

Etude de la lixiviation en tas du minerai cupro-cobaltifère dans les mines de la Province du Katanga en République Démocratique du Congo

Patrick MBWEB KATSHIL

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

Copyright © 2017 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 metal ore in the poor leads us to look for techniques and methods to extract a good amount of it (metal) low cost without passing the gangue in the solution.

For this purpose, to determine leaching parameters seen to recover the metal in a low grade ore, we proceeded to test leaching guidelines heap ore preceded by size analysis and chemical different slices to determine the working parameters that can give satisfactory results. After these analyzes guidance, we opted for crushing the ore to determine the correct job settings for a good recovery of the metal contained in the ore poor and know the slice for perfect contact between the etching solution and ore for metal recovery.

During testing after leaching, we noticed that when we respect the following parameters: a constant acid concentration of 70 g / l, a time of 64 hours, a particle size of 1,700 micron; we dissolved a good amount of metals or a yield ranging between 37.9 to 74.9% when the particle size of the ore pass 9423-850 micron.

However, leaching of the composite sample of the same ore, gives a neighbor leach performance to which is recorded with the fine ore 70.8%.

KEYWORDS: yield, leaching, Ore, copper-cobaltifere, granulometry.

RESUME: L'extraction du métal dans le minerai pauvre nous amène à chercher des techniques et méthodes permettant à extraire une bonne quantité de ce dernier (le métal) à faible coût sans faire passer la gangue dans la solution.

A cet effet, pour déterminer les paramètres de lixiviation en vu de récupérer le métal dans un minerai pauvre, nous avons procédé aux essais d'orientations de lixiviations en tas du minerai précédé par des analyses granulométriques et chimiques des différentes tranches en vue de déterminer les paramètres de travail pouvant donner des résultats satisfaisant. Après ces analyses d'orientations, nous avons opté pour le broyage du minerai, afin de déterminer les bons paramètres de travail pour une bonne récupération du métal contenu dans le minerai pauvre et connaitre la tranche permettant un contact parfait entre la solution d'attaque et le minerai pour la récupération du métal.

Lors des analyses après lixiviation, nous avons remarqué que, lorsque nous respectons les paramètres ci-après : une concentration en acide constante de 70 g/l, un temps de 64 heures, une granulométrie de 1700 micron ; nous mettons en solution une bonne quantité des métaux soit un rendement qui varie entre 37,9 à 74,9 % quand la granulométrie du minerai passe de 9423 à 850 micron.

Cependant, la lixiviation de l'échantillon composite du même minerai, donne un rendement de lixiviation voisin à celui que l'on enregistre avec les minerais fins, soit 70,8%.

MOTS-CLEFS: rendement, Lixiviation, Minerai, cupro-cobaltifère, granulométrie.

1 INTRODUCTION

De nos jours, l'utilisation des métaux non ferreux dans différentes technologies du monde a augmenté et fait à ce que le producteur recourt aux gisements pauvres pour extraire le métal.

Avec l'embellie du cours des métaux non ferreux (Roger RUMBU, 2013), il devient essentiel de connaître les moyens et possibilités à mettre en œuvre pour récupérer les métaux, à moindre frais, même dans les minerais pauvres. A cet effet, l'une des méthodes auxquelles les industriels recourent actuellement pour produire les métaux est l'extraction par solvant précédée d'une opération de lixiviation en tas, effectuée à une granulométrie permettant de mettre en solution une grande partie des métaux tout en y minimisant le passage des éléments indésirables.

C'est dans cette optique que nous étudions la lixiviation en tas d'un minerai pauvre, avec application au minerai cupro-cobaltifère de Tilwezembe une carrière de la générale des carrières et des mines, GCM en sigle en République Démocratique du Congo.

Notre travail comporte deux parties :

Dans la première, nous donnons des considérations générales sur la lixiviation, à savoir les différentes techniques, les réactifs et la cinétique de mise en solution des métaux.

Dans la seconde, nous présentons les résultats de l'étude de lixiviation en tas du minerai cupro-cobaltifère de la mine de Tulwezembe, dans la province du Katanga en République Démocratique du Congo.

2 CONSIDERATIONS GENERALES

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 FAYETTE, 1980).

La dimension, la teneur du minerai et la facilité avec laquelle le minerai est dissout dans le solvant déterminé ; sont les facteurs qui contrôlent la détermination du choix de la méthode de lixiviation à adopter (FATHI HABASHI, 1970).

En variant la granulométrie des minerais, le temps de lixiviation, la concentration de l'acide et la teneur en réducteur, nous essayerons de réunir les meilleures conditions de lixiviation en tas du minerai de Tilwezembe.

Hors, la lixiviation est la mise en solution d'un ou des plusieurs métaux valorisables en vue de leur extraction ultérieures. Cette dissolution chimique se fait sélectivement avec mise en solution des métaux.

2.1 TECHNIQUES DE LIXIVIATIONS

Il existe plusieurs techniques de lixiviations qui sont :

- La lixiviation par percolation : Elle est effectuée in situ, en tas ou en bac ; elle se réalise par le passage de la solution à travers un lit de minerais.

Ex : lixiviation in situ, lixiviation en tas et lixiviation par percolation en bac

- La lixiviation par agitation : La lixiviation par agitation est limitée au minerai riche et fin dont la taille des particules ne permet pas la percolation.

Ex : Agitation mécanique, agitation pneumatique, agitation mécanique et pneumatique simultanée et lixiviation au four à micro-onde (Roger RUMBU, 2013).

2.2 TYPES DE LIXIVIATIONS

L'hydrométallurgie présente plusieurs variantes selon les conditions chimiques ou physiques réalisées. La dissolution doit être sélective, c'est-à-dire que le métal valorisable doit être complètement dissous tandis que la gangue doit rester quasi inattaquée cela pour économiser les réactifs et pour éviter une contamination de la solution.

