

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Thème

Prétraitement du minerai aurifère d'Amesmessa par voie chimique

Présenté par :

Mlle BOUGHANEM Kenza & Mlle NAIT AHMED Wissam

Soutenu le 02/07 /2023 devant le jury composé de :

Présidente	Mm BOUNAB Samia	M.C.A	U.A.M.B
Promotrice	Mm SOUCI Zahia	M.C.A	U.A.M.B
Examineur	Mr BOUABDALLAH Soufiane	M.C.A	U.A.M.B
Co-promoteur	Mr Baghedadi mohamed yacine	Doctorant	U.A.M.B

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant, de nous avoir ouvert les portes du savoir et nous avoir donné la volonté, la patience, la force ainsi que le courage afin de parvenir à la réalisation de ce travail.

*Nous exprimons nos plus vifs et sincères remerciements à notre promotrice Madame **SOUCI Zahia** maître de conférence à l'université de Bejaïa d'avoir accepté de diriger ce travail durant lequel elle a partagé avec nous sa connaissance et son expérience. Nous la remercions pour sa patience, sa disponibilité et le temps qu'elle nous a accordé afin que nous puissions finaliser ce travail.*

*Nous exprimons aussi notre profonde considération à les membres du jury : Monsieur **BOUABDALLAH Sofiane** l'examineur de notre travail et le président de notre soutenance Madame **BOUNAB Samia** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et de nous avoir fait l'honneur de l'examiner.*

*Nous tenons témoigner notre plus profond merci à monsieur **BAGHDADI Yacine** pour nous avoir aidé.*

Nous remercions l'ensemble des enseignants du département des mines, pour leur soutien et pour tous ce qu'ils nous ont appris durant ces années d'études supérieures.

*Nos plus grandes salutations vont à l'ensemble du personnel au niveau de l'ENOR TAMENRASET et notamment Mr **Mohamed** responsable de laboratoire, Mr **Abd el Malek** technicien de laboratoire et Mr **GHAZALI Mohamed** chef de département, pour leur esprit de collaboration, leur aide, leur gentillesse ainsi que leur patience*



B.Kenza & N.Wissam -

Dédicaces

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui
sont chers*

A mes précieux parents

*A Ma mère qui m'a toujours donnée plus qu'elle ne le faudrait,
d'amour et de tendresse, je prie dieu de te protéger.*

*A mon père tu étais un pilier solide et incontournable pour ma
personne et tu le seras pour toujours chère père.*

A mon frère Adel.

A mes sœurs Lydia, Fatima, Kahina, Nawel.

A mes grands-parents.

*Je vous serai éternellement reconnaissante pour votre soutien,
votre confiance et votre fierté.*

A ma chère binôme Wissem NAIT AHMED.

*A mes chères ami(es) Zahra, Ahlem, Dida, Nouna, Abdelhak,
Yabadas, Adel et a toute la promotion VRM de l'année
2022/2023.*

*A toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leur
aide A tous, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.*



B.Kenza -

Dédicaces

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui
sont chers*

A mes précieux parents

*A Ma mère qui m'a toujours donnée plus qu'elle ne le faudrait,
d'amour et de tendresse, je prie dieu de te protéger.*

*A mon père tu étais un pilier solide et incontournable pour ma
personne et tu le seras pour toujours chère père.*

A mon frère Saleh.

A ma sœur unique Lydia.

*Je vous serai éternellement reconnaissante pour votre soutien,
votre confiance et votre fierté.*

*A toute la famille parentale NAIT AHMED et maternelle
YOUNSI chacun par son nom.*

A ma chère binôme Kenza BOUGHANEM

*A mes chères ami(es) Zahra, Ahlem, Lina, Maha, Gaya,
Lamine, Abdelhak, Adel, Yabadas et a toute la promotion
VRM de l'année 2022/2023.*

*A toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leur
aide A tous, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.*



- N. Wissam -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Généralités sur l'or et son extraction

Introduction 4

I.1. Présentation du gisement d'Amesmessas 4

I.1.1. Situation géographique de la mine 4

I.1.2. Aperçu géologique et gîtologique du gisement aurifère Amesmessas 5

I.1.2.1. La géologie régionale 5

I.1.2.2. Aperçu gîtologique du gisement Amesmessas 6

I.2. Extraction de l'or..... 7

I.2.1. Propriétés de l'or..... 7

I.2.2. Minerais aurifères..... 7

I.2.3. Traitement des Minerais d'or 8

I.2.4. Les méthodes d'extraction de l'or 9

I.2.4.1. Les procédés de traitement gravimétrique 9

I.2.4.2. La flottation 10

I.2.4.3. Amalgamation 10

I.2.4.4. Bio minéralurgie..... 11

I.2.4.5. L'orpaillage 11

I.2.4.6. Cyanuration 11

I.2.5. Les facteurs influant la cyanuration de l'or 12

I.2.5.1. L'oxygène et le cyanure 12

I.2.5.2. Le cyanure et le pH 13

I.2.5.3. L'oxygène et la température..... 14

I.2.6. Prétraitement de l'or..... 15

I.2.6.1. Les objectifs de prétraitement 16

I.2.7. Etude de cas : Choix de la méthode de traitement par rapport à la minéralogie du minerai 16

Sommaire

I.2.7.1. Gisement aurifère d'Amesemassa (filon N°8)-Algérie-	17
I.2.7.2. Réception du minerai au niveau de la mine	17
I.2.8. Travaux de laboratoire de la mine d'Amesmassa	17
I.2.8.1. Préparation mécanique	18
A. Le débitage des roches.....	18
B. Le concassage	18
C. La division et l'échantillonnage.....	19
D. Le broyage	19
I.2.8.2. Préparation thermique	20
A. Fusion	20
B. Coupellation.....	21
I.2.8.3. Préparation chimique.....	22
A. Attaque Chimique (Digestion).....	22
I.2.8.3.2. Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA)	22
A. Inconvénients.....	23
B. Avantage	24
I.2.8.4. La cyanuration.....	24
I.2.9. Méthodes de caractérisation	24
I.2.9.1. Diffraction des rayons-X.....	24
I.2.9.2. Principe de mesure par diffraction des rayons X	24
I.2.9.3. Analyse chimique par fluorescence X.....	25
I.2.9.3.1. Principe de fonctionnement.....	25
I.2.10. Traitement du minerai (Procès).....	26
I.2.10.1. Préparation mécanique du minerai	26
I.2.10.2. Concassage	27
I.2.10.3. Broyage	27
I.2.10.4. Lixiviation En Pulpe (CIP).....	27
I.2.10.5. La Lixiviation En Tas (Heap Leaching).....	28
I.2.11. Gisement d'or de Mastra-Turkie- (exemple de traitement en turkie)	29
I.2.11.1. Tests de lixiviation	29
Conclusion	30

Sommaire

II. Chapitre II

Matériels et méthodes

Introduction	32
II.1. Échantillonnage	32
II.2. Préparation mécanique du minerai	32
A. Concassage	32
B. Division et échantillonnage	34
C. Broyage	35
II.3. Test de lixiviation dynamique en bouteilles roulants	36
II.3.1. Matériel utilisé	36
II.3.2. Mode opératoire	37
II.3.3. Préparation thermique	38
A. La fusion	38
B. La coupellation	39
C. L'attaque chimique (la digestion)	40
II.4. Mesure du pH	41
Conclusion	41

Chapitre III

Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

Introduction	43
III.1. Caractérisation minéralogique du minerai	43
III.2. Etude des conditions de la lixiviation du minerai	44
III.2.1. Le taux d'extraction	45
III.3. Commentaire des résultats de consommation de cyanure	51
III.4. Etude de prétraitement du minerai	52
III.5. Etude de l'effet de l'ajout de nitrate de plomb	56
III.6. Etude de l'effet de l'Ammoniaque	57
III.7. Etude de l'effet du mélange ammoniacal- nitrate de plomb sur le taux d'extraction	58
III.8. Optimisation de la matrice Ammoniacal- Nitrate de plomb	59
Conclusion	62
Conclusion Générale	64
Références bibliographiques	66

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

Au	Or
CIC	Charbon in leach
CIP	Charbon en pulpe
CN-	Cyanure
DRX	Diffraction des rayons X
ENOR	Entreprise d'Exploitation des Mines d'Or
FRX	Fluorescence des rayons X
NaCN	Cyanure de sodium
pH	Potentiel d'hydrogène
Ppm	Partie par million
SAA	Spectroscopie d'Adsorption Atomique

Liste des tableaux

Tableau I-1: Les types de minerais et leurs traitements possibles	9
Tableau III-1: Conditions opératoires des essais préliminaires	44
Tableau III-2: Résultats expérimentaux du premier essai	45
Tableau III-3: Résultats expérimentaux du deuxième essai	46
Tableau III-4: Résultats expérimentaux du troisième essai	46
Tableau III-5: Résultats expérimentaux du quatrième essai	47
Tableau III-6: Résultats expérimentaux du cinquième essai	47
Tableau III-7: Résultats expérimentaux du sixième essai	48
Tableau III-8: La teneur de l'Or de rejet de la boue en différente essaie T=24h	50
Tableau III-9: Rendement de l'Or par l'analyse des solides	50
Tableau III-10: La consommation du cyanure	51
Tableau III-11: Les conditions opératoires de prétraitement pendant 01 heure	53
Tableau III-12: Résultats expérimentaux du premier essai	54
Tableau III-13: Résultats expérimentaux du deuxième essai	54
Tableau III-14: Résultats expérimentaux du troisième essai	55
Tableau III-15: Résultats expérimentaux du quatrième essai	55
Tableau III-16: Résultats expérimentaux du cinquième essai	56
Tableau III-17: Résultats expérimentaux du premier essai	59
Tableau III-18: Résultats expérimentaux du deuxième essai	60
Tableau III-19: Résultats expérimentaux du troisième essai	60
Tableau III-20: Les rejets de la pulpe des essais	62
Tableau III-21: Calcule du rendement de l'opération de la lixiviation	62

Liste des figures

Liste des figures

Figure I-1 : Situation géographique de la mine d'Amesmassa	5
Figure I-2 : Carte géologique du gisement d'Amesmassa	6
Figure I-3 : Aspect et morphologie d'un affleurement de filon de quartz minéralisé et de métasomatite (bérisite)	7
Figure I-4 : Schéma de la diffusion de l'or	13
Figure I-5 : Diagramme d'équilibre entre HCN^- et CN^- selon le pH	14
Figure I-6 : Graphe de solubilité de l'oxygène en fonction de la température.....	15
Figure I-7 : Roches à des dimensions réduites	18
Figure I-8 : Minerai concassé.....	19
Figure I-9 : Pulvérisateur à disque du laboratoire d'Amesmassa	20
Figure I-10 : Creusets en matière réfractaire.....	21
Figure I-11 : Coupellation.....	21
Figure I-12 : Attaque chimique	22
Figure I-13 : Spectromètre d'adsorption atomique du laboratoire d'Amesmassa	23
Figure I-14 : Schéma d'un diffractomètre.....	25
Figure I-15 : Porteur de l'analyseur et de l'échantillon	26
Figure II-1 : Concasseur à mâchoire	33
Figure II-2 : Echantillon après concassage	33
Figure II-3 : Diviseur à riffle	34
Figure II-4 : Schéma de la préparation mécanique du minerai.....	34
Figure II-5 : Broyeur à disque.....	35
Figure II-6 : Quartage de minerai après Le broyage	35
Figure II-7 : Deux quarts opposés.....	36
Figure II-8 : Test de bouteille roulante	37
Figure II-9 : Pesage 30 g du minerai.....	38
Figure II-10 : La première fusion de l'échantillon préparé.....	39
Figure II-11 : La deuxième fusion qui permet l'obtention des perles.1.....	40
Figure II-12 : Tubes contenant les perles + HNO_3 sur le bain-marie pour préchauffer ..	40
Figure II-13 : Instrument de pH mètre	41
Figure III-1 : Spectre de la DRX du minerai	43
Figure III-2 : L'évolution de l'extraction d'Or à différentes conditions.	49

Liste des figures

Figure III-3 : Evolution de consommation de cyanure par le minerai en augmentation de dose de cyanure de sodium.....	51
Figure III-4 : Etude d'une relation éventuelle entre le rendement d'or et les quantités consommées de cyanure.....	52
Figure III-5 : Effet de l'ajout de nitrate du plomb sur la cinétique d'extraction de l'or....	57
Figure III-6 : Effet de l'ajoute de l'Ammoniaque sur la cinétrique d'extraction de l'or...	58
Figure III-7 : Evaluation de l'utilisation du mélange NH ₃ -Pb (NO ₃) sur l'extraction d'Or	58
Figure III-8 : Optimisation de l'utilisation du mélange NH ₃ -Pb (NO ₃) sur l'extraction d'Or	61

Introducción General

Introduction Générale

L'or est un métal noble inerte à la plupart des réactions chimiques dans des milieux non complexes. Il se trouve principalement à l'état natif, et sous forme de fines pépites disséminés dans des minéraux formant des roches, tels que les carbonates, les silicates, les sulfures, les tellures et les oxydes[1]. Actuellement, l'or non réfractaire est extrait essentiellement par cyanuration dans un milieu alcalin. Cependant, dans certains cas (l'or réfractaire par exemple), plusieurs difficultés techniques se posent lors de l'extraction telles que : la consommation élevée de cyanure et l'impossibilité de libérer l'or par cyanuration directe en raison des éléments sur consommateurs de cyanure[2].

L'effet des éléments sur consommateurs de cyanure est observé à la fin de la cyanuration d'où la diminution du taux d'extraction de l'or. Pour cela, une étude est nécessaire afin de comprendre le comportement des éléments autres que l'or dans la consommation du cyanure.

Des travaux antérieurs ont montré que le cyanure par son comportement sélectif, est consommé par le cuivre. La présence d'une teneur supérieure à 1% de cuivre dans un minerai est considéré comme problématique dans la lixiviation de l'or en raison de la formation rapide de complexes de cyanure de cuivre. Autres éléments forment des complexes avec le cyanure tels que : le fer en formant $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, le nickel et le zinc, en formant $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ et $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ et aussi l'argent avec la formation du complexe $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ [3,4].

Plusieurs techniques de traitement sont nécessaires pour surmonter les difficultés de surconsommation de l'agent de lixiviation en générale et le cyanure en particulier afin d'améliorer le taux d'extraction de l'or. Parmi ces techniques, on cite le prétraitement chimique.

Le but de ce prétraitement est d'augmenter le taux d'extraction en limitant la consommation du cyanure avant même de passer à l'étape de la lixiviation.

Le présent travail s'intéresse au minerai issu d'une microsociété, un nouveau secteur privé qui s'intéresse au développement de la région du sud Algérien en matière d'exploitation des gites d'Or. L'analyse chimique des échantillons révèle l'existence des éléments sur consommateurs de cyanure comme et en particulier le cuivre. Un prétraitement chimique est proposé avant la lixiviation en vue d'améliorer le taux d'extraction de l'or. Pour ce faire, trois chapitres sont proposés :

Introduction Générale

Un premier chapitre consacré à des généralités sur : la mine d'Amesmesssa, l'or et ses minerais ainsi que ses méthodes d'extraction et les paramètres du contrôle de l'opération d'extraction d'Or. Une étude de cas est ensuite exposée contenant deux exemples d'échantillons : un minerai aurifère issu du gisement d'Amesmesssa avec une méthode d'extraction propre à la mine, un deuxième minerai riche en cuivre nécessitant un prétraitement.

Deuxième chapitre sera réservé à l'ensemble des expériences et protocole adapté que ce soit au laboratoire de la mine d'Amesmesssa et de l'université d'Abderrahmane Mira et les résultats seront ensuite donnés dans le dernier chapitre.

Le dernier chapitre de notre travail englobe les résultats des analyses effectuées telle que l'analyse chimique et minéralogique des échantillons. Les résultats du traitement du minerai riche en chalcopirite seront aussi exposés et interprétés.

Enfin, une conclusion générale qui englobe tous les résultats obtenus, qu'ils soient bibliographiques, expérimentaux, sous forme d'une synthèse.

Chapitre I
Généralités sur l'or et son
extraction

Introduction

L'or, connu depuis les temps les plus reculés, est l'aide commerciale la plus puissante et la plus omniprésente et a toujours été considéré comme le roi des métaux. Quoi qu'il en soit, sa rareté et son immuabilité en font le plus précieux des métaux[5]. Il est connu pour sa conductivité thermique et électrique élevée, ainsi que pour sa résistance à la corrosion.

La métallurgie de l'or est basée dans la plupart des cas sur sa mise en solution et son extraction à partir de solutions aurifères[6]. La lixiviation par le cyanure (aussi appelée cyanuration) reste toujours le procédé de base pour le traitement des minerais d'or. De nouvelles techniques sont apparues, d'autres sont peu à peu délaissées, des procédés et réactifs nouveaux apparaissent[5].

Ce premier chapitre présente l'état de l'art. Il expose tout d'abord un bref rappel sur l'or et ses minerais et discute ensuite des principales méthodes d'extraction de l'or. Un intérêt particulier est porté au prétraitement et une étude de deux échantillons aurifère, l'un avec un minerai normal (celui d'Algérie) et l'autre réfractaire (celui de la Turquie) est reportée à la fin du chapitre pour la récupération de l'Or.

I.1. Présentation du gisement d'Amesmessa**I.1.1. Situation géographique de la mine**

La zone d'étude « Tirek-Amesmessa » est située dans la partie méridionale du Sahara algérien ; à 2600 km au Sud d'Alger à 500Km au Sud-ouest de Tamanrasset et à environ 150Km au Nord de la frontière malienne.

