

SOMMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
INTRODUCTION	1

PARTIE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : BREF RAPPEL SUR LES GENERALITES SUR L'OR	3
CHAPITRE II : RAPPEL SUR LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXTRACTION	10
CHAPITRE III : ETUDE DE MINERAI A FAIBLE TENEUR : CAS BETSIKA	19
CHAPITRE IV : RAPPELS SUR LA TECHNIQUE DE LIXIVIATION CHIMIQUE	25

PARTIE II: PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V : OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPERIMENTALE	35
CHAPITRE VI : ESSAIS EXPERIMENTAUX	44
CHAPITRE VII : EVALUATION DU RENDEMENT DU PROCEDE	55

PARTIE III : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION ET APPROCHES
ENVIRONNEMENTALES

CHAPITRE VIII : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION	60
CHAPITRE IX : APPROCHE ENVIRONNEMENTAL DU PROJET	74

CONCLUSION GENERALE	88
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	89
ANNEXES	I
TABLE DES MATIERES	VI

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Au	: or
BRGM	: Bureau de Recherches Géologiques et Minières
cm	: centimètre
cm ³	: centimètre cube
C	: Concentration
ClO	: hypochlorite
DO	: Densité Optique
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
Fe	: fer
g	: gramme
g/l	: gramme par litre
g/t	: gramme par tonne
KCl	: chlorure de potassium
HCl	: Acide Chlorhydrique
HNO ₃	: acide nitrique
K	: potassium
km ²	: kilomètre carré
KRAOMA	: Kraomita Malagasy
kg	: Kilogramme
l	: litre
m ²	: mètre carré
mm	: millimètre
NaCN	: cyanure de sodium
PE	: prise d'essais
µm	: micromètre
%	: pourcentage
°C	: degré Celsius
UV	: ultra -Violet
λ	: longueur d'onde

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Récapitulation de la production d'or à Madagascar de 1897 à 2013 ..6	6
Figure 2 : Principale zone aurifère de Madagascar9	9
Figure 3 : Carte de localisation des profils géophysiques de la zone.....21	21
Figure 4: Lame mince n°1 en lumière Naturelle22	22
Figure 5 : Lame mince n°2 en lumière polarisé.....22	22
Figure 6 : Graphe du teneur en de l'acide hypochloreux en % suivant pH.....27	27
Figure 7 : Graphe du teneur en Cl ₂ dissous et des ions ClO ⁻ en % suivant pH.28	28
Figure 8 : Graphe de la composition de l'eau de javel suivant pH28	28
Figure 9 : Diagramme E= f (pH) de l'eau de javel et quelques métaux29	29
Figure 10 : Mécanisme de chloration de l'or31	31
Figure 11 : Surface de contact et dimension de particules.....32	32
Figure 12 : Constituants généraux du minerai35	35
Figure 13 : Flow-sheet du procédé proposé.....37	37
Figure 14 : Tracé de la courbe d'étalonnage pour l'or.....39	39
Figure 15 : Tracé de la courbe d'étalonnage pour le fer.....42	42
Figure 16 : Pourcentage de l'or suivant les tranches granulométrique46	46
Figure 17 : Pourcentage du Fer dissout48	48
Figure 19 : variation de pourcentage de l'or obtenu.....53	53
Figure 20 : Schéma illustrant les différentes étapes d'exploitation61	61
Figure 21 : plan de masse du chantier proposé63	63
Figure 22 : Dessin technique de la fosse de lixiviation Proposée66	66
Figure 23 : agitateur67	67
Figure 24 : Couverture de la fosse.....68	68
Figure 25 : plaque pour filtration68	68
Figure 26 : organigramme du personnel71	71

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : La batée.....	10
Photo 2 : Exposition du sluice au FIER MADA.....	11
Photo 3 : Eau de javel.....	49
Photo 4 : Cuve pour la lixiviation au laboratoire.....	50
Photo 5 : Essais de détermination de rapport de concentrations HCl/eau de Javel ..	51
Photo 6 : Minerais Brut non broyé (filon).....	II
Photo 7 : Lavage avec S _{1/10}	II
Photo 8 : Minerais Brut broyé (125 µm).....	II
Photo 9 : Lixiviation de l'or pur.....	II
Photo 10 : Minerai à analyser (<80 µm).....	II
Photo 11 : Lixiviation minerai.....	II
Photo 12 : Essai de lavage (S1/10 à S1/1).....	II
Photo 13 : Essai de précipitation.....	II



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Propriétés physiques de l'or	3
Tableau 2 : Valeur des demandes d'or en tonne	5
Tableau 3 : Les principales zones de ressources aurifères	7
Tableau 4 : Résultats minéralogique et texture	23
Tableau 5 : Exemples de potentiel redox de quelques couples :	26
Tableau 6 : Mode opératoire	42
Tableau 7 : Résultats de la détermination de diamètre de libération	45
Tableau 8 : résultat de l'analyse en Fer	47
Tableau 9 : Résultat de l'essai sur paillette d'or	51
Tableau 10 : Tableau des paramètres pour précipitation	52
Tableau 11 : Paramètres utilisés pour l'essai sur le minerai	52
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de l'or dissout en fonction du temps	53
Tableau 13 : tableau des paramètres adoptés	55
Tableau 14 : Tableau des rendements par étapes	56
Tableau 15 : Liste des matériels d'ouverture et de construction	62
Tableau 16 : Liste des matériels d'extraction	64
Tableau 17 : Liste des matériels de traitement	64
Tableau 18 : Unité de traitement des influents	70
Tableau 19 : Postes de travail et responsables	72
Tableau 20 : Etat initial du site	75
Tableau 21 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu physique	76
Tableau 22 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu biologique	80
Tableau 23 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu socio-éco	81
Tableau 24 : Récapitulation	IV
Tableau 25 : Table de correspondance	V

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : TerminologiesI
Annexe 2 : Quelques prises de vue durant l'expérience:.....II
Annexe 3 : Poids et mesures utilisés pour le marché de l'or.....III
Annexe 4 : Notion sur l'eau de javelIII

INTRODUCTION

L'or est connu depuis la plus haute antiquité, et les hommes préhistoriques l'utilisaient probablement déjà. L'or fut utilisé pour marquer la puissance et la richesse, servait à la fabrication de parures et bijoux. Guidant des nations vers leur gloire comme vers leur perte, le métal jaune reste encore aujourd'hui une valeur de référence dans notre culture et notre économie.

Madagascar est reconnu comme un pays à potentialité aurifère appréciable. La production officielle d'or actuelle est trop basse pour apporter une quelconque part positive dans l'économie nationale car jusqu'à maintenant, l'exploitation de ce métal est effectuée de manière artisanale, les techniques de traitement sont archaïques et ne permettent pas d'optimiser la production.

Actuellement beaucoup des projets sont mis en place pour le développement de la filière. Dans ce sens, on a en pensé à une méthode de traitement applicable à des gisements aurifères à faibles teneurs inférieures à quelques grammes d'or par tonne. Il s'agit de la lixiviation. Notre étude s'intitule « Contribution à l'étude de l'extraction de l'or par lixiviation à partir des gisements aurifères à faibles teneurs : Cas minéral d'or de BETSIKA de KRAOMA ».

Ainsi, elle comprend trois parties :

- La première partie sera consacrée à une étude bibliographique concernant les différents techniques d'extraction de l'or, le minerais aurifère de Besiaka, la technique de lixiviation adoptée;
- La deuxième partie concerne les expérimentations au laboratoire : la méthodologie de travail, des essais expérimentaux et enfin l'évaluation du rendement du procédé.
- La troisième partie sera une pré-étude sur l'exploitation du gisement et ses impacts : les matériels et les personnels envisagés pour l'extraction, des approches environnementales et enfin ses coté positifs sur l'économie et sociale.

PARTIE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : BREF RAPPEL SUR LES GENERALITES SUR L'OR

I 1. Introduction

Dans le domaine de chimie physique, l'or de numéro atomique 79 est un métal dit métal noble à cause de ces diverses propriétés que l'on présentera.

I 2. Les principales propriétés physiques [8] [W11]

Nous présenterons sous forme de tableau les propriétés physiques intéressantes de l'or.

Tableau 1 : Propriétés physiques de l'or

Propriétés physiques	Caractéristiques
Ductilité	Extrême : - Avec 1 g d'or, on peut un fil long de 500 mètre par étirement ; - Battu à froid avec un maillet en bois il peut être aplati en feuilles très minces de 1/1000 mm d'épaisseur.
Broyabilité	A l'état pur il peut être pulvérisé en une poudre très fine et devient pratique insaisissable.
Densité	19,3
Pouvoir optique réfléchissant	Elevé (73- 85%) : les sommets de fusée sont recouverts de l'or pour les préserver des radiations intenses de chaleur engendrées par la friction avec l'air de l'atmosphère.
Conductivité électrique	Une couche mince d'or applique à un support métallique a une résistivité électrique plus élevée que couche épaisse de métal jaune.

I.3. Propriétés chimiques [12]

Inaltérabilité : l'or se distingue par sa résistance à la corrosion et à son inaltérabilité. Il est l'un des métaux moins actifs. Donc, il résiste très bien à l'oxydation, et c'est pour cette raison qu'on l'appelle : un métal noble.

Les principaux dissolvants de l'or :

L'eau régale (mélange de trois parties d'acide chlorhydrique et d'une partie d'acide nitrique) dissout l'or facilement. L'or peut être attaqué par une solution chaude préparée avec HNO_3 et H_2SO_4 .

Le mercure dissout et avec lequel il s'amalgame.

Tous les halogènes réagissent bien avec l'or :

- Le chlore est moins actif à sec, mais quand il est mouillé, même à haute température, il peut attaquer facilement l'or;
- L'iode réagit presque comme le chlore;
- Le fluor attaque seulement l'or à très haute température;
- Le brome est le dissolvant le plus actif de métal à la température normale .

L'HCN et les cyanures alcalins dissolvent l'or, et la présence d'agents oxydants peut intensifier l'attaque.

I.4. Bref aperçus des utilisations de l'or [1] [W2] [W11]

Quatre domaines d'activités socio-économiques sont les principaux utilisateurs de l'or pur :

Activité bancaires : Les thésaurisations bancaires nécessitent de l'or pour comprendre la valeur monétaire.

Activité technologique électronique : Fabrication des composants électroniques spéciaux de l'ordinateur ; des machines à laver, des téléviseurs et des fusées. Plus particulièrement les moteurs des fusées sont en alliages de l'or pour refléter la lumière. Dans le domaine de télécommunication les organes sensibles de l'équipement téléphonique sont en métaux précieux comme l'or.

Chapitre I : Bref rappel sur les généralités sur l'or

Activités socio-médicales : Les alliages d'or utilisés en dentisterie sont suffisamment résistant pour supporter la pression de la mastication, et inaltérables et biocompatibles (pas de réaction avec l'organisme humain).

Activité artistique et bijoutières et ornementales : Les orfèvres fabriqués par les bijoutiers et joailliers sont soit en or pur (24 carats) soit en alliages d'or :

- au Cuivre pour faire de l'or rouge ;
- au Cuivre et à l'Argent pour faire de l'or jaune ou de l'or rosé ;
- à l'Argent seul pour faire de l'or vert ;
- au Fer pour faire de l'or gris ;
- au Nickel pour faire de l'or blanc ;
- à l'Aluminium pour faire de l'or violet.

Nous présentons dans le tableau suivant la demande mondiale de ces principales activités.

Tableau 2 : Valeur des demandes d'or en tonne

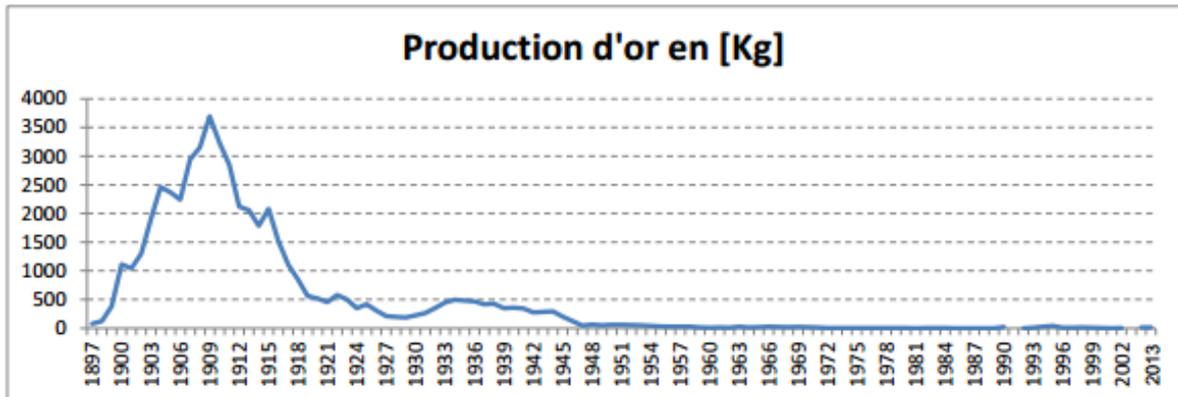
Demandes d'or (en tonne)						
Trimestre	Année 2012					Année 2013
	T1	T2	T3	T4	Total	
Bijouterie	490,8	420,8	462,1	521,7	1895,4	551
Technologie	105,8	103,3	103,1	96,2	407,4	102
Activités bancaire :						
Achat	115,2	161,4	110,2	146,4	533,2	109,2
Placement	395,8	284,1	422	423,9	1525,8	200,8
stockage lingot	342,5	281,1	282,2	335,8	1241,6	377,7
Total	853,5	726,6	816,4	906,1	3302,6	687,7

SOURCE: Thomson Reuters GFMS et world Gold Council

On a remarqué que les activités bancaires dominent la grande partie de l'utilisation de l'or.

I.5. L'exploitation de l'or à Madagascar [5]

La figure 1 suivante donne un aperçu récapitulatif de la production d'or à Madagascar pour la période 1897 à 2013. Le caractère actuel de la production et de la commercialisation est une production déclarée au-dessous de 10 Kg d'or par an, alors qu'une grande partie de la production actuelle passe dans un circuit informel de commercialisation.



SOURCE : [BESAIRIE H. L'or à Madagascar, géologique Madagascar, 1966]

Figure 1 : Récapitulation de la production d'or à Madagascar de 1897 à 2013

I.6. Les principales zones de ressources aurifères [4]

Nous présentons brièvement les sites aurifères connus à Madagascar dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Les principales zones de ressources aurifères

Lieu	Caractéristiques géologiques	production
Betsiaka	Champ de filons quartzo-barytiques encaissés dans les gneiss du socle et dans les grès de base du Permien, le long de contact socle sédimentaire.	De 1906 à 1934 : 7 285,8 kg
Tsaratanana	Série métamorphique Calco-Ferro-Magnésienne d'Andriamena et roches basiques associées.	Exploité aucune donnée officielle
Maevatanana	- Série métamorphique silico-alumineuse de l'Ikopa-Betsiboka. - Série métamorphique calco-Ferro-Magnésien d'Andriamena.	De 1901 à 1921 : 6 733kg
Betsiriry	Gneiss migmatiques du groupe de Miandrivazo.	De 1901 à 1968 : 2 623 kg
Itasy	Série gneissique silico-alumineuse de l'Itasy.	De 1901 à 1921 : 1 097 kg
Axe Ambositra Antananarivo	Presque tous les gîtes connus sont encaissés dans la série gneissique silicoalumineuse archéenne d'Ambatolampy.	De 1901 à 1921 : 1489 kg
Vohilava- Ampasary	Séries gneissiques silico-alumineuses à lentilles ultrabasiques des groupes archéens de l'Ampasary (formation de Betampona) et de Vohilava (au contact du voisinage avec le granite de Befody et les orthogneiss dioritiques de Masora, rapportés au soubassement Antongilien d'âge Catarchéen plus rarement à l'intérieur de ce dernier).	De 1901 à 1921 : 8 580 kg

Beforona	Formation métamorphique calco-Ferro-magnésiennes de l'Alaotra (Archéen) et roches basiques associées.	De 1901 à 1921 : 6 546 kg
Andrarona	Contact entre le granite Antongilien de Masoala et une série de schistes et quartzites.	De 1905 à 1920 : 276 kg
Vavatenina	Série métamorphique silico-alumineuse d'âge Archéen, envahie par de nombreux filonnets pegmatitiques. Exploitation des alluvions anciennes et actuelles uniquement.	Exploité aucune donnée officielle

SOURCE : [BESAIRIE H. « Documentation sur l'or », service géologie Madagascar, 1949]

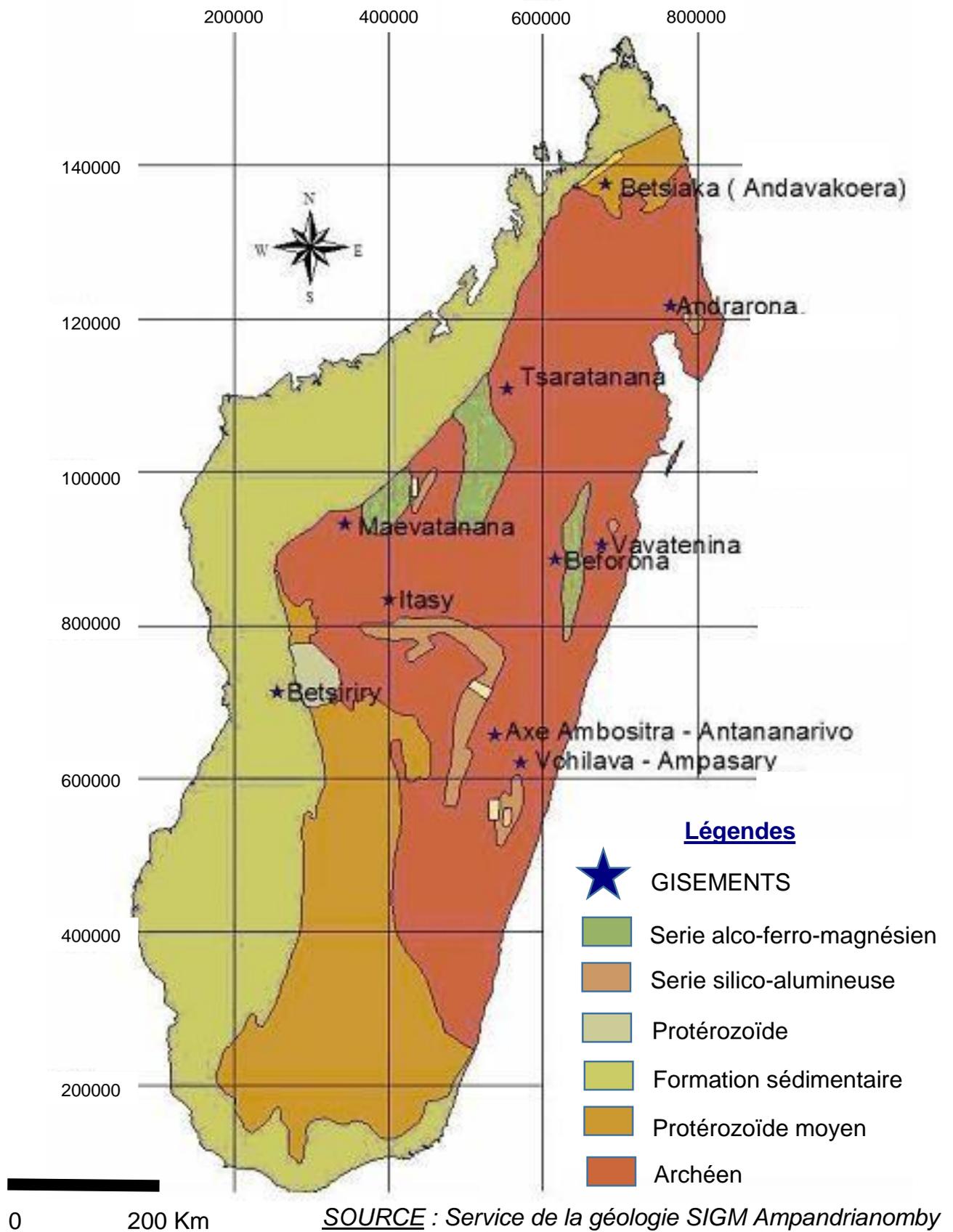


Figure 2 : Principale zone aurifère de Madagascar

CHAPITRE II: RAPPEL SUR LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXTRACTION D'OR

Autrefois, il a été plusieurs techniques d'extraction d'or. Il y a la technique gravimétrique, chimique et la flottation.

II.1. Technique gravimétrique

Parmi le plus employé, on a la batée, le sluice et la table à secousse

II.1.1. La batée [1]

La batée est une plate circulaire de 40 à 50 centimètres de diamètre, de quelques centimètres de profondeur, dont les bords se relèvent légèrement.



Photo 1 : La batée

❖ Utilisation technique

Le prospecteur verse une petite pelletée de terre dans la batée, ou s'en sert pour prélever son échantillon dans le fond du ruisseau. Le tenant légèrement inclinée, il lui imprime un mouvement de rotation. L'eau, agitée, soulève les particules les plus légères, alors que l'or, quatre à cinq fois plus dense, retombe rapidement vers le fond. De temps à autre, il faut secouer la batée de haut en bas, pour tasser les particules les plus lourdes au fond. Peu à peu, la batée se vide de l'eau, de la terre et du sable. Il ne reste plus au fond de la batée que les pépites, les paillettes et les graviers les plus gros.

Le travail à la batée se fait souvent avec de l'eau jusqu'aux chevilles ou aux genoux, dans les torrents de montagne, par tous les temps.

Ce procédé consomme peu d'eau, mais il est lent. Un orpailleur traite moins d'un mètre cube par journée de travail, et il faut un terrain riche pour que son utilisation soit rentable.

