



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par : M^{elle} GUEHILIZ Katia

Thème :

*Etude comparative entre le minéral
d'Amesmassa et le minéral d'Aïn Guezzam*

Soutenu le 14/07/2022 devant le jury composé de :

Président	O. DJEZAIRI	MAA	U.A.M.Bejaia
Encadreur	Z. SOUCI	MCA	U.A.M.Bejaia
Examineur	N.LARACHI	MAA	U.A.M.Bejaia

Promotion : 2021-2022

Remerciements

Je

Rends grâce au dieu le tout puissant de m'avoir accordé la foi, le courage et la patience pour mener à bien ce travail

Je tiens avant tout à exprimer ma reconnaissance et mes remerciements à ma promotrice Mme SOUICI.Z, maître de conférences à l'université de Bejaïa pour ses compétences scientifiques et ses conseils ainsi que son orientation, et son soutien qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je voudrais exprimer mes remerciements à tous les membres de jurys Mr DJEZAIRI.O et Mr LAARACHI.N, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant la lourde tâche d'examiner mon travail, à tous les enseignants qui par leurs compétences nous ont orientés et encouragés durant nos années d'études, je remercie aussi l'ensemble de personnel de département des mines et géologie de Bejaïa.

Je remercie Mme KICHER.K enseignante géologue à l'université de Bejaïa pour son aide à la réussite de mon projet de fin d'étude.

J'ai l'honneur et l'énorme plaisir de présenter mes sincères et chaleureux remerciements et reconnaissances à mes deux co-encadrateurs Mr LOUZ.M directeur des opérations à l'ENOR, et Mr MORCELI.H chef de laboratoire pour leur grande culture scientifique, leurs encouragements et leurs disponibilités. Sans eux, ce travail n'aurait pas pu être mené à de bons résultats, pour leurs bonnes explications qui m'ont éclairés le chemin de la recherche et leurs collaborations afin d'achever ce modeste travail. Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à leurs hautes personnalités.

Ma profonde gratitude est effectivement destinée spécialement à Mr BENKREIRA.A le directeur des opérations de l'ENOR pour son aide et son accueil au niveau de siège de l'entreprise ENOR.

Je remercie spécialement Mr AKDIM.A qui m'a toujours aidé et encourager.

Je remercie ainsi par nom toutes personnes qui m'ont aidé et accompagner au long de mon séjour à Amesmassa : Mr SAHTALI.A le responsable de service process et Mr Redouane chef de base aussi Mr CHIBANI MOHAMED géologue de la mine et tout le personnel de l'entreprise.

Un grand merci insuffisant à la prunelle de mes yeux à celle qui m'a mis au monde. A ma mère.

J'adresse un grand merci à mes frères Lounis, Lakhal, la force de ma vie.



- GUEHILIZ Katia -

Dédicace

Je dédie ce modeste travail marquant de ma vie à :

La mémoire de mon père que dieu l'accueille dans vaste paradis ;

A ma chère mère qui a sacrifié sa vie pour ma réussite, pour ses encouragements, son soutien je lui serai éternellement reconnaissante, que dieu la protège pour moi ;

A mes frères LOUNES, LAKHAL les deux êtres les plus précieux pour moi, la force et le courage de tous mes jours ils ont été avec moi à chaque pas de ma vie ;

A ma tante Noria pour son amour et son soutien ;

A ma sœur Naïma qui a traverser avec moi tout le chemin de mon parcours, son amour ma toujours nourris du courage pour avancer ;

A l'une des personnes les plus chères à mes yeux INES qui a grandi avec moi ;

A mes cousines SAMIRA et Yasmine pour leurs encouragements ainsi BIDA ;

A mes deux sœurs d'une autre maman NINA et SABI celles avec qui j'ai traversé un parcours différent remplie d'amour de respect et de joie, votre connaissance est la meilleur des choses qui me soit arrivé à l'université ;

A ma DOUDOU mon âme-sœur ;

A mon cher tonton lounis, à Naim et Rachid

A tonton LAHCEN pour ses encouragements, et sa gentillesse.