Administrativement ils sont localisés dans la commune de Tin Zaouatine w de Tamanrasset (figure II.1). Les deux gisements sont distants 60Km, de coordonnées Lambert suivantes :

- Amesmessa : 20°55'30''-21°03' latitude N et 2°28'-2°31'25''-longitude E.
- Tirek : 21°26'-21°29' latitude N et 2°30'-2°32' longitude E.[7]

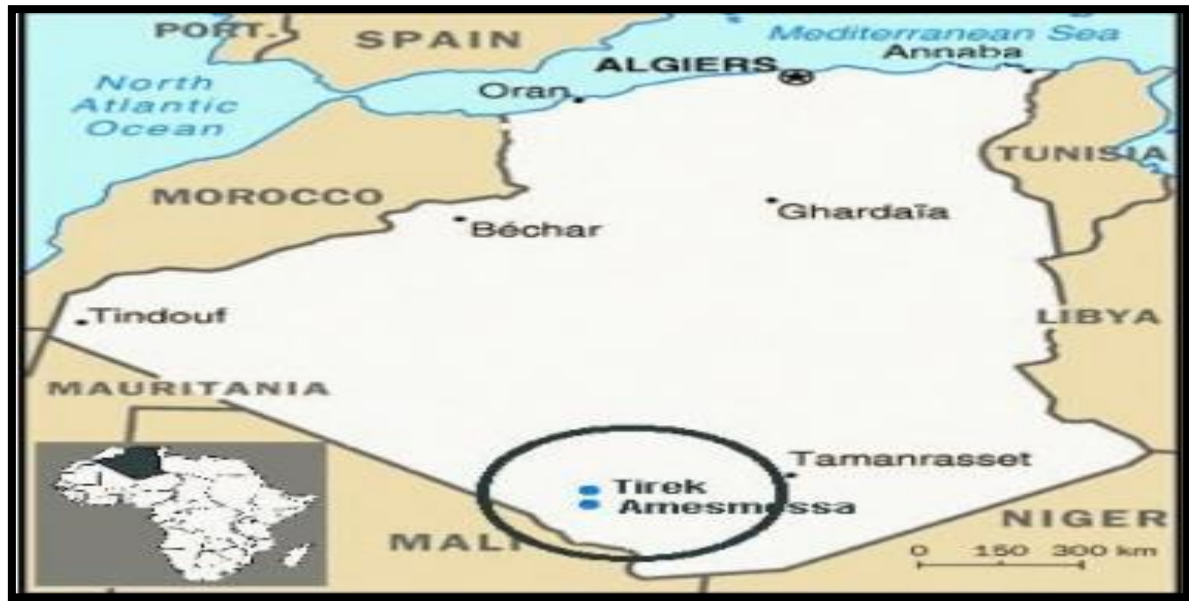


Figure I-1 : Situation géographique de la mine d'Amesmessa.[8]

I.1.2. Aperçu géologique et gîtologique du gisement aurifère Amesmessa

I.1.2.1. La géologie régionale

Le gisement d'Amesmessa est situé dans le Hoggar occidental. Cette région est formée de terrains Précambriens. On y distingue deux domaines structuraux séparés par une faille majeure de direction subméridienne :

- A l'Ouest se trouve le bloc d'In-Ouzzal constitué de roches d'âge Archéen représentées par des granulites, des gneiss, des schistes et des marbres recoupés par des granites d'âge Panafricain.
- A l'Est se disposent les roches du Protérozoïque inférieur à moyen représentées par des gneiss et des quartzites recoupés par des gabbros, des diorites et des granodiorites.

La faille majeure (ou shear zone) limitant ces deux blocs est représentée par une zone de roches broyées (mylonites), large de 1 à 3 km et s'étendant sur plus de 200km. Tout le long de cette zone de mylonites, la minéralisation aurifère se localise principalement dans les filons de quartz.

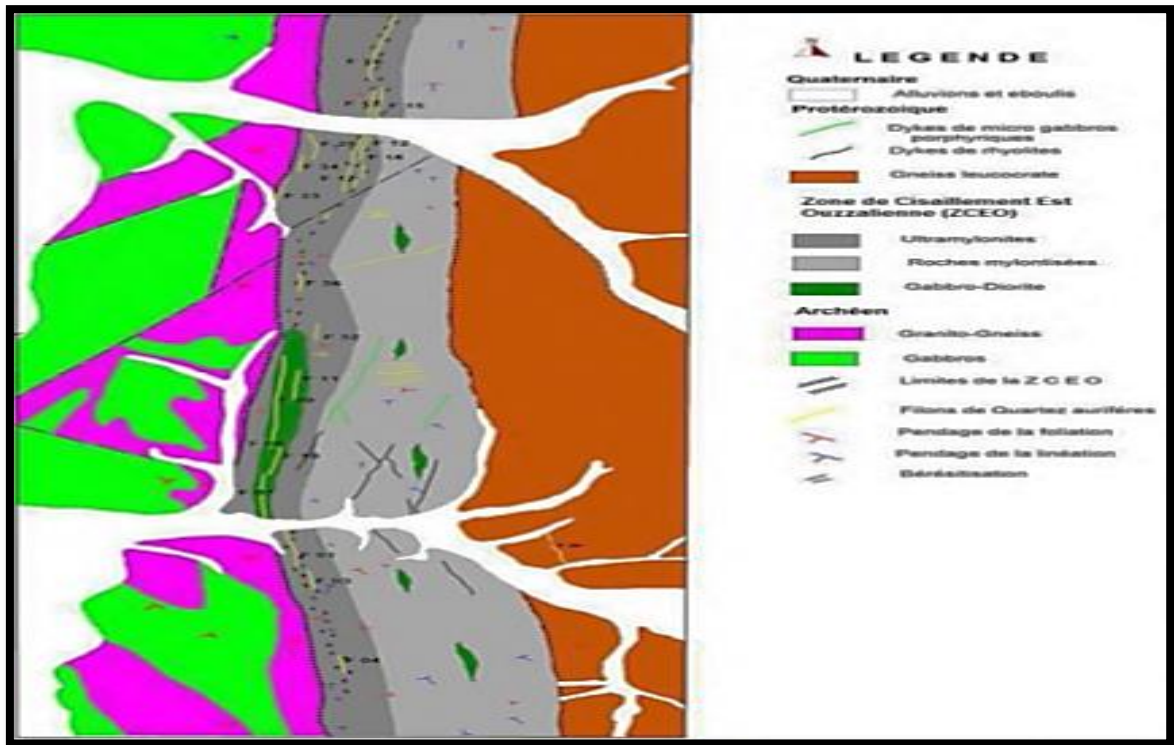


Figure I-2 : Carte géologique du gisement d'Amesmessa[9].

I.1.2.2. Aperçu géologique du gisement Amesmessa

La minéralisation aurifère du gisement Amesmessa est classée de type or orogénique (shear zone aurifère). Le gisement d'Amesmessa est localisé dans la zone de cisaillement (shear zone) séparant les deux unités majeures de la région. Les filons aurifères économiques sont encaissés exclusivement dans le couloir des ultra-mylonites (Figure I.2).

Le gisement est subdivisé en trois parties : Nord, Centrale et Sud. La partie Centrale est la plus intéressante et la mieux étudiée. Elle contient environ 75% des ressources connus. Les filons 9&8 sont actuellement le site des importantes carrières d'exploitation.[10]

Les corps minéralisés exploitables (ou le minerai) sont constitués par des filons de quartz et par des zones de roches d'altération hydrothermale (métasomatites, ou « bérésites » dans la terminologie russe) avec minces veinules de quartz (Figure .II.3).



Figure I-3 : Aspect et morphologie d'un affleurement de filon de quartz minéralisé et de métasomatite (bérissite).[11]

I.2. Extraction de l'or

I.2.1. Propriétés de l'or

L'or est un métal lourd jaune vif de densité de 19,32, il est malléable et peut être pressé en feuilles très minces après le battage. Le point de fusion de l'or pur est de 1045°C, cristallise en octaèdres réguliers ou autres formes dérivées de cubes.

Le symbole de l'or est Au et son poids atomique est de 196,6. Résistant à l'action de l'air et de l'eau dans toutes les conditions, insensible aux acides nitrique, chlorhydrique et sulfurique. Un mélange des deux premiers acides est appelé eau régale et dissout l'or très rapidement. Les particules d'or sont facilement dissoutes par le cyanure de potassium[5].

I.2.2. Minerais aurifères

Les minerais métalliques qui contiennent souvent de l'or comprennent : l'arséno-pyrite, la pyrite, la galène, la sphalérite, le cuivre divers, le cuivre gris et le sulfure d'antimoine, Mais la majeure partie de l'or provient d'alluvions puis de filons de quartz. Les alluvions sont constituées de sable ou d'argile et de roches ou de fragments de roche, siliceux ou

granitiques, décomposés par l'eau et l'air et transportés par l'eau depuis les sommets des montagnes. Étant donné que l'or se trouve souvent encore incrusté dans une matrice de quartz. L'or existe dans les gisements alluvionnaires sous forme de flocons ou de granules. Ces dernières, lorsqu'elles dépassent un certain volume, sont appelées pépites ; certaines pépites pesant plusieurs kilogrammes. Dans le quartz, l'or se présente sous forme de petits grains ou de veines, mais le plus souvent sous forme de grains fins invisibles à l'œil nu. Les veines de quartz traversent souvent le talc, le mica ou le schiste amphibien, le granit, le porphyre et la serpentine[5].

I.2.3. Traitement des Minerais d'or

Les propriétés (principalement primaires) du minerai d'or ont conduit au développement de méthodes de traitement du minerai d'or telles que :

- La forte densité de l'or et de ses minéraux a conduit au développement de techniques d'enrichissement par gravité.
- La nature hydrophobe de la surface en or naturel la rend exceptionnellement flottante. Comme nous le savons tous, la flottation est une méthode de traitement largement utilisée dans le développement de concentrés.
- L'or et certains de ses minéraux sont solubles dans des solutions alcalines diluées de cyanure. Cette propriété conduit à la lixiviation au cyanure, la technique de traitement la plus courante du minerai d'or.
- L'or est également soluble dans d'autres solvants, notamment la thio-urée et les thiosulfates en milieu acide. Ces deux composés pourraient voir des développements industriels dans les années à venir.
- Enfin, l'or est mouillable par le mercure, car la tension superficielle entre l'or et le mercure est faible. Cette propriété est utilisée dans la fusion, connue depuis longtemps[12].

I.2.4. Les méthodes d'extraction de l'or

Le tableau ci-dessous résume les méthodes d'extraction du minerai aurifère

Tableau I-1: Les types de minerais et leurs traitements possibles[4]

Type	Minéralurgie-Métallurgie
Or libre	Gravité pour les minéralisations grossières Cyanuration pour les minéralisations fines, ou en fosse.
Or inclus dans les pyrites et les arsénopyrites	Flottation des sulfures Cyanuration après broyage fine ou grillage, biométallurgie appliquée aux concentrés.
Tellures d'or	Flottation Cyanuration après grillage ou oxydation sous pression.
Sulfures de cuivre aurifères	Flottation des sulfures de cuivre Fusion des concentrés Electroraffinage de cuivre Traitement chimique des boues anodiques contenant l'or
Sulfures de plomb-zinc aurifères	Flottation Fusion Récupération de l'or dans les scories ou dans les résidus d'électrolyse des base Cyanuration des concentrés par fois
Minerais charbonneux	Flottation ou oxydation par grillage ou par oxygène sous pression Cyanuration
Or latéritique	Flottation sous pression, si nécessaire, et lixiviation cyanurée en tas ou en cuve agitées

I.2.4.1. Les procédés de traitement gravimétrique

S'appuient sur l'une des propriétés physiques de l'or, se fondent sur la grande différence entre la densité de l'or (19,32) et les autres minéraux qui l'accompagnent dans le but de les séparer. Les appareils les plus utilisés dans les principes de fonctionnement gravimétrique sont :

- **Les sluice** : long canal en bois incliné barré par des barres transversales ou des riffles, qui a été l'instrument de concentration depuis des millénaires avec la tige.
- **Les jigs** : Jigs Denver semble être celui qui convient le mieux à l'épuisement de l'or/pyrite (transmission/aspiration par accélération différentielle).
- **La spirale** : qui ne requiert aucune dépense énergétique, intervient soit comme dégrossisseurs, soit en relais sur les concentrés dégrossissant.
- **La table à secousses** : le plus couramment utilisé. Les concentrés minéraux lourds sont transformés sur une table Gemini, qui convient mieux à la séparation de l'or des minéraux denses d'accompagnement.
- **Les concentrateurs centrifuge à bol et de type horizontal** : présentent des gammes de taille de transformation légèrement plus élevées que les concentrateurs précédents.
- **Les concentrateurs centrifuges verticaux Knelson ou Falcon** : La taille et la forme des particules d'Orléans imitent la technique de concentration par gravité puisque les particules de moins de 30 microns sont difficilement récupérables par gravité[14].

I.2.4.2. La flottation

La flottabilité naturelle de l'or natif et son association fréquente avec les sulfures ont conduit à l'utilisation précoce de la flottation pour concentrer les minerais d'or. La flottation est le processus de séparation par voie humide de certains composants du minerai. Son objectif principal est de concentrer le plus d'or possible avant le broyage ultrafin. Ce qu'il fait à propos de ce broyage, c'est qu'il libère l'or des sulfures qui le piègent pour obtenir la concentration de minerai que l'on cherche à extraire[14].

La flottation est généralement utilisée pour l'enrichissement lorsque l'or est combiné avec des sulfures métalliques. Il s'agit d'un processus de flottation simple conçu pour séparer le concentré de sulfure riche en or des résidus qui sont généralement envoyés sur les plages sédimentaires. Bien entendu, des pourcentages élevés d'or libre sont d'abord extraits par gravité, si la granulométrie le permet (particules supérieures à 75 μm)[15].

I.2.4.3. Amalgamation

L'amalgamation est également une méthode très ancienne, vieille d'au moins 2000 ans, et adaptée au traitement de l'or brut à partir de 30 microns. L'or et le mercure réagissent au contact pour former un amalgame. Cet amalgame est ensuite récupéré puis chauffé dans un four pour en extraire le mercure récupéré, qui laisse alors un résidu d'or. Bien que l'amalgamation soit largement utilisée, pas plus de 60% de l'or est récupéré par cette

méthode, en particulier pour les minerais d'or à grains très fins ou lorsque le minerai contient d'autres métaux qui réagissent également avec le mercure. Le mercure (sous forme liquide ou gazeuse) est rarement utilisé dans les mines d'or de nos jours car il est hautement toxique et inefficace[16].

I.2.4.4. Bio minéralurgie

La bio minéralurgie permet de résoudre le problème présenté par les minerais arsénopyriteux à « Or réfractaire ». En effet, la technologie dite « procédé Biox », faisant intervenir des bactéries, permet de libérer l'or .on le trouve dans la boue d'épuration à partir de laquelle il est extractible par cyanuration. Elle fait intervenir trois bactéries chimiolithotrophes: Thiobacillusferro-oxydants, Thiobacillusthio-oxydants et le ptospirillumferro-oxidants, qui attaquent les concentrés sulfurés et arsénosulfurés de flottation dans des réacteurs agités, à un pH de 1,2 à 1,6 et à une température de 40 à 45 °C. La durée de séjour est comprise entre 4 et 6 jours. Les bactéries sont alimentées en carbone, nitrogène, phosphore et potassium[17].

I.2.4.5. L'orpaillage

Le terme orpaillage est souvent utilisé pour désigner l'exploitation traditionnelle ou artisanale de l'or. Pour certains, le terme orpaillage tire son origine étymologique du mot « harpailler » qui signifie en anciens Français, saisir, attraper. Pour d'autre, il vient du multi paille, en référence à la paille que les chercheurs d'or d'antan plaçaient sous les riffles pot piégé l'or.

Du reste dans certains pays européens les orpailleurs de ces régions disposent des moyens techniques modernes (pompe À gravier, détecteur de métaux) pour décrire et extrait l'or[18].

I.2.4.6. Cyanuration

L'extraction hydro-métallurgique par cyanuration est la méthode la plus courante (plus de 80 % de la production d'or dans le monde provient de mines utilisant la cyanuration en raison de sa simplicité l'efficacité et le faible coût[19]. À l'heure actuelle, il n'existe aucune solution de rechange adéquate à l'utilisation du cyanure dans l'exploitation aurifère[20]. Le procédé de cyanure repose sur le fait que les solutions de cyanure diluées dissoudront l'or de ses minerais et que lorsque la solution sera mise en contact avec le zinc, l'or sera précipité[19]. Le principe de cette technique est fondé sur la propriété du cyanure au

complexe et rend l'or soluble[16]. Le cyanure de sodium est un poison violent et est soumis à des réglementations strictes en matière de manipulation : il ne peut être utilisé que dans les plantes avec des normes strictes[16]. On peut différencier deux grandes méthodes de cyanuration : la cyanuration en cuve, la lixiviation en tas[19].

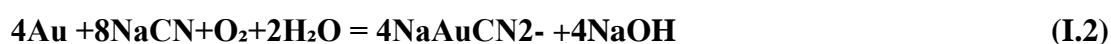
I.2.5. Les facteurs influant la cyanuration de l'or

La réaction de cyanuration de l'or implique plusieurs facteurs. Comme ils sont tous deux essentiels à la réaction, le cyanure et l'oxygène sont les facteurs analysés en premier. On peut citer l'influence du pH et de la température du milieu réactionnel, l'agitation et les surfaces de contact entre les réactifs et le nitrate d'or et de plomb[20].

I.2.5.1. L'oxygène et le cyanure

L'oxygène et le cyanure sont les réactifs stratégiques pour la mise en solution de l'or.