II.1.2. Le sluice [12] [W10]

❖ Présentation

Le sluice est un instrument de conception simple qui requiert beaucoup d'eau, et convient très bien pour les minéraux denses, donc n'exigeant pas une classification trop poussée (or, cassitérite, thorianite,...).

C'est un appareil statique qui doit permettre l'écoulement idéal d'un fluide composé d'eau, de sables et de graviers, en réalisant une séparation gravimétrique, la meilleure possible au moyen de pièges disposés à des endroits déterminés.

Le "sluice box" littéralement "boite à écluses" existe en diverses variantes, adaptées au terrain, à la teneur et à la nature de l'or qui s'y trouve.

C'est un couloir incliné (environ 10%) dont le fond est muni de rifles espacés et/ou le matériau est lavé par un rapide courant. Pour la prospection, on peut utiliser un sluice de 30 cm de large et de profondeur en éléments de 3,60 m, la Longueur peut varier de 4 – 60 m selon l'usage, on place en tête un débourbeur et une grille.



SOURCE : [SOLOFONIANA Hanitra F.]

Photo 2 : Exposition du sluice au FIER MADA 2008

❖ Action

Après débouillage et tamisage grossier, le sable arrive dans le sluice, il est retenu par les riffles mais par suite de l'arrivée d'autres matériaux, des vibrations et des tourbillons entraînent les sables les plus légers et seuls les plus lourds restent.

Les particules d'or sont piégées par des tasseaux disposés en longueur, en largeur, en quinconce, en forme de grille, selon la nature du terrain. Des toiles à sac ou des couvertures sont disposées au fond pour recueillir les paillettes et les pépites, et facilitent le nettoyage de l'appareil. Il faut que l'eau coule à la bonne vitesse, pas trop vite pour ne pas entraîner trop d'or, mais suffisamment pour éliminer les éléments indésirables.

Le nettoyage et la récupération des éléments lourds s'effectuent périodiquement. Les capacités sont de l'ordre de 5 à 30 tonnes / m² par 24 heures.

❖ Avantages de l'utilisation du sluice

- coût très bas;
- haute capacité pour le lavage du minerai alluvial;
- fabrication locale;
- ne nécessite pas de motorisation;
- manipulation facile;
- bonne récupération de l'or fin;
- ratio d'enrichissement élevé.

❖ Désavantages

- nécessite beaucoup de main d'œuvre;
- récupération moins importante pour les minerais sulfurés, dans les gisements primaires;
- opération discontinue.

II.2. Technique chimiques

Pour la technique chimique, on peut citer l'amalgamation et la cyanuration

II.2.1. L'amalgamation [1] [12]

La tension superficielle à l'interface or - Mercure, très inférieure à celle de l'eau avec l'or, permet un contact préférentiel et favorise la combinaison des deux métaux, qui forment alors un ensemble de composés métalliques appelé amalgame.

Il existe en fait toute une série d'alliages allant de $AuHg_2$ à Au_8Hg .

En fait, du point de vue du traitement, on peut observer un mélange comprenant :

- une solution liquide d'or dans le mercure (0,1% d'or);
- un ou plusieurs composés solides or - Mercure;
- des particules d'or natif solide, recouvertes et cimentées par les deux autres composants.

Les limites de l'amalgamation sont principalement les suivantes:

- elle ne concerne que l'or natif;
- cet or natif doit être bien libéré, sa surface propre et exempte de couche d'oxyde de fer ou de réactifs hydrophobes (graisses, réactifs de flottation);
- si l'or est trop fin, il peut avoir tendance à flotter à la surface de l'eau ou du mercure;
- la présence de certains sulfures, d'arsenic en particulier, plus ou moins solubles dans l'eau, peut provoquer des difficultés lors de l'amalgamation, en particulier la formation de gouttelettes ultra fines de mercure qui devient impossible à récupérer.

L'application de ces techniques sur les minerais tout-venant est aujourd'hui quasiment abandonnée à cause des dangers présentés par la manipulation du mercure, la part importante de main-d'œuvre qu'elles nécessitent et les facilités qu'elles offrent au vol de métal précieux. L'amalgamation est pratiquée sur les exploitations artisanales en Guyane, Brésil et Ghana.

La technique employée est généralement l'amalgamation en discontinu d'une charge de concentré, dans une sorte de broyeur.

Après séparation par gravimétrie et passage sur des plaques de cuivre, l'amalgame est pressé dans une peau de chamois pour éliminer le mercure résiduel, puis distillé vers 350° à 450°C. Le mercure condensé est recyclé. L'or restant en fond de cornue est envoyé à l'affinage

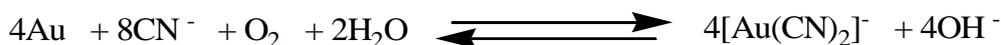
II.2.2. Cyanuration [1] [W1]

La cyanuration est la méthode de traitement des minerais d'or la plus largement utilisée.

Mise au point au début du siècle, elle a connu des améliorations continues tant au niveau du procédé que de sa mise en œuvre. C'est donc une méthode bien établie et simple, capable de traiter des minerais de type très divers moyennant certaines adaptations spécifiques.

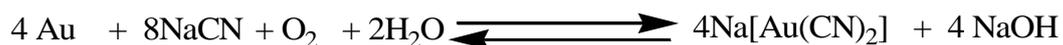
▪ Conditions générales de la cyanuration

La chimie de la cyanuration de l'or a été exposée et discutée par Finkelstein et par Dorr et Bosqui. L'équation globale généralement admise est :



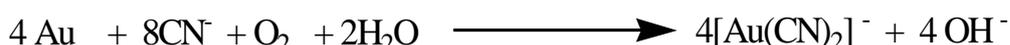
Cette équation met en évidence la nécessité de la présence d'oxygène pour que la réaction ait lieu. L'oxygène est fourni à la solution par un simple barbotage d'air.

Avec le cyanure de sodium on a la réaction suivante:



▪ Principe et processus

Le minerai broyé (< 0,1 mm) est traité par une solution diluée (0,5 g/l) de cyanure de sodium en milieu basique (pH > 10 pour éviter la libération de cyanure d'hydrogène (HCN) très toxique) et en présence de dioxygène :



Après traitement de 12 à 48 h, la solution contient quelques g d'or par m³. La consommation de NaCN est de 0,2 à 1 kg/t de minerai; La solution contenant le complexe aurocyanure peut être traitée par cémentation (procédé Merrill-Crowe, 40 % de la production mondiale) par du zinc.

L'or (Au) se dépose sur les grains de Zn, qui attaqués par H₂SO₄ libèrent l'or. Le métal obtenu (doré) contient jusqu'à 5 % d'impuretés métalliques. Actuellement, la fixation de l'or sur charbon actif est de plus en plus utilisée (40 % de la production mondiale). 1 t de charbon actif peut adsorber 70 kg d'or. La solution d'ions aurocyanures et la pulpe ne sont pas séparés et passent dans des cuves contenant le charbon actif. Le temps de contact charbon-pulpe est de l'ordre de 1 h, le temps de séjour du charbon de plusieurs jours. L'or est récupéré en traitant le charbon par une solution chaude (70°C) à 1 % de NaOH et 0,1 % de NaCN. La solution obtenue contient quelques g d'or par litre. Le charbon est recyclé après chauffage à 600-750°C, à l'abri de l'air. L'or est récupéré par électrolyse. Il se dépose sur une cathode en laine de Fer, puis fondu. L'or obtenu est de haute pureté.

La biolixiviation, par exemple avec thiobacillus Ferro-oxydants qui oxyde le Fer de la pyrite permet la libération de l'or et de rendre ainsi la cyanuration plus efficace.

La lixiviation en tas de minerais de faible teneur (moins de 1 g/t) utilisent le même principe de formation d'un complexe cyanuré. Le traitement qui dure de quelques semaines à plusieurs mois pour des rendements de 40 à 85 % a été utilisé, par exemple à Rouez, en France.

▪ Les limites de la cyanuration

- Temps de séjour et opération trop long ;
- Le rendement est fonction de la minéralogie de l'or;
- Les impuretés après traitements sont encore assez élevées

II.3. La flottation [1]

▪ **Présentation**

De gros progrès avaient été réalisés dans la flottation des sulfures quand ce nouveau procédé de lavage fut introduit dans la métallurgie de l'or, de plus en plus employé, il fait partie intégrante du traitement des minerais complexes ou réfractaires, intervenant comme procédé de concentration, comme procédé complémentaire de récupération.

▪ **Procédé de concentration**

La flottation remplace ici le lavage gravimétrique et assure la récupération de l'or libre et du métal associé aux sulfures habituels (pyrite, arsénopyrite et sulfures de Cuivre) ou combiné au tellure. Les concentrés obtenus seront, suivant les cas :

- cyanurés directement après rebroyage (suivi ou non d'une agitation préliminaire) ;
- traités par fusion, la métallurgie de l'or et de l'Argent est alors liée à celle du métal commun prédominant (Cu par exemple).

○ **Procédé complémentaire de récupération**

C'est un procédé de récupération de l'or fin non libéré ou existant à l'état de tellures et échappant à l'amalgamation, la concentration gravimétrique ou à la cyanuration.

Les concentrations obtenus peuvent être fondus ou recyanurés après grillage et lixiviation à l'eau ou en milieu légèrement acide.

○ **Procédé d'élimination sélective**

C'est un procédé d'élimination sélective d'espèce cyanicides nocives ou réfractaires à la cyanuration (stibine, graphite, sulfures de Cuivre). Deux moyens, utilisés en particulier sur certains minerais aurifères arsenicaux :

- **Flottation sélective**

a) Antimoine : le minerai, qui contient de 2 à 5 % d'Antimoine est broyé avec du cyanure de sodium et du carbonate de sodium, puis flotté avec un écumant pour séparer le sulfure d'antimoine Sb_2S_3 qui fait l'objet d'un traitement spécial. On réactive ensuite le mispickel et la pyrite avec le sulfate de Cuivre $CuSO_4$ et on récupère ces sulfures avec les réactifs usuels, dans un deuxième concentré ou le rejet étant traité par cyanuration.

b) Cuivre: les minerais Cuivreux peuvent être séparés comme la stibine, avec l'appoint d'un réactif collecteur du type xanthate ou aeroflat : ils sont envoyés à la fusion, le deuxième concentré ou le rejet traité par cyanuration.

- **Dépression (carbone)**

L'entraînement du carbone dans les concentrés à cyanurer peut être considérablement réduit en conditionnant la pulpe broyée avec de l'amidon ou un réactifs convenable avant l'introduction des collecteurs et écumants habituels utilisés pour la flottation des sulfures et arséniosulfures aurifères.

- **Flottation de l'or libre**

L'or libre ne flotte pas aussi rapidement que la plupart des sulfures et la durée du traitement devra être d'autant plus longue que le pourcentage de métal libéré est plus élevé. Le sulfate de Cuivre accélère sa flottation, en même temps que celle de la pyrite et du mispickel. En général l'opération est faite en pulpe peu alcaline (pH : 7,0 à 7,5), en utilisant le carbonate de sodium comme régulateur d'alcalinité.

La combinaison de réactifs comprend généralement:

- un aeroflat liquide (20 à 100 g/t)
- un xanthate d'alcool supérieur (10 à 30 g/t)
- un dithiophosphate (10 à 20 g/t)
- de l'huile de pin (5 à 20 g/t)
- du sulfate de Cuivre (50 à 150 g/t)

○ **Avantages**

- Elle peut être utilisée pour beaucoup de minéraux ;
- Bon pour l'or fin et les minéraux sulfurés ;
- Peut produire une variété de produits.

○ **Inconvénients**

- Besoins de pulvérisation très poussée;
- Les réactifs sont partiellement dangereux dans la manipulation et pour l'environnement ;
- Coûts relativement élevés des réactifs ;
- Processus assez compliqué ;
- Réactifs difficilement à trouver;
- Difficulté du recyclage de l'eau.

CHAPITRE III : ETUDE DE MINERAI A FAIBLE TENEUR : CAS BETSIKA

III.1. Généralité sur la zone d'étude

III.1.1. bref historique de l'or de Betsiaka [7]

- Décembre 1905 : découvert par Mortages dans les alluvions de Betsiaka.
- Des mines à ciel ouverte souterraine historique datant de 1906 à 1941 puis à nouveau de 1960 à 1970.
- Février 1911 : création d'une société anonyme de capital 5 000 000 Franc Français par Mortages et Grignon.
- 1934 : utilisation des machines mécaniques légères.
- 1937 : partenariat de SMOA et NAVILE FORESTER pour la concession de Betsiaka pendant 12 ans.
- 1939 : Départ de NAVILE FORESTER suite du début de la deuxième guerre.

Totale de production entre ces périodes : 1906 et 1907 : 700 kg

Après 1909 : 7 287,731 kg

- 1984-1991 : travaux d'exploration du BRGM.
- Depuis 1991 : l'exploitation artisanale courante.
- En 2006 : étude de reconnaissance préalable et compilation des données disponibles effectué par SRK exploitation (UK).
- Fin 2007 : rapport technique indépendant conforme aux standards minier NI 43-101 sur le projet aurifère Betsiaka par Scott/Wilson (RPA).
- 2008 : travaux d'exploitation par le consortium ARA MINERALS et KRAOMA.
- 2010-2014 : travaux d'exploitation effectuée par KRAOMA.

III.1.2. A propos de la société KRAOMA

Entre 1965 et 1969 la Compagnie Minière d'Andriamena (COMINA) est créée. En 1976, COMINA est nationalisée et prend le nom de KRAOMA (KRAOMITA MALAGASY). Jusqu'en 1981, elle procède à la mise en place progressive d'un encadrement malgache.

La Société KRAOMA est la seule et la première exploitante et exportatrice de chrome à Madagascar. Elle est une société anonyme au capital de 3 231 560 000 Ar et qui utilise un personnel de 400 effectifs, Son siège général se situe à Ampefiloha Antananarivo (101).

Cette Société a obtenu un permis de recherche et d'exploitation (PRE) sur d'autres substances minières telles que le platine, l'or, le Béryllium ... dans divers régions incluant la région de DIANA. , d'où le projet d'exploitation de l'or à Betsiaka.

III.1.3. Localisation de la zone d'étude [2]

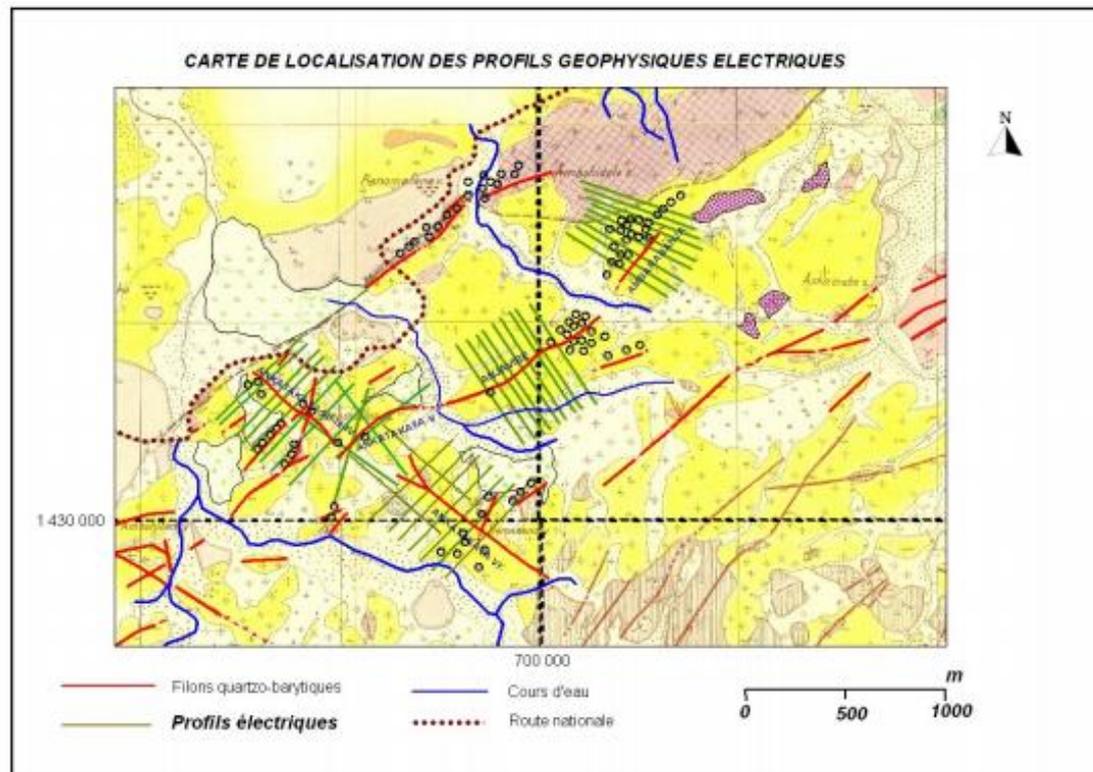
Dans la présente étude, les zones d'étude pour notre prélèvement des échantillons ont été localisés dans les secteurs Est Ambilobe et sud Andrafialava. Ces secteurs sont situés au Nord Est du périmètre sur une surface de 12,5 km² environ, et entre les coordonnées :

X : 710000 à 715000

Y : 1435000 à 1437500

Ces zones relativement vierges n'ont pas été travaillées pendant les travaux d'exploration effectués par le BRGM (entre 1984 et 1991) , mais on constate sur place des exploitations artisanales d'orpailleurs.

Dans ces zones, le gisement aurifère se présente sous forme de filons de nature quarts-barytique comme montre la figure ci- après :

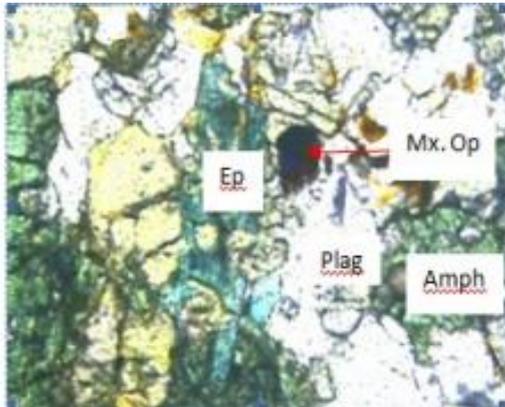


SOURCE : [ANDRIANANDRAINA Sitraka]

Figure 3 : Carte de localisation des profils géophysiques de la zone

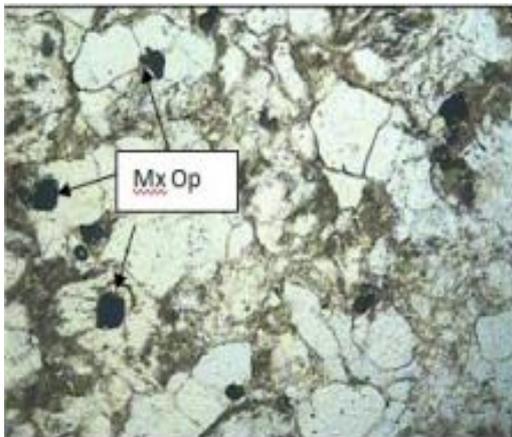
III.2. Problématique sur la minéralogie de minerai [2]

Lors des analyses micro pétrographiques sur des échantillons de ces quartzo-barytiques, des lames minces ont été préparées et analysées au Laboratoire des Mines à Ampandrianomby afin de déterminer la composition minéralogique de ces échantillons. En voici quelques prises de vue sur les lames n°1 et 2 :



SOURCE : [ANDRIANANDRAINA Sitraka]

Figure 4: Lame mince n°1 en lumière Naturelle



SOURCE : [ANDRIANANDRAINA Sitraka]

Figure 5 : Lame mince n°2 en lumière polarisé

Le tableau ci-après résume les résultats des observations faites sur toutes les lames minces :

Tableau 4 : Résultats minéralogique et texture

N° des échantillons	Composition minéralogique	Texture
1	Amphibole (hornblende) 50 à 55% Pyroxène 25 à 30 % Plagioclase 10 % Oxydes et métaux opaques } Hydroxydes des rouilles } 10 % Quartz }	Granoblastiques
2	Quartz 50 % Feldspath alcalin (orthose) } Plagioclase (Andésine) } 45 % Métaux opaques 5 %	Microgrenue
3	Quartz 50 % Feldspath alcalin (orthose) } Plagioclase (Andésine et/ou oligolase) } 30 % Métaux opaques } Amphibole (hornblende) } 20 % Sphère }	Granoblastique hétérogranulaire

SOURCE : ANDRIANANDRAINA Sitraka

Les métaux se présentent sous forme de minéraux opaques sur les lames minces. Sur les lames n°1 et 2, on observe des métaux qui peuvent être de l'or, de la pyrite (pyrite aurifère) ou de la galène.

Dans la lame 2, les métaux se présentent en petits grains inférieurs à 0,1 mm entourés des minéraux de quartz.

Les métaux opaques ne représentent que 5% dans la composition minéralogique des échantillons. Alors, on peut les classer comme minéraux « pauvre » en général.

Les analyses minéralogiques au Laboratoire des Mines à Ampandrianomby ont montré qu'il s'agit de l'or encastré dans des sulfures minéraux, soit sous forme

métallique ou bien combinées chimiquement à la structure cristalline des sulfures en très petite dimension.

Alors, la minéralisation aurifère de Betsiaka, l'or est souvent invisible, elle est associée aux minerais sulfurés (minerais sulfurés aurifères réfractaires) : pyrite

III.3. Solution

Nous avons pu constater que les méthodes gravimétriques ne permettent pas de récupérer que la partie de l'or visible contenu dans le minerai. De ce fait, on doit trouver une autre méthode technique pour récupérer la partie invisible qui n'est pas du tout récupérée.

