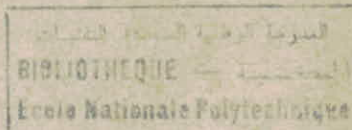


11/89

وزارة التعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR



15α

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE - MINIER

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

APTITUDE DU MINERAI AURIFERE
DU GISEMENT DE BOUDOUAOU
A LA CYANURATION EN TAS

Proposé par :

Mr M. BOURAHLA

Etudié par :

N. GUERROUMI

Dirigé par :

Mr M. BOURAHLA

PROMOTION : SEPTEMBRE 1989

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens avant tout à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur Bourahla pour sa précieuse aide et les conseils avèrtis qu'il m'a donné tout au long de l'élaboration de ce mémoire, ainsi que monsieur Saada

Je tiens également à remercier:

- Monsieur Mourad pour son aide précieuse
- Le personnel du laboratoire de chimie de l'U.S.T.H.B.
- En fin, que ceux qui ont participé à cette étude, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I

GENERALITES DU TRAITEMENT DES MINERAIS AURIFERES

I-1-PROCEDES DE PRECONCENTRATION.....	3
I-1-1-Gravimétrie.....	3
I-1-2-Flottation.....	4
I-1-3-Grillage.....	4
I-2-METHODES DE CONCENTRATION DE LOR.....	5
I-2-1-Amalgamation.....	5
I-2-2-Chloruration.....	6
I-2-3-Cyanuration.....	6
I-2-4-Electrolyse.....	7

CHAPITRE II

CYANURATION

II-1-GENERALITES.....	9
II-2-REACTIFS DE CYANURATION.....	9
II-2-1-Les cyanures.....	9
II-2-1-1-Chimie de la mise en solution des métaux précieux par le cyanure.....	10
II-2-1-2-Effet de la concentration de cyanure sur le taux de dissolution de l'or.....	11
II-2-1-3-Effet de l'oxygène sur la dissolution de l'or.....	12
II-2-1-4-Effet de l'alcalinité du milieu sur la dissolution de l'or.....	13
II-3-AUTRES FACTEURS INFLUENCANT LA CYANURATION..	15
II-3-1-Effet de la dimension des particules sur le taux de dissolution.....	15
II-3-2-Effet de la température sur la cyanu- ration.....	15
II-3-3-Effet de l'agitation sur la dissolution de l'or.....	16
II-3-4-Effet du temps de contact minerais- solution.....	16

II-3-5-Comportement du cuivre et zinc contenus dans le minerai.....	18
II-4-LA TECHNOLOGIE DE LA LIXIVIATION DES MINERAIS.....	19
II-4-1-Lixiviation en tas.....	19
II-4-2-Lixiviation sur colonne.....	21
II-4-3-Lixiviation directe.....	22
II-5-TRAITEMENT DE LA SOLUTION AURIFERE.....	23
II-5-1-Précipitation des métaux précieux en phase aqueuse.....	23
II-5-2-Récupération de l'or par échange d'ions au moyen des résines.....	24
II-5-3-Adsorption par le charbon actif.....	25
A-Définition du charbon actif.....	25
B-Différentes formes de charbon.....	25
C-Intérêt de l'utilisation du charbon.....	26
D-Usage du charbon actif.....	27
E-Régénération du charbon.....	28
F-Avantages de l'utilisation du charbon.....	28
II-5-4-Mode de désorption de l'or et l'argent..	29
II-6-Affinage.....	29
II-6-1-Procédé de raffinage.....	30
II-6-2-Affinage électrolytique.....	31

CHAPITRE III

ESSAIS DE CYANURATION SUR LE MINERAI AURIFERE DU GISEMENT DE BOUDOUAOU

III-1- GEOLOGIE DU GISEMENT DOR DE BOUDOUAOU.	32
III-1-1-Position et étendue géographique.....	32
III-1-2-Formation géologique.....	32
III-1-3-Réserves.....	33
III-2-QUELQUES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU MINERAI.....	34

1) Les sulfurés.....	34
2) Les oxydés.....	35
3) La composition chimique.....	36
4) La composition minéralogique.....	36
5) Composition chimique et minéralogique d'un échantillon représentatif des réserves exploitables	37
6) Echantillons remis par ENOF à l'ENP.....	37
6-1-Travaux exécutés au laboratoire de l'ENP....	40
1) Objectif des travaux.....	40
2) Préparation mécanique.....	40
3) Caractéristiques granulométriques.....	41
4) Tranches granulométriques à lixivier.....	41
III-3-MATERIELS UTILISES.....	44
1) Lixiviation sur colonne.....	44
2) Lixiviation en tas.....	47
3) Moyens d'analyse quantitative.....	47
3-1-Méthode de docimasia.....	48
3-2-Analyse des solutions par absorption.....	49
III-4-Réactifs PRINCIPAUX DE LA CYANURATION.....	53
III-5-CONDITIONS OPERATOIRES DE CYANURATION.....	53
III-6-RESULTATS DES ESSAIS DE CYANURATION.....	54

CHAPITRE IV

REMARQUES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

IV-1-Remarques sur le minerai soumis à la lixiviation par la solution de cyanure.....	64
---------------------------------------------------------------------------------------	----

CHAPITRE V

CONCLUSION GENERALE.....	66
--------------------------	----

I N T R O D U C T I O N

L'or est un métal noble qui est extrêmement dissimulé dans la nature ,souvent à l'état de traces non valorisables.

A cause de sa stabilité et de son inertie chimique, il se rencontre le plus souvent à l'état natif et plus rarement sous forme de tellures.

Une grande partie de l'or extrait dans le monde au cours de l'histoire existe toujours,

On estime que la quantité totale raffinée jusqu'à présent représenterait un cube massif d'environ 18m de côté.

La production minière mondiale (URSS excepté) a été de quelques 1250 tonnes en 1970 dont plus de 77 % en provenance d'Afrique du Sud.

Il faut ajouter à cette production primaire la récupération d'un tonnage important d'or provenant de déchets divers.

L'URSS exploite en Sibérie des gisements d'or très riches historiquement, les premières méthodes de concentration de l'or ont été basées sur la densité élevée de ce métal d'où le nom de procédés gravimétriques d'enrichissement.

Devant les pertes de métal que ces méthodes simples occasionnaient ont fit rapidement appel à des méthodes plus élaborées. Ce fut la deuxième moitié du siècle qui vit le règne quasi-général de l'amalgamation, parallèlement à ce procédé, on utilisait la chloruration à froid en présence d'eau, mais la cyanuration s'est imposée peu à peu aux autres procédés grâce à son efficacité d'obtenir une hausse récupération.

Pour augmenter la rentabilité économique de la cyanuration, on fit appel aux procédés gravimétriques.

GENERALITES

DU

TRAITEMENT



MINERAIS
AURIFERES

C H A P I T R E I

GENERALITES DU TRAITEMENT DES MINERAIS AURIFERES

Plusieurs procédés de traitement sont utilisés isolement ou en association, Suivant la nature du minerai, sa composition chimique et la tailles de ses particules minéralisées .

En effet dans les installations existantes ,on peut rencontrer les schémas de traitement suivants.

-Gravimétrie seule.

-Gravimétrie suivie d'amalgamation.

-Gravimétrie suivie d'amalgamation et de cyanuration.

-CYanuration seule.

-Flottation suivie de cyanuration.

I - 1- PROCEDES DE PRECONCENTRATION

I-1-1-Gravimétrie

C'est une méthode de concentration qui est basée sur la densité élevée du métal.
Elle est utilisée dans le cas des gisements alluvionnaires actuellement elle n'est plus qu'une technique de préconcentration supplémentaire de minerais.

On essaye de piéger ou rassembler les grosses particu-
les aurifères avant de les traiter par un autre pro-
cédé tel que l'amalgamation et la cyanuration.

-Les tables à secousses voie humide ou à sec, les
tables pneumatiques à sec ,les jigs ,les spirales
Humphreys ,et le milieu dense sont les moyens utili-
sés dans les procédés gravimétriques.

I-1-2-Flottation

C'est une technique de séparation basée
sur les propriétés physiques et chimiques du minerai
traité ,on l'utilise pour augmenter la rentabilité de
la cyanuration, généralement on l'emploie pour les
minerais contenant de l'or emprisonné dans les sulfu-
res comme la pyrite ,arsenopyrite.

Ce type de minerai est souvent traité par une combi-
naison de procédés ,la concentration par gravité ,
la flottation et la lixiviation après grillage oxydant.

I-1-3-Grillage(cas particulier)

Le grillage a pour but d'obtenir un minerai
oxydé ,facile à lixivier afin d'augmenter le taux d'ex-
traction des métaux précieux.

Le minerai sulfuré d'or de Boudouaou résiste à la cyanuration, un grillage oxydant ou chlorurant le rendre cyanurable.

LES minerais sulfurés qui contiennent de la pyrite, mispickel et stibine, résistent à l'attaque chimique.

Il s'agit de décomposer ces sulfures par grillage du minerai, ce grillage entraînera en général une perte en poids donc une élévation de teneur.

Lors du grillage, le soufre lié est oxydé et donne les gaz (SO_2 , SO_3).

Ainsi qu'une fraction notable d'autres constituants volatiles tels que les corps organiques, l'arsenic, le bismuth, antimoine, lorsqu'ils sont présents dans le minerai.

I-2-METHODES DE CONCENTRATION DE L'OR.