Les différents types de lixiviation habituellement utilisés sont les suivants :

- Lixiviation acide
- Lixiviation acide oxydante
- Lixiviation réductrice
- Lixiviation ammoniacale
- Lixiviation alcaline
- Lixiviation par cyanuration
- Lixiviation avec du chlore ou chlorurante
- Lixiviation par les bactéries.

2.2.1 LIXIVIATION ACIDES

Généralement appliquée aux minerais oxydés ou carbonatés à gangues non dolomitiques. Les conditions de cette lixiviation peuvent être examinées sur le diagramme de M. POURBAIX (tension –pH). On utilise une solution acide (particulièrement H₂SO₄) pour attaquer les concentrés ou minerais oxydés, carbonatés ou sulfurés préalablement grillés.

2.2.2 LIXIVIATION ACIDES 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 et sulfures). L'acide sulfurique est le solvant le plus utilisé.

Les conditions oxydantes peuvent être réalisées par l'air (oxygène) ou par les ions ferriques présents (provenant des minerais ou ajoutés intentionnellement).

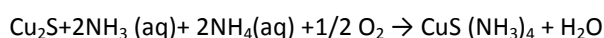
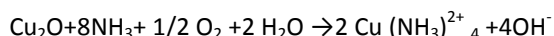
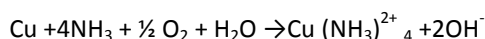
2.2.3 LIXIVIATION RÉDUCTRICE

Dans ce types de lixiviation, la solution lixiviante est rendue réductrice par un agent réducteur tels que le SO₂, le fer ferreux, le NO₂, le métabisulfite de sodium. La réduction permet la dissolution des oxydes tels que MnO₂ et CO₂O₃ qui ne sont pas solubles dans l'acide sulfurique dilué.

2.2.4 LIXIVIATION AMMONIACALE

Elle s'applique aux minerais à gangues dolomitiques pour extraire les métaux tels que le cuivre, le Nickel,... sous forme de complexes. On utilise généralement le (NH₄)₂CO₃ et NH₄OH. Ce procédé est sélectif car les impuretés ne forment pas de complexes avec le NH₃.

On peut donner à titre d'exemple quelques réactions principales de lixiviation du cuivre :



2.2.5 LIXIVIATION ALCALINE (BASIQUE)

Elle peut être directement réalisée par la soude en autoclave pour des oxydes légèrement acides ou amphotères (Al₂O₃, WO₃...).

2.2.6 LIXIVIATION PAR CYANURATION

Ce type de lixiviation est appliqué essentiellement au traitement des métaux précieux. On utilise une solution diluée de cyanure de potassium (KCN) en milieu basique pour éviter l'hydrolyse du cyanure.

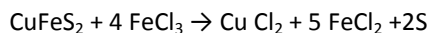
2.2.7 LIXIVIATION AVEC DU CHLORURE OU CHLORURANTE

Dans certains cas il peut être intéressant de passer par un chlorure soluble. Toutes fois on évite généralement de faire cette lixiviation compte tenu des difficultés technologiques en matière de corrosion et du cout de l'acide (HCl).

On utilise souvent une solution de chlorure de Fer (III).

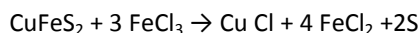
Voici quelques exemples dans le cas du cuivre :

- *Procédé cuprex*



La réaction se passe en solution aqueuse à 65°C.

- *Procédé Duval-Cominco*



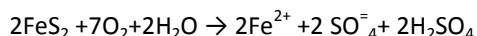
2.2.8 LIXIVIATION PAR LES BACTÉRIES

Elle est souvent utilisée pour en solution des minerais complexes. Ici 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.

Les micro-organismes, qui font d'office d'agent lixiviations, jouent le rôle de catalyseur.

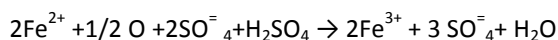
Au-dessus de 40°C ils meurent, mais à pH=2,3 ils sont actifs, en dehors de pH 1 à 5, la croissance bactérienne est La température a une influence très notable car leur activité devient nulle en dessous de 0°C et arrêtée.

A titre d'exemples on a :



Et

Catalyse par bactérie (thiobacillus thiooxydant)



Catalyse par bactérie (thiobacillus ferrooxydant)

2.3 DIFFERENTS REACTIFS UTILISES EN LIXIVIATION

Pour faire la lixiviation, il faut qu'il y ait une solution ou un agent lixiviant (solvant) pouvant nous aider à la mise en solution.

Nous distinguons quatre types d'agent lixivians qui sont : L'eau, Les sels (solutions salines), Les acides, Les bases.

2.3.1 L'EAU

L'eau seule est utilisée pour la lixiviation des calcinées produits par un grillage sulfatant avec un appoint minime en acide.

2.3.2 LES SELS

Parmi lesquels nous pouvons retenir trois solutions salines :

- Les sulfates ferriques : utilisés pour la lixiviation des minerais sulfurés.
- Le carbonate de sodium : utilisé pour la lixiviation des minerais d'uranium.
- Le chlorure de sodium : utilisé pour la lixiviation de sulfate et dès l'argent ... etc.

2.3.3 LES ACIDES

Les acides sont utilisés pour l'attaque de plusieurs constituants parfois d'une manière sélective.

L'acide sulfurique est le réactif le plus utilisé, car il pose moins des problèmes de corrosion, il est moins cher, assez sélectif facilement régénérable (M.JACOB-DULIERE, 1981)

2.3.4 LES BASES

L'hydroxyde de sodium est utilisé pour dissoudre l'aluminium dans le minerai de bauxite dans le procédé BAYER.



Le choix de l'agent lixiviant dépend essentiellement des facteurs ci-après (M.JACOB-DULIERE, 1981):

- Les caractéristiques chimiques et physiques de la matière à dissoudre.
- Le coût du réactif.
- La réactivité avec le constituant utile à dissoudre.
- La possibilité de régénération du réactif.
- La corrosion limitée du réacteur de lixiviation.