Et comme l'utilisation de cyanure exige des installations plus perfectionnées et onéreuses et provoque des risques sur les manipulateurs et l'environnement.

Mais d'après l'analyse des résultats des expériences antérieures faites dans le programme de la société KRAOMA concernant l'utilisation du procédé de lixiviation par un agent blanchissant à base d'hypochlorite (ClO^-) nous nous intéressons à l'utilisation de mélange d'acide chlorhydrique et de l'hypochlorite de sodium comme agent lixiviant. Le traitement se fait à basse température et les effluents liquides sont des composés chimiques faciles à retraiter et moins toxiques.

Vue de la minéralogie de l'or, pour augmenter le taux de récupération, il faut libérer l'or de la matrice par la dégradation totale des sulfures porteurs pour rendre l'or facilement récupérable par lixiviation. C'est pour cela, le traitement exige un broyage pour atteindre le diamètre de libération de l'or.

CHAPITRE IV : RAPPELS SUR LA TECHNIQUE DE LIXIVIATION CHIMIQUE

IV.1. Lixiviation [W4]

IV.1.1. Définition

C'est l'une des opérations d'hydrométallurgie, elle consiste à dissoudre le maximum (en nombre et quantité) d'éléments valorisables en entraînant le minimum d'éléments gênants.

IV.1.2. Type :

IV.1.2.1. Lixiviation en tas :

La lixiviation en tas (en anglais *heap leaching*) est une technique particulière de lixiviation, très ancienne de traitement du minerai reposant sur une série de réactions chimiques visant à absorber spécifiquement la substance économique à extraire depuis la gangue la contenant, puis à la relarguer une fois séparée des autres constituants sans valeurs.

Cette technique consiste à concasser la gangue (stérile associé à la substance économique), puis à la stocker en tas sur des aires étanchées. Ces tas peuvent atteindre plus de 100 m de haut. Ensuite une solution capable de dissoudre la substance économique est répandue au sommet du tas par un système de goutte à goutte. Au cours de sa percolation dans le tas, la solution se charge en substance économique. Pour finir, la solution enrichie est récupérée à la base du tas. Cette lixiviation enrichie est ensuite traitée dans l'unité d'enrichissement afin de concentrer la substance économique.

L'aire de lixiviation (*leach pad*) est la zone sur laquelle le tas est édifié. Cette structure plane doit assurer l'isolation du tas vis-à-vis de l'environnement (éviter la contamination) et doit favoriser la récupération du lixiviat enrichi.

IV.1.2.2. Lixiviation in situ :

Le principe est la même que celui du précédent mais le traitement s'effectue à l'intérieur de la mine, on peut trouver dans le cas des minerais pauvres, par exemple pour les gisements d'oxyde de cuivre.

IV.2. Etude de la réaction chimique lors de la lixiviation

Dans notre cas, il s'agit une réaction d'oxydo-réduction entre le dichlore et l'or lors de la lixiviation. Etudions alors dans la littérature les critères qui vérifient notre travail.

IV.2.1. Capacité oxydante du dichlore sur l'or :

On a déjà vu dans le paragraphe antérieur [propriété chimique de l'or] que le dichlore peut attaquer l'or.

Le tableau ci-après illustre le potentiel redox de quelques couples incluant le dichlore et l'or.

Tableau 5 : Exemples de potentiel redox de quelques couples :

Oxydant	est réduit en → ← est oxydé en	Réducteur	Potentiel d'oxydo-réduction [V]
<i>(Fortement oxydant)</i>			
F ₂		F ⁻	+ 2,87
MnO ₄ ⁻ (milieu acide)		Mn ⁺⁺	+ 1,49
Au ⁺⁺⁺		Au	+ 1,42
Cl ₂		Cl ⁻	+ 1,36
Cr ₂ O ₇ ²⁻ (milieu acide)		Cr ⁺⁺⁺	+ 1,33
O ₂ (milieu acide)		H ₂ O	+ 1,23
NO ₃ ⁻ (milieu acide)		NO	+ 0,96
ClO ⁻ (ex: eau de Javel)		Cl ⁻	+ 0,89
Ag ⁺		Ag	+ 0,80
Fe ⁺⁺⁺		Fe ⁺⁺	+ 0,77
I ₂		I ⁻	+ 0,53
Cu ⁺⁺		Cu	+ 0,34
SO ₄ ²⁻		H ₂ SO ₃	+ 0,20
H ⁺		H ₂	0 (convention)
Fe ⁺⁺		Fe	- 0,41
Zn ⁺⁺		Zn	- 0,76
Mg ⁺⁺		Mg	- 2,37
Na ⁺		Na	- 2,71
		<i>(Fortement réducteur)</i>	

On a trouvé que le potentiel d'oxydo-réduction du couple Cl₂/Cl est presque légèrement inférieure à celui du couple Au/Au³⁺. Thermodynamiquement la réaction est très limitée.

Règle : pour qu'il y a réaction d'oxydo-réduction, l'oxydant doit se trouver au-dessus du réducteur dans l'échelle (la réaction est possible spontanément)

Mais elle peut, par contre, être forcée par électrolyse ou autre phénomène chimique comme le cas de l'eau régale sur l'or.

IV.2.2. Comportement de l'eau de javel dans le milieu

Notons que l'eau de javel est une solution aqueuse de l'hypochlorite de sodium. On verra détaillé en plus dans l'annexe mais pour l'instant, on parlant son comportement vis-à-vis du pH dans ce paragraphe.

Les figures 6 à 8 illustrent l'influence du pH sur la constitution du chlore actif contenu dans l'eau Javel, ce chlore étant composé :

- soit de chlore dissous (Cl_2) et d'acide hypochloreux (HOCl),
- soit d'ions hypochlorites (ClO^-) et d'acide hypochloreux.

En superposant les graphes 6 et 7 on obtient le graphe 8.

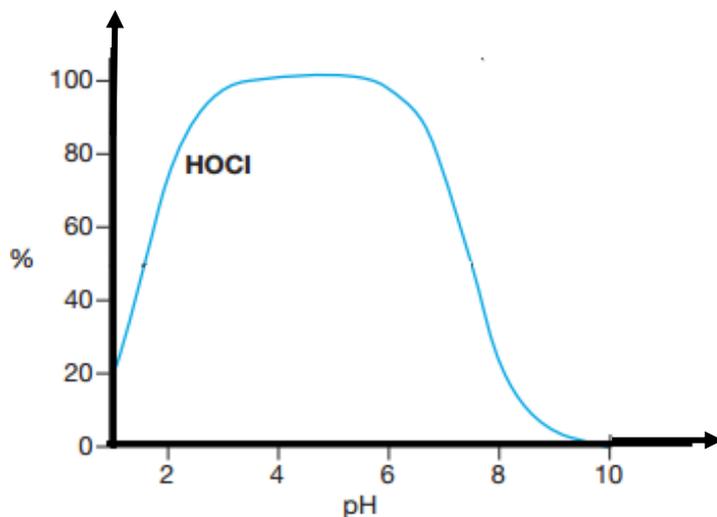


Figure 6 : Graphe du teneur en de l'acide hypochloreux en % suivant pH

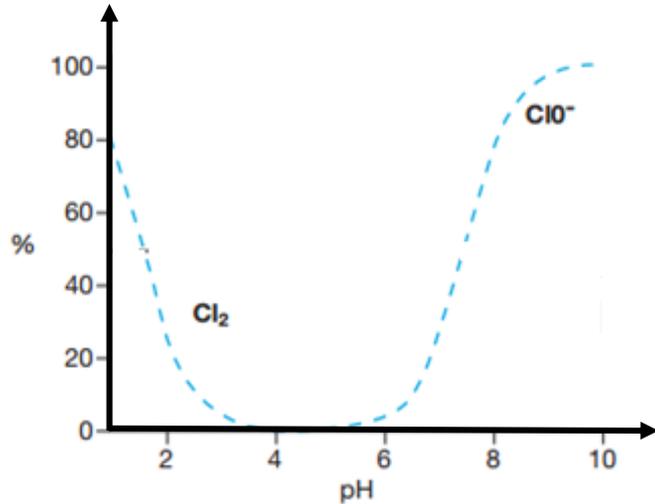


Figure 7 : Graphe du teneur en Cl₂ dissous et des ions ClO⁻ en % suivant pH

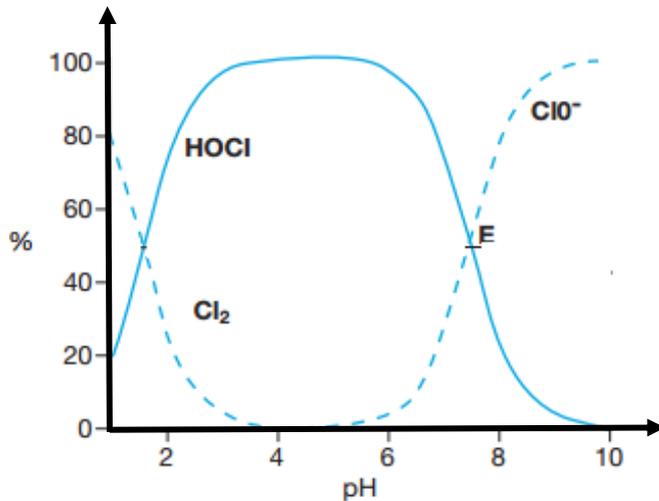


Figure 8 : Graphe de la composition de l'eau de javel suivant pH

La figure 6 indique les quantités d'acide hypochloreux présent dans une eau de Javel en fonction des valeurs de pH.

On constate que pratiquement entre les valeurs de pH = 4 et pH = 6, tout le chlore est sous forme d'acide hypochloreux HOCl.

La figure 7 représente les concentrations en chlore dissous et en ions hypochlorites en fonction des valeurs de pH.

On constate qu'aux valeurs de pH supérieures à 5, l'ionisation de l'hypochlorite va croissante pour être totale aux valeurs supérieures à 9. A cette valeur, tout le chlore est sous la forme d'ions hypochlorites (ClO⁻) :



Aux valeurs de pH acide inférieures à 4, le chlore dissous (Cl_2) devient la forme prédominante du "chlore actif libre", soit :



On profite de cette instabilité de l'eau de Javel due à la valeur du pH du milieu où elle est utilisée. Ici, dans ce travail l'acide chlorhydrique sert à acidifier le milieu pour que l'eau de javel libère d'autant plus de dichlore dissous.

Voici un diagramme illustrant l'influence du pH sur le potentiel red/ox de l'eau de javel et quelques métaux.

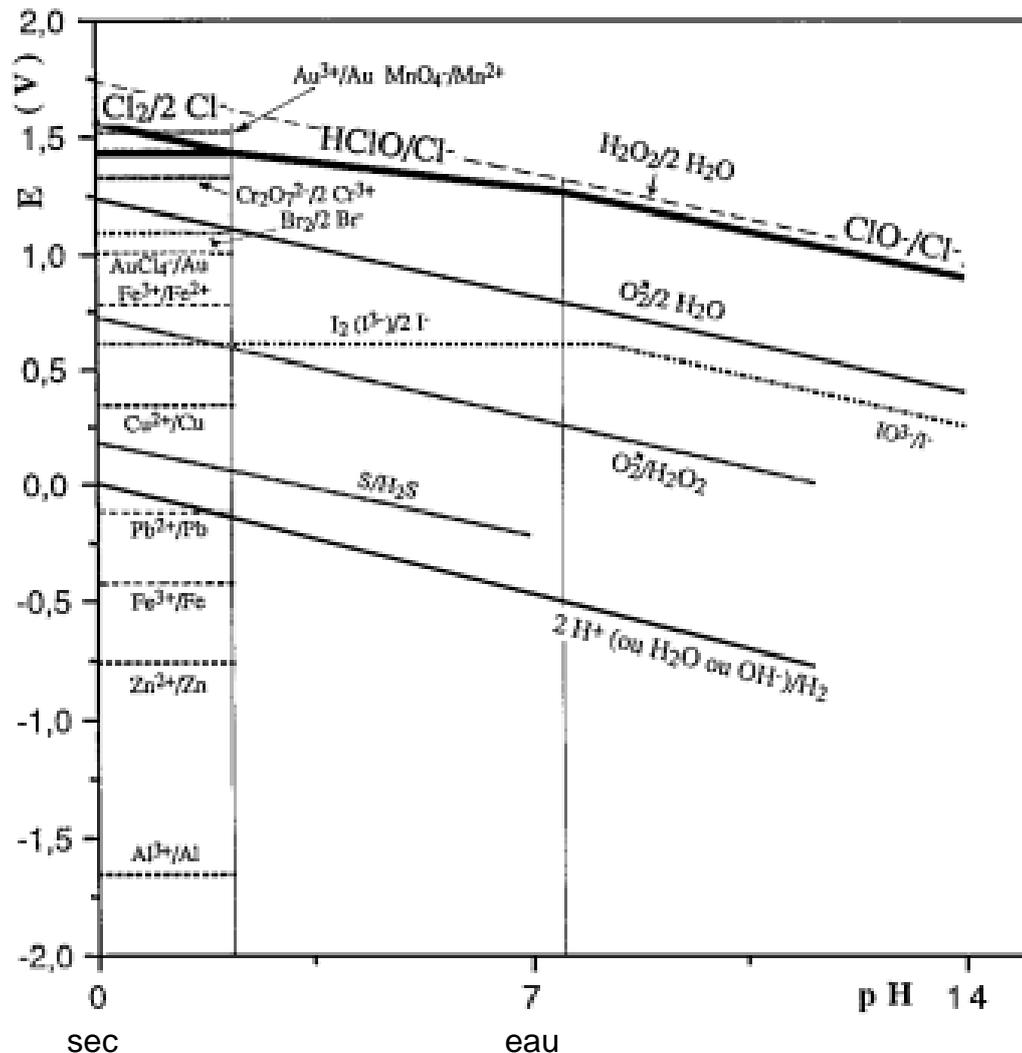


Figure 9 : Diagramme $E = f(\text{pH})$ de l'eau de javel et quelques métaux

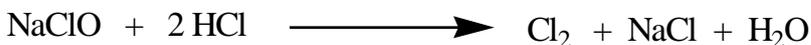
Dans ce diagramme, le potentiel red-ox de l'eau de javel diminue en fonction du pH tandis que pour l'or, son potentiel reste constant quel que soit le pH. Notre travail doit alors dans l'intervalle de pH où la courbe de deux couples est confondue.

IV.2.3. Action de l'acide chlorhydrique :

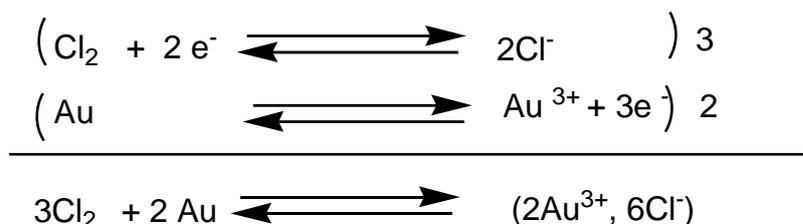
L'acide chlorhydrique sert non seulement d'acidifier le milieu mais aussi de fournir un excès en ion Cl^- pour que la formation du chlorure d'or soit totale.

Réactions chimiques envisagées

Entre les réactifs (1) :



Oxydo-reduction (2) :



Un excès de Cl^- (fournit par HCl) est nécessaire pour que Au^{3+} se transforme totalement en AuCl_3 tôt qu'il est formé.



IV.3. Facteurs influant la chloration de l'or

Plusieurs facteurs interviennent dans la réaction de chloration de l'or. Étant donné l'acide chlorhydrique et l'eau de javel sont tous les deux essentiels à la réaction, leurs concentrations ou le rapport de leurs concentrations sont le facteur que nous avons étudié dans un premier temps. En lien avec les deux premiers facteurs mentionnés dans les paragraphes précédents, le pH du milieu réactionnel s'ajoute l'agitation et à la surface de contact entre les réactifs et l'or, de même quel comme facteurs importants.

IV.3.1. Concentrations de HCl et de l'eau de javel

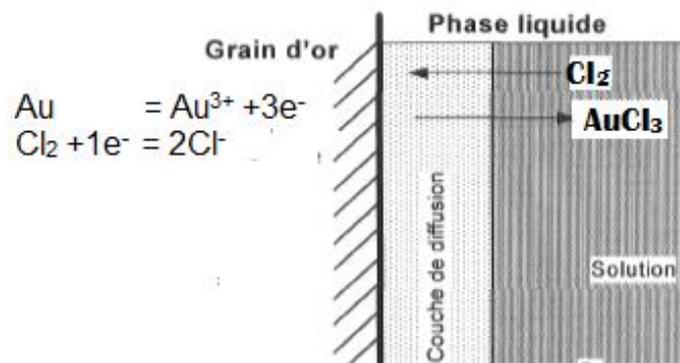
L'acide chlorhydrique et l'eau de javel sont les réactifs stratégiques pour la mise en solution de l'or.

L'acide chlorhydrique favorise l'oxydation de l'or par transformation de javel en Cl_2 selon la réaction (1) et le gaz dichlore Cl_2 oxyde l'or pour donner une solution de chlorure d'or (2). La lixiviation en absence de l'un de ces deux réactifs n'est pas possible ou très limitée.

Une analyse complète des phénomènes implique de faire intervenir 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 chloration de l'or présenté à la figure 10. Un grain d'or plongé dans une solution de javel en présence d'acide est le site d'une réaction électrochimique qui libère l'ion d'or, qui est immédiatement complexé à la surface par les ions chlorures.

Deux phénomènes sont par conséquent stratégiques pour la dissolution de l'or:

- Le transport des réactifs vers les sites réactionnels et des produits vers la solution;
- La réaction d'oxydo-réduction de l'or avec le dichlore.



SOURCE : [M.FARGEON, technologie des métaux précieux, MASSON, 1992]

Figure 10 : Mécanisme de chloration de l'or

IV.3.2. Le pH :

Le dichlore est l'élément essentiel à la mise en solution de l'or. Il est ajouté sous forme d'hypochlorite de sodium (NaClO).

Lorsque l'eau de javel est mise en solution, des équilibres s'établissent entre l'ion hypochlorite, l'acide hypochloreux et le dichlore. C'est le pH qui intervient sur l'équilibre entre les trois constituants, selon le diagramme de la figure 8.

À un pH inférieur à 5, l'équilibre se déplace pour le dichlore soit prédominant,

Ce qui explique pourquoi les réacteurs de lixiviation d'or sont toujours opérés à pH très acide.

Le pH est ajusté par ajout de l'acide chlorhydrique pour éviter à la formation des produits imprévisibles dans le cas d'utilisation d'autre acide. C'est pour tout ça que le rapport entre eau de javel et acide devient un facteur étudié dans cet œuvre.

IV.3.3. L'agitation

L'agitation est un facteur important pour la dissolution de l'or. Des facteurs entrent en considération dans l'agitation : premièrement, les particules dans la cuve doivent être maintenues en suspension pour éviter la sédimentation et une perte de volume de réaction. Deuxièmement, le choix des conditions d'agitation doit favoriser un maximum d'échanges par diffusion entre la solution et la surface des particules.

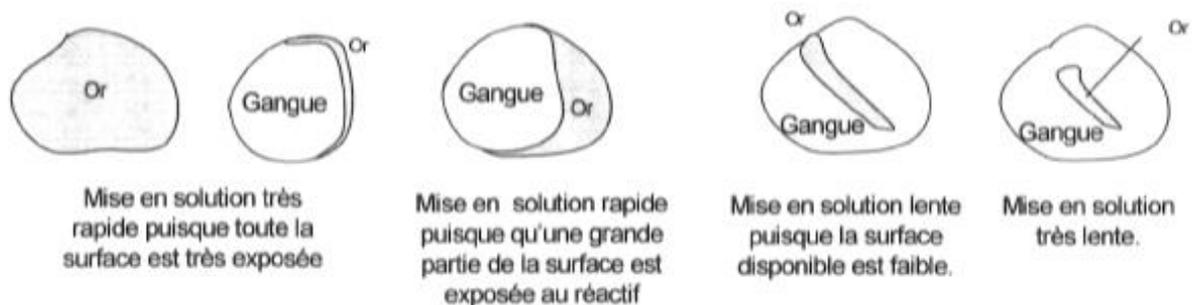
Considérant aussi le fait que la réaction implique trois phases: gaz, solides et liquide, l'agitation doit être turbulente.

De façon générale, la vitesse de dissolution augmente avec la vitesse d'agitation ce qui confirme que la composante de diffusion est importante pour la mise en solution de l'or.

Dans le cadre du projet, l'agitation n'est pas une variable étudiée explicitement. L'agitation se fait périodiquement et manuellement pour ne pas observer de sédimentation.

IV.3.4. La surface de contact

La surface de contact entre l'or et les réactifs affecte la vitesse de la réaction et le niveau de mise en solution. La vitesse de mise en solution de l'or est directement proportionnelle à l'augmentation de la surface réactive et inversement proportionnelle à la taille des particules. Ainsi un gramme de poudre d'or passe plus rapidement en solution qu'une pépite d'un gramme. Dans le cas de la lixiviation d'un minerai, la situation est un peu différente puisque la dimension des particules est conditionnée par le broyage.



SOURCE : [M.FARGEON, *technologie des métaux précieux*, MASSON, 1992]

Figure 11 : Surface de contact et dimension de particules

CONCLUSION PARTIELLE

Nous avons vu dans cette partie, les principales caractéristiques physico-chimiques de l'or qui rendent ce métal au grade des métaux nobles. Grâce à ces caractéristiques, on a vu qu'il est très demandé dans des divers activités mais la production de l'exploitation à Madagascar est encore très faible face à ces demandes.