A tous ceux qui m'ont soutenu depuis mes premiers pas à l'université en particulier Mon ami Adel



GUEHILIZ Katia -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

Introduction 4

I.1. Géologie régionale 4

I.1.1. Géologie du Hoggar 4

I.1.2. La minéralisation du Hoggar 5

I.2. Géologie des deux régions étudiées I.2.1. Ain Guezzam 7

I.2.1. Situation géographique des sites de Tin Ezzerarine 7

I.2.1.1. Géologie locale du site de Tin Ezzerarine 9

I.2.1.2. La minéralisation des indices d'Or de Tin-Ezzararine 10

I.2.2. Amesmassa 10

I.2.2.1. La géologie de la région d'Amesmassa 10

I.2.2.2. La lithologie des districts de la région d'Amesmassa 13

I.2.2.3. La minéralisation du gisement d'Amesmassa 14

I.2.2.4. Travaux de recherche et d'exploration 15

I.3. Travaux d'exploitation des gisements d'Or 16

I.3.1. Méthode d'exploitation des gisements d'Or au niveau d'Ain Guezzam 16

I.3.1.1. Equipements utilisés pour l'exploitation artisanale 16

I.3.2. Travaux d'exploitation des gisements d'Or d'Amesmassa 16

I.3.2.1. Exploration avant exploitation 16

Conclusion 18

Sommaire

Chapitre II

Procédés d'extraction de l'Or au niveau de la mine d'Amesmassa

Introduction	20
II.1. Réception du minerai au niveau de la mine d'Amesmassa.....	20
II.2. Travaux de laboratoire de la mine d'Amesmassa	20
II.2.1. Préparation mécanique.....	21
A. Le débitage des roches.....	21
B. Le concassage	21
C. La division et l'échantillonnage.....	22
D. Le broyage	22
II.2.2. Fire Assay (docimasia plumbeuse (1ère partie))	23
II.2.3. Digestion acide ou attaque chimique (3ème partie).....	25
II.2.4. Spectrométrie d'Absorption Atomique.....	25
II.3. La cyanuration	26
II.4. Protocole suivi à l'usine de traitement (process).....	26
II.4.1. Concassage du minerai	26
II.4.2. Broyage de minerai	27
II.4.2.1. Minerai riche (High grade)	27
II.4.2.2. Minerai pauvre	31
Conclusion	33

Chapitre III

Protocole opératoire et analyses

Introduction	35
III.1. Echantillonnage	35
III.2. Pétrographie.....	38
III.2.1. Minerais d'Amesmassa.....	38
III.2.2. Minerais d'Ain Guezzam.....	39
III.3. Préparation mécanique	40
III.4. Détermination de la teneur initiale des minerais	42
III.4.1. Principe de la SAA (Spectrométrie d'Absorption Atomique).....	42
III.4.2. Matériel d'analyse	43
III.4.3. Mode opératoire.....	44
III.5. Test de lixiviation dynamique en bouteilles roulantes	46
III.5.1. Matériel utilisé.....	47

Sommaire

III.5.2. Mode opératoire.....	47
III.6. Test d'adsorption dynamique avec charbon actif.....	50
III.7. Tests de décantation.....	51
III.7.1. Décantation naturelle.....	51
III.7.2. Décantation forcée (ajout du flocculant).....	52
III.8. Test de densité.....	52
III.9. Techniques de caractérisation.....	53
III.9.1. Analyse par diffraction des rayons X.....	53
III.9.2. Analyse spectrométrie de fluorescence X [19].....	55
III.9.3. Analyse par photo luminescence.....	57
III.10. Etude de la minéralisation par lames minces et section polie.....	59
III.10.1. Lame mince.....	59
III.10.2. Section polie.....	61
Conclusion.....	61