Selon la réaction, l'oxygène favorise l'oxydation de l'or en réduisant l'eau, et les ions cyanure complexent les ions or pour fournir du cyanure d'or stable en solution suivant l'équation d'Elsner qui est généralement acceptée sous la forme suivante :



La lixiviation n'est pas possible en l'absence d'oxygène ou d'agents oxydants, et en l'absence d'espèces complexant les ions d'or. Une concentration de cyanure (CN⁻) de 100 mg/L peut être suffisante dans certaines conditions oxydantes et peut ne pas être suffisante dans d'autres conditions[21].

Une analyse complète des phénomènes, implique une discussion sur les étapes de diffusion et de réaction chimique. Cette discussion est simplifiée par l'analyse qualitative, basée sur l'illustration du mécanisme de cyanuration de l'or présenté au (Figure I.4)[21]. Des particules d'or immergées dans une solution de cyanure en présence d'oxygène sont le siège d'une réaction électrochimique qui libère des ions d'or qui se complexent immédiatement en surface. Pour que la réduction (transfert d'électrons) se produise, l'oxygène nécessaire à la réaction doit entrer en contact avec les particules d'or. Après une période d'initiation, la surface des particules d'or établit un équilibre entre l'échange des ions cyanure et oxygène avec les ions cyanure et hydroxyde. La vitesse de la réaction est déterminée par la concentration des réactifs produits à la surface des particules d'or et la vitesse de la réaction

chimique. Par conséquent, deux phénomènes revêtent une importance stratégique pour la dissolution de l'or :

- Le transport des réactifs vers les sites réactionnels et des produits vers la solution ;
- Les réactions d'oxydo-réduction et de la complexation de l'ion or avec le cyanure[21].

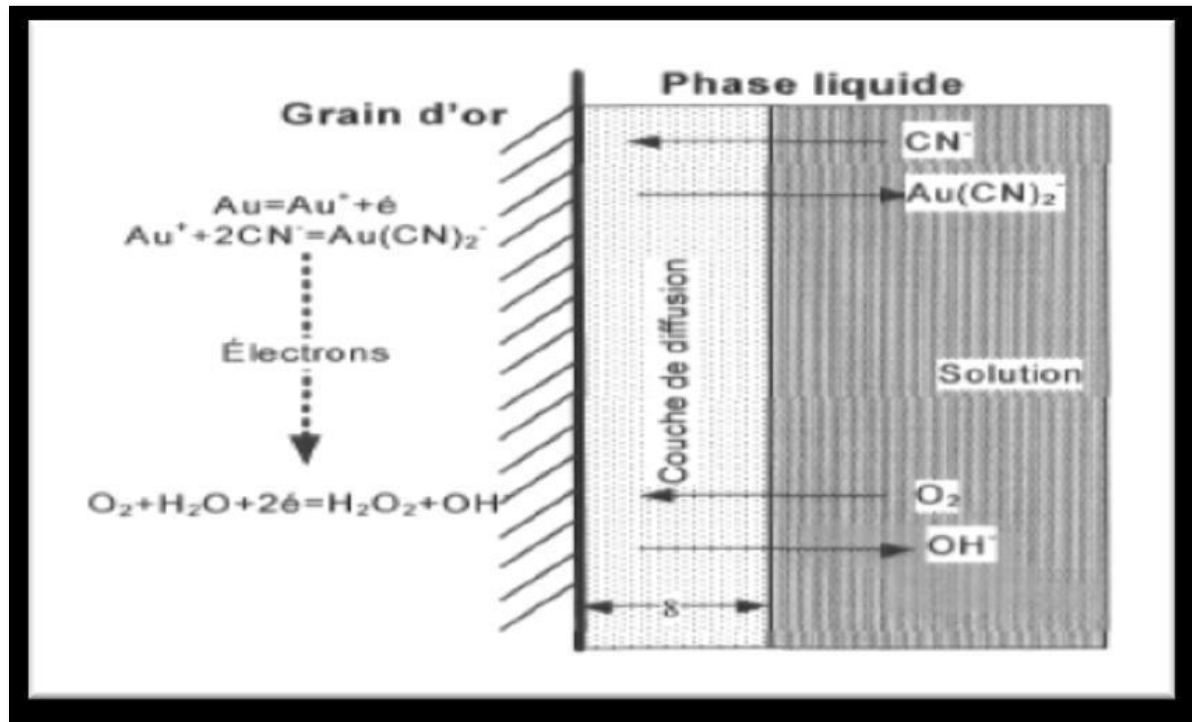


Figure I-4 : Schéma de la diffusion de l'or[21]

I.2.5.2. Le cyanure et le pH

Le cyanure est un élément important dans la dissolution de l'or. Il est ajouté sous forme de cyanure de sodium (NaCN). Généralement, les usines achètent des solutions de cyanure pour réduire les risques associés aux solutions prêtes à être ajoutées à l'équipement de la boucle d'extraction. Le cyanure de potassium (KCN) et le cyanure de calcium ($Ca(CN)_2$) sont également utilisés comme sources d'ions cyanure, mais le cyanure de sodium est maintenant le réactif courant pour les solutions de cyanure pour des raisons d'économie et de qualité du produit.

Lorsque le cyanure de sodium est mis en solution, un équilibre s'établit entre l'ion cyanure (CN^-) et le cyanure d'hydrogène (HCN).



Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un gaz toxique qu'il faut éviter de former. C'est le pH qui intervient sur l'équilibre entre les deux composés, HCN et CN⁻, selon le diagramme d'équilibre de (la figure I.3)[20].

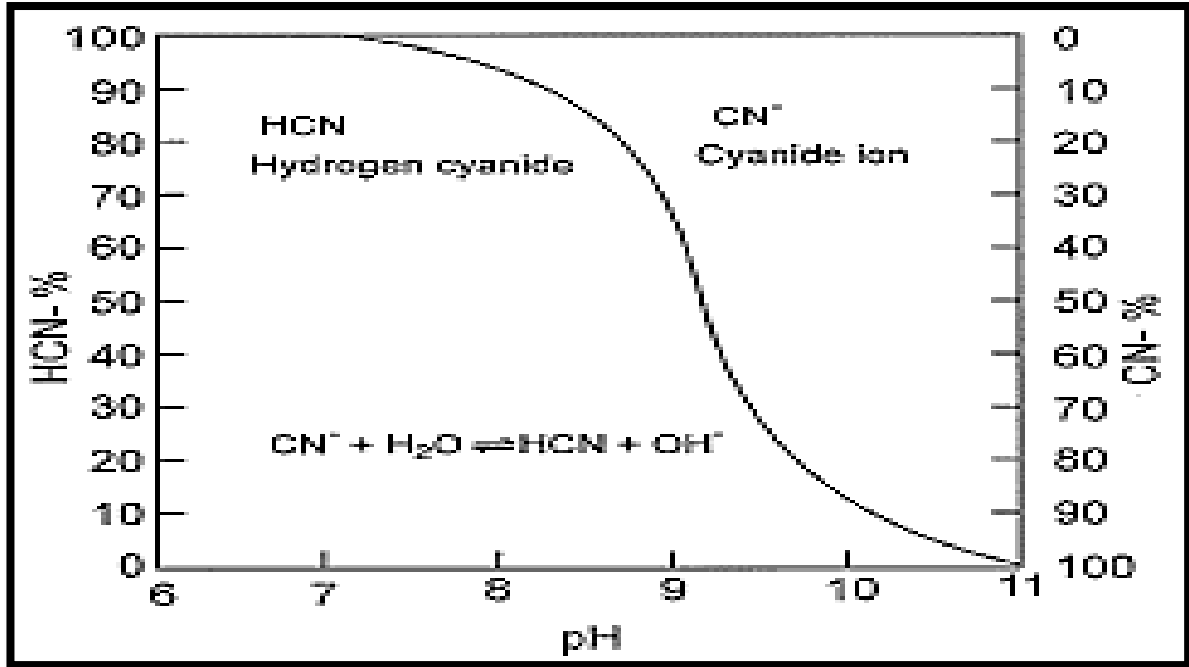


Figure I-5 : Diagramme d'équilibre entre HCN⁻ et CN⁻ selon le pH[22]

Le contrôle du pH se fait par l'ajout de chaux (CaO). La chaux mise en solution se dissout selon la réaction (I.3), et la réaction (I.4) et permet de maintenir un pH alcalin (pH > 10) afin d'avoir un milieu avec le maximum de cyanure[21].



I.2.5.3. L'oxygène et la température

La solubilité de l'oxygène est fonction de la température et est montrée à (la figure I.6). Le graphique montre clairement que la solubilité de l'oxygène diminue avec l'augmentation de la température. Le choix de la température est un compromis entre la vitesse de réaction (qui augmente avec la température) et la disponibilité en oxygène.

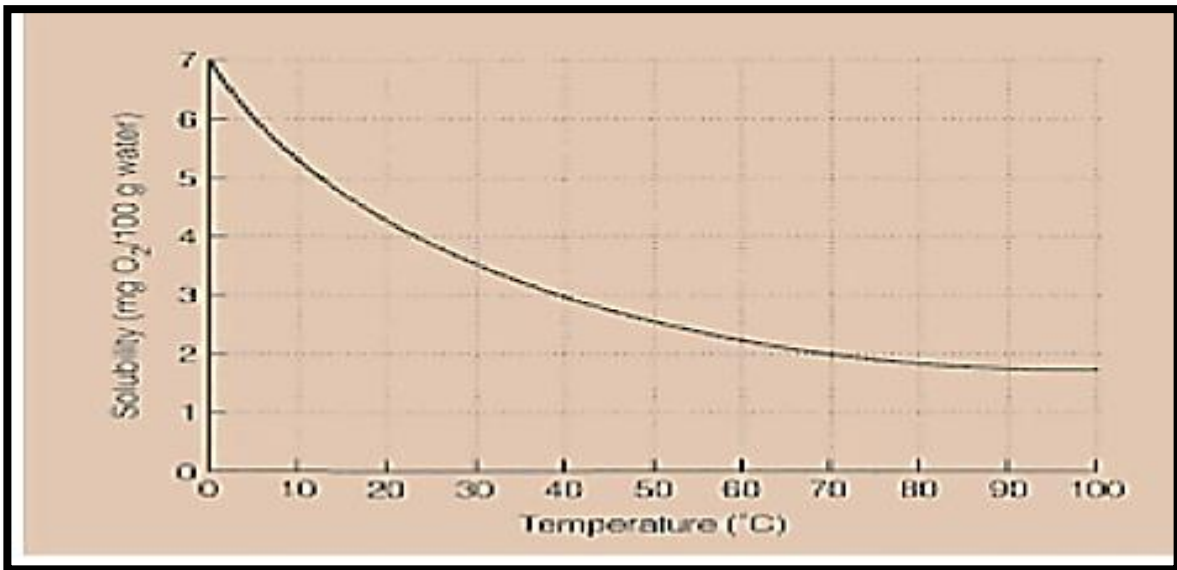


Figure I-6 : Graphe de solubilité de l'oxygène en fonction de la température[23]

La concentration en oxygène dans la pulpe lixiviée est ajustée par le débit d'air ou d'oxygène injecté dans la pâte. L'utilisation d'un réacteur de lixiviation sous pression augmente également la concentration d'oxygène dans la pulpe au-dessus de la ligne de saturation de (la figure I.6), Mais cette option n'est pas utilisée à l'échelle industrielle, sauf lorsqu'il s'agit de minerais d'or difficiles.

L'effet de la concentration d'oxygène sur le rendement or est montré à (la figure I.6). Pour les tests avec des concentrations d'oxygène supérieures à 7,5 mg/L, la vitesse de réaction n'augmente pas, ce qui permet de déduire que la diffusion de l'oxygène n'est plus le facteur limitant la vitesse dans bon nombre de ces conditions. Ces résultats montrent également que la production d'or ne semble pas être affectée par la concentration d'oxygène dans la suspension au fil du temps[21].

I.2.6. Prétraitement de l'or

Le choix de la méthode de prétraitement avant lixiviation est déterminé par des essais métallurgiques du minerai ; en corollaire, le type de prétraitement peut également déterminer la configuration de l'installation de lixiviation en tas et son mode de construction. Généralement, les minerais susceptibles d'être ainsi lixiviés sont des minerais oxydés dont le prétraitement peut varier entre : pas de prétraitement, uniquement concassage, concassage et agglomération ou uniquement agglomération ; en plus de ces traitements relativement classiques De plus, les méthodes de prétraitement chimique on s'est avéré techniquement faisable pour les minerais sulfurés, mais non rentable d'un point de vue économique[24].

I.2.6.1. Les objectifs de prétraitement

Par exemple, l'objectif principal du prétraitement de lixiviation en tas est d'obtenir une poudre suffisamment fine pour permettre à la solution d'avoir un bon contact avec le métal, et d'avoir une perméabilité et une stabilité suffisantes pour permettre au taux de lixiviation de l'ensemble de la lixiviation en tas d'être suffisant ; la finesse du matériau s'accompagne de Dans certains cas de faible perméabilité, ces deux objectifs peuvent s'avérer contradictoires. En effet, lors de la construction du tas, il se produit une séparation entre des particules de granulométries très différentes, ce qui conduit à un cheminement préférentiel pour la solution, ayant finalement pour effet de rendre imperméable toute la partie du tas ; l'agrégation de " amendes » vise au maximum Minimiser ces inconvénients.

Des tests métallurgiques sont nécessaires pour vérifier la viabilité d'une opération de lixiviation en tas et peuvent souvent vérifier la nécessité d'une agglomération (test en bouteille, test en cartouche) : généralement, le minerai est concassé à 3/4 pouce (19 mm) ou plus fin même s'il ne le fait pas. Contiennent de l'argile, nécessite également une étape d'agglomération. Des tests doivent ensuite être effectués pour déterminer la quantité optimale de liant à ajouter[24].

I.2.7. Etude de cas : Choix de la méthode de traitement par rapport à la minéralogie du minerai

La capacité du cyanure former un complexe fort avec l'or lui donne la caractéristique du réactif le plus approprié pour le traitement de l'or et le réactif le plus approprié pour la lixiviation des minerais d'or. La lixiviation au cyanure n'est pas un processus sélectif en soi, car de nombreux autres métaux/minéraux présents dans le minerai sont également facilement solubles dans des conditions de lixiviation au cyanure[25]. À cet égard, la plupart des minéraux de cuivre sont très solubles dans le cyanure, la plupart des minéraux de cuivre sont très solubles dans les cyanures, bien que la chalcopirite et la tétrahédrite sont relativement stables. La présence de ces minéraux solubles peut interférer avec la lixiviation au cyanure et les procédés en aval pour la récupération de l'or.

Dans ce contexte, nous allons présenter deux exemples de deux gisements différents afin d'exposer la méthode d'extraction pour chaque gisement.

I.2.7.1. Gisement aurifère d'Amesemassa (filon N°8)-Algérie-

Le gisement d'Amesemassa est situé au sud ouest du Hoggar à 2600 km d'Alger, à environ 400 km au Sud – Ouest de Tamanrasset, à 60 km au Sud de la mine de Tirek, les coordonnées de son centre sont de 2°29 de longitude Est et de 20°59 de latitude Nord, administrativement le gisement est localisé dans la commune de Tin Zouatine, wilaya de Tamanrasset, il est accessible par route godronnée étalé sur une longueur de 250km, et 150 km de piste[26].

La minéralisation dans le gisement d'Amesemassa exploitable est constituée d'un ensemble de corps minéralisant, composés par une série de filons quartzeux disposés en échelon et par des zones de roches d'altération hydrothermale (métasomatites, ou « bérésites» dans la terminologie russe) avec minces veinules de quartz.

I.2.7.2. Réception du minerai au niveau de la mine

Les minerais issus du gisement d'Amesemassa sont exploités et transposés à l'usine de traitement sous forme de roches à des dimensions différentes, pour le procédé de séparation (gangue/concentré)[27].

I.2.8. Travaux de laboratoire de la mine d'Amesemassa

Le laboratoire de l'ENOR a comme objectif, la réalisation d'un ensemble d'analyses de contrôle. Le but de ces analyses est d'identifier et de déterminer les teneurs en métaux nobles des différents échantillons prises au niveau du circuit de traitement.

Le laboratoire a comme rôle primordial d'apporter un soutien en matière de données que requièrent les différentes étapes de la production et l'exploration. Les échantillons analysés au laboratoire de traitement sont sous forme de : minerai, pulpe, solutions, charbon ou échantillons des sondages effectués par le service contrôle géologique et service d'exploration.

Au cours de cette étape, le responsable de laboratoire reçoit 4 types d'échantillons :

- Cutting, échantillons prélevés des tranchées ;
- Echantillons prélevés des colonnes de charbon ;
- Echantillons de la solution cyanurée ;
- Les échantillons provenant des lingots.[27]

I.2.8.1. Préparation mécanique

Lors de cette partie on prépare les échantillons mécaniquement dans le but de réduire leurs dimensions au niveau du laboratoire pour commencer le traitement physique en rendant le minerai sous forme de poudre pour faciliter sa caractérisation. Pour cela, il faut passer par[27].

A. Le débitage des roches

C'est l'utilisation d'un marteau pour réduire manuellement la taille de la roche afin de faciliter son entrée dans le concasseur à mâchoires[28] (Figure I.7).



Figure I-7 : Roches à des dimensions réduites[photo prises 2023].

B. Le concassage

L'opération est assurée par un concassage primaire à l'aide d'un concasseur à mâchoire du laboratoire pour permettre la réduction de la taille des roches. (figure I.8) ainsi que la libération des minéraux existants[27].



