solution.

La solution qui lixivie le tas par percolation se retrouve aux pieds du heap enrichi en cuivre (lixiviat) ; une conduite en PVC le collecte par débordement et le dirige vers le bassin de recirculation.

Une fois que le lixiviat atteint la concentration de consigne (40 – 60 g/l de cuivre) il est saigné dans le drain PLS d'où il est envoyé à l'électrolyse à l'aide d'une pompe.

Un heap est disposé sur une plate forme aplaniée, légèrement inclinée de 10° pour une évacuation facile de la solution. On a placé une couche de sable (Rejet du concentrateur) ensuite le tapis HPDE et une toile épaisse en feutre sur l'aire du tas avant d'y charger le minerai.

C. ELECTROLYSE CUIVRE

L'électrolyse constitue la dernière étape d'une usine hydro métallurgique pour la production du cuivre cathodique.

L'objectif de cette section est la production du cuivre cathodique de la plus haute pureté possible. La salle d'électrolyse est constituée actuellement de trois halls :

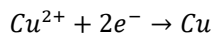
- Le Hall I et III comprennent 62 cellules électrolytiques réparties en deux rangées de 31 cellules chacune.
- Le hall II comprend 60 cellules électrolytiques réparties en deux rangées de 30 cellules chacune. IL y a 30 cellules utilisées pour le PLS (Prégnant Leach Solution) et 30 autres pour le strong Electrolyte (solution de cuivre rendue pure à l'extraction par solvant)

Le PLS venant de la lixiviation contient des ions parmi lesquels on peut citer :

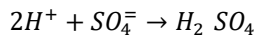
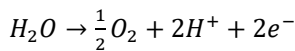
- Les ions cuivre : Cu^{++}
- Les ions hydrogène : H^+
- Les ions sulfate : SO_4^-
- Les ions ferriques : Fe^{3+}
- Les ions ferreux : Fe^{2+}

Au passage du courant électrique dans la salle d'électrolyse, les ions Cu^{2+} attirés par les cathodes neutralisent leur charge en recevant les deux électrons et s'y déposent sous forme métallique alors que les ions SO_4^{2-} sont attirés par les anodes et y cèdent ses deux électrons. L'acide lié au sulfate de cuivre sera régénéré dans le processus d'électrolyse où les réactions se déroulent comme suit :

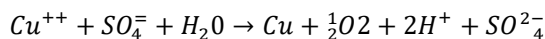
A la cathode : il y a dépôt du cuivre



A l'anode : Il y a régénération de l'acide sulfurique et décomposition de l'eau :



Réaction globale



Il y aura ainsi acidification de l'électrolyte qui empêchera le dépôt du cuivre à l'anode. Le cuivre se dépose à la cathode soit sous forme pulvérulente, soit sous forme compacte.

Les conditions pour un dépôt compact sont :

- Le débit d'alimentation de l'électrolyse : l'alimentation doit se faire à un grand débit si non on produit du cuivre pulvérulent qui est un cuivre fragile et cassable. Le débit d'alimentation est en moyenne de $8m^3/h/cuve$
- L'intensité du courant : s l'intensité est élevée par rapport à la teneur il y aura formation du cuivre pulvérulent. L'intensité du courant se calcul comme suit (Rotuska K., 2008):

$$A = \frac{TDM - 2}{1,5} \times 1000$$

Pour une intensité inférieure par rapport à la teneur, la déposition sera faible, Avec :

A : Ampérage (intensité) en kilo ampère KA

TDM : Teneur du DM

L'ampérage maximum qu'on peut appliquer est de 23000KA

- La quantité des particules solides dans l'électrolyte : s'il y a une grande quantité des particules solides, il y aura formation des nodules.
- La concentration en cuivre de l'électrolyte : pour un bon dépôt cathodique, il est nécessaire d'alimenter à la salle d'électrolyse une solution de concentration élevée pour un gradient de la salle d'électrolyse 5 à 7.

Le déchargement des cathodes est fait après 3 jours de cycle pour 24 T de cuivre /Hall.

2.3 BREF APERÇU SUR LA MINE DE KABOLELA

Notre étude porte sur les minerais de KABOLELA, il devient impérieux de coucher quelques phrases en rapport avec la dite Mine.

2.3.1 LA LOCALISATION

La mine de KABOLELA est située à environ 23Km au Sud Est de l'usine hydro métallurgique de LUITA.

2.3.2 HISTORIQUE

Le gisement a été découvert en 1920 et a été exploité pour la première fois entre 1940 et 1945.

La partie nord KABOLELA longue de 700m est riche en cuivre et pauvre en Cobalt, tandis que la partie Sud (SUD KABOLELA) longue de 300m est riche en Cobalt et pauvre en cuivre.

L'entreprise BOSS MINING a commencé l'exploitation de cette mine aux mois de mai 2010 et n'exploite jusque là que la partie nord (KABOLELA NORD).

2.3.3 MINÉRALISATION

Dans cette mine, on rencontre les espèces minérales suivantes (**Prasad M.S, 1989**) :

- Malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$
- Chrysocolle ($\text{Cu}_5\text{S}_3\text{O}_{13}$)
- Chalcosine (Cu_2S)
- Chalcopyrite (CuFeS_2)
- Pyrite (FeS_2)
- Bornite (Cu_5FeS_4)
- Hétérogénite ($\text{Cu}_2\text{O} \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 0.7\text{H}_2\text{O}$)

3 GENERALITES SUR LA LIXIVIATION

3.1 DÉFINITION

La lixiviation est un procédé de mise en solution d'un constituant d'un mélange chimique ou physique par interaction avec un solvant.

La réaction de lixiviation se fera donc pour une consommation de réactif la plus faible possible avec une moindre contamination de la solution en éléments impurs, raison pour laquelle le solvant utilisé doit être sélectif (**C.B. Gill LAFAYETTE, 1980**).

3.2 TECHNIQUES DE LIXIVIATION ET CHOIX DU SOLVANT

3.2.1 CHOIX DU SOLVANT

Le choix du solvant dépend essentiellement des facteurs ci après :

- Les caractères techniques et physiques de la matière à lixivier
- Le coût du réactif

- La réactivité avec le constituant utilisé à lixivier
- La possibilité de régénération du réactif
- La corrosion limitée du réacteur de lixiviation (**M. Jacob DULIER, 1980- 1981**).