Comme plusieurs techniques pouvant appliquer pour l'extraction de l'or telle la technique gravimétrique, chimique et la flottation. Nous avons choisi un procédé chimique appelé lixiviation. Cette technique utilise un mélange d'acide chlorhydrique et de l'eau de javel approprié à l'extraction de l'or du minerai à faible teneur comme le cas de Betsiaka.

PARTIE II: PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V : OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

Ce présent chapitre sera focalisé sur les objectifs à atteindre durant la manipulation effectuée au laboratoire en décrivant un simple plan d'élaboration applicable au laboratoire.

V.1. Objectifs

Notre minerai mis en question comporte des matières solubles, une quantité en or infime et une grande partie des matières minérales fortement insolubles.

Les objectifs de notre étude expérimentale seront

- ✓ Tout d'abord d'extraire cette partie solubilisée par l'acide chlorhydrique
- ✓ Puis de solubiliser le précieux métal par un mélange d'acide chlorhydrique et de l'hypochlorite de sodium. On aura une solution de chlorure d'or à base Au^{3+}
- ✓ D'avoir un métal d'or à partir de la solution d'or obtenu

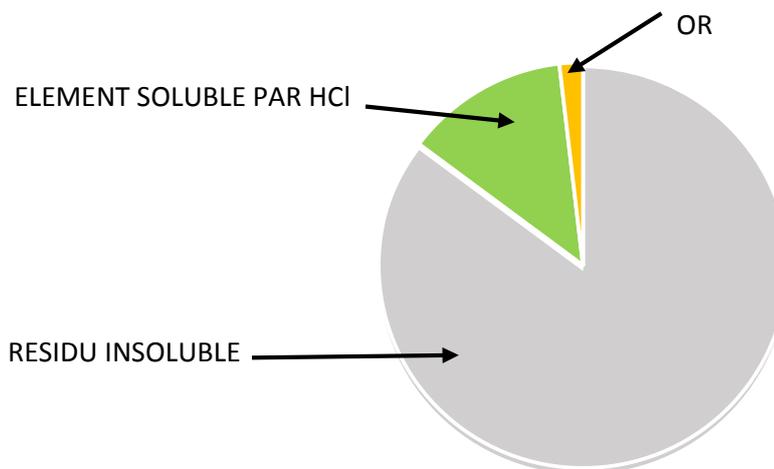


Figure 12 : Constituants généraux du minerai

Et c'est ainsi le but final de cette partie est d'évaluer le rendement d'extraction de l'or du minerai à faible teneur d'or comme le cas de celui de Betsiaka.

V.2. Description du procédé proposé :

Pour atteindre ces objectifs, notre méthodologie de travail expérimental sera basée sur :

- L'élaboration d'un plan de processus d'extraction, simple et facile à réaliser au laboratoire.

- Suivant ce plan, nous procéderons à des essais expérimentaux et détermination des paramètres susceptibles d'obtenir une optimisation des rendements de chaque étape de ce plan.

Notre procédé expérimental comporte plusieurs étapes :

- Le broyage du minerai brut
- Le lavage avec l'HCl pour solubilisation et élimination des impuretés
- La lixiviation de l'or dans le résidu solide de lavage
- L'adsorption de l'or lixivié au charbon actif
- L'élution ou désorption de l'or adsorbé à la soude
- La réduction des ions Au^{3+} obtenus

Flow-sheet du procédé :

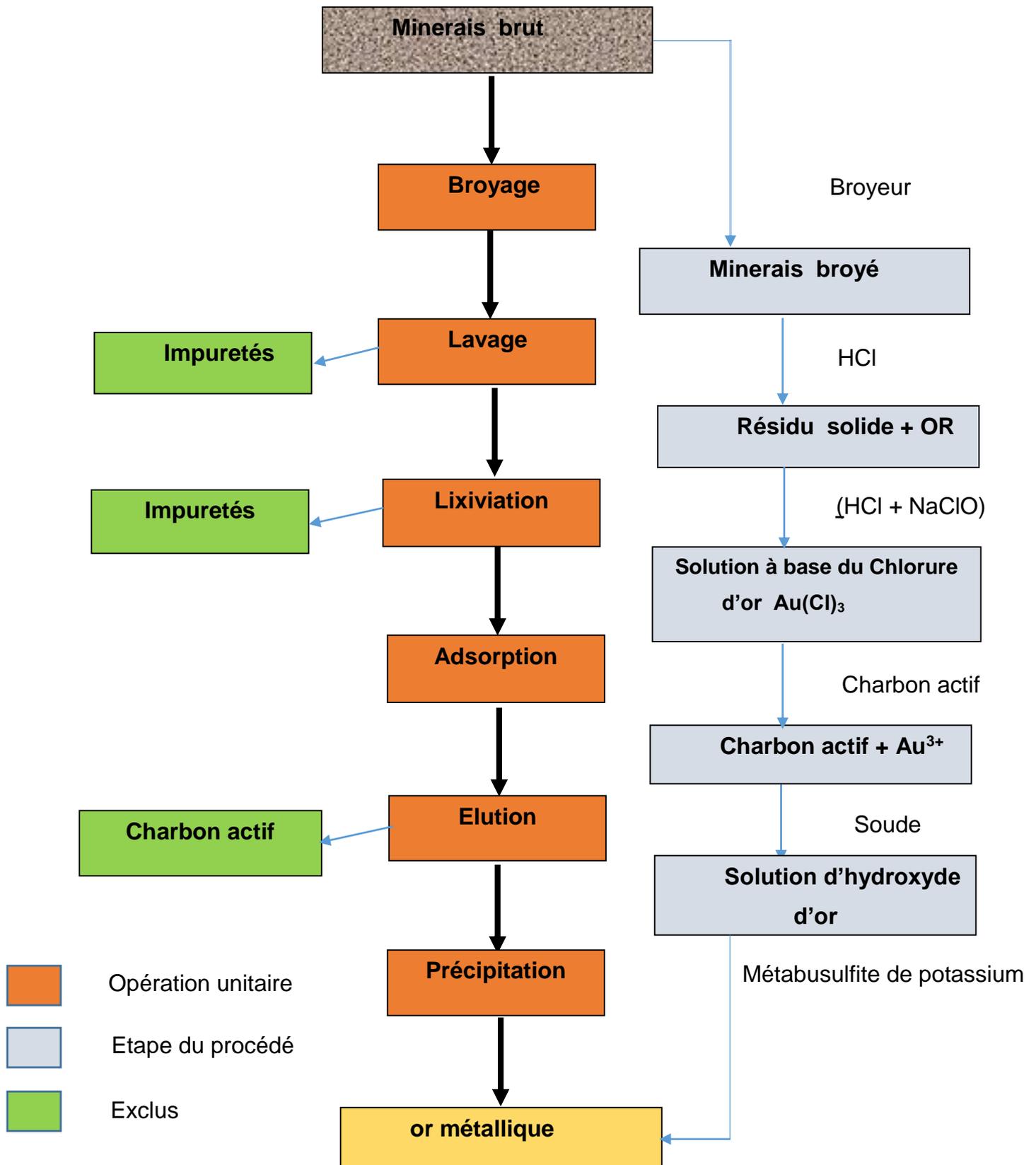


Figure 13 : Flow-sheet du procédé proposé

V.3. Les essais expérimentaux effectués

Suivant le flow-sheet du procédé expérimental présenté dans le paragraphe précédent, notre méthodologie de travail sera axée sur la réalisation des essais expérimentaux touchant les quatre volets de ce procédé expérimental à savoir :

a) Essais de broyage et d'analyse granulométrique sur le minerai brut pour la détermination de diamètre de libération de l'or.

b) Essais de lavage avec de l'acide chlorhydrique des minerais broyés afin de trouver la valeur de concentration d'HCl utilisée.

c) Essais de lixiviation pour connaître les paramètres opératoires de dissolution de l'or aboutissant à une extraction optimale dans la masse de minerai brute. Dans cette partie de notre travail expérimental, nous procéderons d'abord sur de l'or pur (en paillette) et à partir de l'analyse des résultats obtenus, nous passons aux essais expérimentaux sur le minerai brut.

d) Essais d'adsorption des ions Au^{3+} en utilisant comme adsorbant le charbon actif pour l'élimination des impuretés résiduelles et transformation de ions Au^{3+} en Au métal

Nous notons à signaler qu'au cours de cette étude expérimentale, nous procédons toujours une analyse de l'or avant et après chaque essai expérimentale afin de déduire la performance de chaque étape d'extraction réalisée (lavage- lixiviation- récupération par adsorption par charbon actif – réduction en Au métal) .Cette analyse est réalisée par spectrophotométrie UV dans le laboratoire de Génie chimique .Tous les essais expérimentaux sont aussi effectués dans ce laboratoire.

V.4. Méthodes d'analyse

V.4.1. Méthode d'analyse de l'or

V.4.1.1. Protocole d'étalonnage de l'appareil

Réactifs :

Eau régale: mélange de un volume de HNO_3 concentré avec trois volume de de HCl concentré.

Solution KCl 1% (1 g de KCl dans 100ml d'eau distillée).

Mode opératoire :

Préparation de la solution mère: dissoudre complètement 5mg d'or métallique dans un bécher contenant de 20ml d'eau régale.

Verser dans fiole 1Litre.

Ramener la quantité à 1Litre avec de l'eau distillée.

Courbe d'étalonnage :

Prélever à l'aide d'une pipette graduée et mettre dans des fioles référencées, de différents volumes de la solution mère:

Volume prélevé (ml)	0	1	2	4	6	8
Masse de l'or contenu (mg)	0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04
DO	0	0,0191	0,0533	0,0857	0,1388	0,1832

Ajouter dans chaque fiole 4ml de solution de KCl 1%

Laisser évaporer sur une plaque chauffante

Reprendre avec 100ml de HCl dilué

Agiter pour avoir une solution limpide

Mesurer au spectrophotomètre réglé à $\lambda = 464\text{nm}$ la densité optique de solution d'or

Tracer le courbe DO en fonction de la concentration

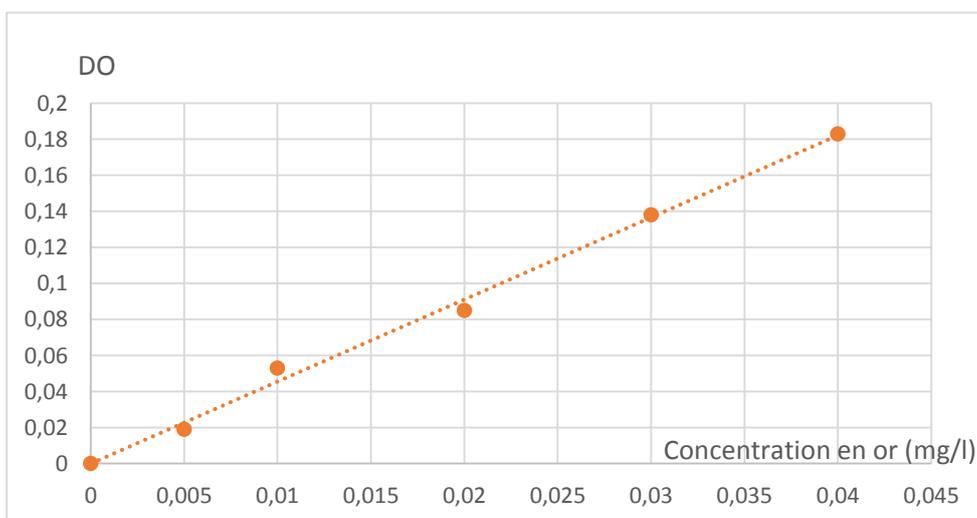


Figure 14 : Tracé de la courbe d'étalonnage pour l'or

Après avoir tracé la courbe de tendance, on obtient l'équation de la courbe d'étalonnage qui est de $DO = 4,557 C$. Nous pouvons déduire à partir de cette droite les concentrations de chaque échantillon avec leurs valeurs de DO correspondants.

Nous utiliserons cette courbe pour déterminer la concentration en mg d'or par litre des analyses de la teneur en or :

- Du minerai Brut
- Des solutions de lixiviats jaunes (chlorure d'or brute)
- Des solutions d'éluats jaunes (chlorure d'or purifié) après adsorption par le charbon actif

Pour connaître la teneur en gramme d'or par tonne de minerai brut, nous avons les formules suivantes :

C : Concentration exacte de l'échantillon en mg/litre

C = Concentration en mg/litre lue * facteur de dilution

Masse de l'or : $m_{(Au)} = \text{Concentration} * \text{Volume prise d'essai}$

$m_{(Au)}$ est la masse de l'or dans la prise d'essai de minerai brute ou de résidu de lavage ou de la lixiviation

$$\text{Teneur en g/Tonne} = \frac{m_{(Au \text{ en gramme})}}{m_{(P.E \text{ en tonne})}}$$

V.4.1.2. Protocole d'analyse du minerai

Prélever 0,5g d'échantillon pulvérisé et le mettre dans un bécher

Ajouter 10ml de HCl dilué

Chauffer et filtrer sur un papier filtre

Recueillir le résidu solide qui doit contenir l'or à doser

Ajouter 3ml d'eau régale chaude

Ajouter 1ml de KCl

Faire évaporer la totalité de l'eau régale sur une plaque chauffante

Laisser refroidir

Ajouter 20ml de HCl dilué

Mésuser au spectrophotomètre

Déterminer la concentration en or contenu dans l'échantillon à partir de la courbe d'étalonnage en déduisant sa masse et sa teneur.

L'analyse du minerai brut nous donne une concentration de 0,3 mg/l (DO= 1,367) soit 12 grammes par tonne de minerai.

V.4.2. Analyse de l'impureté : Fe

Le minerai d'or étudié contient du Fer, ce dernier constitue l'impureté facilement dissolvable par HCl dans notre cas, L'analyse se fait toujours par méthode spectrophotométrie UV.

V.4.2.1 Protocole d'étalonnage de l'appareil

Matériel et réactif :

Verrerie courante

Spectrophotométrie UV réglé à 510 nm

HCl concentrée

Solution d'acétate d'ammonium

Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 mg/l

Solution de peroxodisulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ à 40 g /l

Solution de chlorhydrate de phénantroline, 0,1 à 0,5% (à conserver au frigidaire)

Solution étalon de fer (0,01 g/l)

Préparation

Solution étalon de fer :

Peser exactement 100 mg de fer métal, introduire dans une fiole conique, ajouter 5 ml d' HCl concentré et 40 ml eau distillé. Chauffer jusqu' à ébullition pour obtenir la dissolution complète. Laisser refroidir, traverser dans une fiole jaugée de 100 ml. Ajouter les eaux de lavage de la fiole conique, ajuster à 100 ml par de l'eau distillée.

Solution d'acétate d'ammonium :

Une goutte acétate d'ammonium dans 50 ml d'acide citrique et compléter à 100ml par de l'eau distillé

Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles de 100 ml numéroté de T et I à V

Introduire :

Tableau 6 : Mode opératoire

Numéro de la fiole	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de Fe	0	1	2	5	7,5	10
Peroxydisulfate de K	5	5	5	5	5	5
Eau distillée	50	49	48	45	42,5	40
Carbohydate d'hydroxylamine de K	1	1	1	1	1	1
EAU DISTILLEE	Porter à l'ébullition pendant 40 mn. Refroidir ajuster à 50 ml					
Acétate d' NH ₄	2	2	2	2	2	2
Phénantroline	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg de Fe/l	0	0,2	0,4	1	1,5	2
DO	0,00254	0,02729	0,07394	0,13201	0,19687	0,26133

Laisser à l'obscurité pendant 15 mn. Effectuer les mesures spectrophotométriques a la longueur d'onde de 510 nm.

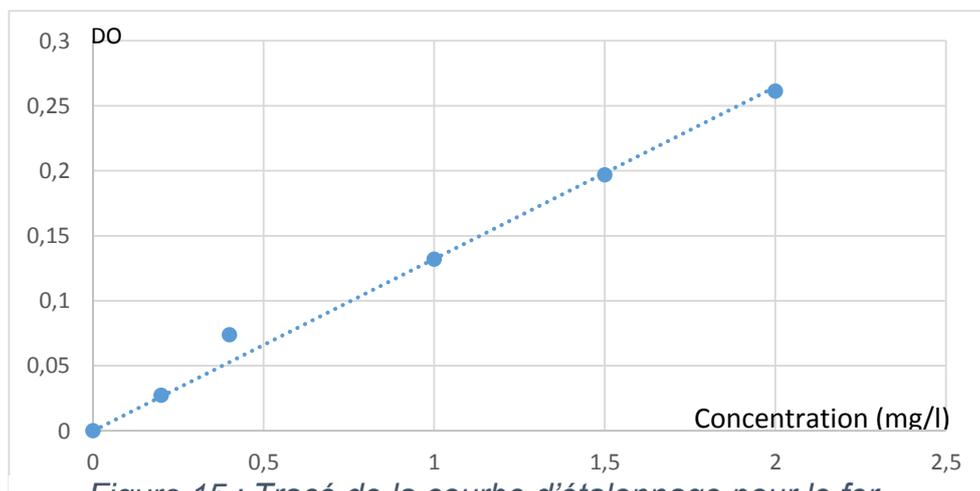


Figure 15 : Tracé de la courbe d'étalonnage pour le fer

L'équation de la courbe est de $DO = 0,13222 C$ et on détermine les concentrations de la solution de lavage par ses valeurs de DO correspondant.

V.4.2.2 Mesure sur l'échantillon à analyser

PE : 50 ml pris en compte la dilution.

Introduire dans une fiole de 50 ml de l'échantillon dilué à analyser .refaire les mêmes procédures à partir de l'ajout de peroxodisulfate d'ammonium.

$$[Fe] \text{ en mg/l} = \text{valeur lue} \times \text{facteur de dilution}$$

CHAPITRE VI : ESSAIS EXPERIMENTAUX

VI.1. Essais expérimentaux de détermination de diamètre de libération d'or

Le broyage a pour objectif d'exposer la surface des particules d'or pour qu'il soit accessible aux réactifs de mise en solution. Comme l'or présent dans le minerai de Betsiaka a la caractéristique particulière minéralogique d'être profondément et entièrement encastré dans des roches, gneissiques et en taille très fines, nous avons effectué des essais de broyage dans le but précis de déterminer le diamètre de libération convenable pour le cas du minerai étudié.

VI.1.1. Mode opératoire

On procède les essais comme suit :

Broyer des prélèvements de minerai brut de même masse (100 grammes) à une taille choisie de réduction. Six séances de broyage ont été réalisées.

Chaque séance de broyage pour une taille de réduction choisie, par tamisage on recueille une tranche granulométrique donnée dont on détermine par analyse Spectrophotométrie la quantité d'or présent.

Exemple : Pour le premier broyage de taille de réduction de 2 millimètres, on réalise le tamisage avec deux tamis d'ouverture de maille 2 mm et 1 mm.

Nous recueillons le refus de tamis 1 mm et le passé de tamis de 2 mm et on détermine au spectrophotomètre la teneur en or présent.

On procède de la même manière, avec les cinq autres essais de broyage.

VI.1.2. Résultats obtenus

Pour une teneur de minerai brut 12 gramme/tonne, et on a obtenu le tableau des résultats et le graphique en bâtons suivants.

Tableau 7 : Résultats de la détermination de diamètre de libération

Séance de broyage	Taille de réduction (en mm)	Tranche granulométrique Prélèvement pour analyse (en μm)	Diamètre moyen des grains dans la tranche (en μm)	DO	Concentration donnée par le spectrophotomètre UV (en mg/litre)	Concentration de l'or en g /tonne	% en masse de répartition de l'or (en %)
1 ère	2	2000-1000	1500	0,017	0,0039	0,158	1,32
2 ème	1	1000-600	800	0,020	0,0045	0,180	1,50
3 ème	0,6	600-400	500	0,036	0,0081	0,324	2,70
4 ème	0,4	400- 150	275	0,054	0,0120	0,480	4,00
5 ème	0,15	150- 100	125	0,707	0,1553	6,213	51,78
6 ème	0,1	≤ 100	≤ 125	0,529	0,1161	4,644	38,70

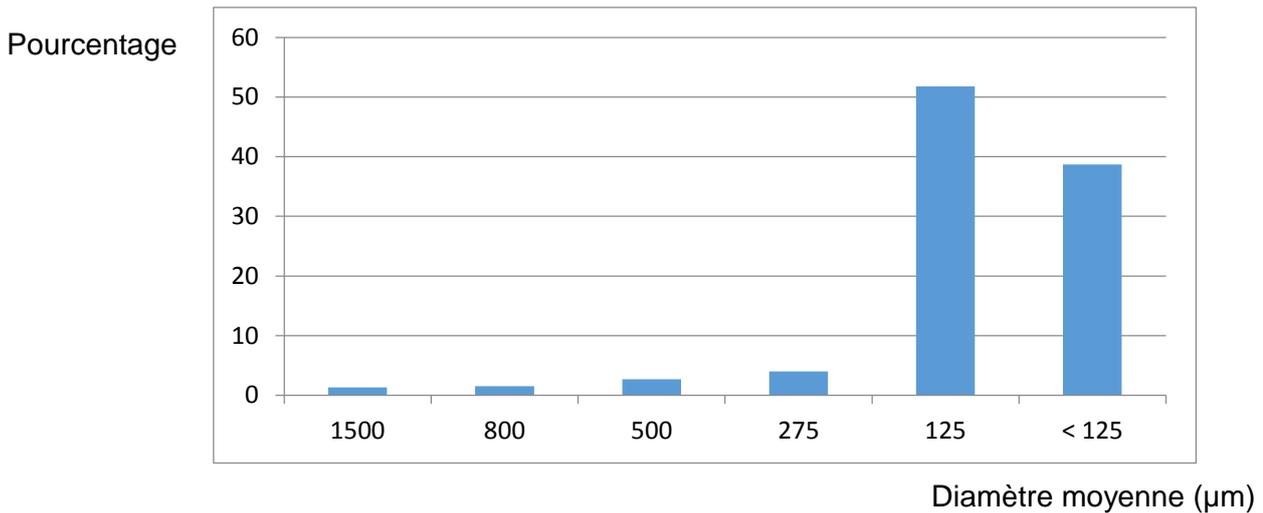
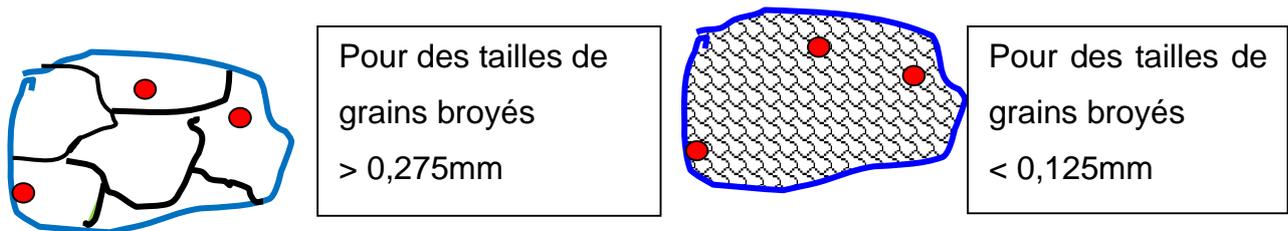


Figure 16 : Pourcentage de l'or suivant les tranches granulométrique

VI.1.3. Interprétation et conclusion sur le diamètre de libération à adopter

L'obtention de l'or à partir des gros grains obtenus après broyage est presque impossible



Pour une taille de réduction supérieure à 0,275 mm, beaucoup de gros grains enveloppent les grains d'or.