3 APPROCHES THERMODYNAMIQUE ET CINETIQUE DE LA LIXIVIATION DES METAUX CONTENUS DANS UNE SOLUTION

3.1 APPROCHE THERMODYNAMIQUE ET CINETIQUE DE LA LIXIVIATION

En contact des solutions aqueuses, un métal peut être stable ou instable et cela pourrait se résumer dans un diagramme de POURBAIX permettant de déterminer la forme sous laquelle un élément peut se présenter et dans quel domaine de stabilité il existerait en fonction de la tension (ou du potentiel) E et du pH (TERRE ROSENQVIST, 1974).

Le rôle essentiel de ce diagramme en lixiviation est d'indiquer les conditions de tension et de pH dans lesquelles les réactions d'oxydations et de réductions des métaux sont possibles ou pas en solutions aqueuses ; un métal en solution peut être identifié sur le diagramme E-pH dans deux zones à savoir :

- La zone oxydante
- La zone réductrice

Si un métal est stable dans un domaine de E-pH déterminé ; un changement d'un de deux paramètres peut modifier le domaine de stabilité de ce minéral. En cas de modification du domaine de stabilité, le minéral se décompose particulièrement ou totalement et la vitesse de cette décomposition est fonction de divers paramètres tels que la température, la concentration en oxydant ou en réducteur,...

C'est pour cela que pour le cas des sulfures de cuivres, ils sont stables dans un domaine E-pH réducteur.

3.2 APPROCHE CINETIQUE DE LA LIXIVIATION

La lixiviation met en contact deux phases différentes qui sont : la phase solide formée du minéral et la phase liquide constituée de réactif. La réaction de lixiviation s'effectue à l'interface réactionnelle de deux phases et il y a transfert de matière de la phase solide vers la phase liquide (TERRE ROSENQVIST, 1974).

3.2.1 MÉCANISME DE LA LIXIVIATION

Après une étude approfondie du mécanisme de lixiviation, la transformation physico-chimique s'opère en cinq étapes :

- Le transfert des réactifs en solution vers l'interface solide-liquide.
- L'absorption des réactifs à la surface.
- La désorption des produits solubles de la réaction.
- Le transport des produits de l'interface solide-liquide vers la solution.

D'une manière générale, on peut résumer les cinq étapes du mécanisme de lixiviation en trois étapes en associant les deux premières et les deux dernières :

- Le transport des réactifs du liquide vers l'interface par convection et diffusion.
- La réaction chimique de lixiviation à la surface.
- Le transport des produits de l'interface vers le sein du liquide par diffusion et convection.

3.3 VARIABLES DE LIXIVIATION

La cinétique chimique des réactions hétérogènes, en plus des variables usuelles (Granulométrie, temps, température, ...) dépendent de la vitesse de transfert des matières entre phases ainsi que leur mode de contact.

Nous sommes tenus d'observer les conditions optimales pour avoir un bon rendement de récupération du métal ou des métaux valorisables dans la lixiviation ; on vise une solubilisation efficace c'est-à-dire solubiliser le minerai utile tout en réduisant au maximum la contamination et la durée de lixiviation.

3.4 FACTEURS INFLUENCANT LA CINÉTIQUE DE LIXIVIATION

- La concentration des réactifs,
- La température et la pression,
- La taille des particules,
- L'agitation.

Les paramètres à étudier sont :

- La granulométrie des particules,
- La concentration de la solution et
- Le temps.

4 MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1 MÉTHODES

Un tuyau en PVC de 37mm de diamètre et de 350mm de long a servi de réacteur de lixiviation. Ce tuyau posé au milieu de la tablette métallique est soutenu à l'aide d'une vis à pression. En dessous de la tablette est posé un récipient qui a pour rôle de récupérer le lixiviat ; la lixiviation s'effectuera pendant 64 heures tout en recyclant la solution de lixiviation et en prélevant la solution de lixiviation après chaque heure pour avoir la concentration voulue de la solution lixiviée; et nous indiquera la fin de lixiviation.

4.2 MATÉRIELS

Et pour avoir une idée sur la fraction qui va permettre à ce que le contact minerai-solution soit parfait, nous allons effectuer des essais suivant différentes tranches granulométriques pour une bonne mise en solution.

Et pour bien calculer le rendement de récupération et le bilan matière, nous allons analyser le minerai brut et présenter les résultats dans le tableau 1 ci-dessous.

- Un tuyau en PVC (colonne de lixiviation),
- Une tablette métallique comme support de la colonne de lixiviation,
- Un vase pour recueillir le lixiviat,
- Un vase contenant la solution de lixiviation.

5 PRÉSENTATION DES RESULTATS

5.1 ESSAIS D'ORIENTATION

Cet essai s'est fait sur le minerai brut suivant le mode opératoire décrit ci-dessous :

Tableau 1 : Analyse granulométrique complète du minerai brut de Tilwezembe

Éléments	Cu	Co	Fe	Mn	Mg	Ca	K	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Teneur %	1,64	0,6	2,94	0,5	2,8	0,05	0,45	67,98	8,22

Tableau 2 : Analyse granulométrique du minerai brut de Tilwezembe

Le temps de tamisage a été de 3 minutes

Numéro fraction	Tamis		Poids fract (g)	% poids	% passant cumulé	% refus cumulé
	Mesh	Micron				
1	+ 0,2	26670	290	5,8	94,2	5,8
2	+ 0,4	25400	80	1,6	92,6	7,4
3	+ 0,5	19100	210	4,2	88,4	11,6
4	+ 0,6	18850	60	1,2	87,2	12,8
5	+ 0,75	13330	280	5,6	81,6	18,4
6	+ 1,2	12700	50	1	80,6	19,4
7	+ 1,5	9423	250	5	75,6	24,4
8	+ 3	6350	240	4,8	70,8	29,2
9	+ 6	3360	170	3,4	67,4	32,6
10	+ 10	1700	550	11	56,4	43,6
11	-10	1700	2820	56,4	0	100
Total			5000 g	100		