3.2.2 TECHNIQUES DE LIXIVIATION

La dimension, la teneur du minéral et la facilité avec laquelle le minérale est dissout dans un solvant déterminé, sont les facteurs qui contrôlent la détermination du choix de la méthode de lixiviation à adopter. (**Blazy P., 1979**) et (**ILUNGA MUTOMBO, 2004 – 2005**).

On distingue :

- La lixiviation par percolation
- La lixiviation par agitation

A. LIXIVIATION PAR PERCOLATION

Elle est effectuée in situ, en tas ou en bac, elle réalise le contact solide liquide par filtration de la solution à travers un lit fixe de minerais. Celui-ci doit donc se présenter sous forme de grains relativement poreux. (**R. Rumbu, 2012**)

LIXIVIATION IN SITU

Elle est réalisée pour des sites naturels entourés par des roches et d'autres matériaux imperméables susceptibles de ne pas laisser s'échapper le solvant. Cette technique est aussi appliquée dans des galeries de mines épuisées ou on fait circuler un solvant afin de lixivier des particules qui doivent être finement divisées.

LIXIVIATION EN TAS

On peut distinguer :

➤ Heap leaching

C'est une lixiviation de la matière mise en tas qui se fait sur une surface rendue imperméable et aménagée à ces fins.

➤ Dump leaching

C'est une lixiviation qui se fait sur un matériau placé dans une vallée imperméable.

LIXIVIATION PAR PERCOLATION EN BAC

Cette technique de lixiviation applique souvent la circulation à contre courant d'une solution par rapport à un matériau solide fin dans les bacs de percolation.

B. LIXIVIATION PAR AGITATION

Pour éviter le colmatage lorsqu'on a des minerais trop riches et fins, on pratique la lixiviation par agitation. L'agitation peut être pneumatique, mécanique ou mécano pneumatique.

Le but de l'agitation est la réalisation d'un contact intime en dispersant le minerai. (**Biswas A.K. et al., 1994**) et (**F. Habashi, 1970**)

AGITATION MÉCANIQUE

C'est une agitation qui utilise des agitateurs mécaniques qui peuvent être le plus souvent constitué d'une cuve cylindrique ouverte ou fermée (il faut éviter l'oxydation par l'air), munie d'un axe central portant le mélangeur rotatif.

AGITATION PNEUMATIQUE

L'agitation pneumatique est réalisée dans des « Pachuca » où une injection d'air comprimé détermine un mouvement ascendant à la pulpe.

AGITATION MÉCANO PNEUMATIQUE

Elle s'effectue dans les installations à grandes capacités avec un agitateur mécano pneumatique.

LIXIVIATION AU FOUR À MICRO ONDE (À AGITATION MOLÉCULAIRE) (RUMBU, 2012).

L'énergie micro onde a la particularité d'accélérer les réactions chimiques. De nombreuses démonstrations ont pu montrer par exemple des synthèses organiques ou inorganiques, des extractions, des synthèses hydrothermales des poudres céramiques, la lixiviation assistée de minerais cuprifère en milieu chloré par micro ondes avec amélioration de la cinétique.

3.3 TYPES DES LIXIVIATIONS

Les différents types de lixiviation habituellement utilisée sont les suivantes :

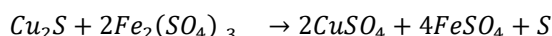
- Lixiviation acide
- Lixiviation acide oxydante
- Lixiviation acide réductrice
- Lixiviation ammoniacale
- Lixiviation alcaline (basique)
- Lixiviation bactérienne.

3.3.1 LIXIVIATION ACIDE

Généralement appliquée aux minerais oxydés ou carbonatés à gangues non dolomitiques, on utilise une solution acide (particulièrement H_2SO_4) pour attaquer les concentrés ou minerais oxydés, carbonatés ou sulfurés préalablement grillés. (M.E. Schlesinger et al., 2011)

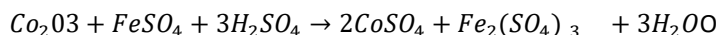
3.3.2 LIXIVIATION ACIDE OXYDANTE

Il y a lixiviation oxydante lorsqu'il y a montée d'état d'oxydation de l'élément dans la solution que dans le solide. Ce type de lixiviation s'applique aux minerais mixtes (Oxyde de sulfure). Les conditions oxydantes peuvent être réalisées par l'air (Oxygène) ou par les ions ferriques présents (Provenant des minerais ou ajoutés intentionnellement). Dans le cas de Cuivre par exemple la réaction s'écrit :



3.3.3 LIXIVIATION ACIDE RÉDUCTRICE

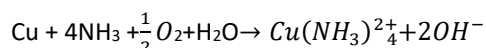
Dans ce type de lixiviation, la solution lixiviante est rendue réductrice par un agent réducteur tel que le SO_2 , le fer ferreux, le NO_2 , le Méta bisulfite de sodium. C'est le cas de lixiviation du cobalt trivalent qui ne se lixivie pas en présence d'acide sulfurique seul, on utilise de réducteur comme le fer (II), (ALVAYAI.C, 2006) selon la réaction :



3.3.4 LIXIVIATION AMMONIACALE

Elle s'applique aux minerais oxydés ou carbonatés pour y extraire les métaux tels que le cuivre, le cobalt, le Nickel, ... sous forme de complexes. On utilise généralement le $(NH_4)_2CO_3$ et NH_4OH . Ce procédé est sélectif car les impuretés ne forment pas de complexes avec le NH_3 .

C'est par exemple :



3.3.5 LIXIVIATION ALCALINE (BASIQUE)

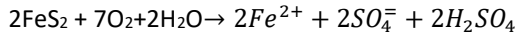
Elle peut être directement réalisée par la soude en autoclave pour des oxydes légèrement acides ou amphotères. Elle est plus sélective car les métaux sont moins solubles en milieu basique qu'en milieu acide.