Mais pour une taille de réduction fine, les sites contenant de l'or sont complètement libérés. On peut donc traiter ces grains d'or libérés par voie chimique. On peut dire que qu'à partir de taille de grain égale à 125μm et par voie de conséquence pour les tailles de grains inférieurs à cette dimension, la plus grande quantité (plus de 93%) de l'or très fin est libéré. Donc le diamètre de libération cherchée est : 125μm.

VI.2. Essais expérimentaux de détermination de la teneur de l'acide HCl pour lavage optimale des impuretés

Le minerai broyé selon la taille correspondant au diamètre de libération adopté (μm) sera traité avec de la solution aqueuse d'acide HCl dont on déterminera le taux de dilution correspondant à un maximum de dissolution des impuretés présentes permettant par la suite à leur élimination.

VI.2.1. Mode opératoire

A chaque essai de dissolution de Fer dans le minerai brut, on prélève une masse de 250 grammes de minerai brut d'or. On verse par petites fraction la solution diluée de HCl jusqu' à ce que la masse entière de minerai soit complètement immergée. Le volume d'HCl versé est de 200 millilitres. On agite manuellement et on laisse mûrir par l'acide pendant une période de 24heures. Après, on effectue une filtration puis lavage avec de l'eau distillé afin d'éliminer tous les restes d'impureté dissous dans la solution d' HCl.

On fait l'analyse de fer dissous récupéré

VI.2.2. Résultats obtenus

Le tableau suivant donne le résultat de dissolutions et lavages par HCl pour une teneur en fer initiale de 13,06 gramme par tonne.

Tableau 8 : résultat de l'analyse en Fer

N° fioles de solutions d'acide	DO	C= valeurs lue au spectro*10 (mg Fe /l)	C' = Correspondance en gramme par tonne de minerai	Pourcentage du Fer dissout%
S _{1/10}	0,2138	16,178	12,942	99,10%
S _{1/5}	0,2145	16,226	12,980	99,39%
S _{1/4}	0,2152	16,279	13,023	99,72%
S _{1/3}	0,2153	16,288	13,030	99,77%
S _{1/2}	0,2156	16,316	13,052	99,94%
S _{1/1}	0,2157	16,323	13,058	99,99%

Remarque : Les étiquettes des solutions diluées de HCl utilisées indiquent le taux de dilution ; exemple : S1/10 , solution aqueuse d'HCl diluée 10 fois.

Pour les calculs :

❖ **Correspondance en gramme de Fer par tonne de minerai**

Les concentrations C en mg/litre sont données selon la formule à la page 38 et le facteur de dilution est 10.

C' : Concentration en gramme de fer par tonne de minerai est calculée par

$$C'(g/tonne) = \frac{C * V_{PE \text{ en litre}}}{m_{PE \text{ en tonne}}}$$

❖ **Pourcentage du fer dissous :**

$$\% \text{ Fer dissous} = \frac{m_{\text{dissous/tonne}}}{m_{Fe \text{ initial/tonne}}} * 100$$

$$\% \text{ Fer dissous} = \frac{C'(\text{en gramme par tonne de minerai})}{m_{Fe \text{ initial/tonne}}} * 100$$

Pour une teneur en fer initiale de 13,06 gramme par tonne de minerai.

$$\% \text{ Fer dissous} = \frac{C'(\text{en gramme par tonne de minerai})}{13,06 \text{ gramme par tonne de minerai}} * 100$$

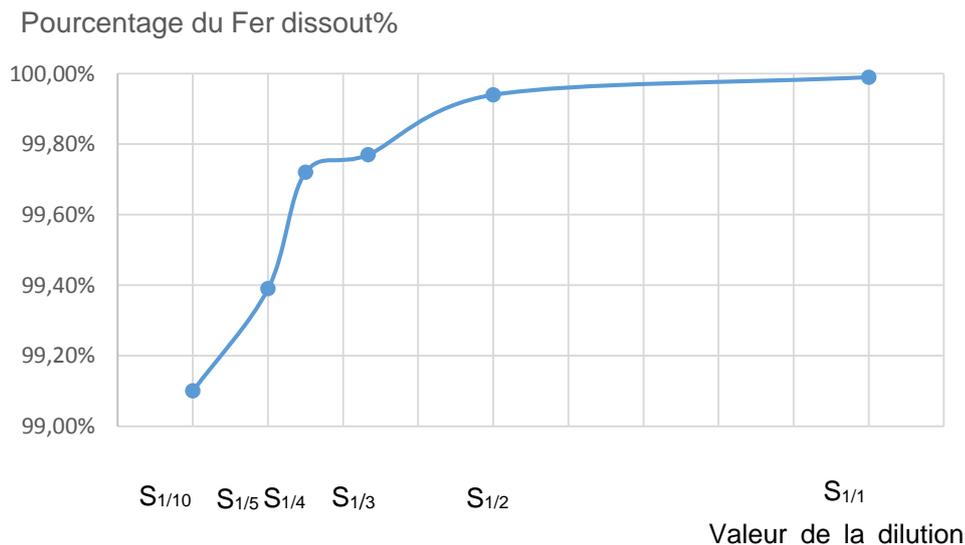


Figure 17 : Pourcentage du Fer dissout

VI.2.3. Interprétation

La figure nous montre le pourcentage du fer présent dans les lixiviats des 6 essais de lavage faites au laboratoire. Les valeurs croient dans un intervalle de 99,10 à 99,99% c'est-à-dire presque la totalité du Fer sont solubilisés dans l'HCl.

On peut alors tirer que : Au point de vue technique, l'HCl concentré est le plus efficace mais par contre au point de vue économique l'HCl dilué 1/10 ($S_{1/10}$) est accepté, Il est conseillé d'utiliser une dilution 1/10 pour économiser d'HCl concentré.

VI.3. Essais expérimentaux de la détermination du rapport de concentration acide HCl/ eau de javel

On rappelle que le résidu solide après la filtration lors du lavage par l'acide HCl contient tout de l'or à l'état solide initialement présent dans le minerai brut. Ce résidu est traité par la suite avec un mélange d'acide chlorhydrique et de l'eau de Javel dans une cuve bien hermétique. On déterminera le rapport : eau de Javel sur HCl permettant une dissolution optimale de l'or.

VI.3.1. Remarques :

VI.3.1.1. Caractéristiques de l'eau de javel utilisé

C'est un produit acheté à la société DIPCO Soanierana, ayant comme caractéristique :

Marque : *PROP'OR*
8° chlorométrie
2,5% de chlore actif
Densité : 1,035
Concentration en NaClO: 2,63%



Photo 3 : Eau de javel

VI.3.1.2. La cuve pour la lixiviation



Direction Cl₂

Photo 4 : Cuve pour la lixiviation au laboratoire

La cuve est adaptée pour notre cas car il s'agit en fait un attaque entre gaz dichlore et du métal or.

Le gaz dégagé par le lixiviant est piégé puis rébarboté dans la solution ;

VI.3.2. Méthode expérimentale de lixiviation adoptée

Pour avoir une première estimation sur l'efficacité lixiviante dissolvante du mélange eau de javel-acide HCl avec des rapports de concentrations variés, on procède à des essais de dissolution sur des échantillons d'or pur en paillette. Nous avons opté comme critère d'efficacité dissolvante, la durée nécessaire pour dissoudre la totalité de la masse d'or. Le rapport de concentration HCl/ eau de javel correspond au mélange qui réalise une dissolution totale le plus rapide est choisi comme facteur optimisant de la lixiviation.

A chaque essai de dissolution on verse 11 mg d'or pur pour chaque lot de 40 ml de mélange HCl-eau de Javel de compositions différentes.

VI.3.2.1. Résultats des essais

❖ **Notations des échantillons de mélanges Eau de Javel /Acide HCl testés**

Ax = solution dilué de HCl de taux de dilution x

E = eau de Javel concentrée

Ry = rapport de concentrations eau de Javel/ acide HCl

Par exemple : l'échantillon de mélange testé formé par solution de HCl dilué (1/2) et eau de javel concentré suivant le rapport de concentrations eau de Javel/ acide HCl =2/1 sera noté : (A1/2-E) R2/1.

❖ **Tableau des résultats**

Tableau 9 : Résultat de l'essai sur paillette d'or

Composition du mélange lixiviant	Notation sur la photo N°4	Durée de dissolution
Eau régale (référence)	R	17h
(A1/1-E)R2/1	A	56 h
(A1/1-E)R1/1	B	52 h
(A1/1-E)R1/2	C	28 h

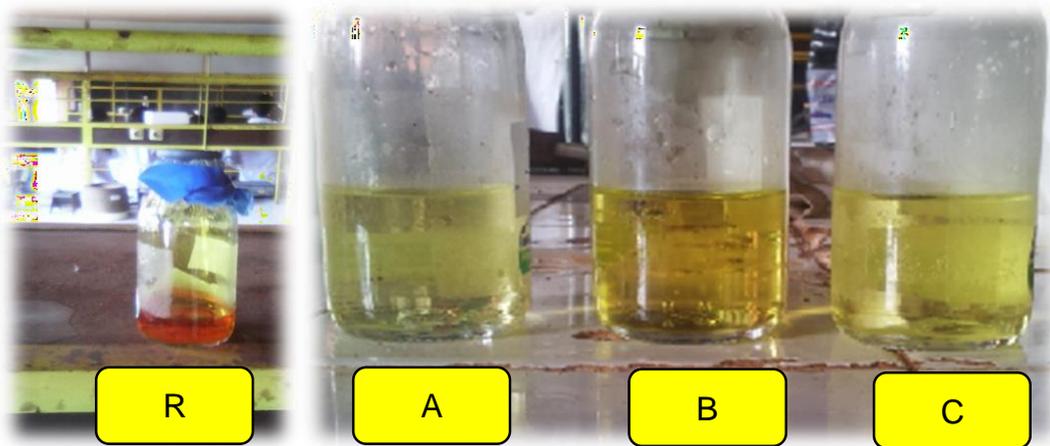


Photo 5 : Essais de détermination de rapport de concentrations HCl/eau de Javel

VI.3.2.2. *Interprétation*

Dans l'essai de lixiviation sur le métal d'or pur, on a constaté que la concentration rapport du mélange (A1/1-E)R1/2 est le lixiviant optimale pour la lixiviation de l'or. C'est à dire, d'eau de javel sur HCl concentré de rapport =1/2.

VI.4. Essais expérimentaux de lixiviation sur le minerai brut à faible teneur en or

VI.4.1. Remarques

Avant de procéder à des essais d'expérimentation de lixiviation en vraie grandeur sur le minerai brut (connu de faible teneur en or), nous avons effectué un test de

réduction chimique des ions Au³⁺ obtenus par lixiviation d'une masse connue d'or pur avec les conditions optimales opératoires trouvées dans les essais précédents .

Pour l'expérience, on prend 50 mg d'or pur.

Tableau 10 : Tableau des paramètres pour précipitation

Conditions opératoires optimales trouvées	Valeur pour efficacité optimale
Rapport de concentrations eau de Javel/ HCl du mélange lixiviant	(A1/1-E)R1/2
Temps de mise en adsorption dans la colonne à charbon actif	2 heures
Concentration de l'éluant NaOH pour désorption des ions Au ³⁺ adsorbés	3%
Masse de métabissulfite de potassium	42 mg soit 0,82 gramme par gramme d'or

L'ajout du métabusulfite de potassium sur la solution à base d'or avec chauffage produit la réaction suivante :



On recueille toute la totalité d'or.

VI.4.2. Essais expérimentaux de détermination du temps de lixiviation optimal sur le minerai brut

VI.4.2.1. Méthode expérimentale

Sur une masse fixée à 250 grammes de minerai brut, on suit l'évolution de la quantité d'or lixivié. Les conditions opératoires initiales utilisées sont :

Tableau 11 : Paramètres utilisés pour l'essai sur le minerai

Masse prélèvement testé	Valeur adoptée
Granulométrie	Inferieure et égal à 125 µm
Taux de dilution de la solution aqueuse dissolvante d'acide HCl pour lavage des impuretés	1/10
Durée de dissolution (lavage des impuretés)	24 Heures
Rapport des concentrations eau de Javel/ HCl du lixiviant	(A1/1-E)R1/2

A la fin d'une période de lixiviation de temps variable fixée, on procède une analyse de la teneur en ion Au^{3+} lixiviés c'est à dire la teneur de la solution de chlorure d'or obtenu après filtration.

VI.4.2.2. Résultats

Le résultat est donné par le tableau suivant en tenant compte le facteur de dilution (10 fois)

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de l'or dissout en fonction du temps

Temps de lixiviation (heures)	DO	Concentration d'or dans le lixiviat (mg d' Au^{3+} /l)	Concentration en g/tonne d'or	% en masse de l'or obtenue (en %)
0	0	0	0	0
12	0,107	2,366	1,420	11,85
28	0,205	4,512	2,708	22,59
44	0,396	8,697	5,220	43,54
52	0,538	11,808	7,087	59,12
72	0,653	14,333	8,602	71,75
76	0,653	14,333	8,602	71,75

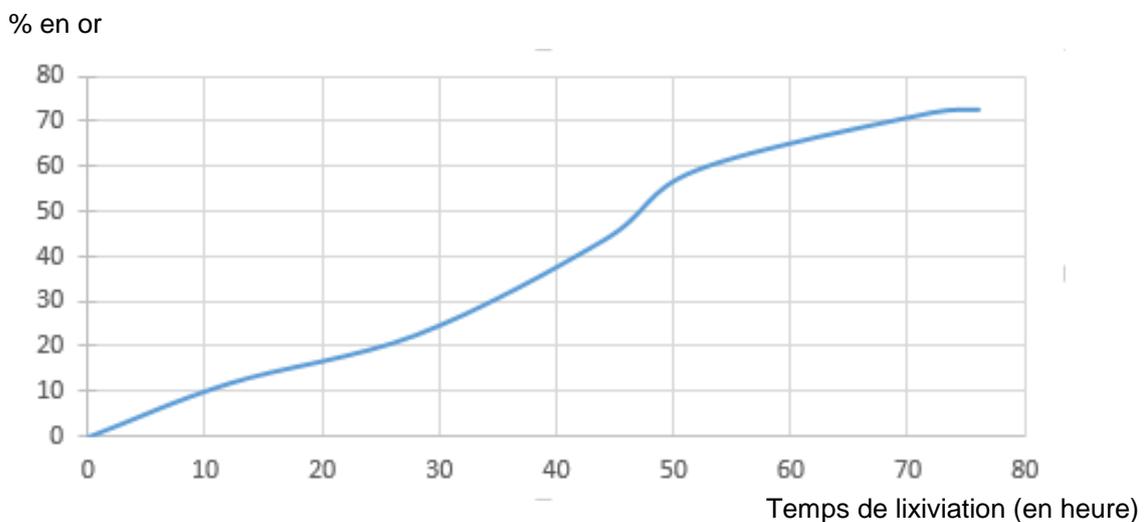


Figure 18 : variation de pourcentage de l'or obtenu

IV.4.2.3. Interprétation

Le graphe nous informe le pourcentage en masse de l'or obtenue en fonction du temps.

Dans les 12 premières heures, le rendement est encore faible (seulement 11 % de l'or sont extraits) due au phénomène de diffusion des réactifs dans les matrices de pyrite.

Après ce temps, les valeurs augmentent de façon significative (presque doublé par rapport au précédent) due à la saturation du chlore dans la solution et oxydation favorable du métal or.

À partir de 72 heures de lixiviation le rendement reste stationnaire.

CHAPITRE VII : EVALUATION DU RENDEMENT DU PROCEDE

VII.1. Introduction

Nous avons pu déterminer à partir des essais expérimentaux les conditions opératoires optimales nécessaires pour l'extraction facile de l'or dans des minerais fortement encasté et de grains extrêmement fins et avec de très faibles teneurs comme le cas de minerai aurifère de Betsiaka .Avec des conditions optimales , nous allons procéder à des tests d' extraction complète d'or selon notre procédé expérimental pour en estimer ensuite le rendement par étape et le rendement global de l' ensemble de procédé.

VII.2. Conditions opératoires adoptées par étape

Les tests sont réalisés sur des masses de 250 grammes de minerai brut et nous avons obtenus pour l'ensemble de procédé expérimental testé les résultats suivants :

Tableau 13 : tableau des paramètres adoptés

Etape du procédé	Paramètres principaux
Préparation mécanique (Broyage)	Diamètre de libération : 125 µm
Lavage des impuretés	Durée de lavage : 24 heures avec HCl dilué 1/10
Lixiviation	Rapport de concentrations : 1/2⇒50ml Eau de Javel/100ml HCl Durée de lixiviation : 72heures
Adsorption par charbon actif	Masse de charbon actif:100grammes Durée de d'adsorption : 2heures
Désorption par NaOH	Concentration de NaOH : 3% Température : 60°C
Réduction	Durée de réduction : 2 heures Température : 60°C

VII.3. Résultats

VII.3.1. Rendement par étapes

Si nous considérons chaque étape testée, nous avons obtenus les rendements suivant.

Tableau 14 : Tableau des rendements par étapes

Etapes	Concentration en or dans	Masse en or correspondant	Rendement par étape
Lavage avec de HCl	L'impureté : 0,0183mg/l (DO = 0,0083)	0,011g/tonne	$\rho_1 = (1 - \frac{\text{masse perdue}}{\text{masse initiale}}) * 100$ $\rho_1 = 99,90\%$
Lixiviation	Le lixiviat : 14, 333 mg/l (DO = 0,605)	8,602 g/tonne	$\rho_2 = \frac{\text{masse obtenue}}{\text{masse après lavage}} * 100$ $\rho_2 = 71,75\%$
Adsorption et élution sur colonne	Après Eluat : 12,917 mg/l (DO = 0,588)	7,752 g/tonne	$\rho_3 = \frac{\text{masse après élution}}{\text{masse après lixiviation}} * 100$ $\rho_3 = 90,11\%$
Précipitation	La précipitation (par réduction) n'est pas visible car la concentration en or est en trace dans l'échantillon utilisé.		

VII.3.2. Rendement global du procédé :

En supposant que la précipitation est totale, on peut calculer le rendement du procédé.

$$\rho = \frac{\text{masse finale en or obtenue}}{\text{masse en or dans le minerais brute}} * 100$$

AN :

$$\rho = \frac{7,552}{12} * 100$$

$$\rho = 64,60\%$$

En passant par des différentes étapes, on arrive à trouver un rendement de 64,60%.

La première étape c'est à dire le lavage est très satisfaisant car il peut éliminer la totalité de l'impureté en référençant par le fer et ainsi, seulement qu'une quantité négligeable en or était perdu vers la solution de lavage.

La lixiviation dure 72 heures pour un rendement de 71,75 %. On estime d'augmenter cette valeur plus de 90 % par :

- Amélioration du système d'agitation pour éviter le phénomène de cimentation des particules ;
- D'utiliser une solution d'eau de javel plus concentré pour prévoir l'épuisement du réactif dans le milieu réactionnel.

Pour l'adsorption-élution, l'utilisation d'une série de colonnes pourrait augmenter significativement son rendement.

Il faut reconnaître que la phase finale de précipitation ne donne pas des résultats probants. Cela est lié à l'extrême faiblesse de la concentration de chlorure d'or. L'ion Au^{3+} est encore à l'état de traces. Toutefois cette phase mérite encore une autre étude beaucoup plus poussée, et plusieurs essais expérimentaux, après que nous trouvions des moyens pour obtenir des concentrations beaucoup plus élevés en ion Au^{3+} dans la solution de chlorure d'or à traiter par réduction. Nous avons déjà pensé à des opérations de preconcentration. Cela nécessite beaucoup de temps et d'essais expérimentaux.

CONCLUSION PARTIELLE

Nous avons vu dans cette partie, les essais effectués au laboratoire y compris : l'essai de broyage pour trouver le diamètre de libération de l'or ; le mode d'analyse de l'or du minerai brut, du fer et les solutions d'or ; des tests sur le produit pur d'or (paillette) afin d'avoir une constatation visuelle pour déduction du rapport eau de javel sur Acide Chlorhydrique et la réduction en métal de l'or avec le métabisulfite de potassium ; enfin des essais sur le minerai pour la détermination de la durée de lixiviation et évaluation du rendement du procédé.