Figure I-8 : Minerai concassé[photo prises 2023]

C. La division et l'échantillonnage

Cet appareil de laboratoire divise facilement l'ensemble de l'échantillon initial en deux portions représentatives, chaque moitié étant collectée dans un récipient séparé[29]. Une sera considérée comme échantillon témoin et la deuxième qui sera à son tour divisé en deux pour effectuer les tests et les essais[28].

D. Le broyage

C'est le passage du minerai dans un pulvérisateur à disque dans le but d'effectuer un broyage primaire, secondaire et tertiaire jusqu'à l'obtention d'un produit broyé très fin d'une granulométrie inférieure à **75µm**. Cette granulométrie est la plus adéquate pour obtenir un taux de libération optimale qui permet d'avoir de meilleurs résultats.[27]. (Figure I.9)



Figure I-9 : Pulvérisateur à disque du laboratoire d'Amesmassa[photos prises2023]

I.2.8.2. Préparation thermique

C'est un traitement thermique de la pulpe d'échantillon obtenue après la préparation mécanique et cela se fait en deux étapes :

A. Fusion

Consiste à mettre dans un creuset en brique réfractaire, 30g d'échantillon au mélange fondu constitué de :

- Oxyde de plomb (qui collecte tous les métaux existe dans l'échantillon).
- Borax + Farine spécial pour les fours de fusion.
- Nitrate de sodium (pour augmenter la température).
- Silicate (pour transformer la poudre du plomb en masse solide former le borosilicate (verre)).
- Le nitrate d'argent.

Le tout introduit pendant une heure dans un four à une température 1050-1100° C[30].



Figure I-10 : Creusets en matière réfractaire[photo prises 2023]

B. Coupellation

Cela a tout rendu possible, des boutons en plomb (mélange de plusieurs métaux) aux perles composées uniquement de métaux précieux (or et argent) (figure I.11). Aplatir le bouton de plomb à l'aide d'un marteau et le mettre dans une coupelle en ciment réfractaire ou en magnésite, puis le mettre dans un four à 950°C pendant 45 minutes à 1 heure pour obtenir des perles en métaux précieux[31].



Figure I-11 : Coupellation[photos prises 2023]

I.2.8.3. Préparation chimique

A. Attaque Chimique (Digestion)

Consiste à traiter la perle résulte de l'étape précédent, son but est l'élimination de l'argent pour donner une solution contient seulement de l'Or (figure I.12) ;

- Introduire la perle dans un tube d'expérience ;
- Ajouter (3 ml) de HNO₃ de concentration 80% pour enlever l'argent (Ag) ;
- Après 20 minutes, ajouter (3ml) d'acide chlorhydrique HCL concentrer de 100% ;
- Après 20 minutes, ajouter (4ml) d'eau au volume d'eau régale précédent pour atteindre un volume de (10ml)[30].



Figure I-12 : Attaque chimique.[Source : photo prise 2023]

I.2.8.3.2. Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA)

Après le refroidissement de la solution, on agite le tube à essai afin d'homogénéiser le contenu et on la fait passer au spectromètre d'absorption atomique SAA (figure I.13)[27].

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative, qui convient mieux à la détermination des traces que les principaux composants.

L'analyse par absorption atomique utilise la loi de Beer-Lambert. Si plusieurs éléments doivent être analysés, cela se fait pour chaque élément de l'échantillon en se

plaçant à une longueur d'onde fixe. Par conséquent, chaque opération doit choisir la source lumineuse appropriée pour éclairer les éléments qui veulent être excités.

En chimie analytique, la spectrométrie d'absorption atomique est une technique spectroscopique atomique utilisée pour déterminer la concentration d'éléments métalliques (métaux alcalins, alcalino-terreux, métaux de transition roches et minerais, métaux et alliages...) et de métalloïdes dans un échantillon. Atomisez-les à l'aide d'une flamme alimentée par un mélange gazeux. Ce dernier est plus sensible que la flamme et peut quantifier les éléments au niveau ppb. Il s'agit d'une méthode à un seul élément nécessitant une source lumineuse caractéristique pour chaque élément à déterminer. C'est l'une des méthodes analytiques classiques en chimie analytique. Basé sur des méthodes optiques, il peut générer des résultats qualitatifs ainsi que des données quantitatives. L'absorbance est généralement utilisée pour la détermination, l'élément est connu et la concentration est déterminée[32].



Figure I-13 : Spectromètre d'adsorption atomique du laboratoire d'Amesmassa[photo prise 2023]

A. Inconvénients

Nécessite l'utilisation de sources caractéristiques pour chaque élément à doser, des techniques analytiques destructives, le domaine d'application est quasiment limité aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc.), et doit être à des niveaux assez bas concentrations[32].

B. Avantage

Il est très sélectif et il n'y a pas d'interférences spectrales ou elles sont connues. La technique est simple si vous savez comment préparer la solution initiale. C'est bien documenté. Au fil des années, la SAA peut être équipé d'un plateau tournant, permet tant le passage d'un grand nombre d'échantillons à l'aide d'un nombre croissant d'appareils à lampe mono ou multiéléments[32].

I.2.8.4. La cyanuration

Le principe de la cyanuration est basé sur le fait que les ions cyanures se forment des Complexes de haute stabilité avec l'or. Les solutions cyanures faiblement alcaline privilégie une action dissolvante préférentielle l'or et de l'argent contenu dans le minerai[25]. Le cyanure de sodium est un poison violent et soumis à des règlements de manipulation stricts : il ne peut être employé que dans des usines respectant des normes sévères[27].

I.2.9. Méthodes de caractérisation**I.2.9.1. Diffraction des rayons-X**

Le but de cette caractérisation est d'étudier la structure cristalline des couches afin de mesurer Paramètres de maille et granularité. Il doit également être en mesure de vérifier Limites de dépôt.

I.2.9.2. Principe de mesure par diffraction des rayons X

Lorsque le faisceau de rayons X monochromatique émis par le tube est dirigé et soumis à La fente divergente contrôle la surface de l'échantillon au centre du goniomètre. Le faisceau est focalisé par une fente d'acceptation placée devant le détecteur, qui enregistre la force. L'anode du tube à rayons X, où participent les cristallites de l'échantillon. Les fentes de diffraction et de détection sont situées sur le cercle de mise au point. Les rayons X collectés par le détecteur sont convertis en impulsions électriques, L'intensité du rayonnement diffracté peut être tracée en fonction d'Angle de diffraction : $I = f(2\theta)$ C'est la base de l'analyse[33].

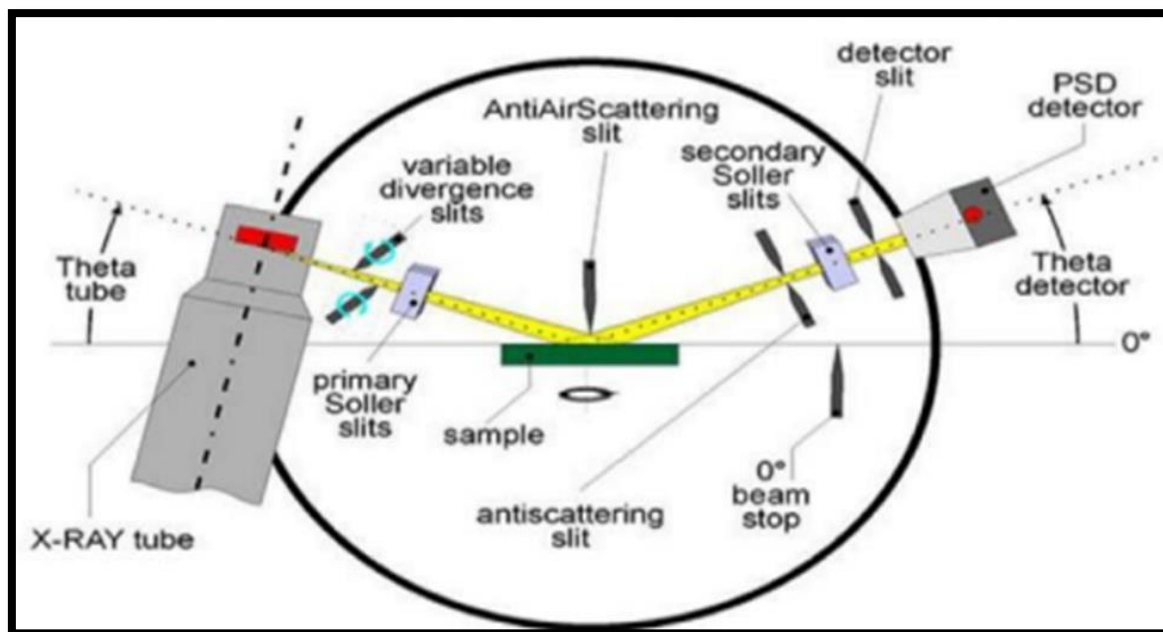


Figure I-14 : Schéma d'un diffractomètre

I.2.9.3. Analyse chimique par fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire, elle peut donc déterminer la concentration d'éléments purs. Cependant, ces éléments sont généralement présents dans le produit de départ sous forme de composés (molécules, cristaux polyatomiques). Par conséquent, il peut être souhaitable de fournir des pourcentages pour les composés plutôt que pour les éléments. Par exemple, les concentrations d'oxydes sont souvent exprimées, notamment en géochimie ou dans les ciments[34].

I.2.9.3.1. Principe de fonctionnement

Lorsqu'un matériau est exposé à des rayonnements de courte longueur d'onde et donc de haute énergie, tels que des rayons X, des rayons gamma ou un faisceau d'électrons ou d'ions suffisamment accélérés, les atomes qui composent le matériau s'ionisent, ce qui signifie qu'un ou plusieurs des électrons sont libérés de chaque atome éjectés des couches d'électrons[34].



Figure I-15 : Porteur de l'analyseur et de l'échantillon[photo prise 2023]

I.2.10. Traitement du minerai (Procès)

Le traitement du minerai d'or est conçu pour libérer le plus de métal possible, mais récupère rarement tout l'or contenu. Selon le contenu économique du minerai, le traitement du minerai au gisement d'Amesmessah est divisé en deux procédés :

- Lixiviation en tas.
- Lixiviation en cuve.

Le processus d'extraction des métaux des minerais est influencé par le degré d'oxydation du minerai, la taille des particules et la nature des minéraux aurifères. Pour certains minerais, une préparation mécanique du minerai est nécessaire quel que soit le procédé[35].

I.2.10.1. Préparation mécanique du minerai

Il s'agit d'une opération visant à réduire et/ou augmenter la surface dépliée par unité de masse de particules solides. Son efficacité s'apprécie toujours en mesurant l'augmentation de la finesse. Elle vise toujours à répondre aux exigences d'une utilisation ultérieure, généralement au moins à l'un des objectifs suivants :

- Taille réduite pour faciliter la manutention, le conditionnement ou l'utilisation, ou pour libérer les composants avant les opérations de séparation ;
- Augmenter la réactivité des processus cinétiques selon le degré de complexité ou de désordre ;
- Homogénéisation (mélanges, dilution de solides, dosage)[35].

I.2.10.2. Concassage

Le minerai d'entreposage est concassé par trois concasseurs. Le premier concasseur est un concasseur à mâchoires et ses produits sont transportés vers la première couche de cribles à trois couches par des convoyeurs à bande. La partie de 22 mm adopte le concasseur à cône rotatif pour le concassage secondaire et la finale le produit < 22 mm passe à travers le tamis double couche avec des trous de tamis de 14 mm et 10 mm, et les particules de granulométrie > 10 mm sont utilisées pour le concassage secondaire, qui est assuré par le deuxième concasseur à cône. Le concassage tertiaire et les produits tertiaires supérieurs à < 10 mm seront transportés par un convoyeur à bande et stockés sous forme de tas avec différentes teneurs en Au en particules de 6 à 8 mm.

Le minerai concassé (6-8mm) sera ensuite envoyé vers un procédé de traitement chimique pour la valorisation du minerai, la lixiviation de la pulpe (CIP) si la teneur en Au > 4g/t, ou la lixiviation en tas lorsque la teneur en Au dépasse 4g/t (Heap Leaching) < 4 g/tonne[35].

I.2.10.3. Broyage

Le broyage est la dernière étape du processus de fragmentation. Il le fait grâce à une combinaison de mécanismes d'abrasion, d'abrasion et d'impact dans des environnements secs ou humides (boue). La mine Amessessa utilise le broyage humide. Les particules sont réduites en taille entre 6 à 8 mm à 75 µm dans des tambours cylindriques en acier appelés broyeurs, qui dans la plupart des cas tournent autour de leur axe longitudinal. La fragmentation est causée par l'action (effet sur les particules) de la charge de broyage se déplaçant librement à l'intérieur du concasseur. La charge de concassage peut être constituée de billes ou de barres, de roche dure ou du minerai lui-même. Le broyeur utilisé par Amessessa est un broyeur à boulets[35].

I.2.10.4. Lixiviation En Pulpe (CIP)

Il s'agit d'une méthode de traitement du minerai riche en or. Tout d'abord, il est nécessaire d'utiliser différents concasseurs pour concasser finement le minerai dans le but de :

- Réduction de taille et libération d'Or avant les opérations de séparation ;
- Homogénéiser et augmenter la réactivité du processus de cyanuration.

En prenant la mine d'Amesemassa comme exemple, la teneur du minerai traité par cette méthode est $Au > 4 \text{ g/t}$, et il est broyé par voie humide par un broyeur à boulets d'une capacité de traitement de 8 t/h , et le produit est de $75 \mu\text{m}$ afin d'homogénéiser et libérer autant d'or que possible pour obtenir une meilleure séparation par gravité et une meilleure réactivité avec le cyanure de sodium (NaCN).

Le minerai concassé entrera dans un hydrocyclone (classificateur centrifuge) qui le divisera en deux parties :

- Fraction riche en particules denses et grossières (sousverse) ;
- Fraction riche en particules fines (surverses).

Les sousverses seront destinées pour la séparation gravimétrique, et les surverses seront destinés à la cyanuration[35].

I.2.10.5. La Lixiviation En Tas (Heap Leaching)

La lixiviation en tas est une technique reposante sur une série de réactions chimiques visant à libérer spécifiquement la substance économique à extraire depuis la gangue. Elle est très utilisée pour l'extraction de l'or des roches à faible teneur (jusqu'à $0,2 \text{ g/t}$ de minerai dans les meilleurs cas). La gangue est alors lessivée avec une solution basique de cyanure. Le lixiviat enrichi en or est envoyé vers des colonnes de charbon actif qui adsorbent l'or. Puis l'or métallique est récupéré par électrolyse après élution (désorption) du charbon.

La mine possède deux Heap Leach, une de capacité d'un million tonnes et l'autre de cinq cent mille tonnes. L'air de lixiviation (Leach Pad) a une structure plane assurée isolation du tas vis-à-vis de l'environnement par un dépôt de deux couches d'argile bien compactes étanchées par une géomembrane en polyéthylène d'une épaisseur de 1.5 mm , et pour drainer la solution riche au fond de l'air de lixiviation une couche drainante est installée, elle est composée de tubes perforés intégrés dans une couche de gravier. Ce système permet la collecte du lixiviat.

Le minerai concassé a des faibles teneurs $< 4 \text{ g/t}$ est déposé sur l'aire de lixiviation (Leach Pad) sous forme des panneaux rectangulaires de $25 \times 60 \text{ m}$ ensuite une solution de cyanure pour dissoudre les grains d'or est répandue au sommet du tas par un système de goutte à goutte (système d'arrosage) pendant 21 à 30 jours. Au cours de sapercolation dans le tas, la solution se charge en or. Pour finir la solution enrichie est récupérée à la base du

tas sera évacuée par pipes vers la fosse de récupération ou les deux puits de 5m de profondeur. Ce lixiviant enrichie est ensuite envoyé vers les colonnes de charbon (CIC)[35].

I.2.11. Gisement d'or de Mastra-Turkie- (exemple de traitement en turkie)

Le minerai considéré comme réfractaire provient des zones riches en sulfures du gisement d'or de Mastra, situé à Gümüşhaneen Turquie. La taille de l'échantillon a été réduite à ≤ 4 mm à l'aide de concasseurs de laboratoire à mâchoires et à cylindres. L'échantillon de minerai concassé a ensuite été broyé jusqu'à 80 % de passage à 75 μ m, puis divisé en portions de 120 g avant d'être utilisé dans les expériences.

L'Analyse chimique du minerai par XRF a montré que le minerai est très riche en or et en cuivre avec des teneurs de 56g/t Au et 1,1% Cu. Le minerai est constitué de quartz (85% SiO₂) et, une faible teneur de minéraux sulfurés (3,14% S au total) le cuivre a été identifié comme étant présent sous forme de sulfures, dont la chalcoppyrite, la covellite et la chalcocite dans le minerai. La pyrite et la sphalérite ont également été observées en tant qu'autres phases sulfurées. La teneur élevée en cuivre rend le minerai réfractaire. En raison de la faible extraction de l'or en cyanuration directe (1,5 g/L NaCN)[36,37]

I.2.11.1. Tests de lixiviation

Les tests de lixiviation ont été réalisés dans des réacteurs en verre à chicanes (1000 mL de capacité nominale) dans lesquels des solutions de lixiviation (480 mL) et le minerai (120 g, 25 %, fraction de masse) ont été ajoutés. Les solutions de lixiviation ont été préparées en utilisant de l'eau distillée désionisée. Dans les tests de lixiviation directe au cyanure, l'effet de la concentration de cyanure dans la gamme de 1,5 -7,5 g/L NaCN a été étudié. Dans les tests de lixiviation du cyanure ammoniacal, les effets principaux et d'interaction des concentrations de cyanure de sodium (0,5-2,5 g/L NaCN), d'ammoniac (0-2 mol/L NH₃) et de nitrate de plomb (0-1000 g/t(Pb(NO₃)₂)) ont été examinés. La lixiviation à l'ammoniaque a été réalisée à 1 mol/L NH₃ pour l'élimination du cuivre et la lixiviation au cyanure du résidu a été effectuée à 1,5 g/L de NaCN. Les réacteurs ont été agités à une vitesse d'agitation constante de 600 t/min. L'air a été introduit dans les réacteurs à un débit de 2 L/min. Le pH a été contrôlé à 10,5-11,0 pour la lixiviation au cyanure et à 10-10,5 pour la lixiviation à l'ammoniaque par l'ajout de 1 mol/L de NaOH.