Par exemple : $Al_2O_3 \cdot xH_2O + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + (x + 1)H_2O$

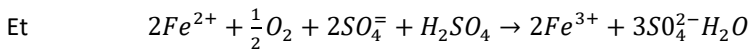
3.3.6 LIXIVIATION BACTÉRIENNE

La biolixiviation est un procédé qui utilise des microorganismes pour catalyser les réactions d'oxydation de certains matériaux. Elle est souvent utilisée pour la mise en solution des minerais complexes. L'agent oxydant le plus important est le Fe^{3+} , ce dernier est généré par la présence des bactéries et de l'oxygène de l'air.

A titre d'exemple on a :



Catalyse par bactérie (Thiobacillus thiooxydans)



Catalyse par bactérie (Thiobacillus ferro oxydans)

4 METHODE ET MATERIELS

4.1 PRODUITS UTILISÉS

- Le minerai de KABOLELA
- L'acide sulfurique à 98%, densité 1,84
- L'eau

4.2 MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le montage comprend :

- Une pompe centrifuge de marque CORROPUMP
- 2 bacs en PVC dont l'un contient les minerais à lixivier et l'autre contient le solvant
- Des conduites en PVC pour l'aspiration, le refoulement, by-passé et une sur laquelle on aperçoit des petits trous qui longent le bac contenant le minerai, pour le sprayage.

4.3 APPAREILLAGES

Nous avons utilisés les appareils suivants :

- Une balance de précision de marque NAGATA
- Un concasseur de marque HADFIELDS
- Un broyeur de marque Dockie Stockler
- Un pH mètre de marque INOLAB 720
- Un pied gradué de 250 ml

4.4 MÉTHODE D'ANALYSE

Les analyses des échantillons issus de la lixiviation ont été effectuées par absorption atomique au laboratoire de l'entreprise minière BOSS MINING.

4.5 MODE OPÉRATOIRE

Les étapes expérimentales de nos essais sont :

- Prélever une quantité de minerais sur le remblai. Nous avons prélevé 276 Kg
- Tamiser le 276Kg de minerais sur 4 tamis (19,05 ; 12,7 ; 6,35 ; 2,72mm)
- Prélever 40kg de minerai sur le refus de chaque tamis

- Placer 40 Kg de minerai prélevé dans le bac à minerai
- Prélever 138 ,45l d'eau et les verser dans le bac à solvant
- Prélever 1,55l d'acide sulfurique et les verser dans le bac à solvant
- Démarrer la pompe, homogénéiser la solution, puis procéder à la lixiviation
- Prélever un échantillon chaque 2heures et l'envoyer aux analyses chimiques.

4.6 CONDITIONS DE TRAVAIL

Pour arriver aux résultats que nous présentons au chapitre II, nous avons travaillé dans les conditions suivantes :

- 48 heures de lixiviation pour chaque tranche granulométrique
- pH variant de 0,9 à 2 ;
- Débit de sprayage 64m³/h
- Température ambiante

4.7 EVALUATION DE LA LIXIVIATION

4.7.1 RENDEMENT DE LA LIXIVIATION

C'est le rapport exprimé en pourcentage entre les poids solubilisés de l'élément et le poids de l'élément contenu dans l'échantillon avant lixiviation. Il est calculé sur base des résultats d'analyse chimique sur le résidu et sur l'échantillon. (**Prasad M.S, 1989**)

L'expression du rendement est :

$$\beta\delta = \frac{P1.T1-P2.T2}{P1.T1} \times 100 \quad (1)$$

Avec

P1 : Poids de l'échantillon de départ en Kg

P2 : Poids du résidu après lixiviation en Kg

T1 : Teneur de l'élément dans l'échantillon en %

T2 : Teneur de l'élément dans le résidu en %

4.7.2 SOLUBILISATION

C'est le poids du métal solubilisé exprimé en Kg/tonne de solide lixivié ; elle est aussi calculée sur base des analyses chimique sur les solides (résidu et échantillon)

$$\frac{\left(\frac{P1 \times T1}{100}\right) - \left(\frac{P2 \times T2}{100}\right)}{P1} \times 1000 \quad (2)$$

5 ANALYSES ET INTERPRETATION DES RESULTATS

5.1 CARACTÉRISATION DU MINERAI À LIXIVIER

Tableau 1 : Analyse granulométrique

TAMIS	REFUS		Refus cumulé	Passant cumulé
	Kg	%		
mm			%	%
+19,05	62	22,46	22,46	77,54
-19,05+12,7	49	17,75	40,21	59,79
12,7 +6,35	67	24,28	64,52	35,48
-6,35+2,72	43	15,58	80,1	19,9
-2,72	55	19,9	100,00	00,0
Total	276	100,00		

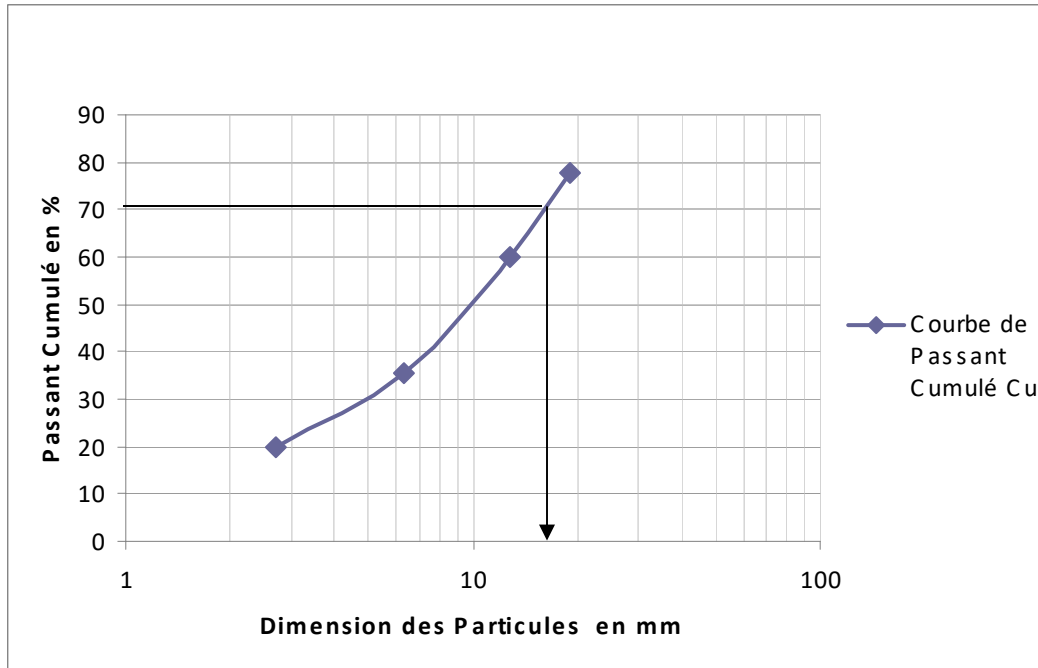


Figure 1: Pourcentage de Passant Cumulé en fonction de la dimension de tamis.