On a conclu durant l'expérience un rendement du procédé de 64,60% par les paramètres adoptés.

PARTIE III : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION ET APPROCHES ENVIRONNEMENTALES

CHAPITRE VIII : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION

Étant donné que les travaux de chantier actuel se trouvent dans les phases de la recherche, les ressources humaines, matérielles et logistiques étudiées dans le présent chapitre et les chapitres suivants ne sont que des éléments de projection pour l'étude de pré-faisabilité. Notre objectif dans ce chapitre est de proposer une méthode d'exploitation de notre gisement.

VIII.1. Généralités

Une étude technico-économique s'impose avant de procéder à l'exploitation d'un gisement. Ainsi, il importe de déterminer différents paramètres, notamment:

- le choix de la méthode d'exploitation ;
- l'importance des matériels utilisés ;
- les méthodes de traitement ;
- les sources d'énergie ;
- l'effectif du personnel ;
- le prix de revient, le taux de change et la demande ;
- la remise en état du site.

Pour une exploitation ayant une production inférieure à 500 000 tonnes par an, considérée comme petite et moyenne mine, ce qui est notre cas, le matériel sera peu important et les installations du chantier seront réduites au minimum du besoin.

Le choix des matériels dépend surtout de l'importance du gisement, de la nature et de la dureté des terrains, des distances et des profils en long de transport, ainsi que du rythme de production.

Si la source de distribution, dont la puissance fournie répond au besoin, ne se trouve pas très loin du site, il est préférable d'utiliser l'énergie électrique. Sinon, on va avoir recours à l'utilisation des carburants ou d'autres sources d'énergie.

VIII.2. Etapes d'exploitation

Le procédé d'exploitation est une succession de tâches ou d'activités qu'il faut exécuter dans un ordre plus ou moins défini pour réaliser un travail comme l'exploitation minière.

D'une manière générale, les principales tâches sont l'extraction, le transport, le stockage, le traitement et la vente. L'organigramme suivant illustre la séquence des opérations à effectuer dans le cadre de l'exploitation du gisement.

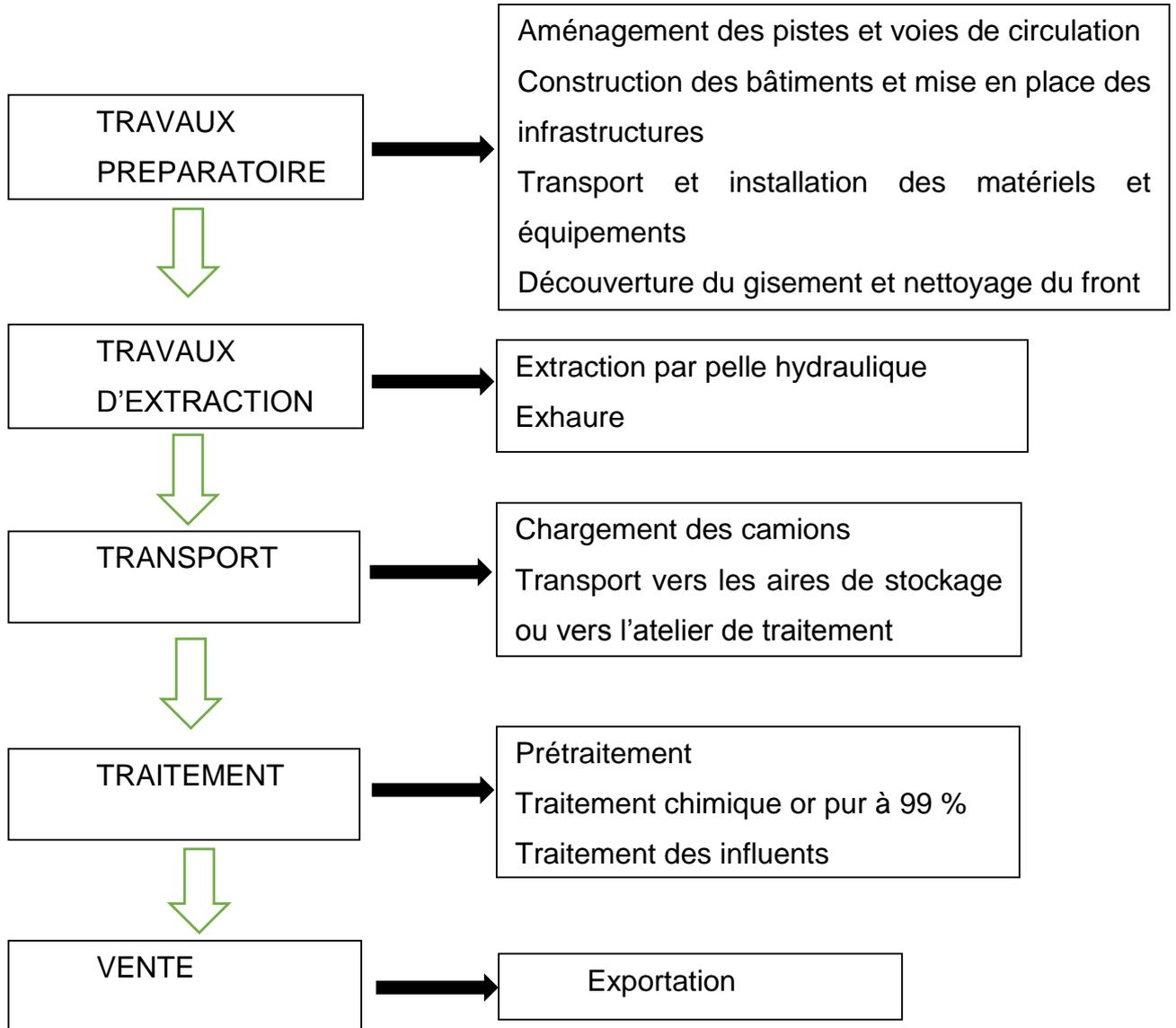


Figure 19 : Schéma illustrant les différentes étapes d'exploitation du gisement

VIII.3. Moyens matériel et humain

VIII.3.1. Matériels d'exploitation

Les matériels nécessaires sont les matériels d'exploitation de la mine, les matériels de construction et de préparation du site, les matériels de traitement. Nous allons essayer de citer ci-dessous les principaux matériels.

VIII.3.1.1. *Matériels d'ouverture et de construction*

Tableau 15 : Liste des matériels d'ouverture et de construction

Désignation	Utilisation
Bureau administratif	–
Campement des cadres	Habitation
Logement du gardien	Habitation
Sanitaires	–
Garage et hangar pour engin roulant	–
Atelier mécanique	Stockage des outils mécaniques
Réservoirs d'eau et carburant	Stockage d'eau et carburant
Clôtures en bois	Protection contre les animaux sauvages et pour la sécurité
Tractopelle	Décapage de la couche à humus et terrain végétal
Motopompe	Evacuation ou amené d'eau
Compacteur tandems vibrant	Préparation des pistes

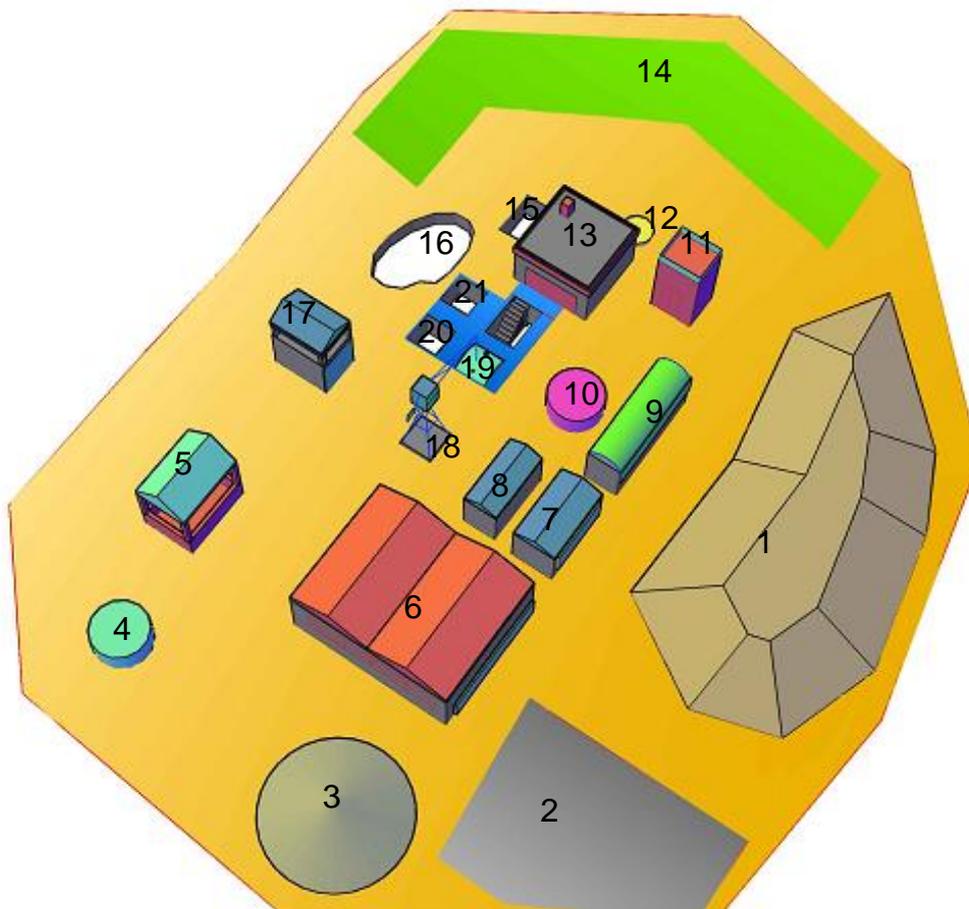


Figure 20 : plan de masse du chantier proposé

- | | | |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 : Zone exploité | 8 : Salle administratif | 15 : Influent liquide |
| 2 : Parking des engins | 9 : Réfectoire | 16 : Park minerais traité |
| 3 : Minerai brut | 10 : Réservoir d'eau | 17 : Unité de broyage |
| 4 : Réservoir carburant | 11 : Electricité | 18 : Elévateur |
| 5 : Gardien en contrôle | 12 : Influent gazeux | 19 : Fosse de lixiviation |
| 6 : Hangar et entretien | 13 : Unité de purification | 20 : Fosse de lavage |
| 7 : Salle de stockage | 14 : Pépinière | 21 : Influent solide |

VIII.3.1.2. *Matériels d'extraction*

Tableau 16 : Liste des matériels d'extraction

Désignation	Fonction principale
Pelle hydraulique	Extraction de minerai et stérile
Camion benne	Transport de minerai et stérile
Camion-citerne	Transport de carburant
Voiture 4x4	Déplacement des cadres
Voiture personnel	Déplacement des personnels
Petits matériels	Divers

VIII.3.1.3. *Matériels de traitement*

a) *Matériels :*

Tableau 17 : Liste des matériels de traitement

Désignation	Fonction Principale
Fosses en béton	Lavage, lixiviation, traitement des influents
Pompe à vide	Amélioration filtration
Elévateur	Lever le couvercle
Motopompe	Décharge des pulpes
Broyeur	Réduction granulométrique
Autres	Purification et métallisation

b) *Description et fonctionnement de la zone de traitement*

Il est intéressant pour nous de développer le fonctionnement de la zone de traitement chimique. La zone est composée de plusieurs éléments de base et des accessoires:

Les éléments de base comprennent :

- **La fosse de lixiviation;**
- **Unité de lavage**
- **Unité de traitement des influents**
- **Unité de purification**

Les accessoires sont :

- **Elévateur**
- **Pompe à vide**
- **Motopompe**

La fosse de lixiviation :

La fosse est de forme cubique en béton d'arête extérieure 2 mètres possédant un tuyau d'évacuation au fond pour transférer le lixiviat formé à la fin de la lixiviation et un tuyau de retour pour le gaz dichlore. Elle est caractérisée par la présence de l'agitateur, son couvercle et le système de filtration.

Le dessin technique de la fosse de lixiviation sera présenté par la figure 23, l'unité est en millimètre.

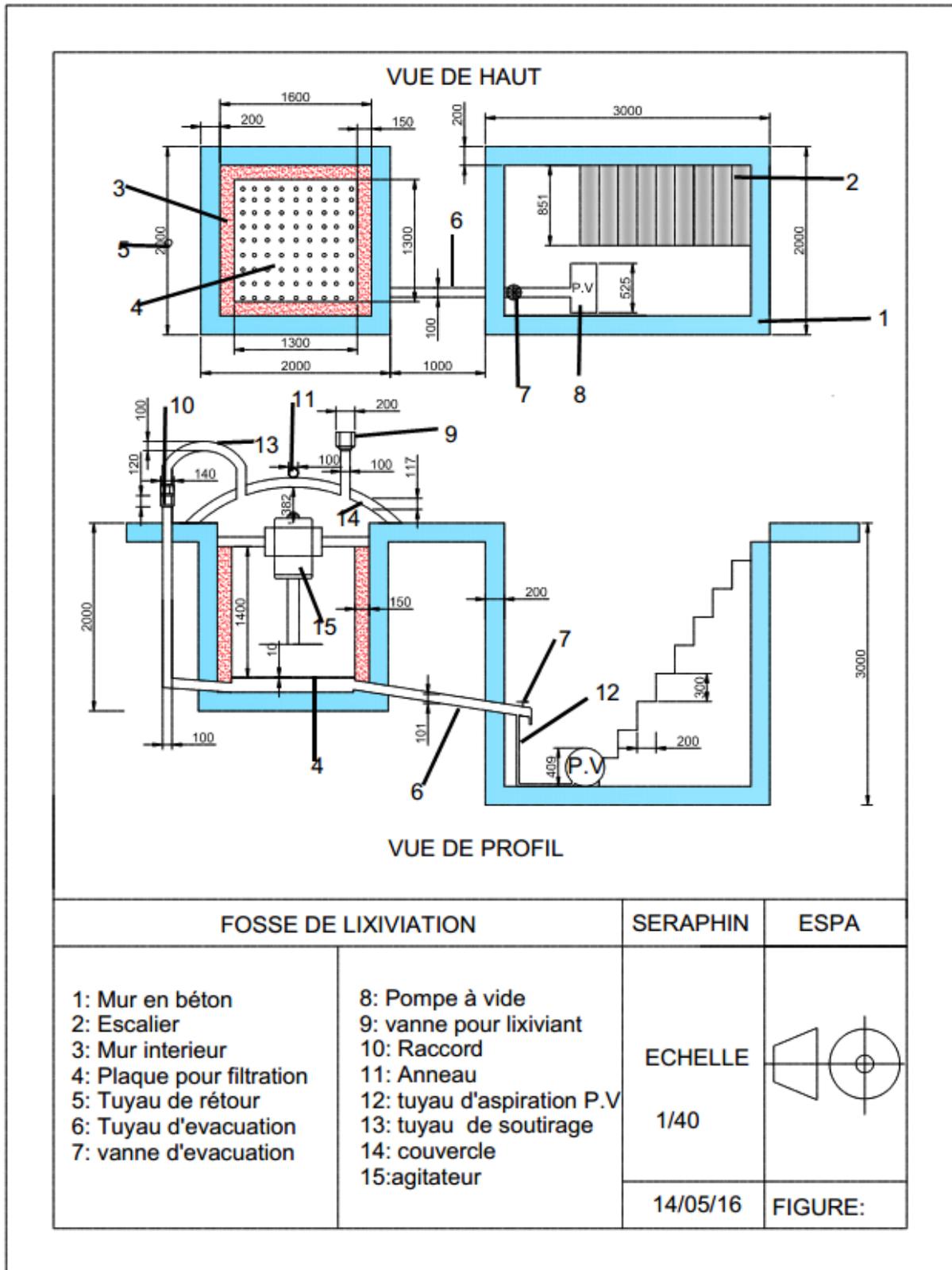


Figure 21 : Dessin technique de la fosse de lixiviation Proposée

L'agitateur :

Un agitateur est placé au centre d'un support métallique. Ce support est ajusté horizontalement sur la partie supérieure de la fosse.

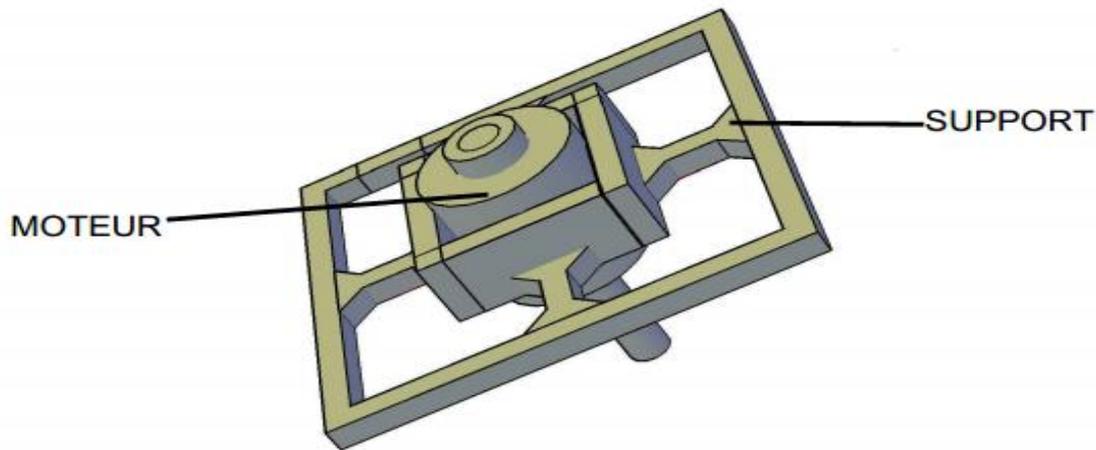


Figure 22 : agitateur

Couvercle :

. il faut noter que des dichlore se produisent à l'intérieur du fosse. Le couvercle est fabriqué aussi en béton pour que son propre poids assure la fermeture de la fosse.

Deux trous sont été aménagés sur le couvercle : l'un pour introduire les lixivants et doit être bouché pour éviter la perte du gaz dichlore ; l'autre trou pour le soutirage du gaz.

Pour ce faire, nous avons raccordé le couvercle avec le tuyau de retour à l'aide d'un raccord.

De plus du joint d'étanchéité est posée sur le bord pour garantir l'herméticité de la fosse

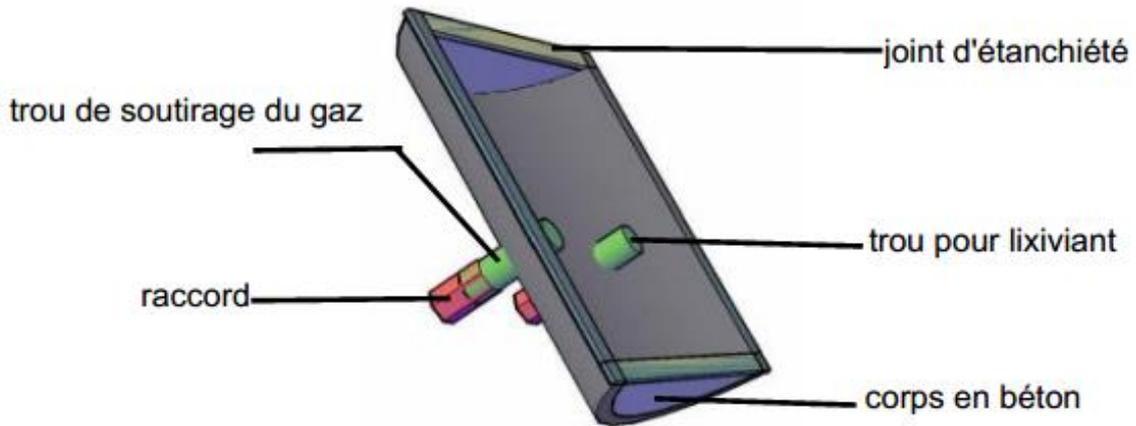


Figure 23 : Couvercle de la fosse

Système de filtration :

A quelque centimètre au-dessus du fond de la fosse, une plaque d'acier inoxydable perforée est implantée horizontalement pour assurer la filtration après la lixiviation.

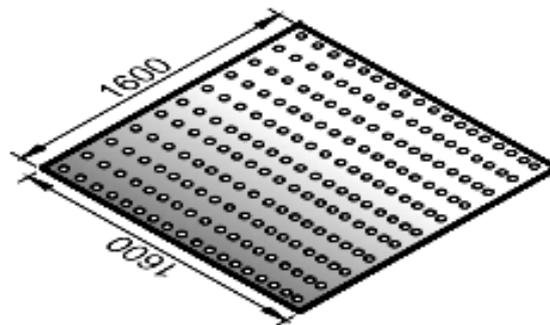


Figure 24 : plaque pour filtration

Pour éviter le bouchage des trous d'évacuation et de retour, il est mieux de superposer une couche de gravier et du sable avant toutes les opérations.

Enfin, une pompe à vide est raccordée au bout de tuyau d'évacuation, qui aspire l'air dans la fosse pour accélérer la vitesse de la filtration.

❖ **Manipulation de l'appareil**

Avant la lixiviation :

Tout d'abord ouvert le couvercle à l'aide de l'élévateur ;
Poser une couche de gravier et du sable ;
Fermer la vanne d'évacuation ;
Introduire le minerai dans le réacteur ;
Fermer la fosse et raccrocher les tuyaux de soutirage ;
Verser les produits chimiques et fermer immédiatement ;
Connecter l'agitateur.