L'extraction des métaux a été calculée sur la base de la quantité de métal non dissoute dans le résidu. Les resultants obtenus sont:

- Le traitement d'un minerai d'or à haute teneur en cuivre par lixiviation au cyanure, ammoniacale comme prétraitement avant la lixiviation montrent une forte dissolution des sulfures de cuivre
- La lixiviation de l'or. Le maintien de niveaux prohibitifs de cyanure (≥ 5 g/L NaCN) est nécessaire pour obtenir des extractions élevées ($>97\%$) pour l'or.
- Le prétraitement du minerai par lixiviation à l'ammoniacale d'éliminer le cuivre réactif (73 %), et l'extraction de l'or a abouti (99,8 %).

Conclusion

En générale, le gisement d'Amesmessas est constitué par des minces filons représentés par des zones minéralisées de moyenne importance avec une longueur de quelques centimètres.

La lixiviation en réservoir (CIL) a un bon rendement pour le minerai riche, et le taux de récupération peut atteindre 96 %. Le rôle de la boucle de lixiviation (CIL) est de dissoudre l'or solide en présence de cyanure dans une série de réservoirs agités où l'or dissous est adsorbé sur du charbon actif.

L'analyse du minerai est une étape importante dans le choix d'une méthode de traitement car les minerais ont une perméabilité variable au cyanure. Cela se traduira par de bons taux d'extraction de l'or, de sorte que les études minéralogiques du minerai sont extrêmement importantes car le coût de l'extraction en dépend.

Chapitre II
Matériels et méthodes

Introduction

La tâche principale du laboratoire de la mine d'Amesmessa est de déterminer des teneurs en métaux nobles des différents échantillons. L'analyse du minerai est une étape importante dans le choix d'une méthode de traitement car les minerais sont de perméabilités différentes vis-à-vis du cyanure.[30]

Dans ce chapitre, nous exposons les différentes étapes et méthodes adoptées dans notre travail. Commenant par l'échantillonnage jusqu'aux tests de caractérisation en exposant à chaque fois les produits et le matériel utilisés.

II.1. Échantillonnage

Le but de l'échantillonnage est de s'assurer de la représentativité de l'échantillon ramené au laboratoire, c'est-à-dire de s'assurer que la petite fraction à analyser est la plus représentative possible de la masse mère.

Nous avons échantillonné le minerai au sein du tas appartenant à Micro

Entreprise (SARLTimerkadin **Ech 820**) en prélevant des échantillons représentatifs de bas en haut et sur tout le tour.

Nous avons prélevé 30kg de masse de minerai riche concassé à des granulométries inférieures à 12mm.

II.2. Préparation mécanique du minerai

Avant d'effectuer toute analyse sur des échantillons solides, nous effectuons le traitement mécanique, l'étape la plus délicate de la préparation des échantillons représentés[24]. Lors de la préparation mécanique des échantillons, nous avons suivi les étapes suivantes :

A. Concassage

Le concassage primaire est réalisé à l'aide d'un concasseur à mâchoires du laboratoire qui permet la réduction de la taille de la roche. On calcule le rapport de réduction en suivant la méthode de calcul ci-dessous :

$$D_{\max} = 50\text{mm} \quad d_{\max} = 12\text{mm}$$

$$I = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad \Longrightarrow \quad I = \frac{50}{12} = 4,17$$

D max = Diamètre du plus grand morceau avant le concassage.

d max = Diamètre du plus grand morceau après le concassage.



Figure II-1 : Concasseur à mâchoire [Photo prise 2023]



Figure II-2 : Echantillon après concassage [Photo prise 2023]

B. Division et échantillonnage

Le matériau concassé est introduit dans un diviseur pour obtenir deux échantillons homogènes représentatifs, dont l'un est prélevé aléatoire à titre de contrôle et l'autre sera ensuite divisé en deux pour les tests.



Figure II-3 : Diviseur à raffle[Photo prise 2023]

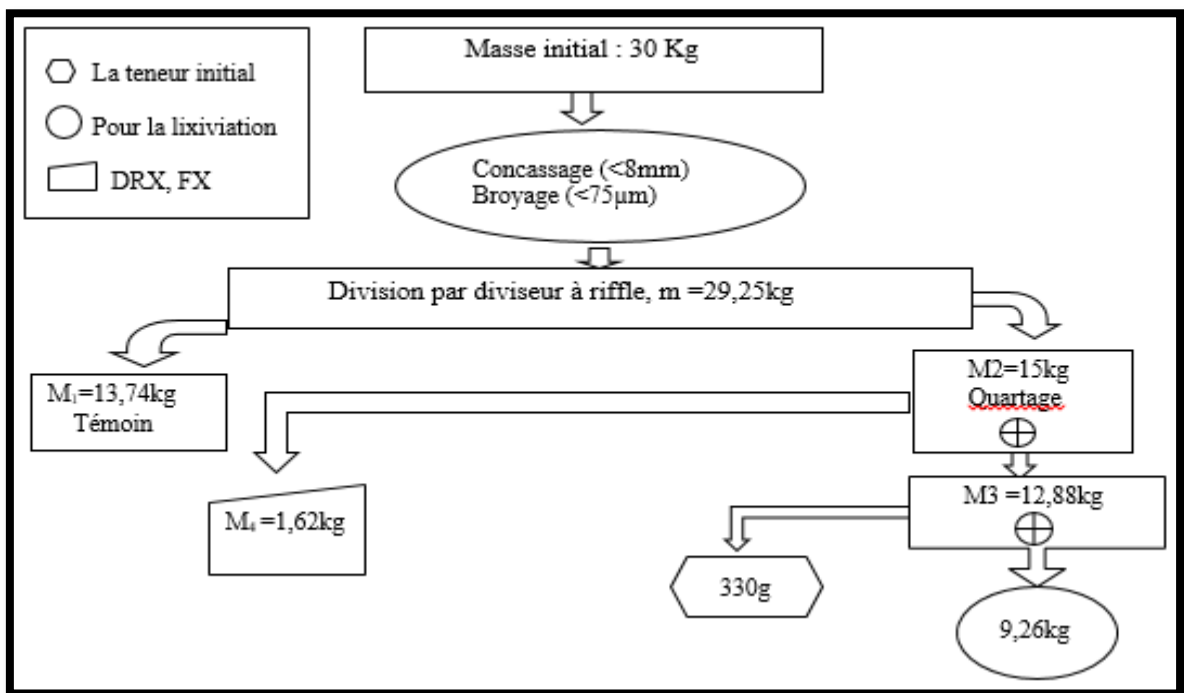


Figure II-4 : Schéma de la préparation mécanique du minerais.

C. Broyage

A l'aide d'un pulvérisateur de laboratoire, nous avons effectué un broyage primaire, pour réduire la dimension jusqu'à $75\ \mu\text{m}$ et pour rendre le minerai sous forme d'une poudre.



Figure II-5 : Broyeur à disque [Photo prise 2023]

- **Homogénéisation par quartage :** l'échantillon étalé et divisé en quatre à peu près égaux. On élimine deux fractions opposées et on réunit les deux fractions.

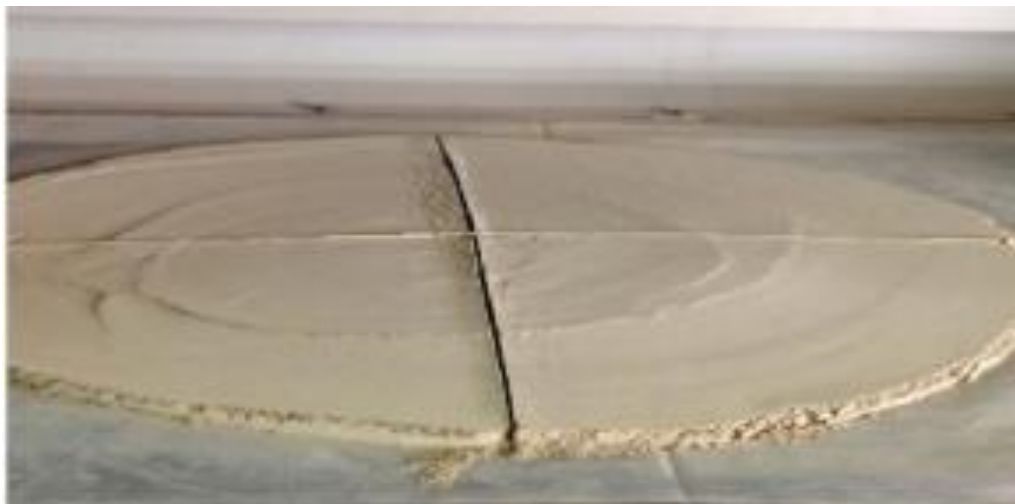


Figure II-6 : Quartage de minerai après le broyage [photo prise 2023].



Figure II-7 : Deux partie opposés [photo prise2023]

II.3. Test de lixiviation dynamique en bouteilles roulants

Les bouteilles roulantes utilisées pour ces tests sont déjà disponibles au niveau du laboratoire de la mine d'Amesmessah. Elles sont de forme cylindrique et en matière plastique.[31]

Un essai de cyanuration en bouteilles roulantes est la première étape de la norme industrielle dans l'évaluation de récupération de l'or possible par cyanuration. Au cours d'un essai en bouteilles, le minerai préparé est agité doucement dans une lixiviation de cyanure ou une solution de lixiviation. Les niveaux d'oxygène, l'alcalinité, la consommation de cyanure et la teneur en or sont surveillés et contrôlés rigoureusement tout au long de l'essai. Les résultats des essais donnent des informations sur les taux de récupération attendus[24].

Pour la réalisation de ces tests, on doit d'abord préparer le matériel suivant :

II.3.1. Matériel utilisé

- 300g du minerai broyé ;
- Soude caustique (NaOH) pour régulariser le pH ;
- Cyanure ;
- 1L d'eau distillée ;
- Des tubes à essais ;
- Une balance électrique ;
- Bouteilles roulantes ;
- Spectromètre d'absorption atomique (SAA);

II.3.2. Mode opératoire

Les essais à T: 24 h

Pour étudier l'effet de la concentration en or, 6 bouteilles roulantes de différentes concentrations (en modifiant la concentration de cyanure et de soude caustique) ont été préparés, contenant 300 g de minerai et 1 L d'eau distillée, à l'exception de la sixième bouteille de 2 L d'eau distillée. Agitées pour mesurer les changements de température et de pH au fil du temps.

Les essais à T : 7h

Pour étudier l'effet de la concentration de l'or, 5 bouteilles roulantes ont été préparées chacune avec une concentration (en variant la concentration de cyanure et la concentration soude caustique et NH_3 , nitrate du plomb) avec 300g du minerai et 1L d'eau distillée qui a été agité dans le but de mesurer la variation de la température et le pH en fonction du temps



Figure II-8 : Test de bouteille roulante.[Photo prise 2023]

Chaque échantillon prélevé doit être filtré avant de le faire passer SAA.

A la fin de test on verse tout ce qui reste dans la bouteille pour déterminer la teneur finale de solide après filtration et séchage.

II.3.3. Préparation thermique

A. La fusion

Matériel

- Un échantillon homogène d'une granulométrie $<75\mu\text{m}$;
- Des creusets en porcelaine propres ;
- Un chariot ;
- Un four pour fusion ;
- Mélange de fondant constitué de carbonate de sodium, borax, farine et oxyde de plomb
- Une spatule ;
- Une balance électrique ;
- Nitrate d'argent (AgNO_3) ;
- Un marteau et un support ;
- On verse les échantillons 30g dans les creusets puis on rajoute le mélange de fondant dans chaque creuset afin d'obtenir un bouton de plomb de 25 à 30g.



Figure II-9 : Pesage 30 g du minerai [Photo prise 2023]

- On injecte dans chaque creuset AgNO_3 .



Figure II-10 : La première fusion de l'échantillon préparé [Photo prise 2023].

- On met les creusets dans le four à 1100°C pendant 1 heure pour assurer la fusion.

B. La coupellation

Matériel

- Des coupelles;
- Un four;

Des coupelles égales au nombre de boutons de plomb résultants sont préchauffées

Cuire au four à 1000°C pendant 10 minutes.

On dispose les boutons de plombs dans leurs coupelles, puis on les charge soigneusement dans le four à 1000°C pendant 40 min pour but de fusion.

La trappe du four est ouverte pour aérer les vapeurs d'oxyde de plomb et enlevée les coupelles et stockés sur le plan de travail on laisser ventiler et refroidir on obtient à la fin d'opération, une perle constituée de métaux précieux (Ag, Au).



Figure II-11 : La deuxième fusion qui permet l'obtention des perles.¹

C. L'attaque chimique (la digestion)

Matériel

- Des tubes à essai et un support ;
- Plaque chauffante pour Bain-marie ;
- Une solution d'acide nitrique (HNO_3) et 3ml acide chlorhydrique HCl ; 3ml Eau distillée,

Les perles obtenues après coupellation on dépose dans des tubes à essais. On ajoute dans chaque tube à essai acide nitrique 3ml (HNO_3) et on met dans un Bain-marie préchauffé pendant 20 min pour éliminer l'argent. On ajoute 3ml d'eau distillée pour diluer la solution, on laisse refroidir pendant 10 min.



Figure II-12 : Tubes contenant les perles + HNO_3 sur le bain-marie pour préchauffer [photo prise 2023]

En fin la solution est analysée par absorption atomique à l'aide d'un spectromètre, qui est lié à un ordinateur pour lire le résultat final de la teneur en or de notre minerai.

II.4. Mesure du pH

Le ph est mesuré pour faire le suivi, mais aussi pour assurer des conditions de lixiviation qui minimisent les risques d'émission de HCN.



Figure II-13 : Instrument de pH mètre.[Photo prise 2023]

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les méthodes et les étapes suivies au cours de notre projet ainsi que les matériels utilisés. Nous avons aussi présenté les étapes de la caractérisation physico-chimique de minerai.

Le mode opératoire, les techniques d'analyse sont aussi mises en évidence pour générer les résultats expérimentaux attendus, qui seront discutés dans le chapitre III.

Chapitre III

Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minéral aurifère

Introduction

Suite à la diminution des gisements aurifères riches, les industries mondiales se penchent vers les minerais aurifères réfractaires (qui ne répondent pas aux méthodes d'extraction ordinaires). Ces minerais présentent essentiellement un taux d'extraction faible (<80%) dans les conditions typiques de la cyanuration. Plusieurs facteurs ont été largement discutés comme cause de réfraction, parmi ces facteurs on peut citer le taux de cuivre supérieure à 1% en raison de la formation avec le cyanure des complexes consommateurs de ce dernier.

L'extraction de l'or repose sur l'aspect hydrométallurgique ou autrement dit cyanuration, qui elle dépend de plusieurs paramètres tels que : la minéralogie du minerai, la quantité du cyanure, le pH du milieu (milieu alcalin).

Au cours de chapitre, nous allons étudier en premier lieu les conditions de lixiviation d'un minerai issu d'une micro entreprise (SARL TinmerkadineEch820) et en deuxième lieu, nous allons ajouter des agents afin d'améliorer le taux d'extraction de ce minerai.

III.1. Caractérisation minéralogique du minerai

Les analyses radio cristallographiques ont été effectuées à l'aide d'un diffractomètre de marque X'PertPRO sur poudre de minerai, équipé d'un détecteur à scintillation X'Ceerator Ultrarapide), en utilisant une radiation de Cu K α ($\lambda = 1,54060$ nm, fonctionnant à haute tension de l'anticathode de 40 KV et une intensité dans le **filament** de l'anticathode égale à 30 mA, les données ont été recueillies à $2\theta = 20^\circ - 70^\circ$. Le résultat est présenté ci-dessous :

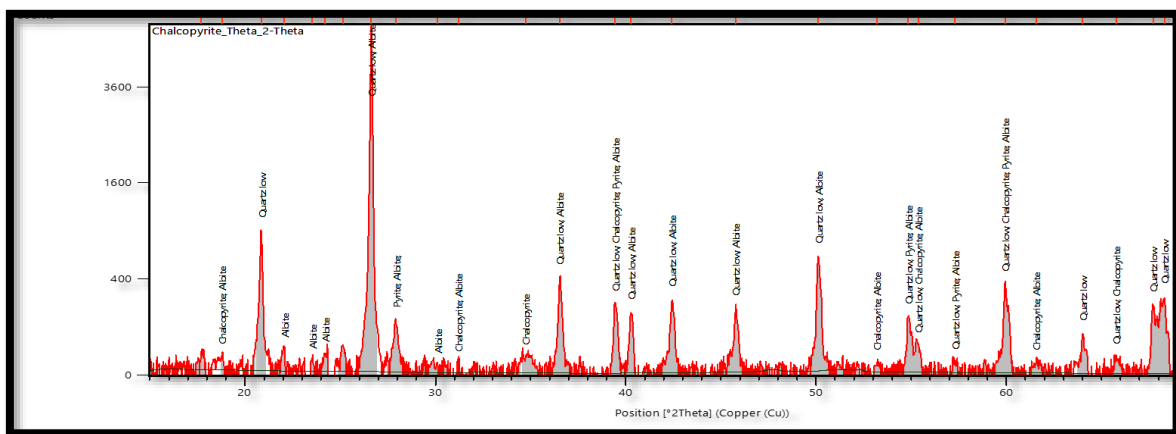


Figure III-1 : Spectre de la DRX du minerai

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

La figure ci-dessus présente le spectre de diffraction des rayons X du minerai, la phase majoritaire est le quartz. Cette dernière est illustrée par la présence des raies intenses. En plus de la phase majoritaire (le Quartz), nous remarquons la présence d'autres phases : chalcopryrite, pyrite, et Albite.