Tableau 3 : Analyse chimique des différentes tranches granulométriques

Numéro fraction	Tamis		% Poids	% Cu	Poids Cu	Répartition Cu	Poids cumulé
	Mesh	Micron					
1	+ 0,2	26670	5,8	0,08	0,004	0,543	5,8
2	+ 0,4	25400	1,6	0,102	0,001	0,135	7,4
3	+ 0,5	19100	4,2	0,13	0,005	0,678	11,6
4	+ 0,6	18850	1,2	0,24	0,002	0,271	12,8
5	+ 0,75	13330	5,6	0,3	0,016	2,17	18,4
6	+ 1,2	12700	1	0,43	0,004	0,542	19,4
7	+ 1,5	9423	5	0,21	0,01	1,356	24,4
8	+ 3	6350	4,8	0,49	0,023	3,12	29,2
9	+ 6	3360	3,4	0,26	0,008	1,085	32,6
10	+ 10	1700	11	0,66	0,072	9,769	43,6
11	-10	1700	56,4	1,05	0,592	80,325	100
Total			100		0,737	100	

Le tableau sur l'analyse chimique des différentes tranches granulométriques du minerai non broyé, montre que environ 80,3% de Cu se retrouve dans les particules de 1700 microns.

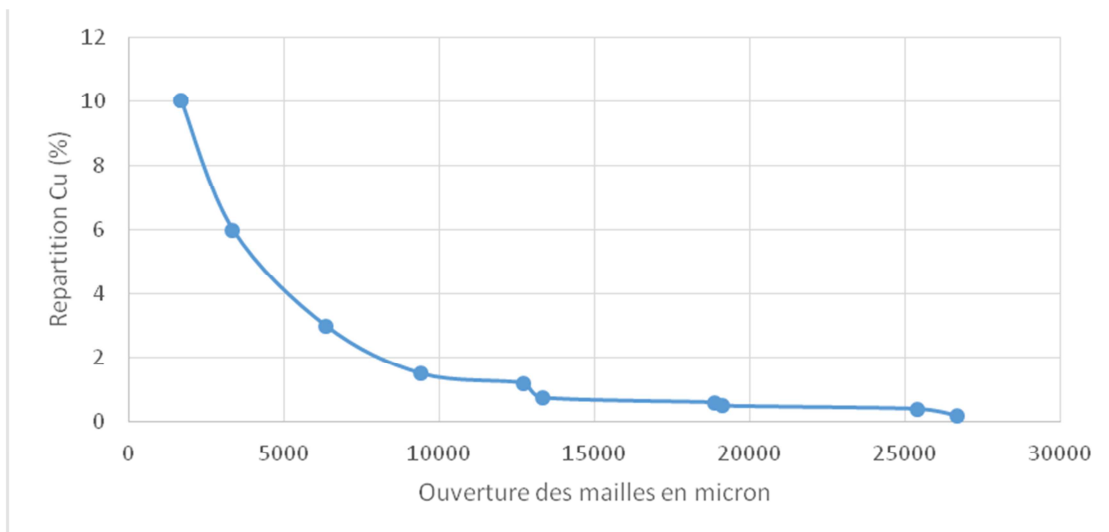


Figure 1 : répartition du Cu en fonction de l'ouverture des mailles

Les résultats présentés dans le tableau 4, ont été obtenues après un temps bien déterminé la lixiviation du minerai non broyé.

Tableau 4 : Résultats des essais d'orientation

	4 heures	8 Heures	12 heures	16 heures	20 heures	24 heures	28 heures	32 heures
Concentration de la solution en gramme par litre								
Minerai tout venant	0,026	0,041	0,334	0,384	0,451	0,48	0,501	0,562
	36 heures	40 heures	44 heures	48 heures	52 heures	56 heures	60 heures	64 heures
Concentration de la solution en gramme par litre								
Minerai tout venant	0,588	0,591	0,655	0,664	0,667	0,668	0,67	0,672

Comme le montrent le tableau 4 et la figure 3 correspondantes, la teneur de lixiviation augmente avec le temps.

Cependant le rendement global reste relativement faible (16,6%), certainement suite à la granulométrie relativement grossière du minerai tout venant.