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction.....	63
IV.1. Caractérisation des minerais.....	63
IV.1.1. Caractérisation par spectrométrie de fluorescence X.....	63
A. Minerais d'Amesmassa.....	63
B. Minerais d'Ain Guezzam.....	64
IV.1.2. Caractérisation par diffraction des rayons X.....	65
A. Minerais d'Ain Guezzam.....	66
B. Minerais d'Amesmassa.....	67
IV.2. Résultats des lames minces et des sections polies des échantillons des deux minerais.....	69
IV.2.1. Lame mince et section polie du minerai d'Amesmassa.....	69
IV.2.2. Lame mince et section polie de minerai d'Ain Guezzam.....	70
IV.3. Les teneurs initiales des minerais.....	71
IV.4. Résultats des tests de lixiviations des minerais.....	72
IV.4.1. Minerais d'Amesmassa.....	72
IV.4.2. Minerais d'Ain Guezzam.....	72
IV.5. Les teneurs finales.....	74
IV.6. Résultats des tests d'adsorption des minerais.....	74

Sommaire

IV.6.1. Minerais d'Amesmassa	74
IV.6.2. Minerais d'Ain Guezzam	75
IV.7. Teneur de charbon actif après adsorption.....	76
IV.8. Résultats de test de densité (masse volumique)	77
A. Minerais d'Amesmassa.....	77
B. Minerais d'Ain Guezzam.....	77
IV.9. Résultats des tests de décantation.....	77
IV.9.1. Minerais d'Amesmassa	77
IV.9.1.1. Décantation naturelle.....	77
IV.9.1.2. Décantation forcée (par flocculant).....	78
IV.9.2. Minerais d'Ain Guezzam	78
IV.9.2.1. Décantation naturelle.....	78
IV.9.2.2. Décantation forcée.....	78
IV.10. Caractérisation par photoluminescence.....	79
Conclusion Générale.....	83
Référence bibliographiques.....	86
Annexes	89

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

Abréviation	Synonyme
ENOR	Entreprise d'Exploitation des Mines d'Or
SONAREM	Société Nationale de Recherches et d'Exploitation Minière
Mm	Millimètre
UTM	Transverse Universelle de Mercator
NS	Nord Sud
Ma	Million d'années
NE-SW	Nord Est –Sud West
E-W	Est – West
ORGM	Office National de la Recherche Géologique et Minière
N-S	Nord – Sud
J.O.D.L.R.A	Journal Officiel de la République Algérienne
Ppd	Partie par billion
Hg	La Hauteur du gradin
L_{tr}	La profondeur du trou
Ls	La sous-Foration
B	L'inclinaison du trou par rapport à la verticale
W	La ligne de moindre résistance
D	Le diamètre du trou
A	La distance entre les trous dans une rangée
B	La distance entre les trous
SAA	Spectroscopie d'Adsorption Atomique
MgO	Oxyde de Magnésium

Liste d'abréviation

HNO₃	Acide nitrique
HCL	Acide chlorhydrique
CIP	Charbon en pulpe
CIL	Charbon en lixiviat
CN⁻	Cyanure
HCN	Acide cyanhydrique
ZnS	Sulfure de zinc
Au	Or
PbS	Galène
SiO₂	Quartz
FeS	Pyrite
CuFeS₂	Chalcopyrit
FeO	Oxyde de fer
UV-Vis	Ultraviolet-visible
ppm	Partie par million
AgNO₃	Nitrate d'Argent
LPCMC	Laboratoire physico-chimique des matériaux de construction
FRX	Fluorescence des rayons X
DRX	Diffraction des rayons X
PH	Potentiel d'hydrogène
PL	Photoluminescence
LPA	Lumière polarisée
LPNA	Lumière polarisée non analysée
SiO₂	Silice

Liste d'abréviation

Al₂O₃	Alumine
Fer	Fe
Potassium	K
Calcium	Ca
Magnésium	MgO
Sulfure	S
Titanium	Ti
Barium	Ba
Molybdenum	Mo
Plomb	Pb
Strontium	Sr
Phosphore	P
Zinc	Zn
Manganèse	Mn
Niobium	Nb
Cadmium	Cd
Argent	Ag
Antimoine	Sb
Au	Or