Après lixiviation :

Il est prioritaire de raccorder le tuyau vers l'unité de traitement de gaz résiduel.
Ouvrir la vanne d'évacuation et faire fonctionner la pompe à vide ;
Détacher le tuyau de soutirage et enlever le couvercle ;
Ajouter de l'eau pour former une pulpe ;
Aspirer les résidus vers l'unité de traitement des influents.

L'unité de purification :

Cette unité est composée par une série de colonne à charbon actif, d'une cuve de précipitation et métallisation.

L'unité de lavage et traitement des influents :

Elles sont constituées par des simples fosses à ciel ouvert sauf pour le traitement du gaz résiduel.

Tableau 18 : Unité de traitement des influents

Influents	Présentation	Action
Gazeux	Des gaz résiduels sont encore présents après la lixiviation : HCl, HClO.	La décomposition dans de l'eau sous l'influence de la chaleur ou de la lumière directe peut réduire la gravité de l'effet du gaz sur la santé.
Liquides	Le taux de l'acidité dans les effluents liquides est très élevé (pH<1),	Une neutralisation peut se faire avec l'utilisation d'un élément basique comme la chaux.
Solides	Après l'opération de lixiviation et la séparation liquide solide, on obtiendra les résidus solides. or ces derniers contiennent encore de l'acide.	La neutralisation se fera avec un produit basique comme la chaux.

VIII.3.2. Ressources humaines

VIII.3.2.1. Politique de recrutement

En matière de politique de recrutement, nous optons autant que possible pour un recours à la population locale. La formation des nouveaux recrues est indispensable au bon fonctionnement de l'exploitation.

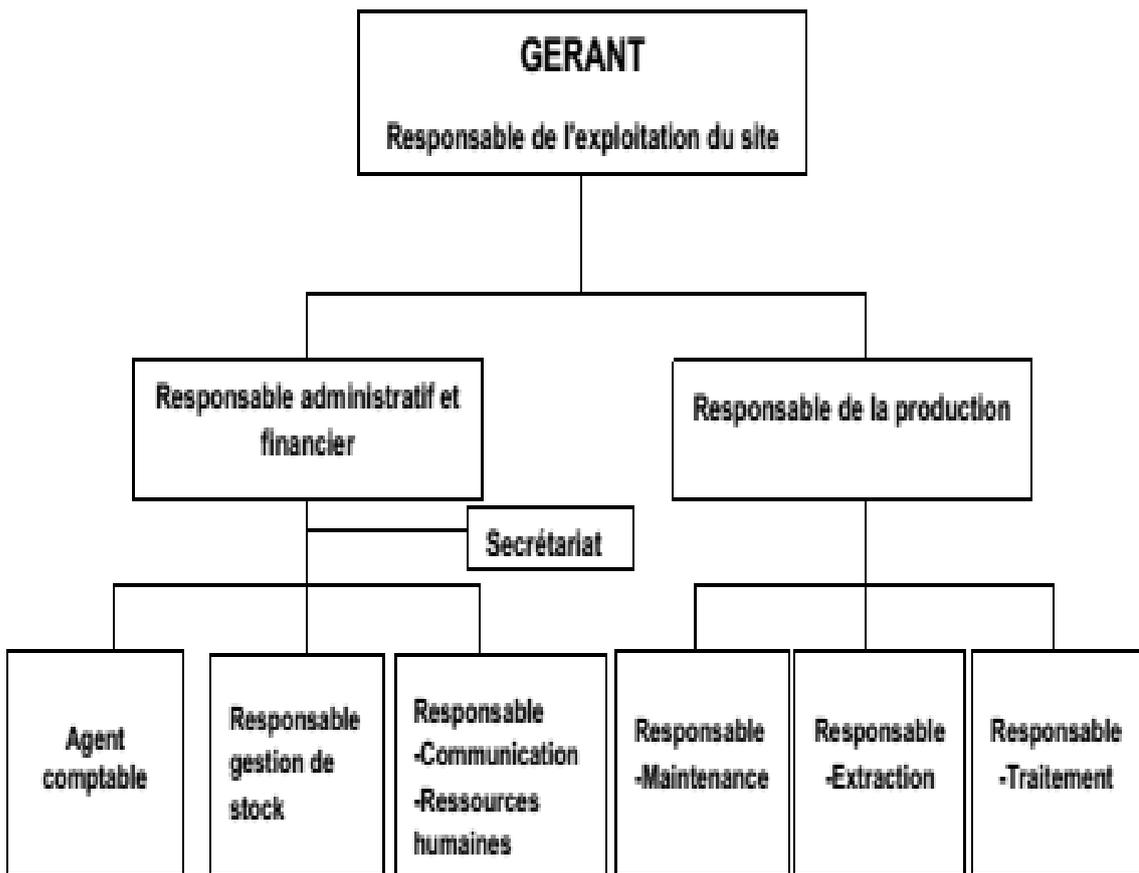


Figure 25 : organigramme du personnel

VIII.3.2.2. Effectif du personnel

Tableau 19 : Postes de travail et responsables

Volet	Poste	Effectif	Tâches Profil	Profil
A D M I N I S T R A T I F E T F I N A N C I E R E	Secrétaire informaticienne	01	Responsable	Niveau baccalauréat Formation en secrétariat Expérience de 2 ans
	Responsable des ressources humaines et de la communication	01	Assure la paie, la gestion du personnel, la communication	Niveau bacc+4 en ressources humaines Aisance relationnelle
	Agent comptable	01	Assure la gestion des compte,	Niveau maîtrise en gestion, option finance et comptabilité Expérience 2 ans
	Responsable gestion de stock	01	Achats des matériels consommables, gestion des stocks	Niveau baccalauréat Expérience de 2 ans dans un poste similaire
	Gardiens	02	Assurent la sécurité du chantier	Jeune homme honnête
	Planton	02	Assurent la propreté et le nettoyage du bureau	Femme honnête et propre
	Cuisinière	02	Assure la restauration des cadres	Femme sachant bien cuisiner
	Infirmière	01	Assure des soins en cas d'accidents	Niveau licence en paramédicaux

P R O D U C T I O N	Mécanicien	02	Assure la maintenance, Réparation et entretien des engins roulants	Niveau baccalauréat Bonne connaissance en engin d'extraction
	Chauffeur	01	Conduit le véhicule 4x4	Niveau baccalauréat Permis de conduire complet
	Responsable traitement	01	Gère le traitement, participe au traitement	Niveau ingéniorat Spécialité : Génie chimique
	Responsable maintenance	01	Maintenance des outils de production	Niveau ingéniorat Spécialité : Génie industriel
	Manœuvre	27	Assurent le traitement gravimétrique et le traitement chimique	Jeunes hommes honnêtes et motivés
	Responsable extraction	01	Gère l'exploitation	Niveau ingéniorat Spécialité : Mine
	Conducteur d'engin	06	Conduisent des engins roulants dont le chauffeur du camion-citerne	Niveau baccalauréat Permis de conduire complet
	Pointeur	01	Compte le nombre de cycles et assure la vitesse de l'exploitation	Niveau baccalauréat

En tout, le nombre du personnel serait de 54 dont 3 cadres.

CHAPITRE IX : APPROCHE ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

L'objectif de notre étude est d'une part d'évaluer la possibilité ou non de l'exploitation aurifère de BETSIAKA tout en considérant les aspects socio-économiques et environnementaux, et d'autre part de prédire et réduire les nuisances occasionnées par cette activité.

Ce chapitre permettra, à travers les propositions de solutions techniques économiquement acceptables, d'optimiser le choix de l'exploitation et d'implantation du site, l'évolution de l'exploitation et la réhabilitation de la mine. Ces propositions consistent essentiellement à réduire au maximum l'ensemble des incidences physiques, entre autres l'instabilité des terrains, la pollution de l'air, de l'eau, nuisances pour la vie animale et la vie végétale et les impacts socio-économiques d'une exploitation sur son environnement. Le but est donc d'identifier, puis de limiter au maximum, voire même enrayer ces nuisances.

Par ailleurs, la remise en état du site doit être conforme au plan de réaménagement régi par la réglementation en vigueur.

IX.1. Présentation de l'approche environnementale

La protection de l'environnement est une question-clé de tout projet de développement. Elle fait l'objet d'une attention particulière de la part des opérateurs miniers et des autorités locales. Pour ce faire, cette étude comprend :

- l'analyse de l'état initial du site ;
- l'analyse des effets sur l'environnement ;
- les mesures envisagées pour prévenir ou atténuer les conséquences dommageables et les mesures prises pour la remise en état des lieux.

IX.2. Etat initial du milieu

Pour mieux se situer dans le contexte environnemental du site d'étude, voici quelques données essentielles.

Tableau 20 : Etat initial du site

Milieu	Identification	Etat initial
physique et biologique	Faune et flore	Présence dominante des formations herbacées et couvertures forestières très localisées. Les espèces faunistiques sont rares, à part quelques oiseaux.
	Hydrologie et Hydrogéologie	Le site est considéré comme hydrogéologiquement riche. Le niveau piézométrique de la nappe phréatique est peu profond De plus, il y a présence des rivières sur le site.
Socio-économique	Infrastructures	Aucune infrastructure n'a été observée dans la zone.
	Activités humaines et utilisation du sol	On note la présence de quelques cultures vivrières dans les vallées et aux pieds des collines ; Les habitants sont principalement des agriculteurs et des éleveurs, et aussi des exploitants artisanaux d'or.

IX.3. Matrice des impacts environnementaux [3]

Cette matrice résume l'identification des impacts potentiels et leurs sources afin de prendre des mesures d'atténuation pour les prévenir, les réduire ou les supprimer.

IX.3.1. Sur le milieu physique

Tableau 21 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu physique

COMPOSANTES	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES	MESURES D'ATTENUATION	RESULTATS ESCOMPTES
Paysage et sol	<ul style="list-style-type: none"> - installation de l'usine de traitement et de préparation : devers de l'eau de lavage, des produits chimiques ; - décapage et défrichage des matières végétales ; - remblayage des stériles ; - fosses et excavations effectuées pendant l'exploitation ; - détournement des cours d'eau (exhaure). 	<ul style="list-style-type: none"> - effet à première vue à causes des excavations et talus artificiels. - perturbation visuelle ; - perte de la valeur esthétique naturelle et récréative de la mine ; - dextrinisation du paysage environnant ; - perte des sols aptes à supporter la végétation ; - érosion et déstabilisation du sol ; - modification ou dégradation de l'esthétique du paysage originel 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans les textes réglementaires ; - les espèces végétales en dehors du périmètre seront entretenues pour servir d'écran naturel ; - les opérations de décapage des matériaux de découverte seront réalisées de manière successive et qui seront limitées aux stricts besoins de l'exploitation ; - revégétalisation. 	<ul style="list-style-type: none"> - la valeur esthétique naturelle de la zone plus ou moins rétablie ; - la dégradation du sol évitée ; - le climat de la région stabilisé ; - la remise en état du site facilité

AIR	<ul style="list-style-type: none"> - poussières lors des travaux préparatoires ; - engins d'exploitation : circulation et échappement des moteurs ; - le traitement - les stocks : action du vent 	<ul style="list-style-type: none"> - dispersion des poussières et des particules chimiques dans l'air ; - émanation des gaz nocifs: HClO, Cl₂ ; - modification de la qualité initiale de l'air (pollution et mauvaise odeur autour du site) ; - maladies respiratoires ; - effets de poussière sur les engins d'exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans textes réglementaires ; - utilisation de carburants moins polluants et entretien des filtres à air des engins ; - arrosage régulier des pistes par temps sec ; - chargement des matériaux ne dépassant pas le niveau supérieur de la ridelle ; - végétalisation de merlon ou conservation des rideaux d'arbres existants ne gênant pas l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> - la pollution de l'air réduite au minimum ; - une atmosphère saine et respirable maintenue ; - les émissions de poussières réduites au minimum ; - les émissions de polluants réduites
-----	---	---	---	--

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">EAU DE SURFACE ET HYDROGEOLOGIE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - transport des éléments physico-chimiques et substances polluantes provenant des rejets du reste des matériaux traités ; - les hydrocarbures liquides provenant des aires de lavage et d'entretien des appareils de traitement ; - écoulement des eaux usées ; - alimentation en excès d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - acidification du milieu risquant d'arrêter les activités biologiques ; - tarissement des sources en eau ou changement de la piézométrie de la nappe ; - dissémination des poussières et boues lors des pluies d'orage dans les milieux aquifères (érosion) ; - infiltration des eaux polluées dans la nappe phréatique modifiant sa qualité ; - contamination des produits polluants ou nocifs envers les eaux qui se trouvent aux alentours du site ; - modification du réseau de drainage : obstruction des écoulements et rétention d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans textes réglementaires ; - imperméabilisation du fond des aires de lavage et d'entretien des matériels ; - recyclage de l'eau de traitement après décantation dans le bassin ; - contrôle de la qualité des eaux ; - éviter la perturbation de la rivière pendant le captage d'eau d'alimentation et l'évacuation d'eau usée ; - canalisation des eaux de ruissellement ; - aucun rejet ou dépôt en dehors de la limite des carrées 	<ul style="list-style-type: none"> - l'équilibre naturel de l'eau maintenue et le tarissement des sources évité ; - la pollution des eaux limitée et leur qualité préservée ; - la biodiversité protégée.
--	--	---	--	--

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">BRUIT ET VIBRATION</p>	<ul style="list-style-type: none"> - fonctionnement des engins et manutention des matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> - déstabilisation de l'équilibre du sol et risque de dégâts aux constructions voisines ; - bruits et nuisances sonores dans les zones environnantes - nuisance aux ouvriers miniers effectuant les travaux d'exploitation; - perturbation de la vie des animaux environnants ; - modification de la structure géologique profonde (disparition des sources). 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans les textes réglementaires ; - insonorisation à la source des moteurs et équipements ; - capotage des machines ou mise en place des dispositifs élastiques antichocs (caoutchouté par exemple); - mise en place des écrans aménagés ou des obstacles naturels autour des installations ; - entretien des engins notamment au niveau des silencieux d'échappement 	<ul style="list-style-type: none"> - les effets de vibration exercés au sol et aux constructions réduits ; - les niveaux sonores engendrés par l'exploitation réduits ; - tranquillité et la qualité de vie du voisinage respectées.
---	--	--	---	---

IX.3.2. Sur le milieu biologique

Tableau 22 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu biologique

COMPOSANTES	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES	MESURES D'ATTENUATION	RESULTATS ESCOMPTES
FAUNE ET FLORE	<ul style="list-style-type: none"> - émanation des poussières - Défrichage ; - décapage et contamination des sols ; - rejets des polluants et déchets chimiques dans la surface ou dans des eaux ; - excavations. 	<ul style="list-style-type: none"> - aucun effet résiduel grave car la zone est dépourvue des espèces en péril ; - dégradations diverses des écosystèmes aquatiques et terrestres; - recul de la reproduction et de la population de la faune et de la flore, causé par la modification et la disparition des habitats - disparition ou déplacement d'une population faunique ; - disparition d'une population de certaines espèces floristiques ou faunistiques - mortalité et/ou blessure des animaux piégés par l'excavation ; 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans textes réglementaires ; - utilisation d'abats poussières ; - embauche d'une main d'œuvre locale pour le reboisement énergétique en dehors de la concession ; - déplacement des espèces faunistiques et floristiques endémiques dans les parcs et zoo appropriés s'ils existent ; - clôture du chantier pour éviter la pénétration des animaux domestiques dans la zone ; - conserver ou favoriser un écran de végétation autour de tous les sites sensibles 	<ul style="list-style-type: none"> - la biosphère en équilibre - la faune et la flore existantes conservées ; - les périodes et les zones sensibles prises en compte; - les émissions de poussières limitées

IX.3.3. Sur le milieu socio-économique

Tableau 23 : Impacts et mesures d'atténuation sur le milieu socio-économique

COMPOSANTES	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES	MESURES D'ATTENUATION	RESULTATS ESCOMPTES
MILIEU HUMAIN	<ul style="list-style-type: none"> - emprise foncière ; - matériels à moteurs d'exploitation ; - poussière et déchets chimiques ; - augmentation de la population ; - arrêt des opérations minières proprement dites. 	<ul style="list-style-type: none"> - perte en parcelle agricole et en zone de pâturage ; - perturbation de l'équilibre économique existant ; - prolifération des maladies ; - pollution de l'air et dégradation des qualités des eaux par la contamination des déchets ; - endommagement des structures et perturbation des habitants des localités ; - rapport conflictuel avec les cultures locales, les traditions et les styles de vie ; - dégradation des sites culturels ; - sentiment de désagrément à cause des nuisances sonores 	<ul style="list-style-type: none"> - la conformité des opérations minières aux normes précisées dans textes réglementaires ; - identification au préalable des modes d'occupation du sol et sa répartition spatiale ; - consultation des différentes entités concernées par le projet dès la phase conception ; - limitation de recrutement de personnel extérieur à la zone du projet; - améliorer les conditions de sécurité, sanitaires et d'hygiène des travailleurs et des populations locales ; - renforcer la capacité socioorganisationnelle et du savoir-faire de la population 	<ul style="list-style-type: none"> - les conflits entre le promoteur et la population locale limités; - la gestion de l'utilisation du sol améliorée; - les émissions de bruit à la source limitées; - l'équilibre social maintenu.

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">INFRASTRUCTURES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - circulation des engins sur les voies publiques ; - démantèlement ou rétrocession des infrastructures utilisées 	<ul style="list-style-type: none"> - déstabilisation des infrastructures et risque de dégâts aux constructions voisines ; - dégradation précoce des routes, des ponts et des chemins publics qui ne sont pas adaptés à l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> - entretien instantané des routes et limitation des charges de camions ; - éviter le déversement des produits dans le trajet ; - construction des pistes autonomes pour la vocation de l'exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> - les infrastructures existantes maintenues en bon état ; - le nombre des infrastructures augmenté.
--	---	---	--	--

IX.3.4. Impacts positifs du projet

A côté des effets négatifs majeurs pour lesquels nous avons proposé des mesures correctives ou d'atténuation, le projet présentera des impacts positifs tant au niveau régional que national, et ce sur le plan socio-économique.

Au plan local, il est prévu :

- la création de 54 emplois stables ;
- le renforcement des infrastructures socio-économiques, notamment la contribution au renforcement des accès routiers, et du système de la communication et de l'électricité ;
- la part dans les collectivités territoriales décentralisées sur les redevances minières. Malheureusement, une fois perçues au niveau central, les C.T.D ne perçoivent pas leur part dans la plupart des cas.

La contribution aux efforts de l'administration en matière de lutte contre la pauvreté par:

- la promotion du développement local durable ;
- l'augmentation du pouvoir d'achat de la population ;
- la lutte contre l'exode rural.

Ainsi au plan national

- la contribution au développement du secteur minier avec le transfert de connaissance ;
- l'apport des impôts et des redevances minières pour l'amélioration du P.N.B au profit de l'économie nationale.

IX.4. Raisons du choix du projet

Le choix d'accomplir ou non notre projet repose sur plusieurs facteurs entre autres les facteurs géologiques, techniques, environnementaux malgré les impacts négatifs identifiés précédemment.

IX.4.1. Facteurs géologiques

Qualité des métaux: Suivant le renseignement bibliographie, l'or est de bonnes qualités avec une densité de 19,3.

Importance des réserves : comptant sur la superficie du terrain à exploiter, il y a une réserve exploitable suffisante.

IX.4.2. Facteurs environnementaux

Critères environnementaux : La zone où s'implante la mine se trouve dans un milieu rural dépourvu d'espèces faunistiques ou floristiques en péril. Des solutions ont été apportées afin de diminuer les effets négatifs.

Perspectives de remise en état : bien qu'il soit inconcevable de remettre le site à son état initial, il y aura plusieurs moyens pour l'aménager à des fins de reboisement ou des vocations économiques (agriculture, usine industrielle, site touristique et culturel, etc.) ou même des habitations.

IX.4.3. Facteurs techniques

Opportunité du projet : L'existence ou la possibilité de construction des infrastructures favorables à l'exploitation (voies d'accès, source d'énergie électrique, etc.).

IX.4.4. Facteurs sociaux:

Main d'œuvre : Facilité de l'embauche locale avec des mains d'œuvre à bon marché.

Conjoncture sociale : Entretenir un bon équilibre social entre le promoteur et les villageois afin d'éviter les conflits dus à l'appropriation du terrain, à la violation des tabous, à la profanation des tombeaux, des monuments ou des terres sacrées, etc.

IX.4.5. Facteurs économiques:

Vocation de la zone : L'exploitation contribue à la promotion du développement socio-économique de la région par la création des emplois, le renforcement des infrastructures, la contribution des impôts, etc.

IX.5. Remise en état du site

IX.5.1. Généralités

La remise en état du site est une opération qui tient une place primordiale dans les travaux miniers, en l'occurrence l'exploitation de l'or. Le but c'est de restituer les terrains le plus près de sa forme initiale, et d'adapter le site aux équilibres biologiques antérieurs de l'écosystème. Dans ce cas, il faut élaborer un plan de la remise en état dont les principes sont gérés par quelques nécessités :

- assurer une stabilité à long terme des terrains,
- maîtriser la circulation des eaux tout en préservant leur qualité,
- garantir la sécurité du public avec élimination au maximum des dangers issus de l'exploitation.

Les dispositions de la loi N° 2005-021 portant Code minier en date du 17 Octobre 2005 stipule clairement à l'article N°99 que « Toute personne physique ou morale, qui exerce des activités minières, a l'obligation de prendre les mesures de protection nécessaires pour minimiser et réparer tout dommage pouvant résulter des travaux conduits dans le cadre de son activité. Ladite personne est responsable de toute dégradation de l'environnement du fait de ses travaux.