Constatation : Le résultat présent sur La figure1 montre que, le diamètre d_{70} est tel qu'environ 70% des minerais passent à travers un tamis de maille comprise entre 12,7 et 19,05 mm.

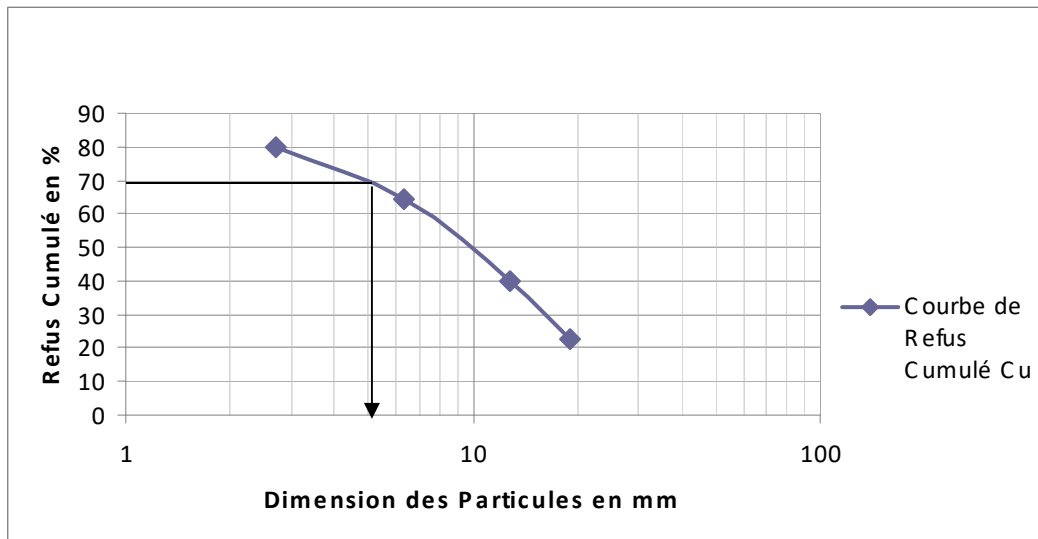


Figure 2: Pourcentage de Refus Cumulé en fonction de la dimension de tamis.

Constatation : Le résultat présent sur la figure 2 montre que, le diamètre d_{70} est tel qu'environ 70% des minerais sont retenus à travers un tamis de maille comprise entre 2,72 et 6,35 mm

Tableau 2 : Analyse granulochimique du minerai brut de KABOLELA

Tamis	Refus		Refus Cumulé	Passant Cumulé	Teneur Cu	Poids Cu	Répartition Cu	Teneur Co	Répartition Co	Poids Co
Mm	Kg	%	%	%	%	Kg	%	%	%	Kg
+19,05	62	22,46	22,46	77,54	9,84	3,936	28,134	0,06	17,64	0,024
19,05+12,7	49	17,75	40,21	59,79	5,84	2,336	16,697	0,10	29,41	0,04
-12,7+6,35	67	24,28	64,52	35,48	6,39	2,55	18,227	0,09	26,47	0,036
-6,35+2,72	43	15,58	80,1	19,9	6,62	2,648	18,927	0,03	8,82	0,017
-2,72	55	19,9	100,00	00,0	6,3	2,52	18,012	0,06	17,64	0,024
Total	276	100				13,99	100		100	0,136

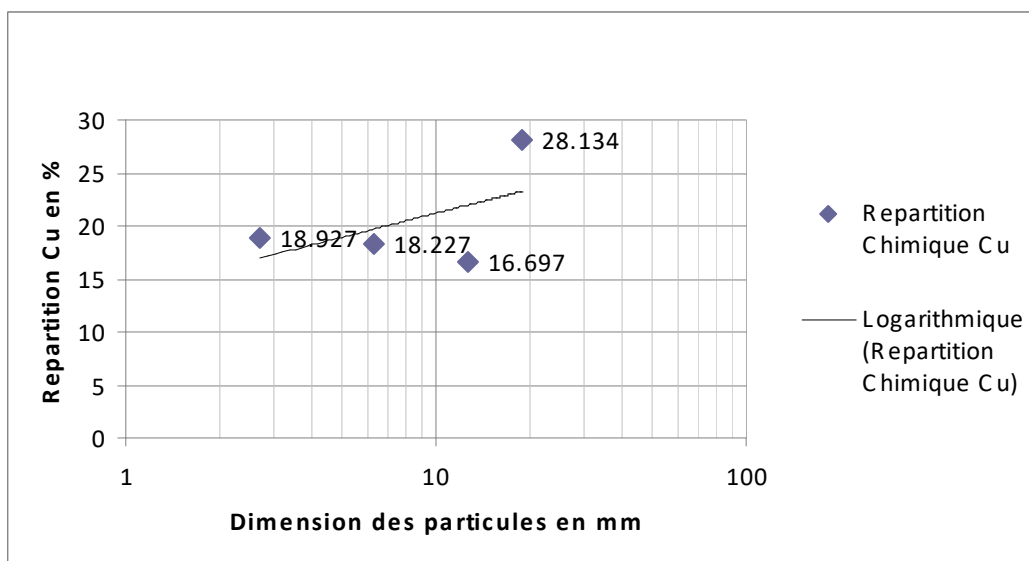


Figure 3 : Répartition du cuivre en fonction de la dimension des tamis

Constatation : Dans l'ensemble des résultats présentés dans la figure 3, nous remarquons que, plus la fraction est fine, elle renferme une grande quantité des métaux (cas du Cuivre).