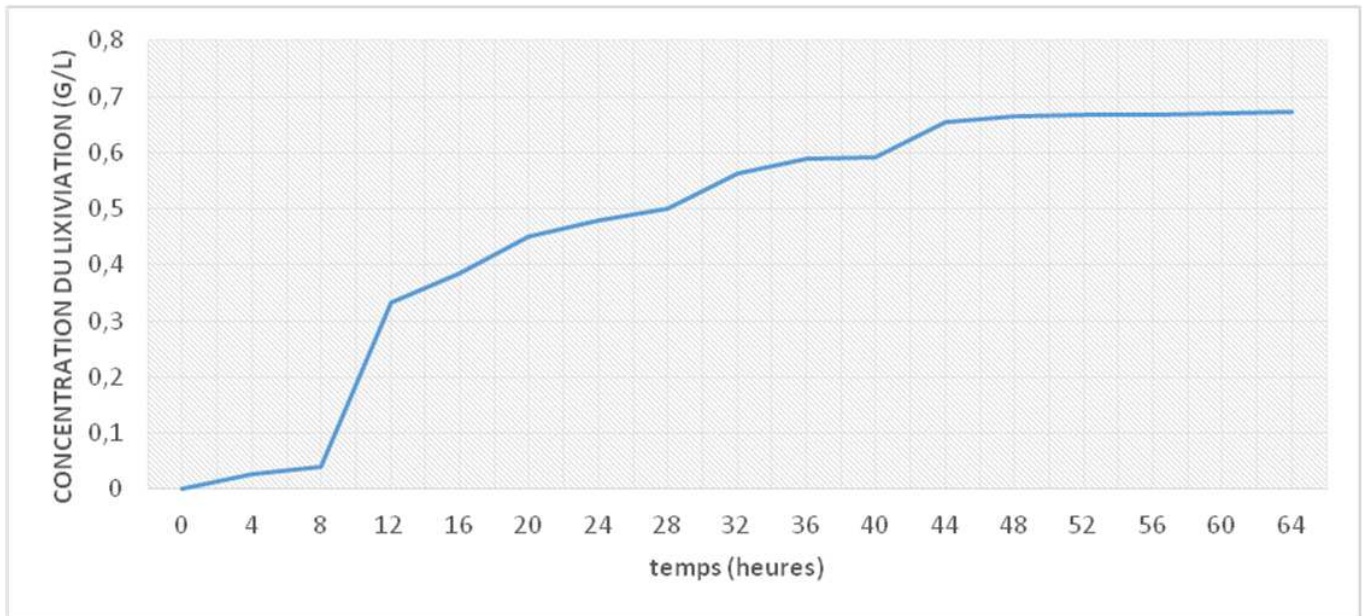


Figure 2 : Concentration du lixiviation en fonction du temps

5.2 ESSAIS D'OPTIMISATION DE LA LIXIVIATION

5.2.1 PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON

Pour améliorer le résultat de la lixiviation obtenus dans l'essai d'orientation, nous nous sommes proposés de réduire la dimension du minerai brut et de procéder, ensuite, aux essais de lixiviation par tranche granulométriques distinctes, dans l'espoir d'augmenter encore la récupération.

Comme il s'agit pas mener une étude de broyabilité, nous avons arbitrairement pris un temps de broyage du minerai brut de 5 minutes, après lesquelles, nous avons procédé aux analyse granulométrique.

5.2.2 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DU MINERAI BROyé

Tableau 5 : Résultats de l'analyse granulométrique

Nombre de fraction	Tamis	Poids des fractions (g)	% poids	% Passant cumulé	% refus Cumulé	
	Mesh					Micron
1	+1,5	9423	10	0,4	99,6	0,4
2	+3	6350	170	6,8	92,8	7,2
3	+6	3360	860	34,4	58,4	41,6
4	+10	1700	430	17,2	41,2	58,8
5	+20	850	270	10,8	30,4	69,6
6	-20	-850	760	30,4	0,00	100
Total			2500g	100		

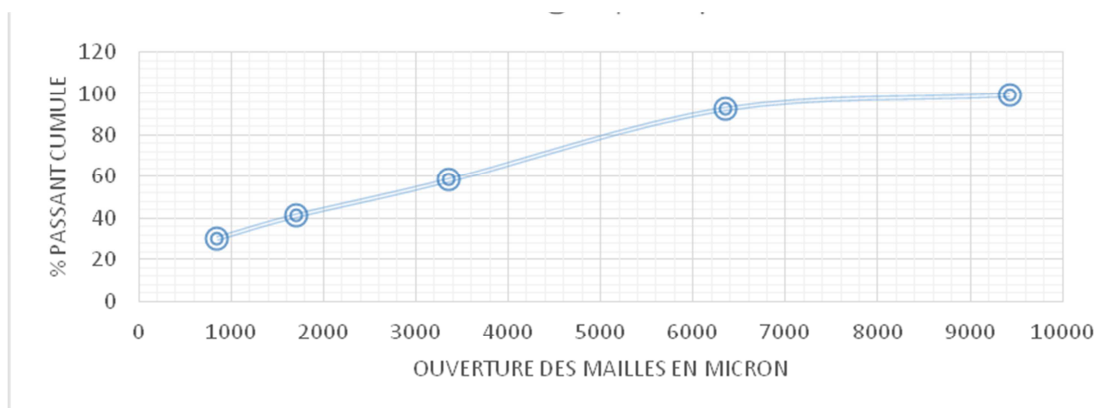


Figure 3 : Pourcentage de passants cumulés en fonction de l'ouverture des mailles

Le graphique montre que le diamètre d_{80} est tel que 80% des passants ont une dimension comprise entre 3360 et 6350 μm .

5.2.3 ANALYSE CHIMIQUES DES MÉTAUX CONTENUS DANS DIFFÉRENTES TRANCHES GRANULOMÉTRIQUES

Le tableau 6 : Répartition chimique du minerai à lixivier

Nombre de fraction	Tamis		% Poids	% Cu	Poids Cu	Répartition Cu
	Mesh	Micron				
1	+1,5	9423	0,4	0,27	0,001	0,155
2	+3	6350	6,8	0,684	0,046	7,153
3	+6	3360	34,4	0,298	0,102	15,863
4	+10	1700	17,2	0,455	0,078	12,13
5	+20	850	10,8	0,563	0,06	9,331
6	-20	-850	30,4	1,173	0,356	55,365
Total			100		0,643	100

Le résultat sur la répartition chimique des métaux contenus dans différentes tranches granulométriques. Ce tableau montre que environ 55% de cuivre se retrouvent dans les particules de - 20 mesh.