I-2-1-Amalgamation

Lorsque les métaux précieux sont attaqués par le mercure, il se forme un alliage décomposable par distillation.

Ce procédé n'est pas largement utilisé à cause des pertes en métal qu'il occasionne et le danger que

représente pour l'environnement.

Il n'est pas applicable pour tous les minerais;seule les minerais contenant des sulfures ou des tellures ne sont pas aptes à être traités par ce procédé qui interesse surtout les minerais à pépite d'or de dimension acceptable par les procédés gravimétriques.

I-2-2-Chloruration

On recupère l'or des résidus d'amalgamation par action du chlore gazeux en présence d'eau ,cette dissolution donne de l'or sous forme de trichlorure $AuCl_3$ et précipité par H_2S , Dans le cas ou l'or est associé à des sulfures ou tellures,arsénure,on procède à un grillage préalable en présence de NaCl.

Il faut noter que le chlore est un agent corrosif. Cette opération est complètement délaissée au profit de la cyanuration.

I-2-3-Cyanuration

La voie hydrométallurgique est considérée comme le moyen le plus efficace de récupération de l'or(plus de 90 %).

Le principe consiste à mettre en solution les particules d'or libre ,tout en dissolvant les minéraux d'argent solubles ,en présence de sels de cyanure alcalins à faible concentration 0,05 à 0,5 g/l, les métaux précieux passent en solution sous forme de sels de cyanure dans les conditions qui seront précisées plus loin. Un exemple de flow sheet de traitement des minerais aurifères est représenté dans le schéma 1 .

I-2-4-L'électrolyse:procédé électrochimique

L'or est extrait des solutions aqueuses par l'électrolyse.

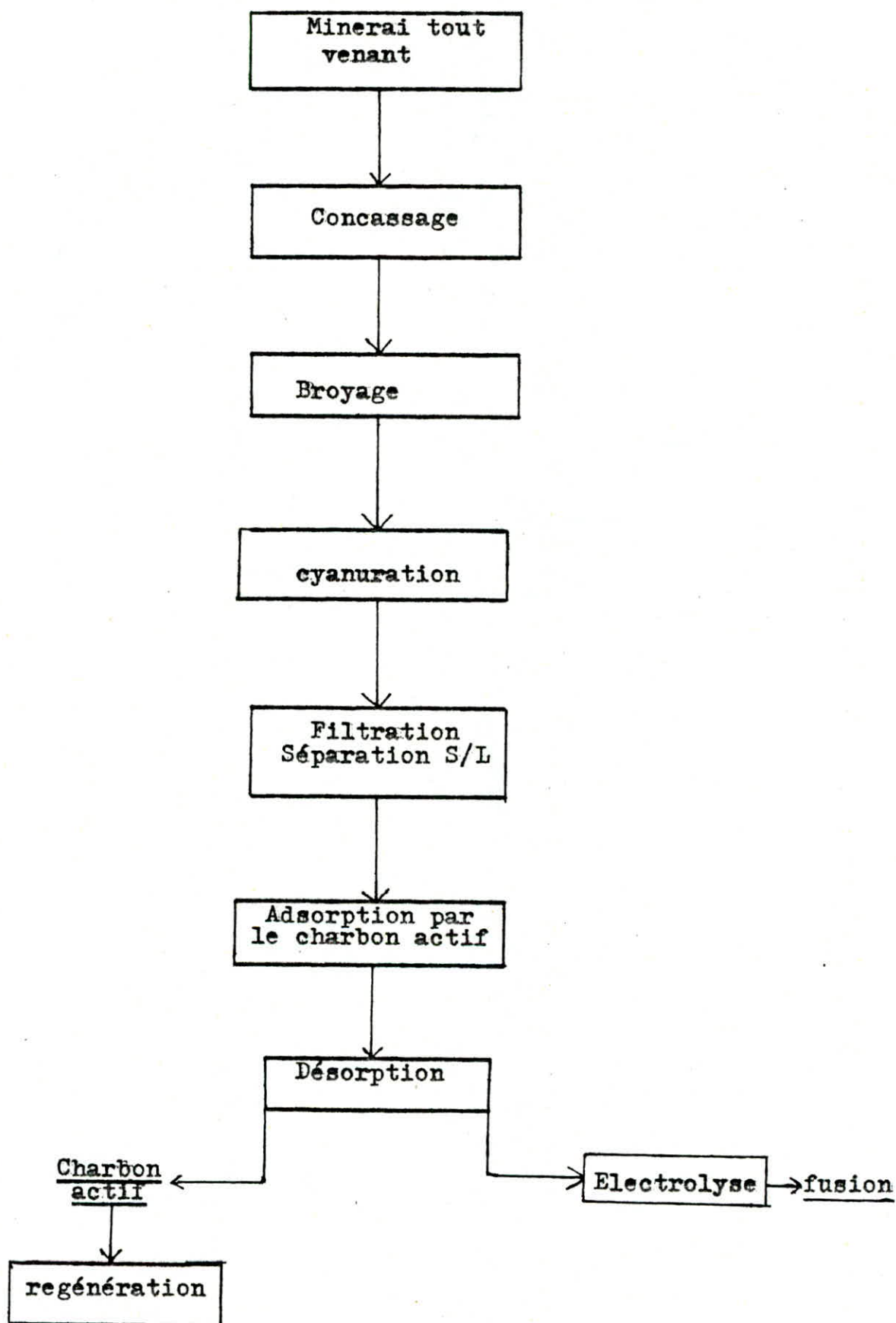
L'électrolyse correspond à la réversibilité des réactions d'oxydo-réduction.On utilise de l'énergie électrique pour produire une réaction chimique.

Au cours de l'électrolyse ,les électrons circulent en sens inverse du sens correspondant à la réaction d'oxydo-réduction,ils vont de l'anode vers la cathode.

La cathode est le siège d'une réduction et l'anode est le siège d'une oxydation.

On utilise en général des cathodes en laine de verre .

Schéma n°1



Principales opérations de traitement de l'or par voie classique

C H A P I T R E II

CYANURATION

II-1-GENERALITES

Ce procédé de lixiviation en milieu basique a pour but de dissoudre le maximum d'or en phase aqueuse.

La récupération des métaux précieux par la cyanuration est beaucoup plus importante lorsque les grains du minerai sont fins, dans le cas contraire les procédés gravimétriques pour la concentration et l'amalgamation pour la dissolution de l'or sont utilisés .

La majeure partie de l'or ,actuellement produit,est fournie par ce procédé que nous décrivons ci-dessous.

II-2- REACTIFS DE CYANURATION(Rôles et conditions d'utilisation)

II-2-1-Les cyanures

Les cyanures les plus utilisés dans la cyanuration sont le cyanure de sodium et le cyanure de potassium.

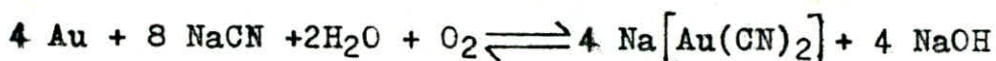
Ces deux sels sont toxiques et constituent des poisons,

il faut les manipuler avec soin.

Le NaCN est largement utilisé dans la cyanuration parcequ'il est moins coûteux que le KCN.

II-2-1-1- Chimie de la mise en solution des métaux précieux par le cyanure

La réaction qui a lieu durant la dissolution de l'or dans les solutions de cyanure sous les conditions normales de température et de pression a été définie comme suit:



Equation d'ELSNER

Pour la dissolution de l'or, on fait réagir le cyanure de sodium sur le métal.

Le cyanure se dissocie pour donner les ions Na^+ , CN^- ; ces ions vont s'associer à l'or pour former de nouveau des ions complexes $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ solubles dans le solvant.

SElon la réaction, la présence d'oxygène est indispensable pour la cyanuration, il faut environ 4 m^oles d'oxygène dissous pour maintenir la réaction à sa vitesse maximale quand environ 4 m^oles de cyanure sont dans la solution.

Plusieurs minerais d'or réagissent selon cette réaction et les problèmes engagés dans l'extraction sont plus mécaniques que chimiques ,d'autres minerais présentent des problèmes chimiques dépendants des différents constituants des minerais tels que le quartz ,les minéraux de silicates ,les carbonates, de métal alcalin sont relativement inactifs aux solutions de cyanure ;de tels constituants sont fréquemment présents dans le minerai en quantité de plusieurs milliers de fois supérieure à la quantité d'or contenue.

II-2-1-2-Effet de la concentration de cyanure sur le taux de dissolution

Les solutions de cyanure dissolvent aussi les autres métaux tels que le cuivre ,le nickel le cobalt,cette solubilité est fonction de la concentration en cyanure.

Les quantités de cyanure utilisées dépendent également de la teneur du métal précieux et la nature du minerai à traiter.

POUR la dissolution de l'or et l'argent on utilise des solutions très diluées cependant on est limité par la difficulté ultérieure de précipiter l'or dans des solutions très étendues .

En général l'optimum de solubilisation est de 0,05 % de NaCN pour l'or et de 0,10 % de NaCN pour l'argent.