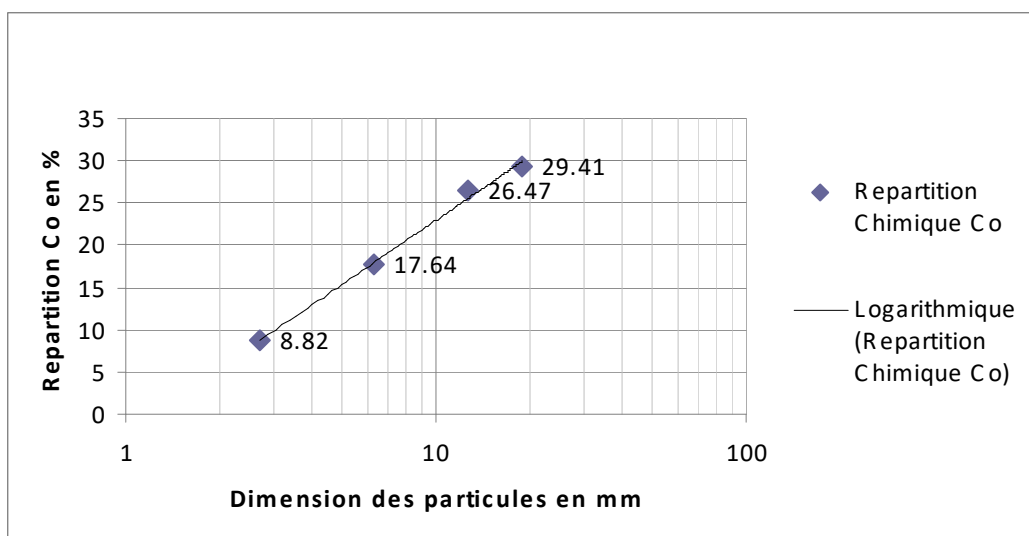


Figure 4 : Répartition du cobalt en fonction de la dimension des tamis

Constatation : Les résultats présentés dans la figure 4, montre que, plus la fraction est fine, elle renferme peu des métaux et plus elle est grande, elle renferme une bonne quantité des métaux ; ce qui expliquera que, pendant qu'on passe les analyses granulométriques, les fines particules avaient moins des métaux par rapport aux grandes suite à un problème de degré de libération de la roche broyée (cas du Cobalt). Donc pour le Cobalt par rapport au Cuivre, la fraction la plus fine renferme peu de Cobalt et beaucoup de Cuivre.

5.2 TESTS DE LIXIVIATION DES DIFFÉRENTES TRANCHES GRANULOMÉTRIQUES

Dans les minerais de KABOLELA nous avons analysé le Cuivre et le Cobalt dont les résultats sont les suivants :

Le tableau 3 ci-dessous montre que, le rendement de lixiviation et la solubilisation du Cuivre augmentent plus les particules sont fines.

Tableau 3 : résultats des essais de lixiviations du cuivre

Tamis mm	Alimentation			Résidus			rendement %	Solubilisation Kg/t
	%Cu	Poids Al (Kg)	Poids Cu(Kg)	%Cu	Poids (Kg)	Poids Cu(Kg)		
19,05	9,84	40	3,936	6,69	37,402	2,502	36,4	35,85
12,7	5,84	40	2,336	3,11	37,661	1,17	49,91	29,15
6,35	6,39	40	2,55	2,82	37,34	1,053	58,7	37,5
2,72	6,62	40	2,648	1,43	38,728	0,55	79	49,35

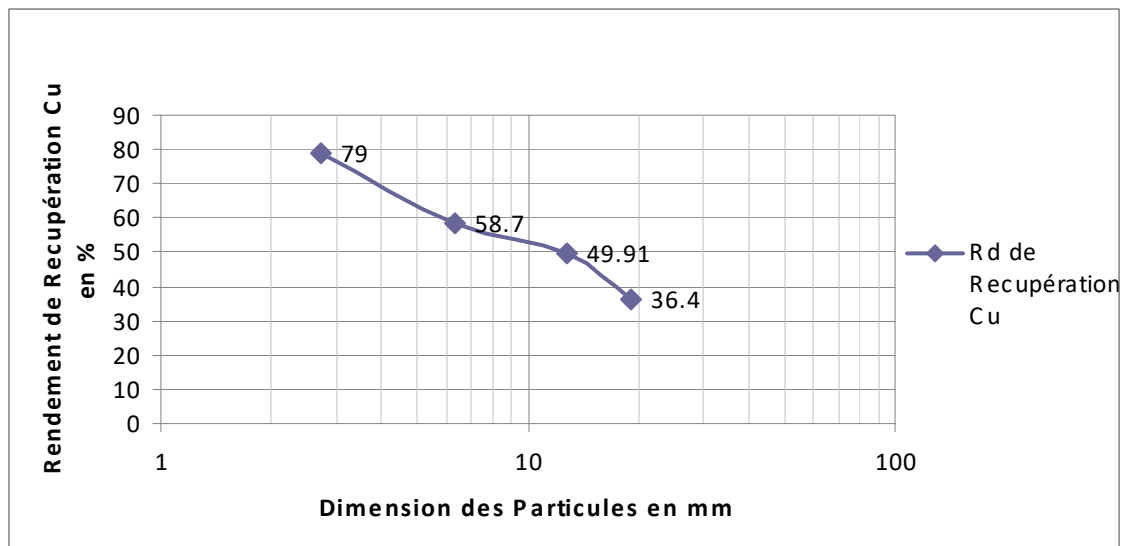


Figure 5 : Evolution du rendement de la lixiviation du Cuivre en fonction de la granulométrie.

Constatation : Nous remarquons que, le rendement de la lixiviation du cuivre croît lorsque la taille des particules diminue ; ceci se justifie par le fait que dans la fraction fine, la surface de contact solide-liquide devient grande.