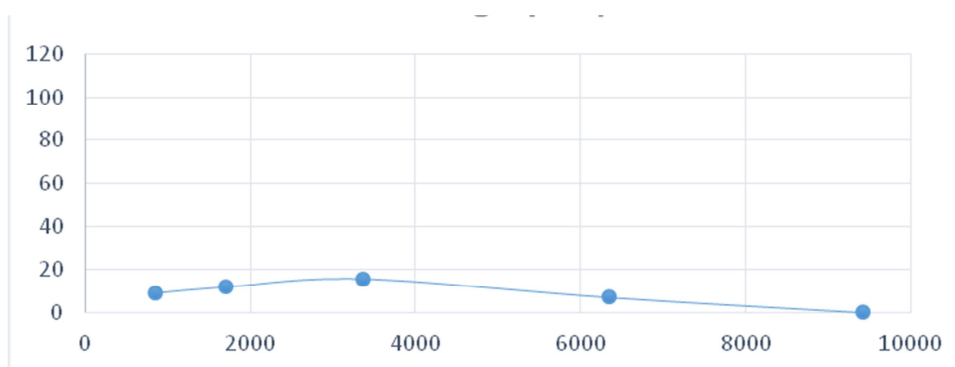


Figure 4 : répartition du cuivre en fonction de l'ouverture des mailles

Dans l'ensemble, plus la fraction est fine, plus elle est riche en Cu.

5.3 INTERPRETATIONS ET DISCUSSION DE RESULTATS DES ESSAIS DE LIXIVIATION EN TAS DE DIFFERENTES GRANULOMETRIQUES

5.3.1 INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA LIXIVIATION

Pour optimiser la lixiviation, les paramètres suivants seront étudiés :

- Le temps de lixiviation
- La granulométrie
- La concentration de l'acide
- La concentration du réducteur.

5.3.2 INFLUENCE DU TEMPS DE LIXIVIATION

Les résultats des essais de lixiviation de différentes tranches granulométriques sont repris dans le tableau 7.

Le tableau 7 : Les résultats des essais de lixiviation de différentes tranches granulométriques

Nombre fraction	4h	8h	12h	16h	20h	24h	28h	32h
Composite μm	0,624	0,831	1,039	1,65	1,15	1,447	1,507	1,671
9423 μm	0,112	0,164	0,19	0,226	0,35	0,375	0,428	0,691
6350 μm	0,412	0,48	0,526	0,565	0,63	0,658	0,692	0,736
3360 μm	0,715	0,824	0,891	1,013	1,46	1,836	2,173	2,26
1700 μm	0,698	0,734	0,925	1,07	1,12	1,37	1,688	2,013
850 μm	0,726	0,887	0,901	1,022	1,49	1,891	2,201	2,284

36h	40h	44h	48h	52h	56h	60h	64h	Rend %
1,982	2,011	2,35	2,515	2,63	2,891	2,98	2,981	70,8
0,721	0,011	1,023	1,074	1,206	1,241	1,351	1,317	37,9
0,821	0,882	0,94	1,14	1,187	1,36	1,437	1,438	40,5
2,373	2,512	2,69	2,772	2,787	2,861	2,921	2921	71,8
2,303	2,612	2,612	2,811	2,936	3,031	3,102	3,103	74,1
2,419	2,523	2,692	2,789	2,896	3,11	3,11	3,152	74,9

Ce tableau montre que le teneur et le rendement en Cu dans le lixiviat augmentent avec le temps et qu'au bout de 56 heures de lixiviation, la concentration augmente très faiblement, l'acidité de la solution n'ayant pas été maintenue constante au cours de l'opération. Il en résulte la présence d'un palier.

Cette situation s'explique du fait que la lixiviation étant un processus relativement lent, elle est favorisée par la durée. Mais comme la quantité d'acide diminue avec le temps, la vitesse de dissolution baisse également, et tend à se stabiliser, ce qui se traduit par la présence d'un palier.

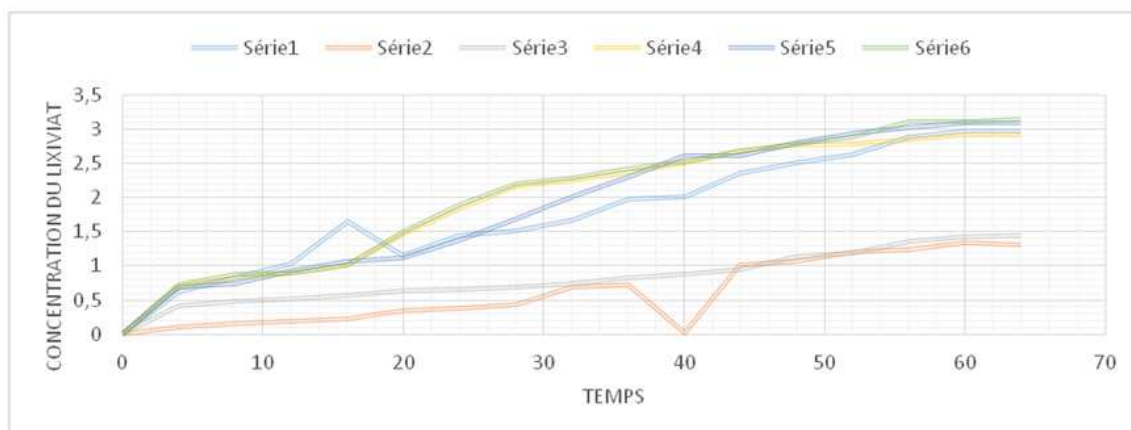


Figure 5 : Evolution du lixiviat en fonction du temps de lixiviation

5.3.3 INFLUENCE DE LA GRANULOMÉTRIE

Le tableau 7 montre qu'après le même nombre d'heures de lixiviation, le rendement augmente avec la finesse du minerai. En effet, après 64 heures, ce rendement varie de 37,9 à 74,9 % quand la granulométrie du minerai passe de 9423 à 850 microns.

Cette situation s'explique du fait que plus la particule est fine, plus sa surface spécifique est grande et plus la surface de contact minéral-solution est élevée, favorisant ainsi la dissolution.

Cependant, en lixiviant l'échantillon composite du même minerai, comme le montre le tableau 7, on obtient un rendement de lixiviation presque aussi élevé que celui que l'on enregistre avec les minerais fins, soit 70,8%.

Il en résulte qu'économiquement parlant, il est plus avantageux de traiter un minerai composite (minerai tout venant broyé pendant 5 minutes) que de lixivier le minerai par tranches granulométriques distinctes.