Cette responsabilité n'est limitée que dans la mesure où la personne visée exerce dans le respect des lois et règlements régissant les activités minières ainsi que ceux visant à la protection de l'environnement ». Les schémas d'aménagement et de la remise en état d'une mine devraient donc être planifiés avant le début de l'exploitation. La restauration du site, qui relève de la responsabilité du promoteur, fait désormais partie des coûts usuels d'une exploitation. Les principales possibilités d'aménagement de la mine après exploitation sont les suivantes :

- 1°/ remise en état à des fins agricoles;
- 2°/ remise en état à des fins de reboisement;
- 3°/ remise en état en espace de détente et de loisirs;
- 4°/ remise en état en décharge contrôlée ;
- 5°/ remise en état en cités d'habitation.

IX.5.2. Principe

Dans notre cas, nous avons choisi, dans cette étude de préféabilité, la remise en état des lieux à des fins de reboisement. Ainsi, Les opérations suivantes seront notamment réalisées :

- les fosses et les excavations seront remblayées et remodelées puis reboisées;
- les zones à risques seront protégées par des merlons, des barrières naturelles (par exemple les taillis épineux), ou des clôtures ne devant pas être franchies. Des panneaux de signalisation préventive ou d'interdiction peuvent être associés à ces protections.
- le site sera débarrassé de toutes les matériels et installations ;
- toutes les ordures et déchets de carrières doivent être retirés du site d'exploitation ;
- des pépinières et des arbustes seront plantés sur une bande à la bordure de la zone d'exploitation.

Enfin, il est à noter que la réhabilitation des infrastructures sera comprise dans ces travaux de remise en état. La Société embauchera des mains d'œuvre locales pour le reboisement énergétique en dehors de la concession afin de ne pas laisser la dégradation se prolonger dans le temps.

CONCLUSION PARTIELLE

Pour pouvoir exploiter le gisement, nous avons proposé l'utilisation des engins d'extraction minière comme pelle hydraulique et des camions bennes, des fosses ouvertes ou fermées pour les traitements chimiques et de l'unité de métallisation, outre les autres outils supplémentaires. Face à l'effectif des personnels, on envisage 54 travailleurs compris des ingénieurs, techniciens, et ouvriers pour accomplir le déroulement de l'exploitation. Compte tenu aux impacts néfastes provoqués par l'exploitation du gisement, des mesures seront pris pour réduire ou même neutraliser ses impacts comme l'utilisation des unités de traitement des influents. Voyons ainsi que l'exploitation apporte des améliorations considérables non seulement au niveau économique mais surtout au niveau social.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre du Projet d'exploitation de minerais aurifère à Madagascar, la société KRAOMA avec le concours de l'ESPA a vulgarisé une technique d'extraction, il s'agit de lixiviation chimique qui permet l'extraction de l'or du minerai à faible teneur comme le cas de Betsiaka.

Le procédé qui a été proposé dans cette étude est purement chimique, il permet d'augmenter le taux de récupération d'or, il s'agit d'une attaque par un mélange d'acide chlorhydrique et de l'hypochlorite de sodium sur le minerai après avoir fait un lavage avec de l'acide chlorhydrique.

Des études expérimentales au laboratoire sur le traitement par lixiviation de l'or ont été effectuées. A travers les essais, nous avons pu constater que le taux de récupération s'élève jusqu'à 64,60% même avec le dispositif manquant.

Ainsi, nous avons choisi la méthode de traitement beaucoup plus applicable. En plus l'enjeu environnemental peut être minimisé ou contrôlé en dessous de la limite exigée.

Vu le taux de récupération de l'or, nous avons fait une étude de pré faisabilité de l'exploitation qui peut contribuer d'une façon significative au développement économique de notre pays car cela va permettre à l'or malgache de faire entrer dans le marché international.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] : ANDRIANAINA Rado., “ Affinage hydrométallurgique des préconcentrés d’or méthode artisanale ”, mémoire de fin d’études à ESPA, 2005
- [2] : ANDRIANANDRAINAINA Sitraka « le mécanisme de dissolution de la pyrite par lixiviation bactérienne - applique au pyrite aurifère réfractaire de Betsiaka » mémoire de fin d’études à l’ESPA, 2015
- [3] : ANDRIATSITOHAINA Ravaka « Etude de pré faisabilité de l’exploitation des gisements alluvionnaires d’or de la société Z.Z.M : Cas de Miandrivazo » mémoire de fin d’études à l’ESPA, 2015
- [4] : BESAIRIE H. « Documentation sur l’or », service géologie Madagascar, 1949
- [5] : BESAIRIE H. L’or à Madagascar, géologie Madagascar, 1966
- [6] : JOE AGEDI, « Rapport d’étape PPO zone Brieville centre Madagascar », Volet 1- documentation ,janvier 2006
- [7] : KRAOMA (2012). Rapport des travaux d’exploration de l’or dans le secteur Betsiaka -Campagne 2012 (Rapport définitif 2012). 33 p.
- [8] : M.FARGEON, « Technologie des métaux précieux », MASSON, 1992
- [9] : « Plan Directeur d’actions pour la mise en valeur des ressources du sol et du sous-sol de Madagascar », B.R.G.M, 1985.
- [10] : RANAIVOARISON T, « Contribution à l’amélioration de l’exploitation aurifère en lit vif : réalisation d’une drague suceuse », mémoire de fin d’études à l’ESPA, 2004
- [11] : RASEHENOZAKA H., « Mise au point de procédés de récupération de l’or et de l’argent à partir de résidus industriels », mémoire de fin d’études à l’ESPA, 1998
- [12] : SOLONIAINA Hanitra F. « conception et réalisation d’une unité pilote de traitement hydrometallurgique appliquée au traitement du préconcentré d’or du sluice méthode artisanale » ,2005
- [13] : Guy DURLIAT et Jean-Louis VIGNES «Eaux de Javel» de «l’Opéron», Vol XXI n° 2, Bulletin de l’UPBM (Union des Professeurs de Physiologie, Biochimie et Microbiologie), Mars 1997

LES SITES WEB CONSULTÉS :

- [W1] : www.106.us/or.htm, février 2016
- [W2] : www.cgo.com, février 2016
- [W3] : www.eaudejavel.fr, février 2016
- [W4] : www.encyclopedie.com, février 2016
- [W5] : www.gold.fr, février 2016
- [W6] : www.igolder.com, février 2016
- [W7] : www.lefigaro.fr, février 2016
- [W8] : www.Madagascar Actual, février 2016
- [W9] : www.td.com/economics, février 2016
- [W10]: www.verdamnis.com, février 2016
- [W11]: www.worldgold council discover.com, février 2016

ANNEXES

Annexe 1 : Terminologies

- **Minerai**

C'est un mélange de plusieurs minéraux parmi lesquels au moins un ou une utilité potentielle c'est-à-dire qu'il a une valeur économique.

- **Filon**

Un filon est une lame de roche recoupant l'encaissant et correspondant le plus souvent au remplissage d'une fracture (ex : faille). Le remplissage d'un filon contient le plus souvent des substances utiles (métaux, minéraux)

- **pegmatite**

C'est une roche magmatique à grands cristaux de taille supérieure à 20 mm, la plupart des pegmatites ont une composition granitique.

- **Catarchéen :**

Formation géologique cristalline d'âge supérieur à 3000 MA

- **Archéen :**

Formation géologique cristalline d'âge compris entre 3000-2600 MA

- **Protérozoïque :**

Formation géologique cristalline d'âge compris entre 2600-550 MA

Annexe 2 : Quelques prises de vue durant l'expérience:



Photo 6 : Minerai Brut non broyé (filon)



Photo 7 : Lavage avec $S_{1/10}$



Photo 8 : Minerai Brut broyé ($125\ \mu\text{m}$)



Photo 9 : Lixiviation de l'or pur



Photo 10 : Minerai à analyser ($<80\ \mu\text{m}$)



Photo 11 : Lixiviation minerai



Photo 12 : Essai de lavage ($S_{1/10}$ à $S_{1/1}$)



Photo 13 : Essai de précipitation

Annexe 3 : Poids et mesures utilisés pour le marché de l'or

1 once troy (oz) = 31,1035 grammes

32 onces = 1 kg

1 Tola = 11.6638 grammes = 0,375 once

1 Tael (Hong Kong) = 37,4290 grammes = 1,20337 onces

5.760 grains = 1 pound troy

480 grains = 1 oz troy

1 kg = 32,15 oz troy (contrat Comex)

12,44 kg = 400 oz troy (London good delivery bar)

1 Tola (Inde) = 180 grains

1 Rupee = 0,375 oz troy; 11,664 g

1 baht (Thaïlande) = 0,47 oz troy ; 14,62 g

Annexe 4 : Notion sur l'eau de javel [W3]

L'eau de Javel est une solution aqueuse d'hypochlorite de sodium.

L'hypochlorite de sodium est fabriqué en général, par réaction directe entre le dichlore (gazeux) et la soude (à plus de 18%) eux-mêmes produits par électrolyse de NaCl :



La réaction est fortement exothermique et la température ne doit pas dépasser 40°C afin de limiter la dismutation des ions hypochlorites en ions chlorates et chlorures. En conséquence, le milieu réactionnel est énergiquement refroidi. Les installations sont en PVC (cuves, canalisations) et en titane (pompes, échangeurs thermiques).

❖ **Notion de «chlore actif», «chlore actif libre» et «chlore total»**

• L'expression «chlore actif» correspond au concept scientifique de «available chlorine» (soit chlore disponible). Le chlore actif correspond à l'ion ClO^- et aux gaz HOCl et Cl_2 dissous dans l'eau (solution assez concentrée et alcaline).

• L'expression «chlore actif» désigne, en réalité, un pouvoir oxydant qui correspond bien au double de la quantité de chlore sous forme de NaOCl dans une solution assez concentrée et alcaline.

• L'expression "chlore actif libre" correspond au concept américain de "active chlorine". Le "chlore actif libre" correspond aux gaz HOCl et Cl₂ dissous dans l'eau (solution très diluée en milieu neutre ou acide).

• L'expression "chlore total" désigne le chlore sous toutes ses formes: hypochlorite, mais aussi le chlorure de sodium qui pourrait, d'ailleurs, être éliminé, ainsi que les chlorites et les chlorates.

Tableau 24 : Récapitulation

Chlore actif	Ion hypochlorite ClO ⁻ Gaz dissous : - acide hypochloreux HOCl - chlore Cl ₂
Chlore actif libre	Gaz dissous : - acide hypochloreux HOCl - chlore Cl ₂
Chlore total	Hypochlorite de sodium NaOCl Chlorure de sodium NaCl Chlorite de sodium NaClO ₂ Chlorate de sodium NaClO ₃

❖ Production et qualité :

L'industrie chlorigène met à la disposition des industriels deux qualités d'hypochlorite de sodium, dont la densité varie dans des proportions relativement importantes :

- hypochlorite de sodium à environ 13 % de chlore actif, correspondant à des solutions équimoléculaires d'hypochlorite de sodium et de chlorure de sodium (voir Table de correspondance, colonnes 3,4,5)

- hypochlorite de sodium à environ 24 % de chlore actif dans lequel la haute concentration a pu être obtenue grâce à l'élimination d'une partie du chlorure de sodium. Ceci entraîne, pour ces concentrés, une densité plus faible à concentration de chlore actif égale que pour un produit de fabrication traditionnelle (voir Table de correspondance, colonnes 6,7,8).

Dans ses usines et ateliers de mélange et de conditionnement, l'industrie de l'Eau de Javel utilise donc, en fonction de ses approvisionnements :

- soit des hypochlorites de sodium à 13 % de chlore actif
- soit des hypochlorites de sodium à 24 % de chlore actif
- soit des mélanges de ces deux types d'hypochlorites.

On obtient ainsi après addition d'eau, soit du Concentré de Javel à 9,6 % de chlore actif, soit de l'Eau de Javel à 2,5 % de chlore actif, qui sont les concentrations que l'on trouve maintenant sur le marché.

Tableau 25 : Table de correspondance

% chlore actif	% NaClO	hypochlorite de sodium à 13% de c.a.			hypochlorite de sodium à 24% de c.a.		
		Densité Moyenne	quantité de c.a. en g/litre	Degré chlorométrique	densité moyenne	quantité de c.a. en g/litre	Degré Chlorométrique
0,10	0,11	1,001	1,00	0,32	1,001	1,00	0,32
0,20	0,21	1,003	2,01	0,63	1,002	2,00	0,63
1,40	1,47	1,020	14,27	4,50	1,015	14,21	4,48
1,50	1,58	1,021	15,32	4,83	1,016	15,24	4,81
2,40	2,52	1,034	24,82	7,83	1,026	24,62	7,77
2,50	2,63	1,036	25,89	8,17	1,027	25,67	8,10
9,50	9,98	1,150	109,23	34,46	34,46	105,54	33,29
9,60	10,08	1,152	110,56	34,88	1,112	106,78	33,68

Exemple : le « sur'eau », agent de chloration d'eau domestique est composé de 1,48% de c.a.

Annexe 5 : la pyrite :

La pyrite vient du mot Grec « puritès » (étincelant) ou « puros » (feu) à cause des étincelles qui se produisent lorsqu'il y a un frottement. Du point de vue minéralogique, la pyrite est un disulfure de fer de formule moléculaire FeS_2 .

Elle se cristallise dans le système cubique. Par rapport à l'échelle de Mohs, sa densité est de 6.

La densité varie selon le type du minéral :

- Pour un minéral pur (pyrite pure), la densité est de $5,02g.cm^{-3}$;
- Et pour un minéral avec leur gangue, la densité était entre $4,6$ à $5,2g.cm^{-3}$;

Son éclat est métallique de couleur jaune vif comme celui de l'or. D'où son appellation « or de fous ».

On la trouve souvent abondante dans des formations métamorphiques, des roches éruptives, et dans des fissures où il y a une circulation de fluide hydrothermale (filon).

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : BREF RAPPEL SUR LES GENERALITES SUR L'OR.....	3
I 1. Introduction	3
I 2. Les principales propriétés physiques [8] [W11]	3
I.3. Propriétés chimiques [12].....	4
I.4. Bref aperçus des utilisations de l'or [1] [W2] [W11]	4
I.5. L'exploitation de l'or à Madagascar [5]	6
I.6. Les principales zones de ressources aurifères [4]	6
CHAPITRE II: RAPPEL SUR LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXTRACTION D'OR ..	10
II.1. Technique gravimétrique.....	10
II.1.1. La batée [1]	10
II.1.2. Le sluice [12] [W10].....	11
II.2. Technique chimiques	13
II.2.1. L'amalgamation [1] [12]	13
II.2.2. Cyanuration [1] [W1].....	14
II.3. La flottation [1]	16
CHAPITRE III : ETUDE DE MINERAI A FAIBLE TENEUR : CAS BETSIKA.....	19
III.1. Généralité sur la zone d'étude.....	19
III.1.1. bref historique de l'or de Betsiaka [7].....	19
III.1.2. A propos de la société KRAOMA	20
III.1.3. Localisation de la zone d'étude [2].....	20
III.2. Problématique sur la minéralogie de minerai [2]	22
III.3. Solution.....	24
CHAPITRE IV : RAPPELS SUR LA TECHNIQUE DE LIXIVIATION CHIMIQUE	25
IV.1. Lixiviation [W4]	25
IV.1.1. Définition	25
IV.1.2. Type :.....	25
IV.2. Etude de la réaction chimique lors de la lixiviation	26
IV.2.1. Capacité oxydante du dichlore sur l'or :	26
IV.2.2. Comportement de l'eau de javel dans le milieu	27

IV.2.3. Action de l'acide chlorhydrique :	30
IV.3. Facteurs influant la chloration de l'or.....	30
IV.3.1. Concentrations de HCl et de l'eau de javel	30
IV.3.2. Le pH :	31
IV.3.3. L'agitation	32
IV.3.4. La surface de contact	32
CONCLUSION PARTIELLE.....	33
PARTIE II: PARTIE EXPERIMENTALE	34
CHAPITRE V : OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPERIMENTALE	35
V.1. Objectifs.....	35
V.2. Description du procédé proposé :	36
V.3. Les essais expérimentaux effectués.....	38
V.4. Méthodes d'analyse.....	38
V.4.1. Méthode d'analyse de l'or	38
V.4.1.1. Protocole d'étalonnage de l'appareil.....	38
V.4.1.2. Protocole d'analyse du minerai	40
V.4.1.3. Détermination de l'or dans la solution chlorure d'or.....	Erreur ! Signet non défini.
V.4.2. Analyse de l'impureté : Fe.....	41
V.4.2.1 Protocole d'étalonnage de l'appareil.....	41
CHAPITRE VI : ESSAIS EXPERIMENTAUX	44
VI.1. Essais expérimentaux de détermination de diamètre de libération d'or	44
VI.1.1. Mode opératoire.....	44
VI.1.2. Résultats obtenus	44
VI.1.3. Interprétation et conclusion sur le diamètre de libération à adopter	46
VI.2. Essais expérimentaux de détermination de la teneur de l'acide HCl pour lavage optimale des impuretés.....	47
VI.2.1. Mode opératoire.....	47
VI.2.2. Résultats obtenus	47
VI.2.3. Interprétation :	Erreur ! Signet non défini.
VI.3. Essais expérimentaux de la détermination du rapport de concentration d' HCl/ eau de javel	49
VI.3.1. Remarques :	49
VI.3.1.1. Caractéristiques de l'eau de javel utilisé.....	49
VI.3.1.2. La cuve pour la lixiviation.....	50

VI.3.2. Méthode expérimentale de lixiviation adoptée.....	50
VI.3.2.1. Résultats des essais.....	50
VI.3.2.2. Interprétation	51
VI.4. Essais expérimentaux de lixiviation sur le minerai brut à faible teneur en or	51
VI.4.1. Remarques.....	51
VI.4.2. Essais expérimentaux de détermination du temps de lixiviation optimal sur le minerai brut	52
VI.4.2.1. Méthode expérimentale	52
VI.4.2.2. Résultats.....	53
VI.4.2.3. Interprétation	54
CHAPITRE VII : EVALUATION DU RENDEMENT DU PROCEDE.....	55
VII.1. Introduction.....	55
VII.2. Conditions opératoires adoptées par étape	55
VII.3. Résultats	56
VII.3.1. Rendement par étapes	56
VII.3.2. Rendement global du procédé :.....	56
CONCLUSION PARTIELLE.....	58
PARTIE III : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION ET APPROCHES ENVIRONNEMENTALES	59
CHAPITRE VIII : PRE-ETUDE SUR L'EXPLOITATION.....	60
VIII.1. Généralités	60
VIII.2. Etapes d'exploitation.....	60
VIII.3. Moyens matériel et humain	62
VIII.3.1. Matériels d'exploitation	62
VIII.3.1.1. Matériels d'ouverture et de construction.....	62
VIII.3.1.2. Matériels d'extraction.....	64
VIII.3.1.3. Matériels de traitement.....	64
VIII.3.2. Ressources humaines	71
CHAPITRE IX : APPROCHE ENVIRONNEMENTAL DU PROJET.....	74
IX.1. Présentation de l'approche environnementale.....	74
IX.2. Etat initial du milieu	75
IX.3. Matrice des impacts environnementaux [3].....	76

IX.3.1. Sur le milieu physique	76
IX.3.2. Sur le milieu biologique.....	80
IX.3.3. Sur le milieu socio-économique.....	81
IX.3.4. Impacts positifs du projet	83
IX.4. Raisons du choix du projet.....	84
IX.4.1. Facteurs géologiques.....	84
IX.4.2. Facteurs environnementaux	84
IX.4.3. Facteurs techniques	84
IX.4.4. Facteurs sociaux:.....	85
IX.4.5. Facteurs économiques:	85
IX.5. Remise en état du site	85
IX.5.1. Généralités	85
IX.5.2. Principe	86
CONCLUSION PARTIELLE.....	87
CONCLUSION GENERALE	88
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE.....	89
ANNEXES.....	I
TABLE DES MATIERES	VI

MIHAJASOA Séraphin

Tel : 033 61 932 35

E-mail : seraphinmihajaso@gmail.com

**Titre: CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EXTRACTION DE L'OR
PAR LIXIVIATION PARTIR DES GISEMENTS AURIFERES A
FAIBLES TENEURS : CAS MINERAI D'OR DE BETSIKA DE
KRAOMA**

RESUME

Notre travail consiste à extraire de l'or dans les minerais par lixiviation chimique en utilisant un mélange d'acide chlorhydrique et de l'eau de javel.

Ainsi notre objectif est de proposer un procédé pour l'exploitation du gisement aurifère comme le cas de Betsiaka.

Nous avons trouvé que le procédé proposé est le plus adapté et qui peut même respecter la norme environnementale.

Notre expérience a fait sortir un taux de récupération de 64.60% d'or. Cette valeur peut améliorer et pouvant atteindre plus de 80% dans des conditions adéquates. Par conséquent notre ambition est d'apporter notre part pour le développement du secteur minier à Madagascar.

MOTS CLES : or, lixiviation, eau de javel, acide chlorhydrique

. SUMMARY

Our work consists in extracting from gold in the ores by chemical leaching by using a mixture of hydrochloric acid and bleach.

Thus our objective is to propose a process for the exploitation of the gold bearing layer like the case of Betsiaka.

We found that the process suggested is more to adapt and who can mix to respect the environmental standard.

Our experiment made leave a rate recovery of 64.60% of gold. This value can improve and being able to reach more than 80% under adequate conditions. Consequently our ambition is to bring our share for the development of the mining sector to Madagascar.

CLEywords: gold, Leaching, Bleach, chlorhydric acid

- **Nombre de pages : 90**
- **Nombre de tableaux : 27**
- **Nombre de figures : 29**
- **Nombre de photos : 12**
- **Nombre d'annexes : 4**

ENCADREUR : Monsieur RAKOTOARIVONIZAKA Ignace