II-2-1-3-Effet de l'oxygène sur la dissolution de l'or

L'utilisation de l'oxygène ou d'un agent d'oxydation est essentiel pour la dissolution de l'or sous les conditions normales de la cyanuration. De tels agents d'oxydation tels que le peroxyde de sodium, le permanganate de potassium, le brome et le chlore, ont été utilisés avec plus ou moins de succès dans le passé, à cause du coût de ces réactifs et des complications qu'ils entraînent dans leur manutention ils ont été abandonnés. En plus, une plus grande compréhension des réactions engagées dans la cyanuration et une connaissance plus complète des pertes jouées par les différents constituants indésirables des minerais ont montré qu'une aération adéquate, sous de bonnes conditions donneront aussi de bons résultats que les oxydants chimiques.

La présence d'oxygène augmente le rendement et empêche la réduction de l'or dissous en or élémentaire.

A partir des résultats ,on pourrait noter que le taux de dissolution de l'or est directement proportionnel à la teneur d'oxygène du gaz utilisé et elle est aussi directement proportionnel à la pression partielle de l'oxygène.

II-2-1-4-Effet de l'alcalinité du milieu sur la dissolution de l'or

L'utilisation de la chaux permet de régler le pH de la solution, la dissolution de l'or doit se dérouler dans un milieu basique avec un pH qui varie de 10 ,5 à 11.

L'obtention de ce pH peut se faire par ajout de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou de la soude (NaOH), mais on préfère utiliser le premier à cause de son faible prix de revient .

Les fonctions de la chaux dans la cyanuration s'établissent comme suit:

- empêche la perte de cyanure par l'hydrolyse du cyanure



- empêche la perte de cyanure par l'action de dioxyde de carbone dans l'air.



-décompose les bicarbonates dans l'eau avant de l'utiliser dans la cyanuration.



Ajout de la chaux maintient l'alcalinité de la solution et réagit avec le dioxyde de carbone formé à partir de CO_2 de l'air.

-neutralise les composés acides tels que ,les sels ferreux ,les sels ferriques ,le sulfate de magnésium dans l'eau.

- neutralise les constituants acides dans le minerai

- neutralise les composés acides résultants de la décomposition des différents minéraux dans le minerai dans la solution de cyanure.

- aide à la formation de particules fines, afin qu'une solution claire et riche puisse être séparée du minerai de cyanure.

- améliore l'extraction en traitant les minerais contenant par exemple les tellures.

L'alcalinité protectrice dans la solution de cyanure est maintenue par l'utilisation des autres alcalis tels que l'hydroxyde de calcium et le carbonate de sodium.

II-3- AUTRES FACTEURS INFLUENÇANT LA CYANURATION

II-3-1- Effet de la dimension des particules sur le taux de dissolution

L'or se dissout facilement lorsqu'il est libéré complètement de sa gangue, la finesse des particules augmentent la dissolution et permet d'avoir une bonne récupération du métal en un temps optimum. Ces particules brutes pourraient ne pas être complètement dissoutes en un temps optimum.

Le degré de broyage du minerai et la classification granulométriques constituent deux facteurs importants dans la recherche d'une dissolution optimale.

II-3-2- Effet de la température sur la cyanuration

Lorsque la chaleur est appliquée à une solution de cyanure contenant l'or métallique, deux facteurs s'opposent touchant le taux de dissolution. L'augmentation de la température serait prévue pour augmenter l'activité de la solution et ceci augmenterait le taux de dissolution de l'or.

En pratique, l'utilisation des solutions chaudes pour l'extraction de l'or à partir d'un minerai a plusieurs inconvénients tels que le coût de l'énergie utilisée

dans le rechauffement du minerai et de la solution
la décomposition croissante du minerai due à la
réaction accélérée entre le cyanure et les constitu-
ants du minerai ,tels que les sulfures de cuivre,de
fer.

II-3-3-Effet de l'agitation sur la dissolution de l'or

L'agitation est une action qui
favorise le processus d'attaque du minerai par
l'augmentation de la surface de contact solide-
liquide .

Elle permet aussi d'améliorer les effets des
paramètres de la cyanuration.

Elle est utilisée afin d'assurer la répartition
uniforme de l'air,le minerai et le cyanure,et pour
faciliter la mise en solution de l'or.

II-3-4- Effet du temps de contact sur la cyanuration

C'est un facteur très important pour
la cyanuration ,la quantité d'or dissoute croit
avec l'augmentation du temps de contact,il varie
par exemple entre 8H à 48Heures selon la nature des
minerais

Il est démontré par ailleurs qu'il existe un temps optimum de récupération de l'or et qu'au delà de cet optimum une diminution de la récupération peut survenir.

II-3-5-Comportement du cuivre et zinc contenus

dans le minerai

Il est pratiquement impossible de prévoir comment un minerai agira durant la cyanuration.

En général chaque minerai a ses spécificités dans sa réaction avec la solution cyanurée.

Une des plus fréquentes sources de trouble dans la cyanuration est la présence de minéraux de cuivre dans un minerai, son effet sur la dissolution et la précipitation de l'or peut être gênante.

Non seulement le cuivre passe en solution dans le cyanure et cause une consommation excessive de réactifs, mais aussi les complexes cyanogènes de cuivre ainsi formés affectent indirectement la dissolution de l'or.

En plus le cuivre dans la solution influence la précipitation de l'or par le zinc, le précipité de l'or résultant contient du cuivre qui en fait présente un problème dans l'opération de fusion et mise en lingot.

Le zinc forme des complexes cyanogènes mais son effet sur la dissolution de l'or est moindre par rapport à celui du cuivre.

Les complexes de zinc causent probablement des problèmes dans la cyanuration des minerais d'argent parce que certains minerais contiennent plus d'argent que les minerais d'or contiennent de l'or.

II-4-LA TECHNOLOGIE DE LA LIXIVIATION DES MINERAIS

II -4-1- Lixiviation en tas

a) Les cas d'utilisation

Ce procédé a commencé à se développer massivement au Etats unis en particulier pour les minerais pauvres et oxydés .

La lixiviation en tas est pratique chaque fois qu'un problème de rentabilité économique se pose .

Elle consiste à former avec du minerai concassé un tas sur un sol préparé, étanche et incliné.

Le tas contenant plusieurs dizaines de milliers de tonnes de minerai est arrosé par une solution de cyanure pour en dissoudre l'or et l'argent et recueillir la solution chargée dans un bassin.

La solution obtenue est recyclée plusieurs fois jusqu'à la concentration optimale, le cas échéant avant de subir les opérations du processus choisi.

b) Conditions favorables à la cyanuration

Les conditions essentielles sont:

- la bonne porosité du minerai
- la proportion des particules fines inférieures à $150\ \mu\text{M}$ est faible (- moins de 10 %) pour éviter le problème de colmatage.

Il faut éviter la ségrégation des particules fines qui entraveraient la circulation de la liqueur cyanurée et rendent la lixiviation impossible.

La durée de lixiviation est extrêmement variable selon la nature du minerai.

c) Le développement de cette technologie

Ce développement est lié à la conjoncture mondiale des prix des produits et de l'épuisement des gisements riches en exploitation. Cette technique de traitement est utilisée à cause de sa simplicité, son faible coût d'investissement et son coût opératoire.

II-4-2- Lixiviation sur colonne

Dans la lixiviation par percolation, le minerai concassé est introduit dans des colonnes, la solution de lixiviation est introduite au sommet s'enrichit au fur et à mesure de son passage à travers le lit de minerai.

Avant la lixiviation du minerai, les schlams doivent être éloignés puisqu'ils rendent difficile le passage de la solution.

Cette méthode permet par rapport à la lixiviation en tas une bonne utilisation de réactif et fournit une solution clarifiée.

Elle permet de déterminer la hauteur efficace du tas de minerai grâce aux contrôles des concentrations des solutions ayant traversé des colonnes de hauteur différentes.

Le minerai d'uranium a fait l'objet d'une lixiviation sur colonne. Des essais à l'échelle laboratoire ont été effectués à Boumerdès sur un minerai uranifère.

II -4-3- Lixiviation directe

C'est une méthode de lixiviation par agitation utilisée uniquement pour un matériaux de granulométrie inférieure à 0,1 mm environ, correspondant à la maille de libération de l'or. Elle se fait dans des cuves, et permet une dissolution rapide de l'or et elle peut être appliquée directement dès l'étape du broyage.

La lixiviation par agitation, méthode la plus coûteuse car son utilisation demande un coût d'investissement élevé en installation, en énergie et en coût opératoire.

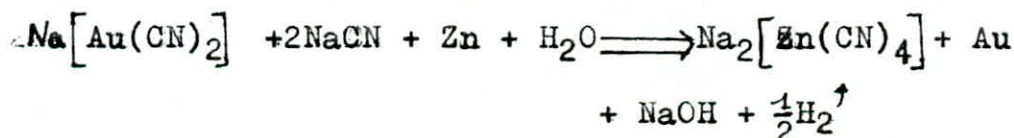
Les étapes de filtration et clarification sont coûteuses, nécessaires avant les opérations de précipitation et de raffinage.

II -5- TRAITEMENT DE LA SOLUTION AURIFERE

II -5-1- Précipitation des métaux précieux en phase aqueuse

Cette précipitation est généralement obtenue par cementation .L'or et l'argent peuvent être déplacés de leur sels par des métaux plus électropositifs tels que le zinc pour l'or et l'aluminium pour l'argent.