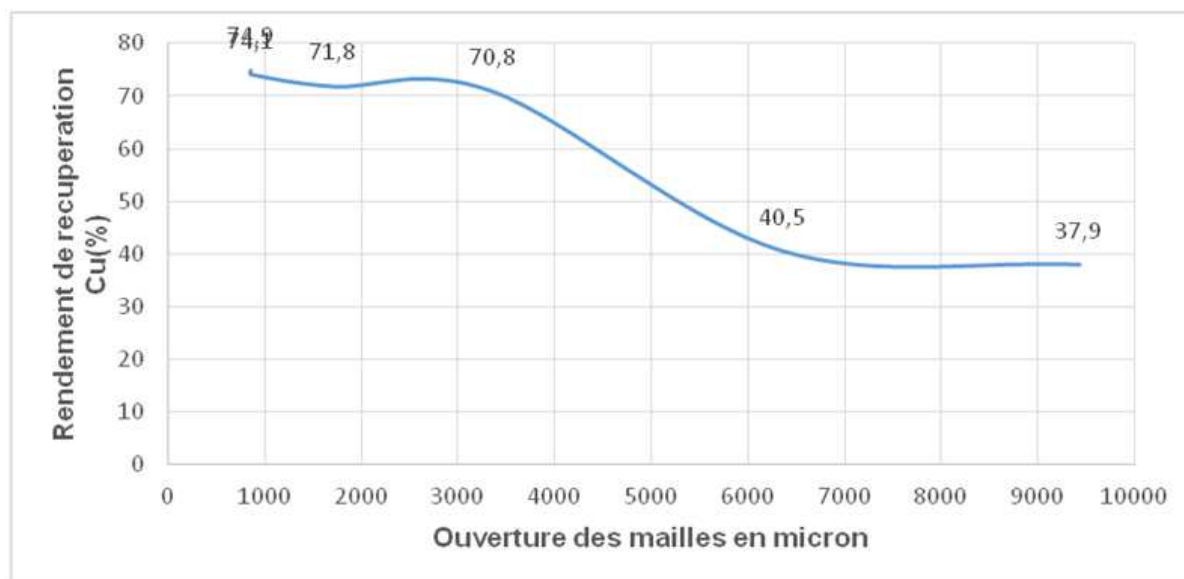


Figure 6 : le rendement en fonction de la taille des particules

5.3.4 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN ACIDE

Le tableau 8 donne les résultats de lixiviation effectuée à acidité constante (70 g/l) sur un échantillon composite ; son pH= 0,69.

Ce tableau montre que le rendement Cu augmente avec le temps et qu'au bout de 64 heures, le rendement en Cu (74,1%) est supérieur à celui que l'on obtient dans la lixiviation acidité variable (70,8%). Il est donc plus avantageux de travailler à acidité constante plus tôt qu'à acidité variable, c'est-à-dire, sans réajustement de l'acidité pendant la lixiviation.

Cette situation s'explique par le fait que le Cu étant sous forme d'oxyde (CuO).

Le tableau 8 : Résultats de lixiviation effectuée à acidité constante (70 g/l) sur un échantillon composite

Temps de lix	4h	8h	12h	16h	20h	24h	28h	32h
Rendement Cu	18,70%	19,60%	24,80%	27,40%	28,60%	35%	42,20%	50,30%
	36h	40h	44h	48h	52h	56h	60h	64h
	57,50%	65,30%	65,30%	68,50%	71,60%	73,90%	74,10%	74,10%

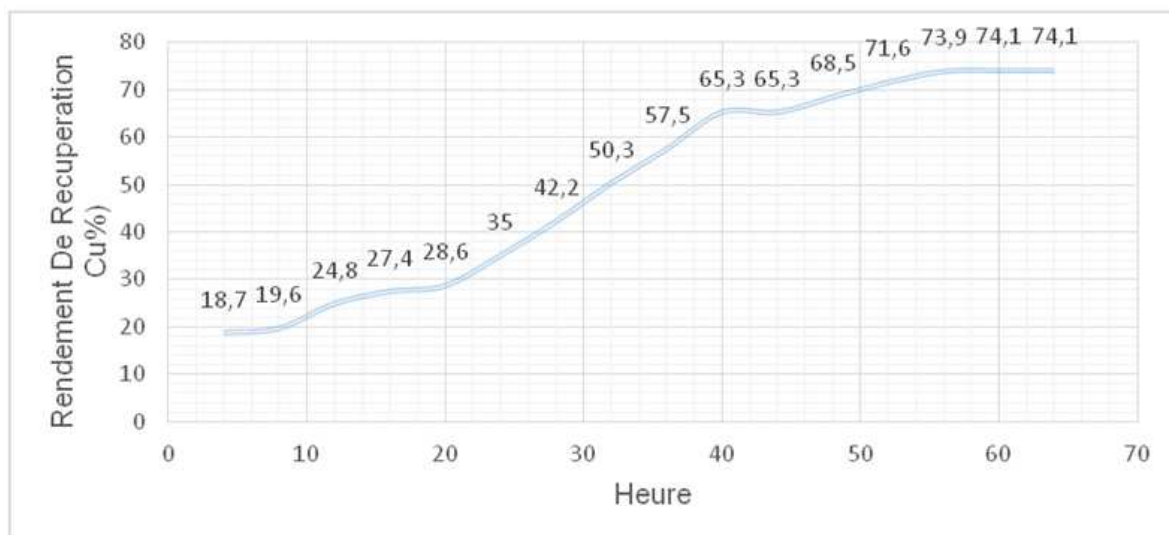


Figure 7 : évolution du rendement de lixiviation à acidité constante en fonction du temps pour un échantillon composite des minerais

5.3.5 INFLUENCE DU RÉDUCTEUR

Le tableau 9 donne les résultats de lixiviation effectuée sur un échantillon composite, à acidité constante (70g/l) et en variant le taux de réducteur, le métabisulfite de sodium.