III.2. Etude les conditions de la lixiviation du minerai

Le but de cette première partie de travail est de définir les conditions optimales de la lixiviation (cyanuration) en utilisant des bouteilles roulantes. C'est la première étape de la norme industrielle dans l'évaluation de récupération de l'or possible par cyanuration. Au cours d'un essai en bouteilles, le minerai préparé est agité doucement dans un lixiviat de cyanure ou une solution de lixiviation. Les niveaux d'oxygène, l'alcalinité, la consommation de cyanure et la teneur en or sont surveillés et contrôlés rigoureusement tout au long de l'essai. Les résultats des essais donnent des informations sur les taux de récupération attendus[20].

Le paramètre choisi pour le suivi de la cinétique de la lixiviation est la concentration du cyanure, pour se faire, six essais sont proposés comme l'indique le tableau (tableau III.1)

Tableau III-1: Conditions opératoires des essais préliminaires

N° d'essai	1^{er}essai	2^{eme}essai	3^{eme}essai	4^{eme} Essai	5^{eme} Essai	6^{eme} Essai
NaCN (g/l)	0,3g	0,5g	1g	1,5g	3g	0,5g
NaOH(g/l)	0,5g	0,7g	0,9g	1,2g	1,8g	0,7g
Masse du minerai (g)	300g	300g	300g	300g	300g	300g
Volume d'eau(L)	1 liter	1 liter	1 liter	1 liter	1 liter	2 liters

III.2.1. Le taux d'extraction

01^{ère} essai

Cet essai est effectué dans des bouteilles roulantes au niveau du laboratoire de l'ENOR avec une vitesse constante pendant 24 heures avec les paramètres suivants :

- Teneur initiale de l'or du lot est estimée à 24,3 ppm,
- Masse du minerai utilisé est 300g avec un volume d'eau distillée de 1litre,
- Concentration du cyanure : 300ppm (0,3g pour 1L),
- Concentration de la soude caustique NaOH :0,5g/l, dans le but d'ajuster le pH du milieu

Le taux d'extraction est calculé à partir de la formule suivante :

$$\frac{\text{Taux de l'orextrait}}{\text{Teneur initiale}} \times 100$$

Tableau III-2: Résultats expérimentaux du premier essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction(%)
01	0	29	11,08	0	0
02	30min	30,4	11,10	2,230	9,176955
03	1h	33,7	10,97	3,537	14,55556
04	3h	39,2	10,33	6,549	26,95062
05	6h	39,8	10,17	7,811	32,14403
06	12h	34,7	9,72	8,971	36,9177
07	24h	33,2	9,02	9,263	38,11934

02^{ème} essai

t_{lot initial}= 14,30 ppm, m =300g, V₁=1litre, C(CN)=500ppm(0,5g pour 1L), C NaOH=0.7g/l

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

Tableau III-3: Résultats expérimentaux du deuxième essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction(%)
01	0	28,9	11,57	0	0
02	30min	30,3	11,22	2,536	1,73427
03	1h	33	11,22	3,440	24,05594
04	3h	38,7	10,91	5,716	39,97203
05	6h	40,5	10,18	7,435	51,99301
06	12h	34,1	9,67	7,939	55,51748
07	24h	34,4	9,33	9,004	62,96503

03^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 20,40$ ppm, Masse du minerai :300g,volume de liquide :1litre, concentration du cyanure : 1000ppm(1g pour 1L), concentration de soude caustique :0.9g/l

Tableau III-4: Résultats expérimentaux du troisième essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction(%)
01	0	29	11,82	0	0
02	30min	30,2	11,55	2,716	13,31373
03	1h	32,3	11,42	3,609	17,69118
04	3h	38,6	11,06	5,115	25,07353
05	6h	42	10,48	6,715	32,91667
06	12h	34,4	9,90	7,003	34,32843
07	24h	34,1	9,70	7,127	34,93627

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

04^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 16,2$ ppm, m :300g, v:1litre, concentration du cyanure : 1500ppm(1,5g pour 1L), concentration de soude caustique :1.2g/l,

Tableau III-5: Résultats expérimentaux du quatrième essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	0	28.9	12,61	0	0
02	30min	30	11,78	2,866	17,69136
03	1h	31,9	11,68	4,084	25,20988
04	3h	38,4	11,35	6,186	38,18519
05	6h	39,7	10,94	6,836	42,19753
06	12h	34,8	10,27	7,556	46,64198
07	24h	33,4	9,97	8,791	54,26543

05^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 14,31$ ppm, Masse du minerai :300g,volume de liquide :1litre, concentration du cyanure : 3000ppm(3g pour 1L), concentration de soude caustique :1.8g/l.

Tableau III-6: Résultats expérimentaux du cinquième essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	0	31,2	12,13	0	0
02	30min	33,9	11,84	3,121	21,80992
03	1h	36,5	11,80	4,129	28,85395
04	3h	39,7	11,63	5,890	41,16003
05	6h	39,6	11,29	5,720	39,97205
06	12h	30	10,57	5,769	40,31447
07	24h	31,6	10,30	1,926	13,45912

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

06^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 22,7$ ppm, Masse du minerai :300g,volume de liquide :2litre, concentration du cyanure : 1000ppm(0,5g pour 1L), concentration de soude caustique 0,7g/l.

Tableau III-7: Résultats expérimentaux du sixième essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	0	28,9	11,84	0	0
02	30min	30	11,30	1,20	5,286344
03	1h	31,8	11,19	1,777	7,828194
04	3h	37,8	10,71	2,861	12,60352
05	6h	39,8	10,12	3,032	13,35683
06	12h	34,3	9,57	3,217	14,17181
07	24h	33,4	9,14	3,840	16,9163

• Discussion les résultats d'extraction

Les essais précédents visent à déterminer les conditions de cyanuration d'un minerai riche en cuivre issu des micro entreprises Algériennes. Les essais sont déroulés dans les conditions adéquate de la lixiviation, où la température n'excède pas les 41°C, et le pH est toujours ajusté au-dessus de 9.

Durant les tests, la température a atteint 40°C, cela est normale dans la mesure où le stage a été effectué en mois de Mai, même dans ces conditions les résultats restent valide pour l'utilisation[35].

La diminution de la valeur du pH pendant les essais est un indice de la réaction d'extraction de l'Or, d'où la nécessité de l'ajuster en continu en rajoutant de la soude caustique.

Les résultats de tous les essais sont regroupés dans la figure (figure III.1)

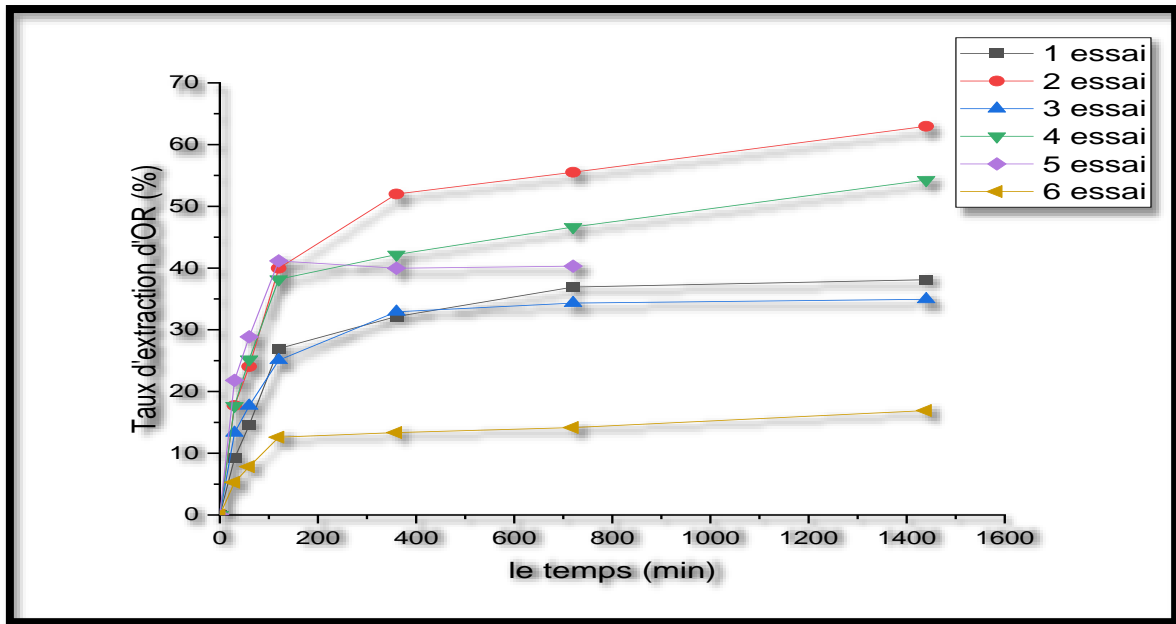


Figure III-2 : L'évolution de l'extraction d'Or à différentes conditions.

La figure montre l'évolution des teneurs d'Or récupérés pendant 24 heures. La courbe montre une nette différence suite aux changements des conditions opératoires surtout après un temps élevé d'agitation.

Le taux d'extraction faible est témoin de l'existence des éléments sur con sommateurs de cyanure. Dans le cas de ce minerai, l'existence du cuivre comme l'a indiqué le spectre DRX (phase chalcopryrite) est la cause de ce faible taux dans les six essais.

La courbe de la (figure III.1) montre que le taux d'extraction n'est pas proportionnel à la concentration de NaCN. La meilleure récupération est observée dans le cas de la concentration 0,5g/l de NaCN. Ce résultat est similaire à ceux déjà trouvés dans des travaux ultérieurs)[36].

Pour renforcer notre hypothèse, on doit calculer les rendements solides des rejets.

Rendement de l'Or par l'analyse des solides pour est calculé à partir de la formule suivante :

$$R = 1 - \frac{X_{0, \text{rejet}}}{X_{\text{Au}, \text{alimentation}}}$$

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

Les teneurs des rejets sont calculées par la méthode dossimassique le tableau (III.8) regroupe :

Tableau III-8: La teneur de l'Or de rejet de la boue en différente essaie T=24h

Échantillon	Teneur de l'or des pulpes rejets (g/t)
Essai 01	8,33
Essai 02	3,30
Essai 03	7,10
Essai 04	5,13
Essai 05	5,97
Essai 06	2,30

Tableau III-9: Rendement de l'Or par l'analyse des solides

Pulpe des rejets	
Échantillon	Rendement d'Or par l'analyse de solide
Essai 01 (0.3 g/L NaCN)	58,96
Essai 02 (0,5 g/L)	76,92
Essai 03	65,19
Essai 04	68,33
Essai 05	58,28

D'après les résultats trouvés dans le cas des traitements des rejets, la meilleure récupération est obtenue dans le cas d'une concentration de 500ppm de NaCN, ce qui confirme notre hypothèse.

La cyanuration directe d'un minerai issu d'une micro entreprise (SARL Tinmerkadine **Ech820**) a donné un taux d'extraction moyen où la meilleure récupération est

Obtenue dans le cas d'une concentration de 500 ppm de NaCN. Afin d'améliorer ce taux, des tests de prétraitement sont effectués.

III.3. Commentaire des résultats de consommation de cyanure

- La consommation de cyanure

Afin d'évaluer le comportement du minerai en matière de consommation de l'agent de lixiviation, nous avons effectué une série d'essais comme le montre le tableau et les figures suivants

Tableau III-10: La consommation du cyanure

Échantillon	[CN ⁻] ppm	Quantité consommé	R (%) Rendement solide
Essai 01	300	300	58,96
Essai 02	500	425	76,92
Essai 03	1000	775	65,19
Essai 04	1500	575	68,33
Essai 05	3000	1050	58,28

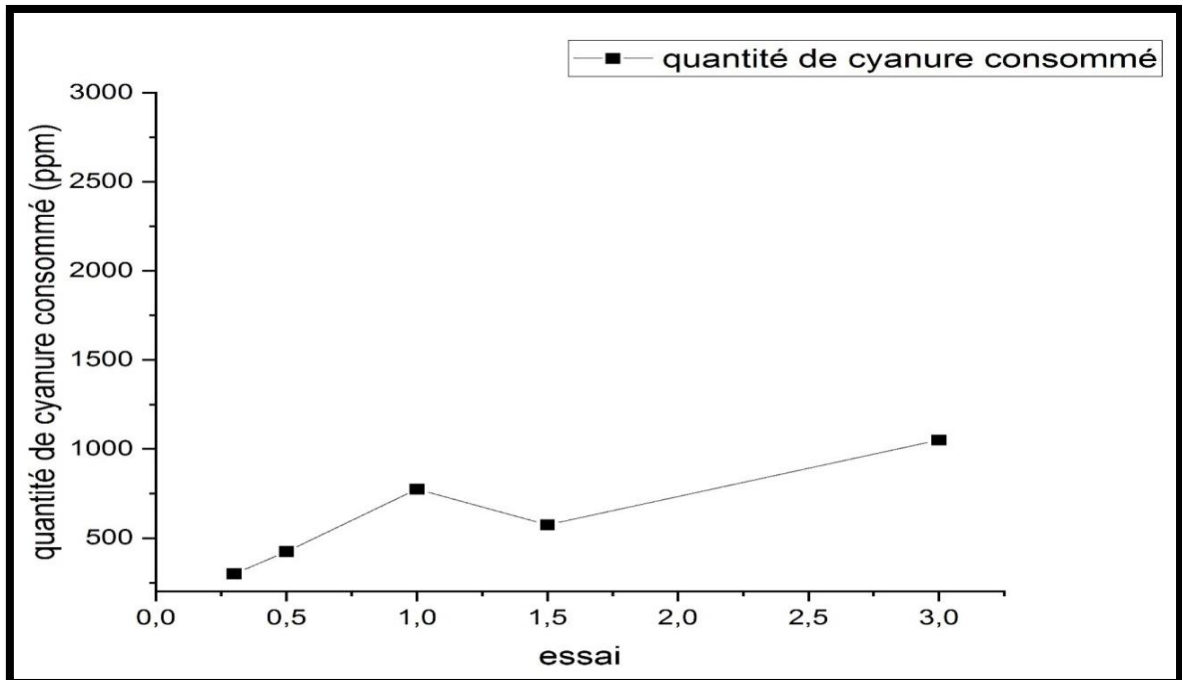


Figure III-3 : Evolution de consommation de cyanure par le minerai en augmentation de dose de cyanure de sodium.

D'après les résultats, on constate que le minerai a une susceptibilité de consommer le cyanure proportionnellement aux teneurs initiales, ce qui confirme sa richesse en éléments sur consommateurs de cyanure (comme le cuivre et le fer).

On constate aussi que le taux d'extraction n'est pas proportionnel à la quantité de cyanure consommé. Pour cette raison et dans la suite des expériences, nous allons prendre une valeur optimale comme ça été prouvé précédemment.

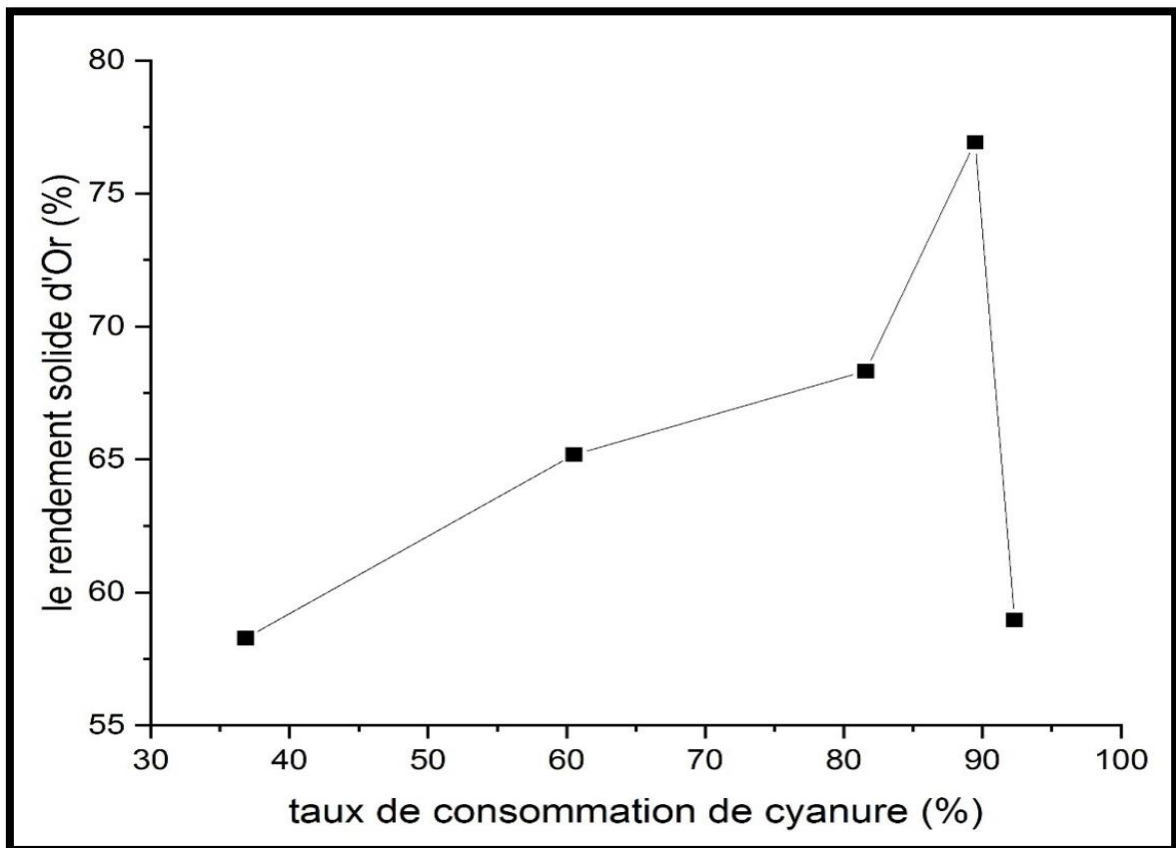


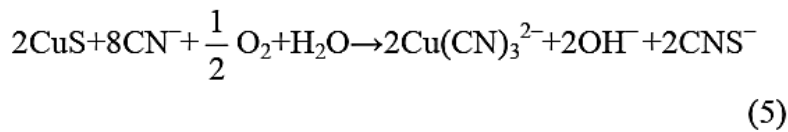
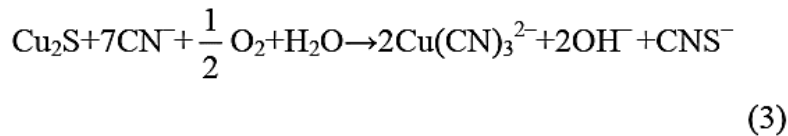
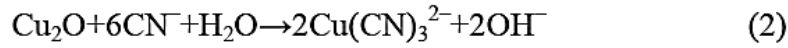
Figure III-4 : Etude d'une relation éventuelle entre le rendement d'or et les quantités consommées de cyanure.