On introduit dans la solution cyanurée préalablement clarifiée et filtrée de la poudre de zinc qui a pour effet de précipiter l'or. La solution cyanurée doit être désaérée pour éliminer l'oxygène , par ailleurs un excès de cement est nécessaire pour que la réaction de précipitation est représentée par l'équation suivante:



Suivant l'équation le zinc précipiterait l'or à partir du complexe de cyanure.

Le cement obtenu contiendra en outre l'or et l'argent d'autres impurtés tels que le cuivre, plomb, zinc .

L'or sera séparé de la solution par filtration, la quantité de zinc nécessaire est de l'ordre de 100g de poudre de zinc pour 1g d'or.

II -5-2- Récupération de l'or par échange d'ions au moyen des résines

L'échange d'ions est un procédé par lequel les ions d'une solution sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (échangeur d'ions) pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide, en l'occurrence une résine dont le groupement est porteur d'ions échangeables.

L'échangeur d'ions est un sel, base, acide, solide insoluble dans l'eau mais hydraté.

Les résines échangeuses d'ions ont été utilisées dans le traitement des solutions de lixiviation, elles permettent de récupérer l'or cyanuré.

La solution contenant les ions aurocyanures est passée au travers d'une colonne de résine sur laquelle se fixent les complexes contenant le métal.

Lorsque la résine est saturée, on la régénère après élution des complexes aurifères fixés pour la remettre sous sa forme d'origine et pour subir un second cycle.

De nombreuses résines peuvent être employées à récupérer l'or à partir des cyanures, mais une de ces résines qui a donné de meilleurs résultats a été la résine faiblement basique de benzyldiméthylamine. La fixation sur résine présente par rapport aux autres méthodes l'avantage de permettre de récupérer

avec un bon rendement et une bonne selectivité des espèces métalliques .

L'élu-tion peut être selective par l'utilisation de cyanure desodium et d'acide sulfurique pour récupérer le cuivre et nickel, après cette opération, on pratique l'élu-tion d'or par une solution de CNSNH_4 à 5N après 20 minutes de contact.

II -5-3- Adsorption par le charbon actif

A) Définition du charbon actif

On désigne par charbon actif ,un charbon animal ou végétal ayant été traité spécialement lors de sa carbonisation en vue de lui conférer la propriété d'adsorber des gaz ou liquides.

Il peut être préparé à partir des matières premières suivantes : tourbe,houille,charbon bitumineux,bois, noix de coco.

B) Différentes formes de charbon actif

Les charbons actifs sont disponibles sous deux formes en grains ou en poudre,le choix de la forme se fait suivant le mode et le domaine d'utilisation.

a) Charbon en poudre

Sa surface étant directement accessible, la cinétique d'adsorption est très rapide et il est aussi beaucoup moins cher que le charbon en grains, mais le fait qu'il soit impossible de le régénérer limite le domaine d'utilisation.

b) Charbon en grain

Ce charbon de dimension 3 à 5 mm est utilisé en lit fixe ou à contre courant dynamique, il peut être régénéré d'où son intérêt économique.

Il est nécessaire de souligner que la cinétique d'adsorption de certains produits peut être lente. Ce charbon est utilisé de plus en plus dans la récupération de l'or en solution aqueuse et en pulpe.

c) Intérêt de l'utilisation du charbon actif dans
l'industrie

Le charbon actif reste de loin, l'adsorbant le plus utilisé dans le domaine

industriel, du fait de son importante surface spécifique (600 -1500 m²/g) et de sa capacité d'adsorption même s'il est humide car les corps adsorbables déplacent l'eau.

C'est un adsorbant à très large spectre vu que la plus part des molécules organiques se fixent à sa surface .On peut citer les composés aromatiques et hydrocarbures substitués.

Les charbons actifs ont aussi une bonne affinité vis à vis de certains minéraux ,notamment ceux de l'arsenic, de l'antimoine et du bismuth ainsi qu'une certaine affinité pour les composés du plomb, nickel du titane et du fer ferrique.

D) Usage des charbons actifs

a) Les charbons décolorants:

Sont utilisés dans la décoloration des huiles, des graisses, végétales, pour la purification des produits alimentaires et pharmaceutiques pour la purification de l'eau ,lubrification, chromatographie .

b) Charbons adsorbants:

Utilisés pour la récupération des solvants ,protection contre les gaz et vapeurs toxiques.

c) Charbons médicaux:

Elimination des bactéries et des toxines

E) Régénération du charbon actif

Le charbon actif est un produit très utilisé dans l'industrie,mais il coûte cher,il serait donc nécessaire de le régénérer.

La régénération consiste à libérer les pores du solide soit par chauffage,soit par un lavage sodique,cette méthode de régénération étant choisie en fonction du contaminant retenu .

F) Avantages de l'utilisation du charbon actif

- Equipement minimum(pas de filtration,épaississement et lavage)d'où un traitement aisé de minerai difficile à filtrer .

- Il n'est pas nécessaire de maintenir du cyanure libre dans les stades finaux .

- Le faible taux de cyanure des solutions diminue le rôle des cyanides.

II-5-4- Mode de désorption de l'or et l'argent

L'or et l'argent adsorbés par le charbon actif peuvent être récupérés par désorption. Ce qui a pour effet de régénérer l'adsorbant afin de le réutiliser.

Le procédé le plus simple étant le procédé ZADRA

On utilise une solution à 1% de NaOH et 0,1% de NaCN à la pression atmosphérique, lixivie le charbon à la température d'ébullition, ainsi l'or et l'argent sont déplacés par la solution, puis elle passe dans une cellule circulaire d'électrolyse.

Le charbon subit un traitement thermique et mécanique (calibrage) avant d'être réutilisé. Sur la cathode constituée de tissus ou laine d'acier, se déposent l'or et l'argent qui sont ramenés sous forme de lingot après fusion des cathodes.

II -6- AFFINAGE

L'affinage consiste à partir de lingot d'or titrant 85 à 90 % à obtenir de l'or de pureté élevée, en éliminant les impuretés métalliques et métalloïdiques.

La composition du produit à affiner et la nature des impurités jouent un rôle essentiel dans le choix du procédé à adopter.

II -6-1- Procédé de raffinage

a) Séparation par le chlore

Le doré est fondu et traité à 1150°c par du chlore injecté dans le métal en fusion par des tubes céramiques qui plongent dans le bain. A cette température le chlore attaque successivement les impurités métalliques et l'argent, le fer, le plomb, et le zinc s'éliminent d'abord sous forme de chlorures gazeux qui seront condensés et retraités pour récupérer les traces d'or entraînées. Le cuivre et l'argent réagissent ensuite et donnent des chlorures liquides qui sont séparés par gravité et recueillis pour en extraire l'argent et les traces d'or. En fin d'opération, la teneur résiduelle en argent est déterminée sur un échantillon par fluorescence X et l'injection de chlore est arrêté

dés que cette teneur est inférieure à 0,35 % .
L'or affiné ,de titre supérieur à 99,5 % est
généralement coulé en barres de 12,5 Kg .Ce pro-
cédé permet techniquement de produire de l'or à
très haute pureté jusqu'à 99,9 % ,mais dans des
conditions peu économiques.

II -6-2- Affinage électrolytique

Ce procédé est utilisé pour obtenir
de l'or à très haute pureté ,en particulier lors-
que le métal contient des traces de métaux de la
famille du platine qui ne sont pas éliminés par le
chlore .

L'électrolyte est une solution de chlorure d'or
 $AuCl_4$ obtenue en dissolvant de l'or métallique dans
l'acide chloridrique en présence de chlore gazeux
à 70 ° C .On opère dans des cellules de céramiques,les
anodes sont constituées par le métal à purifier,l'or
fin se déposant sur la cathode,préparé avec du
métal pur.

On opère sous 0,5 à 0,7 V avec une densité de courant
anodique de l'ordre de 600 A/m²,on peut ainsi produire
de l'or à 99,99% . Partir du métal contenant jusqu'à
1,5% d'argent

ESSAIS DE
CYANURATION SUR LE
MINERAL AURIFERE



DU GISEMENT
DE
BOUDOUAOU

La minéralisation se localise surtout au niveau supérieur de l'assise inférieure. Cette dernière est constituée de granito-gneiss avec les schistes feldspathiques ainsi que de quartz.

L'assise supérieure est considérée pratiquement stérile car elle est moins métamorphisée et présente des phyllades.

III -1-3- Reserves

Les réserves qui seront exploitées en premier lieu sont celles des minerais riches.

Le gisement d'or de Boudouaou offre un tonnage de 47800 T de minerai avec une teneur de 12,9 g/t Au soit 618,1 kG d'or.

Les réserves totales du gisement comprennent celles des minerais oxydés et celles des minerais primaires qui sont -minerais sulfurés oxydés 194600 T de minerai , titrent 6,6 g/t Au , soit 1266,9 Kg d'or.

-Minerais sulfurés primaires

136300 T de minerai

titrent 3,5 g/t Au ; soit 480,4 Kg d'or.

C H A P I T R E III

ESSAIS DE CYANURATION SUR LE MINERAI AURIFERE DU

GISEMENT DE Boudouaou

III -1- Géologie du gisement d'or de boudouaou

III -1- 1 - Position et étendue géographique

Le gisement est situé à 40 Kms à l'est de la ville d'alger ,plusieurs chantiers ont été prospectés Boudouaou 1.2.3.4

Le chantier n°2 qui est le mieux connu avec une superficie de 1 Km²,se subdivise en trois quartiers selon la distribution spaciale des corps de minerai Nord, Central, Sud-ouest.