Liste des tableaux

Tableau1 I.01 : Les différents terranes du Hoggar.....	5
Tableau2 I.02 . Coordonnées UTM nord du Sahara zone (31)	8
Tableau4 III.01 . La description visuelle des échantillons d'Amesmassa.....	38
Tableau3 III.2 . La description des échantillons d'Ain Guezzam.	39
Tableau4 IV. 01 : Résultats de l'analyse par FRX des filons d'Amesmassa.....	64
Tableau5 IV.02 : Résultats de l'analyse par FRX des indices d'Au d'Ain Guezzam	65
Tableau6 IV.03 : teneurs initiales	71
Tableau7 IV. 04 : Teneurs finales.....	74
Tableau8 IV.05 : Teneurs de charbon après le test d'adsorption.....	76
Tableau9 IV.06 : Résultats de test de décantation naturelle des filons 8 et 16	77
Tableau10 IV.07 : Résultats de test de décantation forcé des filons 8 et 16.....	78
Tableau11 IV.08 : Résultats de test de décantation naturelle des échantillons d'Ain Guezzam	78
Tableau12 IV.09 : Résultats du test de décantation forcée des échantillons d'Ain Guezzam	78

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.01.Principaux domaines structuraux du bouclier Touareg	6
Figure I.02. Carte des principales subdivisions et des principaux domaines structuraux du Hoggar	6
Figure I.03. Relation entre les trannes panafricaines, les zones de cisaillement et la minéralisation d'Or dans le bouclier Targui (Hoggar)	7
Figure I.04.Situation géographique de Tin Ezzerarine	8
Figure I.05. Position locale du site Tin Ezzerarine.....	10
Figure I.06. Carte de localisation géographique de la région d'Amesmassa	12
Figure I.07. Carte géologique du gisement d'Amesmasa.....	13
Figure I.08. Croquis détaillé d'un filon de quartz à Amesmessa	15
Figure I.09. Coupe de corps minéralisé à Amesmessa Fait pour ENOR Par Behre.....	15
Figure I.10.Sondage destructif.....	18
Figure II.01. Roches à des dimensions réduites [photo prise 2022].....	21
Figure II.02. Minerai concassé [photo prise 2022].....	22
Figure II.03. Pulvérisateur à disque du laboratoire d'Amesmassa [photos prises 2022]	23
Figure II.04. Creusets en matière réfractaire [photo prise 2022].....	24
Figure II.05. Outils de fire Assay [photos prises 2022].....	24
Figure II.06. Tube à essai + solution (or +eau distillée) [photo prise 2022]	25
Figure II.07. Spectromètre d'adsorption atomique (SAA) [photo prise 2022]	25
Figure II.08. Unité de concassage [photo prise 2022]	27
Figure II.09. Unité de décantation épaisseur [photo prise 2022]	28
Figure II.10. Les colonnes de charbon [photo prise 2022]	29
Figure II.11. Tamis vibrant et le charbon actif [photo prise 2022]	29
Figure II.112. Electrolyse [photos prises 2022]	30
Figure II.13. Fusion, versement, séparation d'Or des impuretés et obtention de lingot d'Or-Argent. [photos prises 2022]	31
Figure II.14. Lixiviation en tas Heap Leach [photos prises 2022]	31
Figure II.15. Rompe d'arrosage de cyanure au niveau de Heap Leach [17]	32
Figure II.16. Fosse de récupération des solutions aurifères Amesmassa [photo prise 2022]	32
.....	32
Figure17. Procédé de récupération de lingot Au-Ag au niveau d'Amesmassa	33
Figure III.01. Filon 16 zone d'Amesmassa [photo prise 2022].....	35