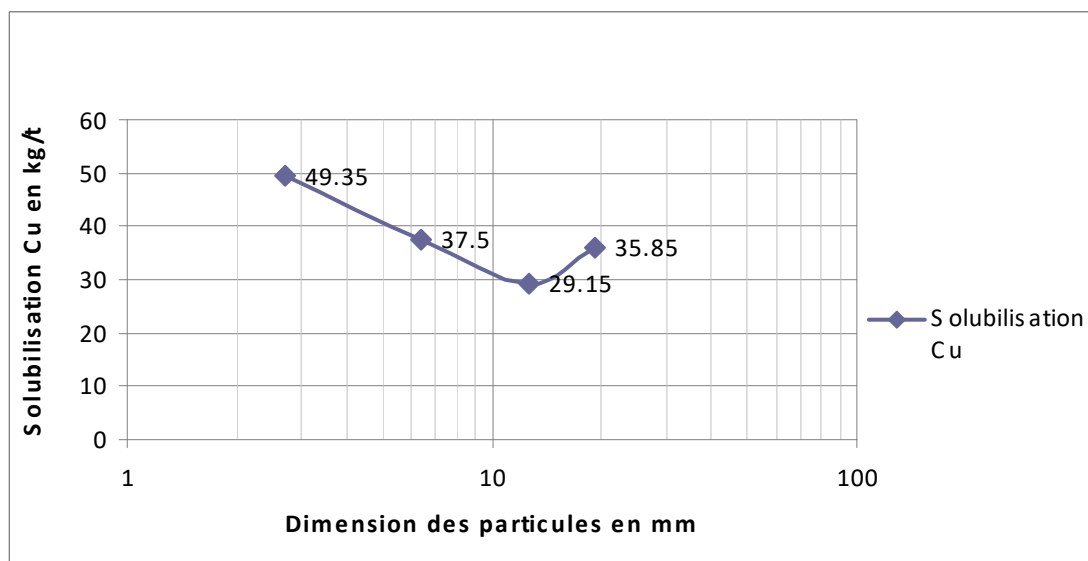


Figure 6 : Evolution de la solubilisation du Cuivre en fonction de la granulométrie.

Constatation : La solubilisation du cuivre croit lorsque la granulométrie décroît.

Le tableau 4 Ci-dessous, présente les résultats de l'évolution de la cinétique de dissolution de Cuivre en fonction du temps.

Tableau 4 : Observations sur la cinétique de dissolution du cuivre

Temps en Heure	Dimensions en mm			
	19,05	12,7	6,35	2,72
	concentration en g/l			
0	0	0	0	0
2	4,72	3,14	8,8	1,69
4	5,28	5,53	8,85	5,35
6	7,55	6,67	11,94	9,13
8	9,72	7,28	12,95	12,27
10	9,79	9,65	13,17	13,37
12	9,83	11,82	13,77	13,69
14	10,07	12,18	14,12	16,35
16	10,47	12,84	14,17	16,96
18	11,31	12,88	14,22	19,3
20	11,39	12,91	14,29	19,32
22	11,42	12,98	14,57	19,5
24	11,47	13,02	14,93	20,06
26	11,51	14,01	14,97	22,16
28	11,59	14,77	14,99	23,03
30	11,61	14,95	15	23,87
32	11,72	15	15,1	24,16
34	11,77	15,2	15,31	24,84
36	11,89	15,1	16,35	25,16
38	12,05	15,21	16,43	25,22
40	12,53	15,33	16,47	25,38
42	12,7	15,42	16,57	25,42
44	14,1	15,48	16,94	25,59
46	15,17	15,49	17,01	25,59
48	16,88	15,53	17,18	25,59

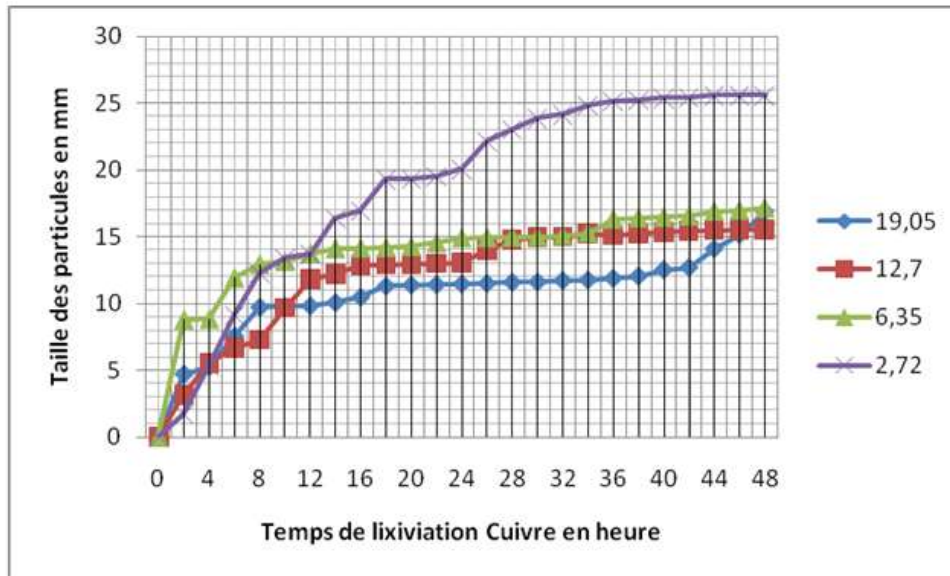


Figure 7 : Observation sur la cinétique de la dissolution du cuivre

Constatation : nous remarquons que, à un même temps de lixiviation de 48 heures, la dissolution du métal dans l'acide est fonction de la taille des particules. Et pour récupérer une bonne partie des métaux, il faut aller à plus de 48 heures.

Tableau 5 : Résultat de la lixiviation du cobalt

Tamis mm	Alimentation			Résidus			Rendement	Solubilisation
	%Co	Poids Alim/kg	Poids Co/Kg	%Co	Poids Kg	Poids Co	%	Kg/t
19,05	0,06	40	0,024	0,02	37,402	0,0074	69,16	0,45
12,7	0,10	40	0,04	0,02	37,661	0,0075	81,25	0,8125
6,35	0,09	40	0,036	0,05	37,34	0,0186	48,3	0,4325
2,72	0,03	40	0,012	0,02	38,728	0,0077	35,8	0,105