III-1-2- Formation géologique

Le territoire du gisement représente un relief montagneux et constitué de terrains métamorphiques qui sont différenciés en assise inférieure et supérieure .

Les minerais se sont localement déposés dans les zones de cisaillement ou dans les zones de broyage intercalés entre les couches.

III -2- Quelques caractéristiques physiques et chimiques du minerai

Le gisement d'or de Boudouaou est de type lenticulaire et filonien avec une minéralisation irrégulière. L'or qui est l'élément utile se présente dans la nature sous trois formes à l'état natif, à l'état combiné et enfin associé à d'autres minéraux de cuivre, d'argent.

L'or se trouve à l'état disséminé dans les roches et se présente sous forme de grains fins dont la taille maximale est de 0,001 mm.

On rencontre deux formes minéralogiques de minerais exploitables pour le gisement d'or de Boudouaou.

1) Les sulfurés

Ce sont des gisements d'origine primaire qui en sont porteurs où la minéralisation se localise dans les filons de quartz, ils sont moins riches que les minerais oxydés car ils sont mal développés à cause de l'érosion des zones superficielles qui fait apparaître les minerais à la surface.

2) Les oxydés

Ce sont des minerais qui proviennent de la désagrégation naturelle des minerais primaires, ils sont formés de roches roulées et de sable ou d'argile renfermant de l'or soit en pépites, en paillettes, soit en grains .

Ce sont les gisements alluvionnaires, ces alluvions sont particulièrement riches.

La plus part des minerais d'or de Boudouaou sont oxydés à plus de 90 %. Ces minerais sont facilement traitables et l'or est récupéré à 90 à 92 % par cyanuration.

3) Composition chimique

SiO ₂	67,4 %	Na ₂ O	0,22 %
Al ₂ O ₃	16,35 %	K ₂ O	4,0 %
Fe ₂ O ₃	5,41 %	SO ₃	0,38 %
FeO	trace	P ₂ O ₅	-
CaO	0,5 %	MnO	0,04 %
MgO	1 %	H ₂ O	0,35 %
HO ₂	0,5 %	H ₃ O	1,21 %
CO	-	Pb	0,11 %
As	1,62 %	Zn	0,01 %
Sb	0,02 %	Or	13,7 g/T
Cu	0,02 %	Ag	1,5 & 3 g/t

4) Composition minéralogique

-Minerai sulfuré

Les minéraux de la gangue sont représentés par la galène, blende, pyrite, mispickel, quartz, schistes et rarement la chalcopryrite.

-Minerai oxydé

Les minéraux aurifères sont surtout les hydroxydes de fer, la scoridite, la jarosite et le quartz.

5) Composition chimique et minéralogique d'un échantillon représentatif des réserves exploitables

5-1- Resultats d'analyse obtenus par un laboratoire extérieur

Ces résultats sont portés dans les tableaux 1,2 et 3.

6) Echantillons remis par ENOF à l'ENP

Deux échantillons oxydé et sulfuré de poids respectifs de 43,77 Kgs et 18,32 Kgs, ont été constitués à partir des différents échantillons provenant des différents points du gisement répondant aux critères de représentativité.

Cet échantillon aura une composition chimique et minéralogique voisine de celle de l'échantillon technologique cité plus haut dont les résultats d'analyse figurent dans les tableaux 1;2 et 3 .

Phase	teneur gr/t		répartition %	
	or	argent	or	argent
Libre	0,41	néant	4,69	néant
En macles	7,71	0,445	87,93	43,66
En enveloppe oxydée	0,53	0,030	6,11	2,87
En sulfures, finement disséminé (arsenopyrite, pyrite)	0,10	0,545	1,16	53,47
En quartz finement disséminé	0,02	néant	0,21	néant
Total	8,77	1,02	100,00	100,00

Tableau:1

Etude des phases du minerai oxydé broyé à 90 % -74 Micron

Phase	teneur gr/t		répartition %	
	or	argent	or	argent
Libre	0,23	néant	5,72	néant
En macles	1,23	0,329	31,14	34,68
En sulfures finement disséminé (arsenopyrite et pyrite)	2,46	0,621	62,05	65,32
En quartz finement disséminé	0,04	néant	1,09	néant
Total	3,96	0,95	100,00	100,00

Tableau:2

Etude des phases du minerai sulfuré broyé à 90 % inférieur à 74 micron

Composant	teneur %	
	minerai oxydé	minerai sulfuré
Silice	67,12	61,30
Oxyde de calcium	0,15	2,10
Oxyde de magnesium	1,10	3,66
Bioxyde de titane	0,39	0,81
Alumine Al_2O_3	16,46	15,92
Fer	3,36	3,88
Manganèse	0,03	0,04
Oxyde de potassium	4,72	4,67
Oxyde de soude	1,36	0,53
Cuivre	0,005	0,005
Zinc	0,005	0,005
Plomb	0,05	0,05
Galène	1,82	0,86
Soufre, globale	0,10	1,17
Or gr/t	8,93	4,09
Argent gr/t	0,88	0,70
Pertes au feu	2,61	4,71
Total	99,55	99,71

Tableau:3

Composition chimique

6-1-Travaux exécutés au laboratoire de l'ENP

-1- Objectif des travaux

Le but recherché dans ce travail est de déterminer si le minerai aurifère du gisement de Boudouaou et notamment l'oxydé peut être lixiviable en tas ou non et d'en évaluer le taux de récupération et le temps d'attaque correspondant.

Ce PROCÉDÉ offre un meilleur rendement économique que celui de la cyanuration classique en cuves , compte tenu des réserves évaluées à 1,5 t Métal trops faible pour supporter de gros investissements.

-2- Préparation mécanique utilisant un concasseur

à mâchoires

Pour éviter le surbroyage du minerai réceptionné , conduisant à une forte proportion de fines, pouvant provoquer un colmatage lors de l'opération de lixiviation ou entraîner une forte consommation d'agents additifs en particulier le ciment, nous avons effectué un criblage préalable à 5 mm, la classe +5 mm a été concassé et réduite à -5 mm. La classe -5 mm passe en totalité sur la série de tamis 5;0,5 et 0,1 mm.

-3- Caractéristiques granulométriques

Les résultats des analyses des trois tranches granulométriques du minerai oxydé et sulfuré sont portés dans les schémas linéaires des figures 1 et 2 .

-4- Tranches granulométriques à lixivier

4-1) Sur colonne

Nous avons utilisé un mélange des tranches granulométriques 0,5 - 5 mm et 0,1 - 0,5 mm, pour écarter dans une première étape l'influence des fines et l'utilisation du ciment pour leur pelltisation.

Le mélange du minerai sulfuré comporte 2,250 Kgs de + 0,5 - 5 mm et 0,560 Kgs de + 0,1 - 0,5 mm;

et pour le mélange oxydé, il comporte 2 Kgs de 0,5 - 5mm et 0,615 Kgs de 0,1 - 0,5 mm.

4-2) En tas

Nous avons pour cette opération utilisé un mélange des trois tranches granulométriques pesant 10 Kgs (8,23 Kgs de -0,1 mm, 1,192 Kgs de 0,1 - 0,5 mm et 0,574 Kgs de -0,1 mm).

A ce mélange on a ajouté de la chaux CaO et du ciment porthland dont les quantités correspondent respectivement à 1,5 Kgs/t et 2,5 Kg/t de minerai.

L'ajout du ciment a pour rôle d'empêcher la formation de couches imperméables dans le tas en agglomérant sous forme de boulettes les fines particules.

III-3- Matériels utilisés

1) Lixiviation sur colonne

- 2 colonnes en verre de diamètre 8-cm et de hauteur 60 cm.
- 2 pompes péristatiques
- Des béchers ,Erlen meyers et fioles
- pH-mètre

Les figures 1 et 2 illustrent l'installation de lixiviation sur colonne du minerai sulfuré et oxydé et l'installation de lixiviation en tas du minerai oxydé.

Schéma d'installation de la lixiviation sur colonne

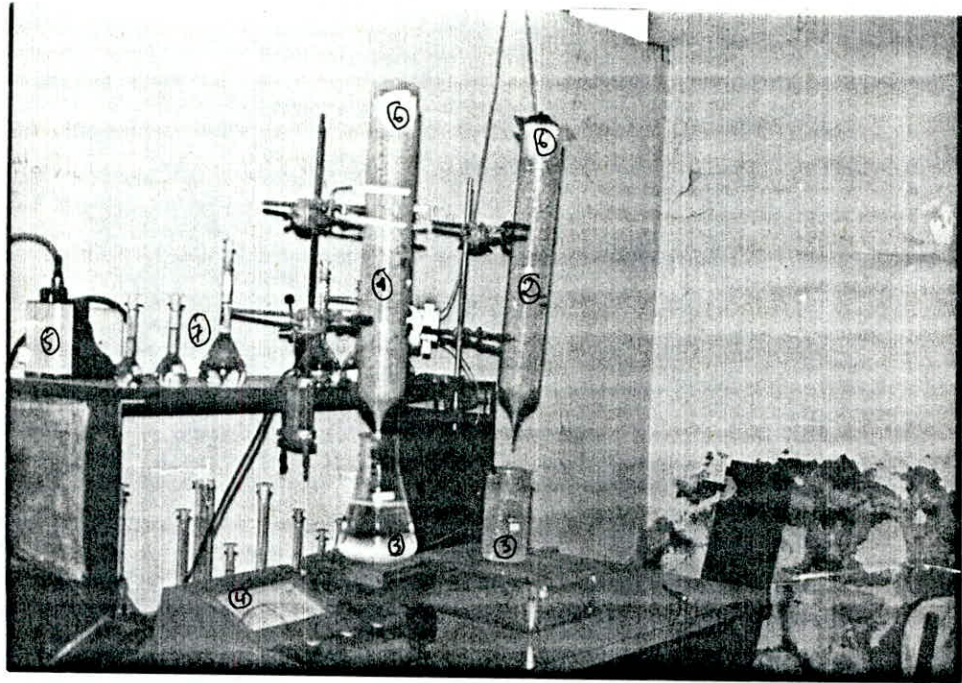


Fig:1

- 1- Colonne contenant le minerai oxydé
- 2- Colonne contenant le minerai sulfuré
- 3- Deux béciers pour la récupération des solutions chargées en or
- 4- pH-mètre
- 5- Pompes pour arroser les minerais
- 6- Papiers filtres
- 7- Prélèvement des échantillons de solution aurifère