Ce tableau montre que le rendement de lixiviation Cu reste quasi inchangé, quel que soit la concentration du réducteur utilisé. Mais, par contre, le rendement de lixiviation du Co augmente sensiblement avec la quantité de réducteur, au-delà d'une tonne de métabisulfite par tonne de Co.

Il est donc avantageux de travailler avec un échantillon composite à acidité constante, et en utilisant plus d'une tonne de métabisulfite par tonne de Co.

Tableau 9 : Résultats de lixiviation effectuée à acidité constante (70 g/l) et en variant le taux de métabisulfite.

Temps de lixiviation	64heures			
T de Mbs/t de Co	0,5	1	1,5	2
Rend Cu%	79,7	82,3	82,3	83,4
Rend Co%	78,6	84,6	85,9	87,2

Afin de réduire le cobalt trivalent (Co_2O_3) en cobalt bivalent (CoO), nous avons utilisé le métabisulfite de sodium.

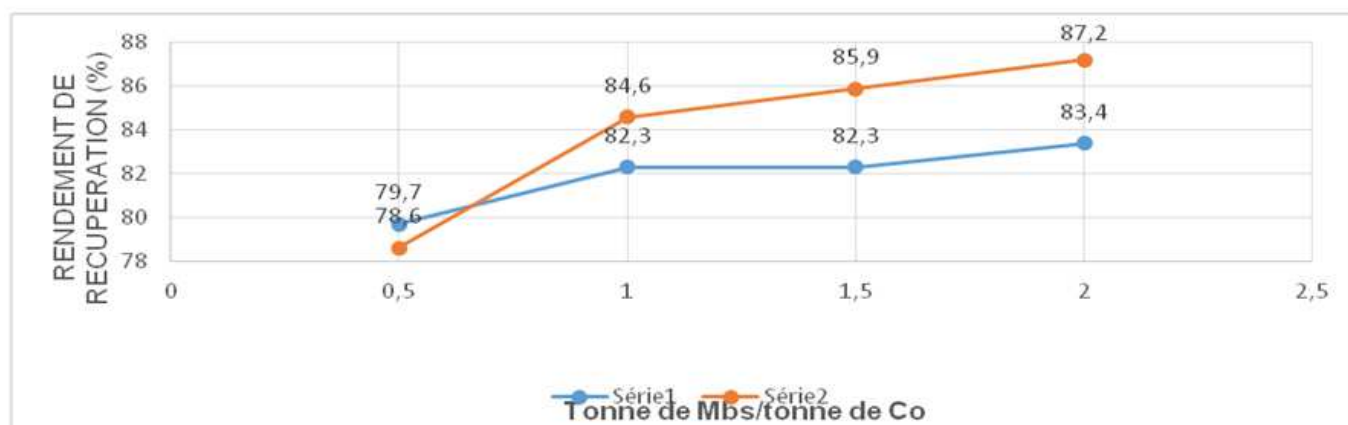


Figure 8 : Rendement de Récupération en fonction de la tonne de Mbs/tonne de Cobalt

6 CONCLUSION

Le minerai de Tilwezembe qui a fait l'objet de notre travail contient 1,64 % Cu et Co 0,60 % : il s'agit donc d'un minerai pauvre cupro-cobaltifère.

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

- Le rendement de lixiviation du minerai brut reste faible bien qu'il augmente avec le temps.
- Le rendement de lixiviation augmente davantage après un broyage de cinq minutes du minerai brut quand le diamètre du d80 est de l'ordre de 1700 μ m.
- Le rendement de lixiviation effectuée sur différentes tranches granulométriques augmente avec la finesse du minerai. En effet, après 64 heures, ce rendement varie de 37,9 à 74,9 % quand la granulométrie du minerai passe de 9423 à 850 micron.

Cependant, la lixiviation de l'échantillon composite du même minerai, donne un rendement de lixiviation voisin à celui que l'on enregistre avec les minerais fins, soit 70,8%.

Il en résulte qu'il est plus avantageux de traiter un minerai composite (minerai tout venant broyé pendant 5 minutes) que de lixivier le minerai par tranches granulométriques distinctes.

- Au bout de 64 heures, le rendement Cu (83,4%) de lixiviation pratiquée à acidité constante est supérieur à celui que l'on obtient dans la lixiviation à acidité variable (70,8%), C'est-à-dire, sans réajustement de l'acidité pendant la lixiviation.
- Il est avantageux de travailler avec un échantillon composite à acidité constante et en utilisant plus d'une tonne de métabisulfite par tonne de cobalt.

Ainsi donc, c'est en travaillant avec un minerai dont le diamètre d80 est de 1700 μ m, un temps de lixiviation de plus de 64 heures, une acidité maintenue à 70g/l, et en servant de plus d'une tonne de métabisulfite que la Gécamines peut optimiser l'extraction des métaux contenus dans les minerais pauvres de Tilwezembe.

REFERENCES

- [1] C.B GILL FAYETTE, Non ferrous extractive metallurgy, John Wiley and sons, New York, 1980;
- [2] FATHI HABASHI, Principales of extractive metallurgy, volume 2, New York London, 1970;
- [3] G.A DAVIES, Separation processes in hydrometallurgy, Society of Chemical Industry, London, 1987;
- [4] ILUNGA MUTOMBO, cours de métallurgie de métaux non ferreux, inédit, UNILU, 2004-2005 ;
- [5] M. JACOB-DULIERE, cours de métallurgie spéciale destiné aux étudiants de 5ème Mines de la faculté polytechnique de Mons, 1980-1981 ;
- [6] Roger RUMBU, Métallurgie extractive des non-ferreux - Pratiques industrielles Broché – 21 février 2013 ;
- [7] TERRE ROSENQVIST, Principles of extractive metallurgy, MC GrawHill book company, 1974.