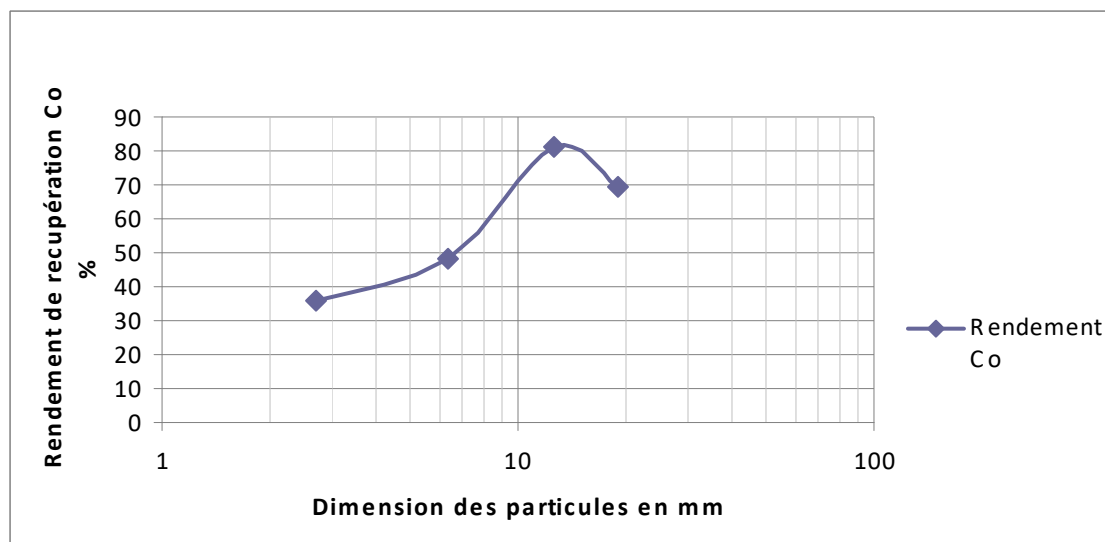


Figure 8 : Evolution du rendement de la lixiviation du cobalt en fonction de la granulométrie

Constatation : Le rendement de la lixiviation du cobalt croit avec la granulométrie. Ceci se justifie par le fait que dans la fraction fine, il y a moins de Cobalt que dans la fraction grossière.

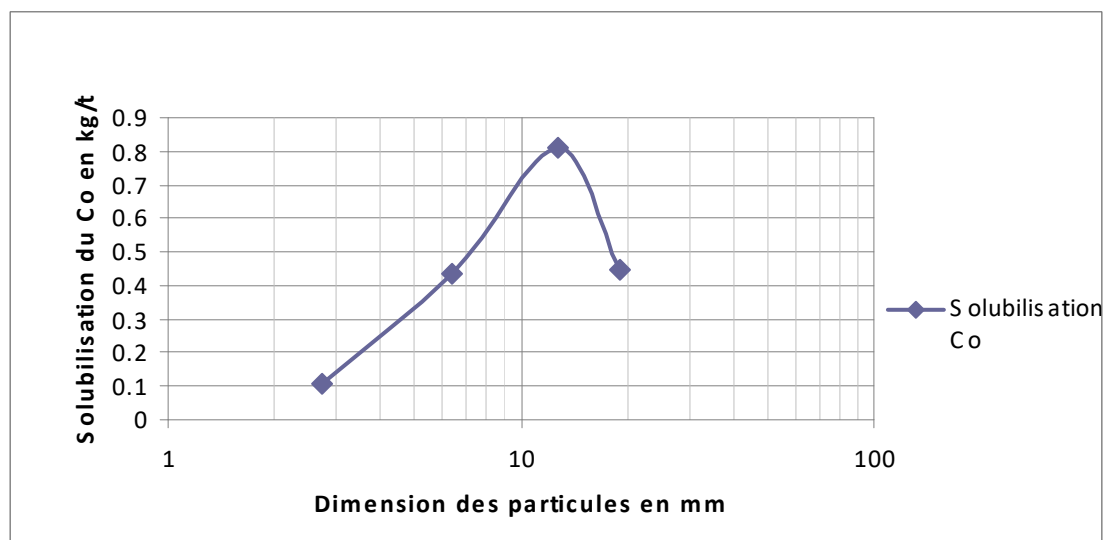


Figure 9 : Evolution de la solubilisation du cobalt en fonction de la granulométrie.

Constatation : La solubilisation du cobalt croit avec la granulométrie, cette situation s'explique par le fait que nous avons moins de cobalt dans la fraction fine que dans la fraction grossière.

Tableau 6 : Observation sur la cinétique de dissolution du cobalt

Temps en Heure	Dimensions en mm			
	19,05	12,7	6,35	2,72
	concentration en g/l			
0	0	0	0	0
2	0,01	0,02	0,01	0,02
4	0,03	0,03	0,02	0,02
6	0,03	0,04	0,04	0,02
8	0,04	0,05	0,05	0,04
10	0,04	0,05	0,05	0,04
12	0,05	0,05	0,05	0,05
14	0,06	0,05	0,06	0,05
16	0,06	0,06	0,07	0,06
18	0,06	0,06	0,07	0,06
20	0,06	0,07	0,09	0,06
22	0,07	0,07	0,1	0,07
24	0,07	0,07	0,1	0,08
26	0,07	0,08	0,11	0,09
28	0,08	0,09	0,11	0,09
30	0,08	0,09	0,11	0,1
32	0,08	0,09	0,12	0,11
34	0,08	0,1	0,12	0,12
36	0,08	0,1	0,13	0,12
38	0,08	0,1	0,13	0,14
40	0,08	0,1	0,13	0,14
42	0,08	0,1	0,13	0,17
44	0,08	0,1	0,13	0,17
46	0,08	0,1	0,13	0,17
48	0,08	0,1	0,13	0,17