Schéma d'installation de la lixiviation en tas

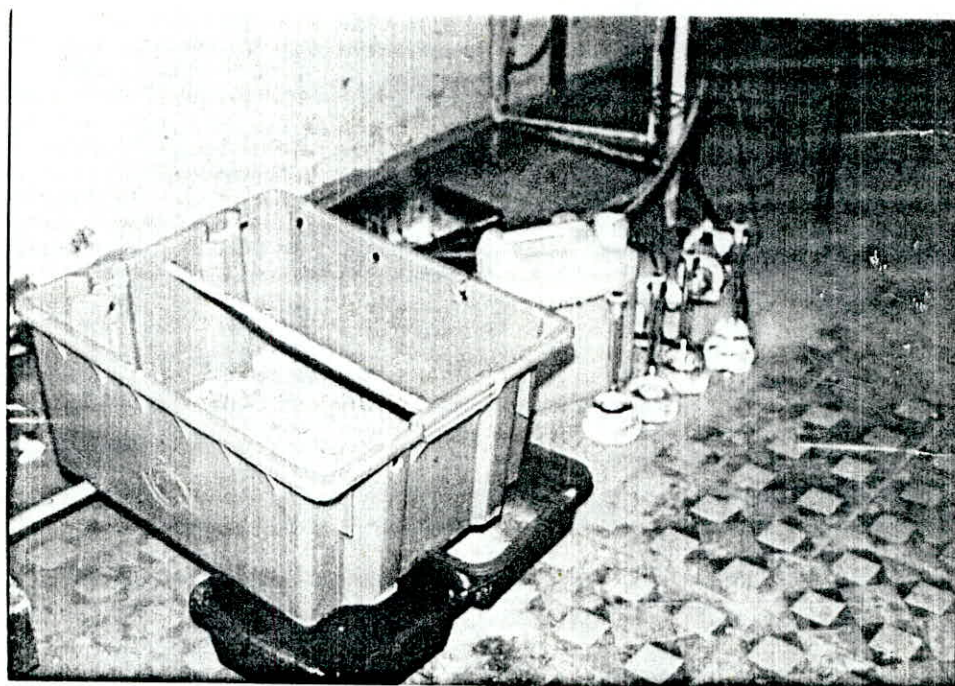


Fig:2

- 1- Bac contenant le minerai oxydé .
- 2- Minerai à lixivier .
- 3- Tube d'arrosage .
- 4- Deux bacs pour la récupération de la solution aurifère .
- 5- Solution fraîche de NaCN .
- 6- Pompe munie de deux tuyaux .
- 7- Prélèvement des échantillons de solutions chargées

2) Lixiviation en tas

- Un bac contenant le minerai (10 Kgs) incliné à 3 %.
- Un petit bac où se déverse la solution de NaCN ayant traversé le tas de minerai .
- Une pompe péristaltique alimentant un tube métallique perforé qui arrose le tas.

3) Moyens d'analyse quantitative

- Introduction

La détermination des teneurs de l'or dans le minerai est effectuée dans le laboratoire de l'EREM (Tamanrasset) par la méthode de docimasia. Les résultats concernant les échantillons ayant été soumis à la cyanuration ne nous sont pas parvenus, pour l'analyse de l'or dans les solutions de cyanure après l'impossibilité de l'effectuer dans le laboratoire de l'EREM (Boumerdès) suite à la panne survenue sur l'appareil d'absorption atomique. Nous avons dû faire appel à l'aide de l'USTHB (laboratoire) de M^r Kerdjoudj).

N'ayant pas pu obtenir la totalité des résultats

d'analyse , nous avons cherché à répondre à l'objectif de ce travail en exploitant les résultats disponibles et en posant quelques hypothèses non sans perdre de vue le caractère érratique du minerai aurifère du point de vue teneurs.

Technique d'analyse quantitative

3-1- Méthode de docimasia

La méthode par voie sèche concerne des échantillons solides broyés à la maille de libération des particules d'or , permet de déterminer les teneurs du métal précieux en partant d'un échantillon avec une précision acceptable.

Elle est utilisée pour le dosage de l'or et l'argent dans les minerais.

Elle est particulièrement utile là où les méthodes de voie humides sont moins bonnes , c'est le cas du dosage des faibles teneurs d'un minerai difficile à attaquer.

Principe

On provoque la formation d'un alliage de plomb

qui contient les métaux précieux ,cet alliage fondu est séparé en particulier des silicates grâce à sa grande densité.

On sépare ensuite le plomb par oxydation à l'air et fusion de l'oxyde formé qui s'échappe à l'intérieur de la paroi poreuse d'une coupelle(coupeellation)vers l'atmosphère.

L'or et l'argent forment une bille au fond de la coupelle.

Il reste donc un "bouton" contenant de l'or et l'argent on pèse à 0,001 mg ou 0,05 mg près(semie-microbalance) l'or et l'argent peuvent être séparés par l'attaque nitrique,l'or reste insoluble ,puis on pèse l'or restant après attaque nitrique et on a par différence l'argent.

3-2-Analyse des solutions aurocyanurées par absorption

atomique

La méthode d'absorption atomique est très utilisée dans le domaine industriel pour résoudre les problèmes d'analyses chimiques ,elle est rapide

et efficace. Nos échantillons ont été analysés par la spectrophotométrie de flamme à air-acétylène. Cet appareil est destiné à analyser la répartition de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique en fonction de la fréquence ou de la longueur d'onde. En effet des substances sous forme de vapeur atomique ont la propriété d'absorber des radiations caractéristiques identiques à celles qu'elles peuvent émettre, les radiations absorbées sont proportionnelles au nombre d'atomes présents dans la flamme.

La grandeur mesurant l'atténuation de ce faisceau monochromatique est appelée « densité optique » ou « absorbance » .

La concentration de l'élément à analyser est directement déduite de la densité optique.

Courbe d'étalonnage

Pour tracer cette courbe, nous avons préparé quatre solutions étalons dont les concentrations sont connues et par suite nous avons tracé

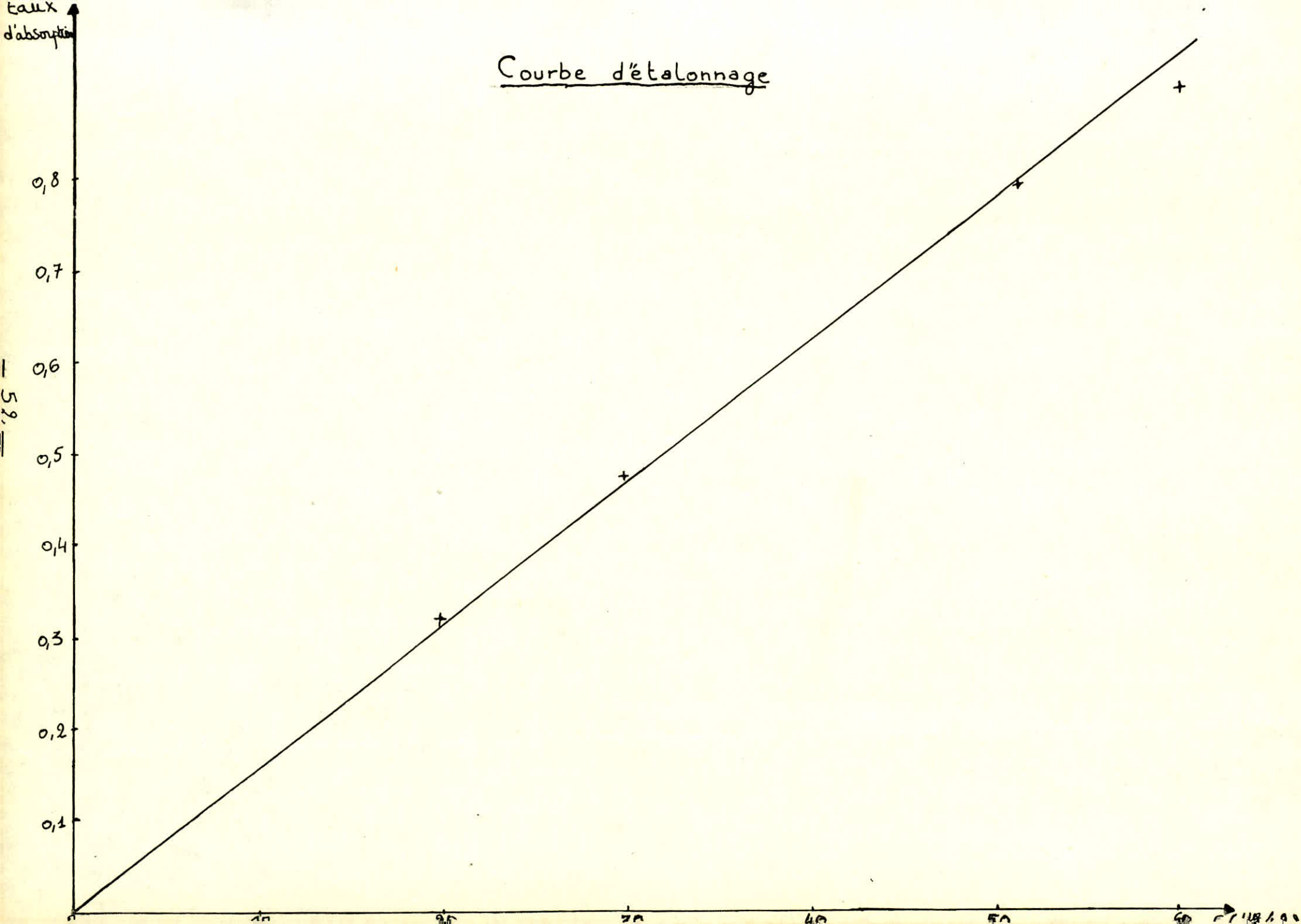
la courbe d'étalonnage en portant en abscisses les concentrations et en ordonnées les densités optiques correspondants .Les points expérimentaux sont légèrement dispersés.