III.4. Etude de prétraitement du minerai

Afin d'améliorer les taux de récupération de l'or, nous avons opté vers l'amélioration des conditions de lixiviation de notre minerai par son conditionnement. Les études préliminaires nous permettent de conclure que notre minerai contient l'élément cuivre et pour cela il est indispensable de procéder à une étape de prétraitement afin d'éliminer les éléments

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

nuisibles consommateurs de cyanure (agent de lixiviation). Tant que le cuivre se trouve, il y a une forte possibilité que des sulfures se forment selon une des équations :



Le principe c'est de complexer les ions de cuivre et oxyder les sulfures afin d'éviter la passivation de la surface de l'Or par les sulfures libres et d'empêcher la complexation de cyanure avec le cuivre.

Pour cela, nous avons choisi deux agents : le nitrate de plomb pour empêcher la passivation de la surface d'or, et le l'Ammoniaque pour réduire les ions de cuivre. Le dispositif appliqué auparavant celui des bouteilles roulantes est aussi appliqué en choisissant deux temps de réactions : une heure et 4 heures. Les conditions opératoires sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III-11: Les conditions opératoires de prétraitement pendant 01 heure.

N°	NaCN(g/l)	NH ₃ (mol/l)	Pb(NO ₃) (g/t)
01	0,3	0	50
02	1	0	50
03	0,3	1	50
04	1	1	50
05	0,3	0,5	0

Il est à remarquer que le pH est toujours ajusté dans les conditions du milieu alcalin. Les résultats sont les suivants

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

01^{ère} essai

$t_{\text{tot initial}} = 22,8$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, NaCN= 0,3g, NH₃= 0 mol, Pb(NO₃) = 0.125g, NaOH= 0.5g

Tableau III-12: Résultats expérimentaux du premier essai

N°	Temps	T° ^{°C}	pH	CN ⁻	Au(ppm)	Taux d'extraction(%)
01	05min	39,2	10,79	375	1,431	6,276316
02	1h	38,6	10,33	150	3,254	14,27193
03	3h	41,7	9,63	175	4,847	21,25877
04	6h	34,4	9,52	150	5,621	24,65351

02^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 17,91$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1litre, NaCN= 1g, NH₃= 0 mol, Pb(NO₃) = 0.125g.NaOH=0,9 g

Tableau III-13: Résultats expérimentaux du deuxième essai

N°	Temps	T° ^{°C}	pH	CN ⁻	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	38,7	11,29	825	1,563	8,726968
02	1h	37,9	11,02	825	3,409	19,03406
03	3h	41,1	10,36	575	4,972	27,76103
04	6h	34,2	10,02	150	5,621	31,3847

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

03^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 15,9$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, NaCN= 0,3g, NH₃=63,64 ml, Pb(NO₃) = 0.125g.NaOH= 0,5g

Tableau III-14: Résultats expérimentaux du troisième essai

N°	Temps	T°©	pH	CN ⁻	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	38,5	10,86	150	1,594	10,4183
02	1h	39,2	10,66	175	3,909	25,54902
03	3h	38	10,86	175	5,874	38,39216
04	6h	33	10,70	575	7,113	46,4902

04^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 16$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, NaCN= 1g, NH₃= 63,64 ml, Pb(NO₃) = 0.125g.NaOH= 0,9g

Tableau III-15: Résultats expérimentaux du quatrième essai

N°	Temps	T°©	pH	CN ⁻	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	37,7	11,39	875	1,885	11,78125
02	1h	38,3	11,09	625	3,712	23,2
03	3h	42	10,27	600	5,497	34,35625
04	6h	34,3	10,22	175	6,032	37,70

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

05^{ème} essai

$t_{\text{lot initial}} = 13,3$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, NaCN= 0,3g, NH₃= 33,868ml, Pb(NO₃) = 0g. NaOH= 0.5g

Tableau III-16: Résultats expérimentaux du cinquième essai

N°	Temps	T° ^{°C}	pH	CN ⁻	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	38,1	11,09	200	1,638	12,31579
02	1h	38,4	10,77	175	3,707	27,87218
03	3h	40,5	10,25	200	5,069	38,11278
04	6h	34,3	10,08	500	5,784	43,48872

Afin de bien déterminer les conditions d'amélioration du taux d'extraction de l'or, nous allons étudier d'abord l'effet de l'ajout de nitrate de plomb, et par la suite l'étude de l'effet du l'ammoniaque, et enfin chercher un effet du mélange sur l'amélioration de la cinétique et l'extraction.

III.5. Etude de l'effet de l'ajout de nitrate du plomb

L'utilisation de nitrate du plomb a pour but d'éliminer toutes les espèces adsorbées sur la surface de l'Or principalement les sulfures S⁻². La courbe de la figure (figure III.4) représente l'influence de l'ajout de nitrate de plomb sur la cinétique d'extraction de l'Or.

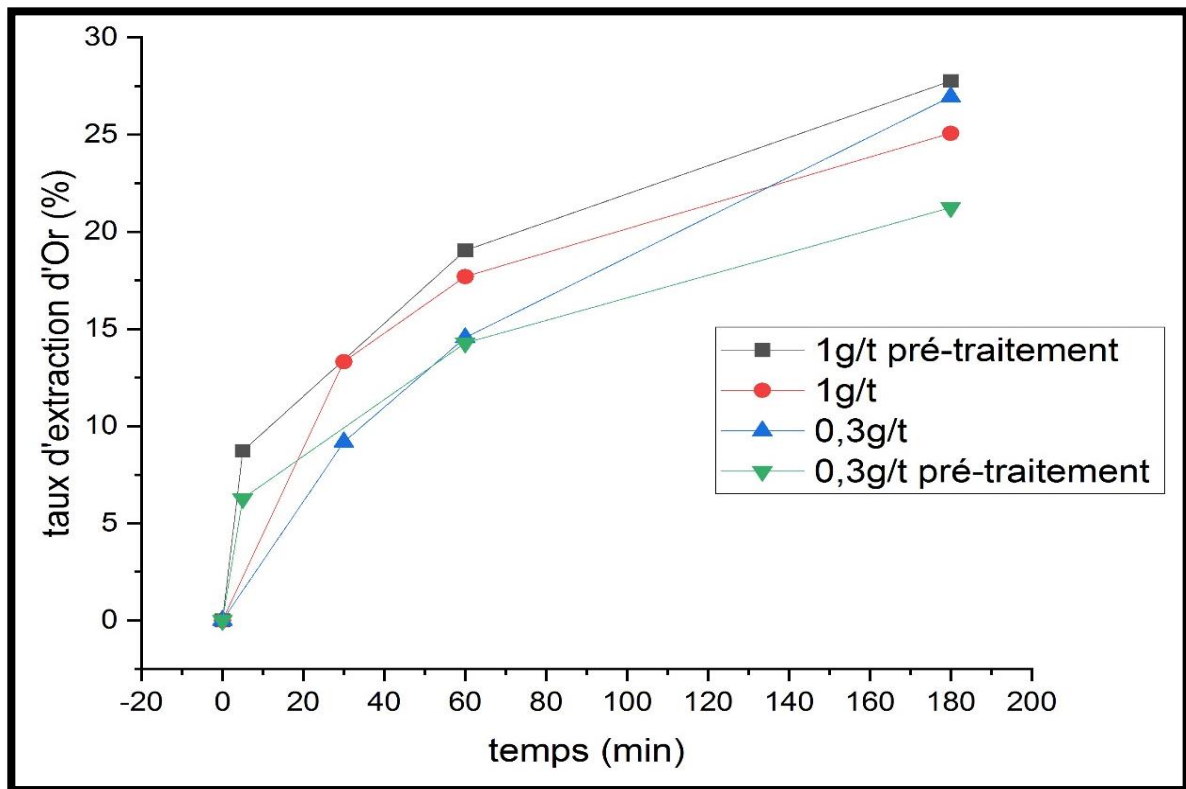


Figure III-5 : Effet de l'ajout de nitrate du plomb sur la cinétique d'extraction de l'or

La courbe représente l'influence de l'ajout de nitrate de plomb sur la cinétique d'extraction avec une concentration de 50g/t seulement. La cinétique s'est améliorée significativement pour les deux concentrations de cyanure (0,3 et 1 g/t). Ce résultat confirme la nature cyanogène du minerai d'or étudié, où les composés sur-consommateurs de cyanure s'adsorbent à la surface d'or. Il est clair que le taux d'extraction est proportionnel à la concentration du cyanure lors de l'utilisation de nitrate du plomb.

III.6. Etude de l'effet de l'Ammoniaque

L'ammoniaque utilisé peut dissoudre les métaux de base, de plus il peut former un complexe avec le cuivre d'une manière sélective, pour cela il est utilisé dans le domaine de prétraitement du minerai d'or. Le conditionnement du milieu de lixiviation est fait en utilisant 0,5mol de l'ammoniaque qui nous a permis d'améliorer la cinétique et l'extraction totale d'une manière significative. Rappelons que ce résultat est enregistré avec l'utilisation d'une gamme de 0,3g/t uniquement.

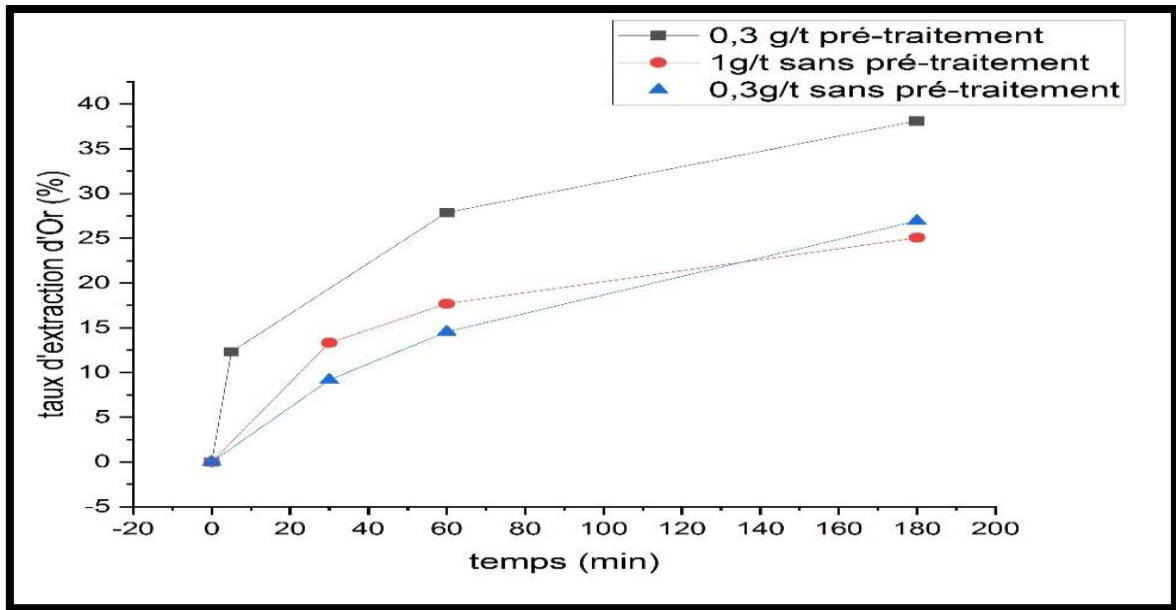


Figure III-6 : Effet de l'ajoute de l'Ammoniaque sur la cinétique d'extraction de l'or

III.7. Etude de l'effet du mélange ammoniacque- nitrate de plomb sur le taux d'extraction

D'après les interprétations précédentes, les deux réactifs (nitrate de plomb, NH_3) séparément améliorent les taux de récupération. Dans cette série d'essais, nous allons investiguer le comportement du minéral en utilisant un mélange de ces deux réactifs en but de voir l'évolution du taux d'extraction.

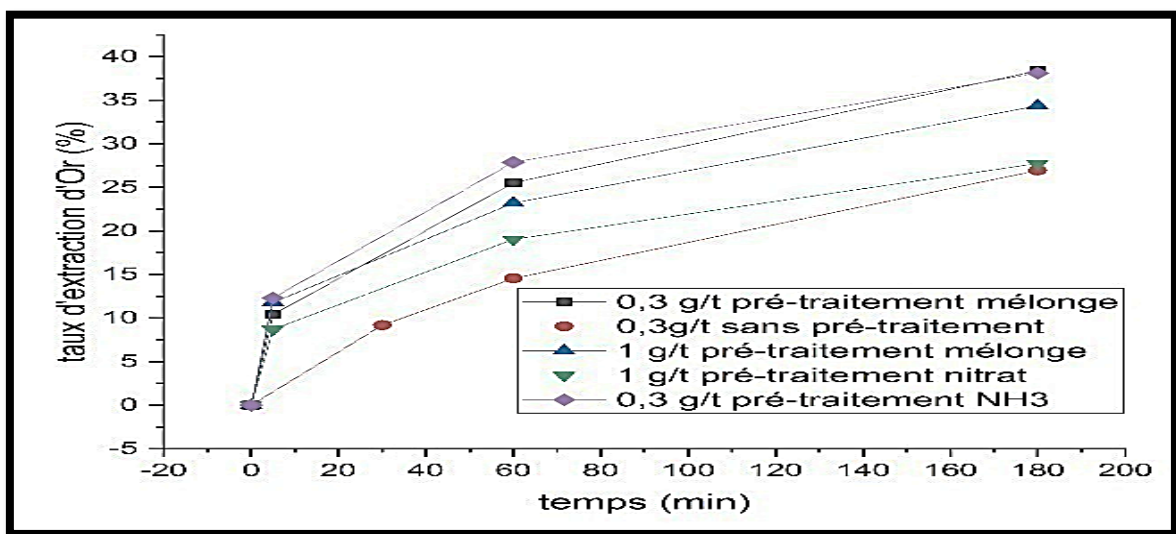


Figure III-7 : Evaluation de l'utilisation du mélange $\text{NH}_3\text{-Pb}(\text{NO}_3)$ sur l'extraction d'Or

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

La cyanuration avec le mélange $\text{NH}_3\text{-Pb}(\text{NO}_3)$ a donné des résultats très remarquables soit avec la teneur de cyanure 0,3g/t(300ppm), soit avec 1g/t(1000ppm). Nous avons enregistré une nette amélioration sur la cinétique et en taux de récupération 10-12%. Ces résultats sont plus favorables que les résultats obtenus par le nitrate de plomb seul comme agent de lixiviation. Ce résultat montre le double effet des éléments cyanogènes dans notre minerai, l'un sur la surface d'Or et l'autre en termes de compétition de complexation avec le cyanure.

Une teneur élevée est enregistrée dans les deux cas d'utilisation à la fois de l'ammoniaque seul (0,5mol) et du mélange, cela nous mène à dire que la complexation par cyanure est plus favorable que la passivation de la surface d'or. Autrement dit l'effet de consommation de cyanure par le cuivre a plus d'effet que la passivation de la surface d'Or par les sulfures.