Liste des figures

Figure III.02. Filon 8 zone d'Amesmassa [photo prise 2022].....	36
Figure III.03. Echantillon représentatif des Filons 08 et 16 [photo prise 2022].....	36
Figure III.04. Dépôt de minerai du gisement d'Ain Guezzam [photos prises 2022]	37
Figure III.05. Echantillon représentatif du minerai d'Ain Guezzam [photo prise 2022]	37
Figure III.06. Minerai de quartz accompagné des sulfures [photo prise 2022].....	38
Figure III.07. Quartage de minerai après.....	40
Figure III.08. Deux quarts opposés	40
Figure III.09. Schéma de la préparation mécanique et le quartage de minerai d'Amesmassa	41
Figure III.10. Principe de fonctionnement de la SAA.....	42
Figure III.11. Spectromètre d'absorption atomique du laboratoire d'Amesmassa [Photo prise 2022].....	43
Figure III.12. Four de fusion [photo prise 2022].....	44
Figure III.13. Perle Ag-Au dans les coupelles [photo prise 2022].....	45
Figure III.14. Tubes contenant les perles + HNO ₃ sur le bain-marie pour préchauffer [photo prise 2022]	46
Figure III.15. Bottel roll [photo prise 2022].....	47
Figure III.16. Eau distillée [photo Prise 2022].....	47
Figure III.17. NaOH [photo prise 2022].....	48
Figure III.18. NaCN [photo prise 2022]	48
Figure III.19. Dispositif de rotation des bouteilles roulantes [photo prise 2022].....	48
Figure III.20. La pulpe récupérée à la fin du test [photo prise 2022].....	49
Figure III.21. La pulpe récupérée dans l'étuve pour le séchage [photo prise 2022]	49
Figure III.22. Le solide après séchage [photo prise 2022]	49
Figure III.23. Tubes à essais remplis.....	50
Figure III.24. Echantillon après filtration d'échantillon prélevé [photo prise 2022] [photo prise 2022].....	50
Figure III.25. Charbon récupéré à la fin du test d'adsorption pour le séchage [photo prise 2022].....	51
Figure III.26. Epruvette graduée [photo prise 2022]	51
Figure III.27. 100g du minerai [photo prise 2022]	51
Figure III.28. La pulpe eau + minerai mélangé [photo prise 2022].....	52
Figure III.29. Flocculant + pulpe [photo prise].....	52
Figure III.30. Echantillon représentatif pour le test de décantation [photos prises 2022]...	53

Liste des figures

Figure III.31. Schéma d'un diffractomètre.....	54
Figure III.32. Un faisceau de rayons X.	55
Figure III.33. Analyseur FRX [photo prise 2022]	56
Figure III.34. Principe des spectromètres portables par fluorescence X.....	56
Figure III.35. Porteur de l'analyseur et de l'échantillon [photo prise 2022]	57
Figure III.36. Ecran d'affichage des données de l'analyseur [photo prise 2022]	57
Figure III.37. Principe d'absorption et d'émission spontanée	58
Figure III.38. Schéma de principe de l'expérience de photoluminescence.	58
Figure III.39. Spectromètre de photo luminescence utilisé pour réaliser nos analyses [photo prise 2022]	59
Figure III.40. Echantillon + sciage + rodage [photos prises]	60
Figure III.41. Séchage + collage de verre sur le sucre [photos prises 2022]	60
Figure III.42. Description de microscope	61
Figure IV.01. Spectre de la DRX de l'ECH-823	66
Figure IV.02. Spectre de la DRX de l'ECH-77	66
Figure IV.03. Spectre de la DRX de filon-16.....	67
Figure IV.04. Spectre de la DRX de filon-8.....	67
Figure IV.05. La minéralisation sous le microscope.....	69
Figure IV.06. Evolutions de teneur de lixiviation de F-8 et F-16 en fonction du temps.....	72
Figure IV.07. Evolutions de teneur de lixiviation d'ECH-823 et ECH-77 en fonction du temps.....	72
Figure IV.08. Evolutions du taux d'adsorption de F-8 et F-16 en fonction du temps.....	74
Figure IV.09. Evolutions du taux d'adsorption d'ECH-823 et ECH-77 en fonction du temps	75
Figure IV.9. Spectres de photoluminescence des minerais d'Amesmesssa et de Ain Guezzam	80