A partir de cette courbe et par extrapolation, nous avons déterminé les concentrations de l'élément à analyser en connaissant sa densité optique donnée par le spectrophotomètre.

coefficient
d'absorption

Courbe d'étalonnage

152



III-4- Réactifs principaux de la cyanuration

Nous avons utilisé une solution de NaCN à 0,5 g/l pour une première étape, nous n'avons utilisé aucun artifice ou réactif d'oxygénation ni pour le tas ni pour le lit de minerai contenu dans la colonne.

III -5- Conditions opératoires de cyanuration

La cyanuration est effectuée en régime discontinu avec recyclage des solutions et sans qu'il y ait périodicité du fonctionnement des pompes péristatiques.

Les solutions de cyanure ayant traversé le tas ou les colonnes de minerai sont recueillies dans des fioles jaugées pour déterminer les volumes et leur concentration en or. Un calendrier des attaques de lixiviation et prélèvements d'échantillon pour analyse a été établi.

III -6- Résultats des essais de cyanuration

4) Cyanuration en tas

Les résultats sont portés dans le tableau n°4 ,le poids du métal récupéré ,après avoir utilisé 7,9 l de solution de NaCN à 0,5 g/l est de 70933 μ g correspondant à une teneur théorique de 7,093 g/t ,si on considère que tout l'or est dissous .

La teneur réelle du minerai selon les analyses effectuées par différents laboratoires varie de 9 à 13 g/t .

La quantité d'or dans le minerai lixivié en tas pour 10 g/t est de $\frac{10 \times 10}{1000} = 0,1$ g

La récupération hypothétique est de $\frac{0,07093}{0,1} = 71\%$

Tableau n°4

durée d'attaque après chaque prélèvement (jours)	Durée d'attaque dynamique en discon- tinuë (mn)	Volumede Solution Fraiche (ml)	Volumede solution recueilli (ml)	Volume, prélevé (ml)	Concentration en Au ($\mu\text{g/ml}$)	Poids du métal (μg)
6 jours	236	2900	-	50	15,86	792,5
5 jours 5	187	-	-	50	20,75	1037,5
2 jours	131	-	-	50	23,55	1177,5
2 jours	110	-	-	50	25,25	1262,5
1 jour	54	-	958	50	25,25	25452,0
2 jours	61	1800	-	50	15,25	762,5
3 jours	55	-	-	50	19,25	962,5
3 jours	37	-	630	50	29,00	19720,0
1 jour	75	3200	-	50	12,25	612,5
1 jour	72	-	-	50 + 6	13,00	728,0
1 jour	60	-	-	50	15,00	750,0
3 jours	97	-	-	50	16,50	825,0
3 jours	196	-	956	50	16,75	16850,5
TOTAL 33 jrs	1371	7900	2544	656		70933,0

2) Lixiviation sur colonne

2-1- Minerai oxydé

a) Sans recyclage des solutions de NaCN

Les résultats concernant une lixiviation sans recyclage sont rassemblés dans le tableau N°5 .Le poids récupéré en 22 jours est de 24824 μ g pour un volume de solution de cyanure recueilli de 3,857 l .Cette quantité d'or correspond à une teneur théorique en or de 9,49 g/t.

b) Avec recyclage des solutions de NaCN

Les résultats concernant la partie qui correspond aux solutions de cyanure recyclées 10 fois sont portés dans le tableau N°6 .

64,67 μ g d'or sont extraits ,après une consommation de 2,9 l de solution de cyanure ,soit 0,26 % environ de la quantité mise en solution dans la première partie.

La quantité totale d'or extrait du minerai en 47 jours est de 24989,9 μ g.Elle correspond à une teneur théorique de 9,5 g/t.

Pour 10 g/t ,la quantité d'or dans le minéral

est de : $\frac{10 \times 2,615}{1000} = 0,026 \text{ g}$

La récupération hypothétique est de $\frac{0,0249}{0,026} = 96 \%$

Il semble ,que nous sommes en présence d'une récupération maximale ,la poursuite de la cyanuration n'apportera que très peu de métal.

Tableau n°5

Jours d'attaque	Durée d'attaque en continue (mn)	vol récupéré à la sortie de la col (ml)	teneur en Au $\mu\text{g/ml}$	poids de métal μg
1 ^{er} jour	88	50	3,75	187,5
		75	3,55	266,25
		75	3,76	282,00
		50	3,76	188,00
		75	4,13	309,75
		90	5,25	472,50
temps mort de 3 jours	-	63	21	1323
2 ^{ème} jour	78	255	42,75	10901,25
		250	10	2500
		250	4,38	1095
		217	2,5	542,5
temps mort d'1 nuit	-	40	4,75	190
temps mort de 3 jours	-	15	12,5	187,5
3 ^{ème} jour	67	100	19,75	1975
		100	13,25	1325
		200	4,5	900
		169	1,57	231,53
temps mort d'1 nuit	-	24	6,20	148,8
4 ^{ème} jour	65	181	5,75	1040,75
		250	0,75	187,5
temps mort de 5 jours	-	350	1,00	350,00
5 ^{ème} jour	36	177	1,12	198,24
		100	1,00	100,00
temps mort d'1 nuit	-	100	0,039	3,9
6 ^{ème} jour	58	164	0,033	5,412
temps mort de 2 jours	-	437	0,006	2,622

Tableau N°6

jours d'attaque	Durée d'attaque dynamique en discontinue (mn)	Volume de solution fraîche (ml)	Volume prélevé après 1 passage sur col (ml)	Volume recueilli vers le 10 ^{er} jour (ml)	Concentration en Au ($\mu\text{g/ml}$)	Poids du métal (μg)
7 ^{ème} jour	101	900	50	-	0,010	0,5
15 ^{ème} jour	888	-	-	800	0,0125	10,0
16 ^{ème} jour	96	1000	50	-	0,025	1,25
25 ^{ème} jour	503	-	-	892	0,035	31,22
26 ^{ème} jour	94	1000	50	-	0,0125	0,625
32 ^{ème} jour	684	-	-	893	0,025	22,325
Total 25 j	2366	2900	150	2585		65,92

2-2- Minerai sulfuré

a) Résultats sans recyclage de solution de NaCN

Les résultats de la partie ou les solutions de cyanure ne sont pas recyclées sont confiés dans le tableau N°7 .Le poids d'or récupéré est de $1075,3 \mu\text{g}$ correspondant à un volume de cyanure recueilli de $3,395 \text{ l}$ pour une durée de 19 jours ,ce poids correspond à une teneur hypothétique de $0,38 \text{ g/t}$ (si on considère que tout l'or passe en solution) .

b) Résultats avec recyclage des solutions de NaCN

Les résultats de la partie concernant le recyclage de la solution de cyanure (10 fois) sont portés dans le tableau N°8 .
Le poids d'or récupéré en 13 jours est de $608,182 \mu\text{g}$

c) Bilans des résultats

En 42 jours nous avons extrait $1783,46 \mu\text{g}$ d'or pour un poids de minerai $2,810 \text{ Kgs}$ ce qui correspond à une teneur théorique de $0,6 \text{ g/t}$,si l'extraction est supposée 100 %.

La teneur réelle du minerai selon les analyses effectuées est voisine de 4,5 g/t .