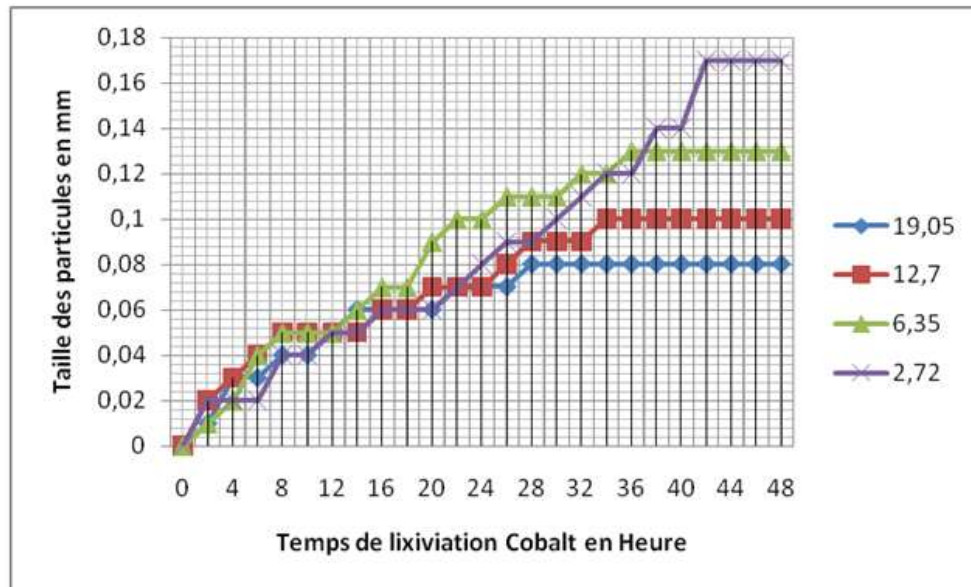


Figure 10 : Observation sur la cinétique de dissolution du cobalt en fonction du temps.

Constatation : nous remarquons que, à un même temps de lixiviation de 48 heures, la dissolution du métal dans l'acide est fonction de la taille des particules.

Et nous remarquons la présence des paliers sur toutes les courbes ; cela s'explique par le fait que la lixiviation du cobalt se passe difficilement à l'absence d'un réducteur et c'est le Cobalt bivalent qui entre en solution.

Mais nous remarquons que lors des analyses sur les résidus, il y a encore une quantité de Cobalt dans celui-ci, on se rappellera que le Cobalt trivalent ne se lixivie pas en présence de l'acide sulfurique seul sans la présence d'un réducteur.

6 CONCLUSION GENERALE

Le minerai de KABOLELA qui a fait l'objet de notre travail, contient 10% Cu et 0,20% de Co. Il s'agit donc d'un minerai cupro-cobaltifère, riche en Cuivre et pauvre en Cobalt.

De l'étude de lixiviation en tas de ces minerais, il ressort ce qui suit :

- Le rendement de lixiviation du cuivre effectué sur différentes tranches granulométriques augmente avec la finesse du minerai, alors que celui du cobalt croît avec la granulométrie ; En effet après 48 heures de lixiviation, le rendement du cuivre varie de 36,4 à 79% et celui du cobalt varie de 69,16 à 35,8% quand la granulométrie passe de 19,05 à 2,72 mm.
- La cinétique de dissolution du cuivre dans la fraction fine est plus rapide que dans la fraction grossière, d'où la lixiviation est inachevée ; la cinétique de dissolution du cobalt, bien qu'elle est rapide pour les fines et lente pour les grossières, on constate des paliers sur toutes les fractions et traduisant ainsi la fin de la lixiviation du Cobalt bivalent.
- nous remarquons que, à un même temps de lixiviation de 48 heures, la dissolution du métal dans l'acide est fonction de la taille des particules.
- Et signalons également que, si nous utilisons le Métabisulfite de Sodium pour réduire le cobalt trivalent en cobalt bivalent, nous aurons des résultats encore plus meilleurs que ceux obtenus.

Et nous remarquons la présence des paliers sur toutes les courbes sur la figure 10 de cinétique de dissolution du cobalt en fonction du temps. Cela s'explique par le fait que, la lixiviation du cobalt se passe difficilement à l'absence d'un réducteur.

- Mais nous remarquons que lors des analyses sur les résidus, il y a encore une quantité de Cobalt dans celui-ci ; on se rappellera que le Cobalt trivalent ne se lixivie pas en présence de l'acide sulfurique seul sans la présence d'un réducteur.

REFERENCES

- [1] ALVAYAI.C, Traitement hydro métallurgique des minerais Cupro-Cobaltifère du Katanga, Mémoire de DEA, GEOMAC, Université de Liège, 2006.
- [2] Bernard, Copper Metallurgy. American Inst. Of Min. and Met. Engineers, 1934.
- [3] Biswas A. K. et al., Extractive Metallurgy of Copper, third edition, Pergamon, Oxford, 1994.
- [4] Blazy P., la Metallurgies des Métaux non Ferreux, édition Gédim, Saint-Etienne, 1979.
- [5] C.B.GILL FAYETTE, Non ferrous extractive metallurgy, John WILLY and sons, New York, 1980.
- [6] F. HABASHI, Principle of extractive metallurgy, Volume 2, New York, 1970.
- [7] M.E. Schlesinger et al., Extractive metallurgy of copper, fifth edition, Elsevier, Oxford, 2011.
- [8] Prasad M.S., Production of Copper and Cobalt at Gecamines-Zaïre, Minerals Engineering, Vol. 2, N°4, 1989, pp. 521 - 541
- [9] R. Rumbu, Métallurgie Extractive du Cobalt, 2RA-Publishing, Cap-Town, Afrique du Sud, 2012.
- [10] Rotuska K., Growing role of solvent extraction in copper ores processing, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 42 (2008), pp. 29-36
- [11] ILUNGA MUTOMBO, Cours de métallurgie des non ferreux, inédit, UNILU, 2004 - 2005.
- [12] KADJAT et MUDEKEREZA J, Lixiviation en tas (Heap leaching) et extraction par solvant du cuivre et du Cobalt des minerais cupro cobaltifère (Cas du minerai de MUKONDO exploité par l'entreprise BOSS MINING) Mémoire de fin d'Etudes, Faculté Polytechniques, UNILU, 2009.
- [13] MBAYO J., Etude paramétrique d'une lixiviation par agitation à l'acide sulfurique de la boue Cobaltifère de la STL, Travail de fin d'études, ESI, UNILU, 2008.
- [14] MBWEB P., Etude de la lixiviation en tas du minerai Cupro cobaltifere de TILWEZEMBE, Travail de fin d'études, ESI, UNILU, 2008.
- [15] NGOY D., Contribution à l'étude de la valorisation des anciens rejets du concentrateur de Kambove par lixiviation directe en cuve agitée, Mémoire de fin d'études, Polytechnique, UNILU, 2010.