Introduction Générale

Introduction Générale

L'or est connu depuis la haute antiquité comme un métal précieux par excellence. Toutes les civilisations l'ont utilisé pour la réalisation de bijoux et d'objets d'apparat ou comme symbole de richesse. C'est un métal exceptionnel en raison de ses caractéristiques physico chimiques. Il est bon conducteur, ductile, malléable et est l'un des métaux les moins réactifs. L'or est un métal très dense avec une masse volumique de $19,32 \text{ g/cm}^3$, et de hauts points de fusion et d'ébullition de 1064°C et de 3081°C respectivement. [1]

L'Algérie occupe la 21^{ème} place au classement mondial des pays détenteurs des réserves officielles en or. Les gisements aurifères les plus importants en Algérie sont ceux d'Amesmessa et Tirek.

La SONAREM avait découvert le gisement d'Amesmessa en 1978. Ce gisement est classé parmi les plus grands dans la région du Hoggar, plutôt en Algérie. Le gisement d'Amesmessa est exploité actuellement par l'entreprise d'exploitation de mine d'or (ENOR). [2]

Depuis deux ans, le gouvernement Algérien a accordé une importance à l'exploitation des sites aurifères de Djanet, Ain Guezzam et de Tamanrasset par les jeunes, pour la partie non exploitable industriellement et lancer un partenariat pour les grands gisements. Plusieurs autorisations d'exploitation aurifère artisanale ont été attribuées le 7 février 2021 à Tamanrasset. Cette exploitation se fait dans des sites appelés indices d'Or et qui sont répartis au niveau du Sud algérien et plus exactement au Hoggar. [2]

Au niveau du Hoggar central, on trouve la plupart des indices d'Or à Tamanrasset, Ain Meguel, Ain Abbegui et Tazrouk. Pour le Hoggar oriental on trouve les gisements de Tiririne, Hanane. Tin Zekri et Ain Guezzam et d'autres indices au niveau de Hoggar occidental.

Les minerais d'Or extraits par les micro-entreprises sont transportés au niveau de la mine d'Amesmessa appartenant à l'ENOR, d'où les traitements d'enrichissement et d'extraction sont effectués. Peu d'études ont été consacrées dans le passé à ces indices exploités par les micro-entreprises, ces études restent insuffisantes pour caractériser chaque site et déterminer sa minéralogie et son comportement lors du traitement. Des questions subsistent concernant la possibilité de rendre ces indices aussi rentables que les gisements.

Pour répondre à ces questionnements, nous allons au cours de ce travail, étudier la composition minéralogique et chimique des minerais issus de l'exploitation artisanale d'une part, et d'autre part faire une comparaison avec le minerai d'Amesmessa en termes déjà de

Introduction Générale

composition minéralogique et chimique et l'étude du comportement du minerai lors de la lixiviation par le cyanure et l'adsorption sur charbon actif. Pour la réalisation de cette étude, nous avons choisi deux échantillons issus de deux indices d'Ain Guezzam en plus de deux échantillons issus des filons 8 et 16 du gisement d'Amesmassa.

Pour ce faire, nous avons jugé nécessaire de présenter d'abord dans un **premier chapitre** une étude bibliographique sur la géologie régionale du Hoggar, la géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitations des gisements d'Or : le gisement d'Amesmassa et l'indice d'Ain Guezzam

Le second chapitre parle des procédés d'extraction de l'Or au niveau de la mine d'Amesmassa.

Le troisième chapitre englobe tout le protocole opératoire des tests et des analyses que nous avons effectué au niveau de la mine d'Amesmassa et d'autres analyses de caractérisation.

Dans le **quatrième chapitre** nous allons exposés les résultats des opérations et les discussions ainsi que la comparaison entre le minerai d'Amesmassa et celui de Ain Guezzam.