La quantité d'or dans le minerai serait de :

$$\frac{4,5 \times 2,810}{1000} = 0,013 \text{ g}$$

La récupération hypothétique n'est que de :

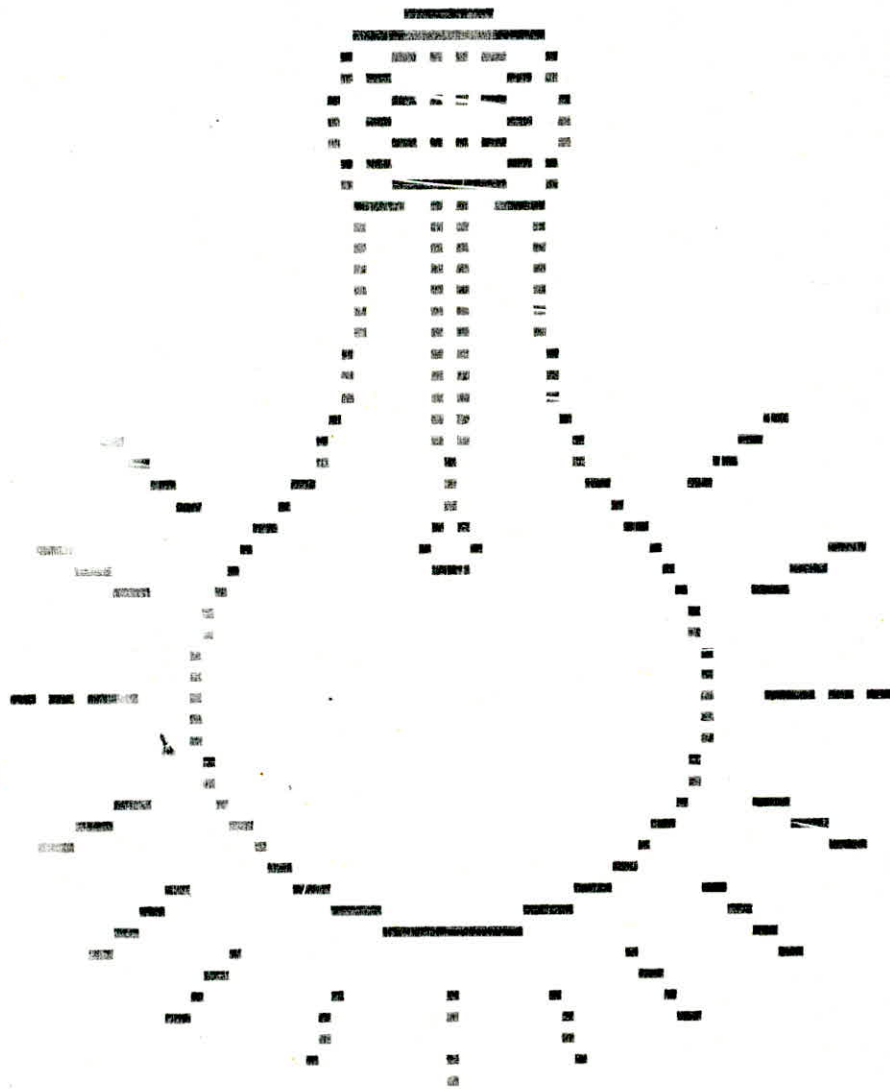
$$\frac{0,00178}{0,013} = 13,72\% .$$

Tableau n°7

jours d'attaque	durée d'attaque dynamique en continue (mn)	vol de sol recueillies après passage sur Colonne (ml)	concentration en Au µg/ml	poids du métal (µg)
1 ^{er} jour	88	46	0,462	21,252
		52	0,512	26,624
		78	0,539	42,042
		50	0,461	23,050
		75	0,423	31,720
		71	0,667	47,357
temps mort de 3 jours	0	63	1,112	70,056
2 ^{ème} jour	43	250	1,115	278,750
		250	0,329	82,25
		204	0,224	45,696
temps mort de 1 nuit	0	49	0,285	13,965
temps mort de 3 jours	0	5	0,313	1,565
3 ^{ème} jour	72	100	0,365	36,500
		100	0,182	18,200
		200	0,112	22,400
		20	0,142	2,840
temps mort d'1 nuit	0	27	0,140	3,780
4 ^{ème} jour	69	250	0,099	24,75
		250	0,178	44,500
		100	0,207	20,700
temps mort de 5 jours	0	133	0,132	17,556
5 ^{ème} jour	38	63	0,144	9,072
		122	0,138	16,836
temps mort d'1 nuit	0	95	0,243	23,085
6 ^{ème} jour	53	500	0,211	105,5
temps mort de 2 jours	0	242	0,187	45,254
Total 19 jours	363	3395		1075,3

Tableau n°8

jours D'attaque		durée d'attaque dynamique en discontinue (mn)	Volume versé (ml)	Volume prélevé Après un passage sur colonne (ml)	Volume Recueilli Après 10 Recyclages (ml)	concentration en Au ($\mu\text{g/ml}$)	Poids du métal (μg)
7 ^{ème} jour		113	950	50	-	0,045	2,25
13 ^{ème} jour		1012	-	-	870	0,232	201,84
14 ^{ème} jour		75	1000	50	-	0,294	14,7
21 ^{ème} jour		754	-	-	872	0,2111	183,99
21 ^{ème} jour		139	1000	50	-	0,244	12,2
29 ^{ème} jour		959	-	-	840	0,230	193,2
Total	22 jours	3052	2950	150	2582		608,18



DISCUSSION

C H A P I T R E I V

REMARQUES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

IV-1-Remarques sur le minerai soumis à la lixiviation par la solution de cyanure

IV-1-1- Minerai sulfuré

Contrairement au minerai oxydé, la cyanuration n'a pas atteint un palier correspondant à la limite extrême de la récupération .

Ce minerai est moins friable que le minerai oxydé , la production de fines -0,1 mm est de 3,3 % contre 5,74 % pour l'oxydé . Il est beaucoup plus pauvre en métal précieux dont la répartition est beaucoup plus homogène, si l'on se réfère aux résultats très partiels d'analyse obtenus par la méthode de docimassie.

IV-1-2- Minerai oxydé

1)- Lixiviation en tas

Ce minerai plus friable que le sulfuré; est plus riche en or d'après les résultats partiels d'analyse , le métal précieux se concentre d'avantage dans

les fines (22g/t).Lors du traitement de ce minerai, il va falloir éviter les pertes de ces fines et le surbroyage .Les résultats de lixiviation mettent en évidence que la diffusion de la solution de NaCN dans le minerai est bonne et que par conséquent ce minerai présente une porosité suffisante.

La lixiviation en tas n'a pas atteint le palier correspondant à une récupération maximale ,mais selon les teneurs avancées ,cette récupération sera probablement vite atteinte.

2) Lixiviation par percolation sur colonne

Nous remarquons une baisse logique des concentrations après le 1^{er} jour quelque soit le débit utilisé avec des pointes qui s'expliquent par le fait que la cinétique d'attaque n'est pas nulle en absence d'une lixiviation en continue.

Le minerai en contact des ions CN^- continue d'être le siège d'une réaction chimique grâce à la diffusion des ions CN^- dans le minerai .LE minerai oxydé ,bien que nous ne connaissons pas la teneur dans le stérile et dans le minerai soumis à la lixiviation,donne pour une durée très valables de 19 jours de bon résultats il est apte à être lixivié en tas.

CONCLUSION GENERALE

Sans avoir la prétention d'apporter une solution définitive au problème, ce travail exécuté dans des conditions difficiles du point de vue moyens matériels a permis de conclure sur l'aptitude du minerai à être cyanuré en tas avec une bonne récupération .

L'extraction de l'or du minerai sulfuré qui ne représente qu'une faible proportion des réserves du gisement de Boudouaou, a donné une faible récupération bien que la lixiviation continue à extraire de l'or avec, à quelque chose près, un taux constant , nous estimons que ce minerai présentera une difficulté à valoriser par un procédé économique . Néanmoins nous suggérons la poursuite des essais commencés en vue de connaître la limite exacte de la récupération , avant de conclure définitivement sur l'efficacité du procédé mis en oeuvre.

L'extraction de l'or du minerai oxydé par contre offre une grande facilité pour son traitement de lixiviation en tas.

Les résultats obtenus sont très encourageants. Nous

estimons que la récupération dépasse le taux de 85%
sil'on se réfère aux différentes analyses effectuées
sur des échantillons prélevés du gisement.

Nous suggérons ,une fois que les moyens d'analyses
soient facilement accessibles, la poursuite des essais
en vue, cette fois-ci de dégager un résultat optimum
après avoir étudié les influences des principaux
paramètres de la cyanuration notamment ceux concer-
nant les éléments d'un projet technique.

- La granulométrie : optimum.
- LA concentration en NaCN de la solution de lixiviation.
- La durée : optimale de la cyanuration.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P .BLAZY : Valorisation des minerais (1970)
- [2] K . GUERRAM : Etude technico-économique en vue de la
mise en valeur du gisement d'or de
Boudouaou
Département mines et métallurgie Promotion 1974
- [3] Revue scientifique : CHEMISTRY OF CYANIDATION
American cyanid company
- [4] M. PINTA : Spectrométrie d'absorption atomique
Tome 2 : Application à l'analyse chimique
Masson, Paris 1971
- [5] G. CHARLOT : Chimie analytique quantitative
Tome II
Masson et scie Paris 1974
- [6] Revue scientifique : Annales des mines
Décembre 1969
- [7] Rapport sur le gisement de Boudouaou ENOF
- [8] Lixiviation
Technique de l'ingénieur (M2235)
- [9] N. Laoufi : Contribution à l'étude de l'adsorption
de Cu^{2+} sur charbon actif
Département : génie-chimique Promotion 1986