III.8. Optimisation de la matrice Ammoniaque- Nitrate de plomb

En but d'optimiser l'effet du mélange, nous avons entamé un prétraitement en utilisant des teneurs élevées de ces réactifs. Au cours des essais, nous avons augmenté aussi le temps de prétraitement à 4 heures. Les résultats enregistrés sont illustrés ci-dessous :

01^{er} essai

$t_{\text{tot initial}} = 10$, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, $\text{NaCN} = 0,3\text{g}$, $\text{NH}_3 = 63,64 \text{ ml}(1\text{mol})$, $\text{Pb}(\text{NO}_3) = 0\text{g}$, $\text{NaOH} = 0.7\text{g}$

Tableau III-17: Résultats expérimentaux du premier essai

N°	Temps	T°C	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	37,2	10,72	1,511	11,6230769
02	1h	35,8	10,63	3,906	30,0461538
03	2h	33,2	10,66	4,929	37,9153846
04	3h	31,8	11,02	5,583	42,9461538
05	24h	37	10,75	7,05	54,2307692

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

02^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 13$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1litre, NaCN= 0,3g, $\text{NH}_3 = 0$ mol, $\text{Pb}(\text{NO}_3) = 0.250\text{g}$.NaOH=0,7 g

Tableau III-18: Résultats expérimentaux du deuxième essai

N°	Temps	T° $^{\circ}\text{C}$	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	37,1	10,96	1,32	10,1538462
02	1h	35,3	10,95	3,277	25,2076923
03	2h	32,9	10,72	4,478	34,4461538
04	3h	31,9	10,88	4,973	38,2538462
05	24h	36	9,95	5,02	38,6153846

03^{ème} essai

$t_{\text{tot initial}} = 13$ ppm, Masse du minerai : 300g, volume du liquide : 1 litre, NaCN= 0,3g, $\text{NH}_3 = 63,64$ ml(1mol), $\text{Pb}(\text{NO}_3) = 0.250\text{g}$.NaOH= 0,7g

Tableau III-19: Résultats expérimentaux du troisième essai

N°	Temps	T° $^{\circ}\text{C}$	pH	Au(ppm)	Taux d'extraction (%)
01	05min	37,2	10,45	1,976	15,2
02	1h	33,6	10,41	4,052	31,1692308
03	2h	32,6	10,30	5,445	41,8846154
04	3h	31,1	10,50	6,042	46,4769231
05	24h	36,5	9,88	7,23	55,6153846

Rappelons que notre objectif est de modéliser le process de traitement du minerai présent sur la chaine de traitement actuel d'Amesmesa où la dose appliquée est 300ppm. Pour cette raison, nous avons opté pour cette dose dans ces essais d'optimisation.

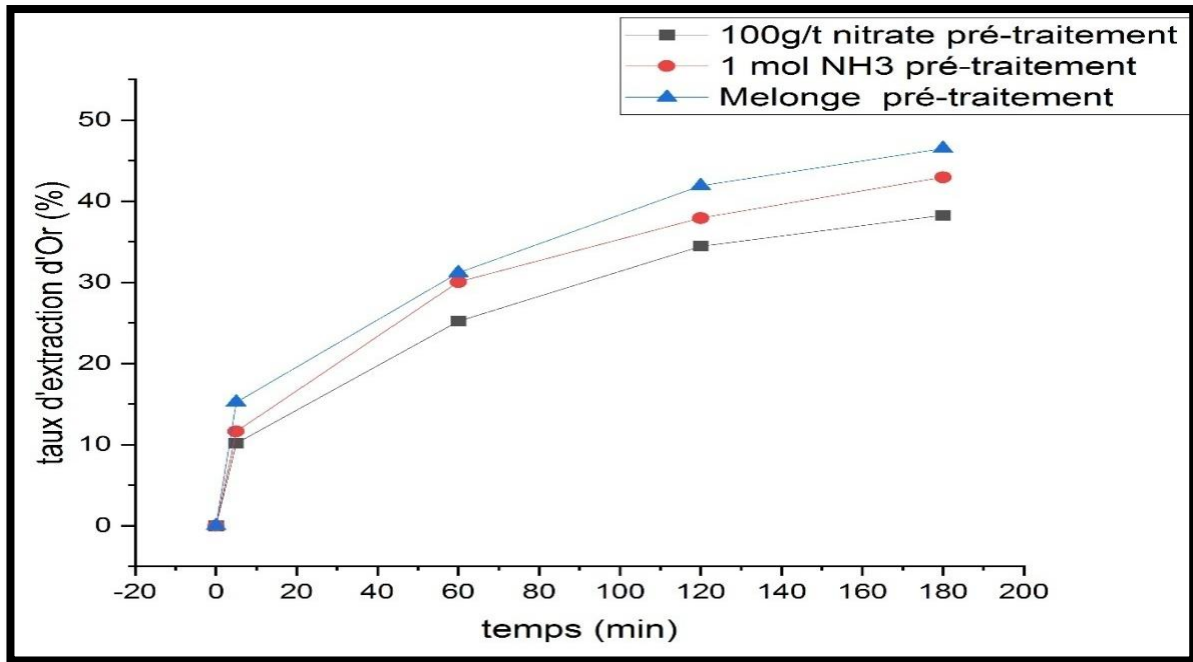


Figure III-8 : Optimisation de l'utilisation du mélange $\text{NH}_3\text{-Pb}(\text{NO}_3)$ sur l'extraction d'Or

La courbe montre la variation de la dissolution de l'or selon l'état initial du réactif de prétraitement. L'utilisation de l'ammoniaque donne des bons résultats comparés à ceux de nitrate du plomb quel que soit les concentrations utilisées. L'utilisation du mélange dans le conditionnement du minerai avant la lixiviation montre plus d'efficacité qu'à l'utilisation d'un seul réactif.

Après le calcul du rendement de l'opération d'extraction (tableau ci-dessus), ce dernier a augmenté le taux de récupération de 58% à 85%.

Le prétraitement avec le mélange de nitrate du plomb et l'ammoniaque a prouvé l'efficacité de traiter un minerai riche en cuivre par les mêmes conditions de l'usine de traitement d'Amesmesssa (300ppm de NaCN).

L'augmentation de la densité de pulpe à 50% (dans notre étude, on a utilisé 30% seulement) va augmenter le rendement de la lixiviation de ce minerai riche en cuivre.

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

Tableau III-20: Les rejets de la pulpe des essais

Échantillon	Teneur Au g/t des pulpes rejets
Essai 01	2,13
Essai 02	4,50
Essai 03	1,83

Tableau III-21: Calcule du rendement de l'opération de la lixiviation

Pulpe des rejets	
Échantillon	Rendement d'Or par l'analyse de solide
Essai 01	78,7
Essai 02	65,3846154
Essai 03	85,9230769

Conclusion

Le présent chapitre regroupe les résultats des essais effectués au niveau du laboratoire de la mine d'Amesmesssa sur un échantillon d'une micro entreprise (SARL TinmerkadineEch820) ainsi que leurs discussions. Le but de ces essais est de trouver les conditions optimales de lixiviation et de prétraitement pour améliorer le taux d'extraction de l'or. Nous avons conclu que:

- Le spectre de diffraction des rayons X du minerai montre une l'existence d'une phase majoritaire qui est le quartz, en plus d'autres phases : chalcopyrite, pyrite, et Albite.
- Le taux d'extraction n'est pas proportionnel à la concentration de NaCN.
- La meilleure récupération est observée dans le cas de la concentration 0,5g/l de NaCN. Cette concentration est supérieure à celle utilisée dans la mine d'Amesmesssa, cela indique l'existence des éléments sur consommateurs de cyanure (le cuivre essentiellement).
- D'après les résultats, on constate que le minerai à une susceptibilité de consommer le cyanure proportionnellement aux teneurs initiaux, ce qui confirme sa richesse en éléments sur consommateurs de cyanure (comme le cuivre et le fer).
- Le taux d'extraction n'est pas proportionnel à la quantité de cyanure consommé.

Chapitre III Etude des conditions de lixiviation et du prétraitement d'un minerai aurifère

- La cinétique de lixiviation s'est améliorée après un prétraitement par ajout de Nitrate de plomb, Ce confirme la nature cyanogène du minerai d'or étudié, où les composés sur-consommateurs de cyanure s'adsorbent à la surface d'or.
- Le taux d'extraction est proportionnel à la concentration du cyanure lors de l'utilisation de nitrate du plomb.
- Le conditionnement du milieu de lixiviation est fait en utilisant 0,5mol de l'ammoniaque nous a permis d'améliorer la cinétique et l'extraction totale d'une manière significative.
- La cyanuration avec le mélange $\text{NH}_3\text{-Pb}(\text{NO}_3)$ a donné des résultats très remarquables en terme d'augmentation du taux d'extraction. Ce résultat montre le double effet des éléments cyanogènes dans notre minerai, l'un sur la surface d'Or et l'autre en termes de compétition de complexation avec le cyanure.
- L'utilisation de l'ammoniaque donne des bons résultats comparés à ceux de nitrate du plomb quel que soit les concentrations utilisées.
- L'utilisation du mélange dans le conditionnement du minerai avant la lixiviation montre plus d'efficacité qu'à l'utilisation d'un seul réactif.
- Le pré-traitement avec le mélange de nitrate du plomb et l'ammoniaque a prouvé l'efficacité de traiter un minerai riche en cuivre par les mêmes conditions de l'usine de traitement d'Amesmesssa (300ppm de NaCN).
- L'augmentation de la densité de pulpe à 50% (dans notre étude, on a utilisé 30% seulement) va augmenter le rendement de la lixiviation de ce minerai riche en cuivre.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les méthodes de traitement de l'or sont associées à des propriétés très spécifiques (haute densité, flottabilité naturelle, solubilité dans les solutions de cyanure) qui ont conduit au développement de trois principales techniques de traitement, à savoir : l'analyse gravimétrique, la flottation et la cyanuration.

La technologie du cyanure dans l'industrie de l'or est la technologie la plus utilisée dans le monde et il n'existe actuellement aucune alternative adéquate à l'utilisation du cyanure pour extraire l'or.

La lixiviation en tas est une technique relativement simple avec de faibles coûts d'investissement et de production, mais elle est lente. Plus adapté aux minerais à faible teneur en or.

Des échantillons d'une micro entreprise (SARL Tinmerkadine **Ech820**) ont été soumis à des analyses minéralogiques et chimiques (DRX, SAA et FX) et des essais dans le but de trouver les conditions optimales de lixiviation et de prétraitement pour améliorer le taux d'extraction de l'or. Il faut cependant retenir que ces échantillons traités ont été préparés dans des conditions réelles et optimales des opérations (échantillonnage, concassage, broyage, homogénéisation des échantillons... etc.).

Ces analyses ont montré que le constituant le plus dominant est le quartz en plus d'autres phases telles que : chalcopirite, pyrite, et Albite. Le taux d'extraction n'est pas proportionnel à la concentration de NaCN. Et la meilleure récupération est observée dans le cas de la concentration 0,5g/l de NaCN. Cette concentration est supérieure à celle utilisée dans la mine d'Amesmess, cela indique l'existence des éléments sur consommateurs de cyanure (le cuivre essentiellement).

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Gasparini.C, The metallurgy of gold and its significance in metal extraction. CIM Bull. 76(851) (1983) :141-153.
- [2] REES.K. L and VAN DEVENTER.J.S.J., The role of metal-cyanid species in leaching gold from a copper concentrate. *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 8, pp. 877-892, 1999
- [3] La Brooy, S.R., Copper-gold ore treatment options and status, presented at *Randol Gold Forum*, Vancouver, (1992).
- [4] MUIR D M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper-gold ores with ammonia-cyanide and new insights for plant control and operation. *J. Minerals Engineering*, 2011, 24: 576-582.
- [5] BECHER.H, L'Or, Minerais aurifères et auro argentifères, extraction traitement métallurgique, Paris, 1896.
- [6] PIERRE. BLAZI, EL-AID JDID. Techniques de l'ingénieur, (2006).
- [7] BLAZY.P, JDID.A, Métallurgie de l'or, Procédé, Techniques d'ingénieur, (2006).
- [8] MOISAN.M et BLANCHARD.F. Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère au cyanure, impact potentiel sur l'environnement et recommandation, rapport final BRGM, 2012.
- [9] LIBAUDE.J et MONIZOT, Le traitement des minerais d'or, industrie minéral, les techniques, BRGM, France (1984).
- [10] LEHNE.R. W and OCHARAN, Treatment and microscopy of gold and base metal ores, mineralogie aplicad, Geneva University, Department of Mineralogy, (2003).
- [11] Marsden.J, House.I, 2006, The Chemistry of Gold Extraction, SME Publication, Littleton, Colorado, USA, (2nd edition).
- [12] MARSDEN.J. O, Gold Metallurgy in South Africa, Johannesburg, Chamber of Mines of South Africa, (1972).
- [13] KOUASSI Nicolas Kouadio, Exploitation artisanale de l'or dans le processus de mutation socio-économique à Hiré, 2008.

Références bibliographiques

- [14] Mike.D, Adams, Gold Ore Processing Project Development and Operations
- [15] MARSDEN.J. O, HOUSE. C.L, The Chemistry of Gold Extraction, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. (SME), Littleton, CO, 80127, (2006).
- [16] EGAN.J, Effet de la granulométrie sur la cyanuration de l'or, Mémoire pour l'obtention du grade de maître en sciences, Université LAVAL, QUÉBEC, (2007).
- [17] BRGM-61968-FR, Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane, Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations, Rapport final, France, (2013).
- [18] RALPH. A, Burns, Fundamentals of Chemistry, Prentice-Hall, Inc., (2002).
- [19] NOYER M.L. (1997) – Caractéristiques physico-chimiques des opérations de lixiviation en tas de minerai d'or.
- [20] MARSDEN.J. O, HOUSE C I. Chemistry of gold extraction[M]. 2nd ed. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2006: 651.
- [21] Caby, R. (1968) : « Une zone de décrochements à l'échelle de l'Afrique dans le précambrien de l'Ahaggar occidental ». B.S.G.F.,X, 7,
- [22] GUEHILIZ Katia. 'Etude comparative entre le minerai d'Amesmassa et le minerai d'Ain Guezzam.' Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2022.
- [23] BENIDIR Yasmine, GUENDOUZE Selma. 'Caractérisation physico-chimique et capacité d'adsorption du charbon actif dans l'industrie aurifère -Cas de la mine d'Amesmassa.' Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2020
- [24] L'entreprise nationale de l'exploitation des mines d'or (ENOR), Documentation sur le mode opératoire d'analyse d'or – Amesmassa, 2010.
- [25] CARON.M, LAB Manager, Amesmassa, 2008.
- [26] NF EN 933-1/AL, Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats partie I : détermination de la granularité, Analyse granulométrique par tamisage, (1996).
- [27] L'entreprise nationale de l'exploitation des mines d'or (ENOR), Documentation sur le traitement de minerai aurifère d'Amesmassa, 2007.

Références bibliographiques

- [28] BAS A D, KUCUK A, YAZICI E Y, DEVECI H. Assesment of ammoniacal ammonium sulphate leaching as a pretreatment process for copperbearing gold ores[C]//Proceedings of the XIIIth International Mineral Processing Symposium (IMPS). Bodrum, Turkey, 2012: 563–569.
- [29] BAS A D, OZDEMIR E, YAZICI E Y, CELEP O, DEVECI H. Ammoniacal thio sulphate leaching of a copper-rich gold ore[C]//Proceedings of the 15th International Conference on Environmental and Mineral Processing (EaMP). Ostrava, Czech Republic, 2011: 83–90.
- [30] ACHOUR Sofiane, ALOUANE Walid. 'Optimisation des paramètres de l'extraction de l'or par cyanuration – cas de la mine d'Amesmessas.' Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2016.
- [31] BENBIA Abdelbasset, ALLAB Charafeddine. 'Amélioration de la récupération de l'or par le procédé de lixiviation sur charbon actif CII cas de la mine d'Amesmessas'. Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2016.
- [32] ELHAJJI. Technique spectrométrique, science de matière et chimie, (fsr.ac.me).
- [33] GHALMI Leila. 'étude des différentes techniques de caractérisation : par diffraction des rayons X, appliquées sur des cellules solaires élaborées à base de ZnO'. Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia'2018.
- [34] AFFROUN Mansour, ELKIM Thinhinane. 'Traitement et caractérisation du minerai célestine par hydrocyclone cas de gisement de beni Mansour-bejaia. Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2022.
- [35] MARSDEN J O, HOUSE C I. Chemistry of gold extraction[M]. 2nd ed. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2007: 651.
- [36] ZIANE.Khaoula, ZIANE.Asma. 'Etude des facteurs influençant sur l'extraction de l'Or par l'exiviation en tas cas de la mine d'Amesmessas'. Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2015.

Résumé

L'or, métal noble est l'un des métaux les plus prisés aujourd'hui, vu son coût qui ne cesse de croître sur le marché international.

L'usine d'Amesmassa reçoit des minerais des différents filons de la mine pour extraire l'Or par cyanuration, l'entreprise ENOR reçoit aussi des dépôts de minerais des micro-entreprises qui sont responsables de l'exploitation des indices d'Or de plusieurs sites au niveau du Hoggar pour la récupération et l'enrichissement de l'Or qui se trouve sur ses sites.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons réalisé des essais de lixiviation et étudié les étapes de caractérisation physico-chimique du minerai dans le but de trouver les conditions optimales de lixiviation et de prétraitement pour améliorer les taux d'extraction de l'or.

D'après les résultats on constate que le minerai a une susceptibilité de consommer le cyanure proportionnellement aux teneurs initiaux, ce qui confirme sa richesse en éléments sur consommateurs de cyanure (comme le cuivre et le fer).

Mots clés : Amesmassa, or, cyanure, prétraitement, lixiviation.

Abstract

Gold, the noble metal is one of the most sought-after metals today, given its ever-increasing cost on the international market.

The Amesmassa plant receives ores from the mine's various veins to extract gold by cyanidation.

ENOR also receives ore deposits from the micro business responsible for exploiting gold showings at several sites in the Hoggar region, to recover and enrich the gold found at these sites.

As part of our work, we carried out leaching tests and studied the physico-chemical characterization stages of the ore with the aim of finding the optimum leaching and pre-treatment conditions to improve gold extraction rates.

The results show that the ore has a susceptibility to cyanide consumption proportional to initial grades, confirming its richness in cyanide-intensive elements (such as copper and iron).

Key words: Amesmassa, gold, cyanide, pretreatment, leaching.