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

Chapitre I

*Aperçu sur la géologie
régionale du Hoggar,
géologie des deux sites
étudiés et les travaux
d'exploitation des
gisements d'Or*

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

Introduction

En Afrique saharo-sahélienne, certains pays recèlent de grandes potentialités en matière de ressources minérales et en particulier l'or. L'Ahaggar (Hoggar) dans le sud algérien est l'un des sites riches en métaux nobles, des terres rares et de l'uranium et d'autres richesses qui sont non encore exploités. [3]

Deux gisements aurifères les plus importants en Algérie sont ceux d'Amesmessa et Tirek.[2]

La région du Hoggar est désertique à climat chaud et sec durant l'été et plus clément durant l'hiver. La pluviométrie, très faible, dépasse rarement 10 mm par an.

Au cours de ce chapitre, nous allons exposer d'une part la géologie régionale du Hoggar dont celles d'Ain Guezzam et d'Amesmessa, et d'une autre part les travaux d'exploitation des gisements d'Or.

I.1. Géologie régionale

I.1.1. Géologie du Hoggar

Le Hoggar Algérien occupe une superficie d'environ 550.000 km², il s'étend sur près de 1.000 km d'Est en Ouest et de 700 km du Nord au Sud il constitue le principal bouclier Touareg (figure I.01), prolongé au Sud-Est, au Mali, par le massif des Iforas et à l'Est, au Niger, par le massif de l'Air (figure I.02).

Le Hoggar fait partie de la chaîne panafricaine transsaharienne, il est caractérisé par sa subdivision classique en trois compartiments.

Géologiquement, le Hoggar est composé par un socle précambrien recouvert en discordance par les formations de Tassili (formation de plate-forme à couches horizontales représentées par des conglomérats, grès, etc.). D'Ouest en Est, on distingue trois grands domaines limités par des zones de fractures subméridiennes et nettement différenciés des points de vue litho stratigraphique et évolution tectonique :

- ✓ Le Hoggar occidental
- ✓ Le Hoggar central
- ✓ Le Hoggar oriental

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

Tableau I.01 : Les différents terranes du Hoggar. [5]

Hoggar Occidental	Hoggar Central	Hoggar Oriental
Timetrine (Tim)	Assodé-Issalane (As-Is)	Barghot (Ba)
Tilemsi (Ti)	Tchilit (Tch)	Aouzegueur (Ao)
Kidal (Ki)	Tazat (Ta)	Edembo (Ed)
Tassenjanet (Tas)	Sérouenout (Se)	Djanet (Dj)
U granulite Iforas (Ugé)	Egéré-Aleksod (Eg-Al)	
In Ouzzal (Ou)	Azrou-n-Fad (Az)	
Ahnet (Ah)	Tefedest (Te)	
Tirek (Tir)	Laouni (La)	
Tin Zaoutene (Za)		
In Teideni (It)		
Iskel (Isk)		

i. Le Hoggar oriental : c'est le compartiment le moins étudié du Hoggar. Il se caractérise par deux domaines structuraux différents. Le bloc Taffassasset – Djanet et la chaîne linéaire de Tiririne. [6]

ii. Le Hoggar centrale : dit polycyclique ou dominant les ensembles gneissiques du Paléoprotérozoïque inférieur : (séries de l'Arechchoum et d'Aleksod) recouverts en discordance par les séries volcano-sédimentaires pharusiennes (Arefsa et Serouenout). [6]

iii. Le Hoggar occidental : ou affleure la chaîne dite pharusienne composée de deux rameaux (occidental et oriental) séparés par le môle granitique d'In Ouzzal d'âge archéen. Elle est constituée de deux séries volcano-sédimentaires épaisses d'âge Néoprotérozoïque (Pharusien inférieur et pharusien supérieur) intrudées par un plutonisme orogénique très développé. [6]

I.1.2. La minéralisation du Hoggar

La minéralisation du Hoggar est portée par les filons de quartz encaissés dans les shear (cisaillements) zones et dans des intrusions dioritiques à granodioritiques. Des zones filoniennes aurifères et leur cortège d'altérations hydrothermales sont surtout rencontrés dans les ensembles volcano-sédimentaires d'âge néoprotérozoïque.[7]

Lors des mouvements tardifs de ces cisaillements (580-520 Ma), les minéralisations (figure I.03) aurifères sont mises en place durant la transition entre un régime compressif (responsable de la structuration du Hoggar) et un régime distensif (à l'origine de la mise en place des molasses et des intrusions granitiques tardif à post tectoniques). [8]

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

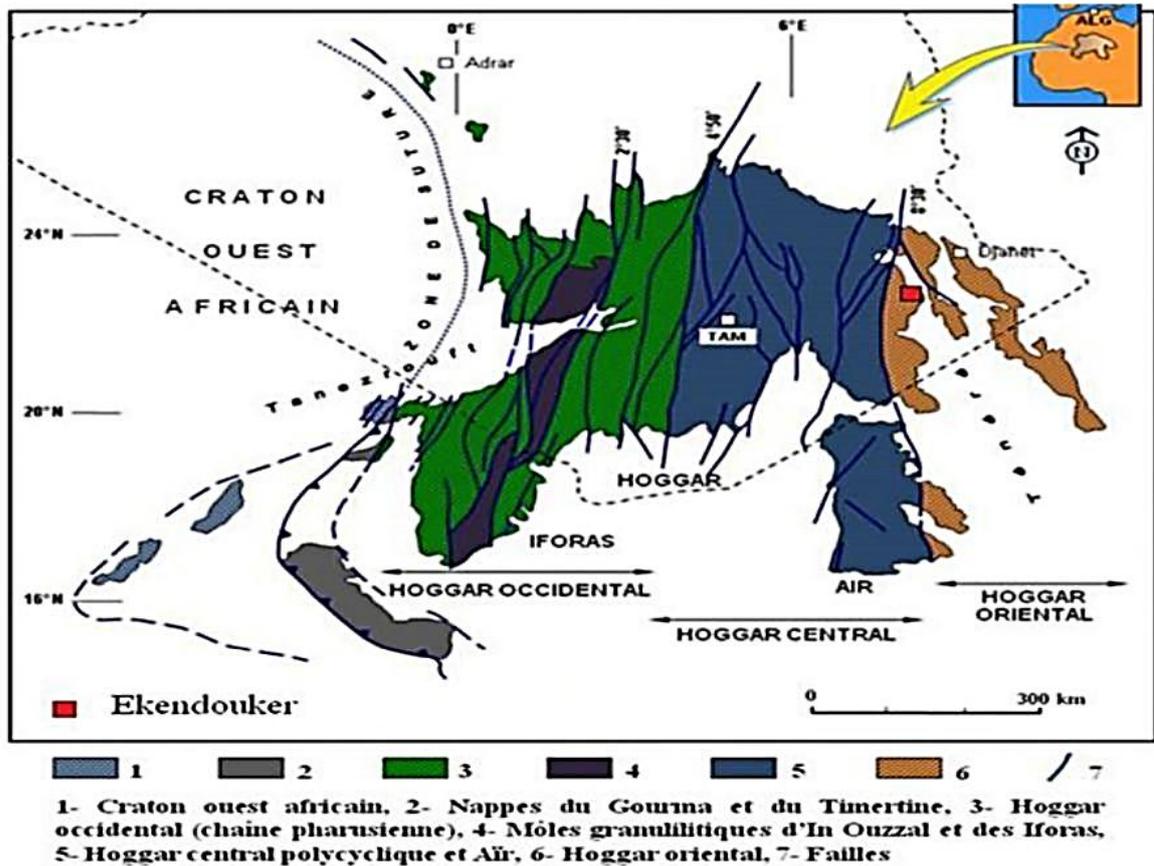


Figure I.01. Principaux domaines structuraux du bouclier Touareg [8]

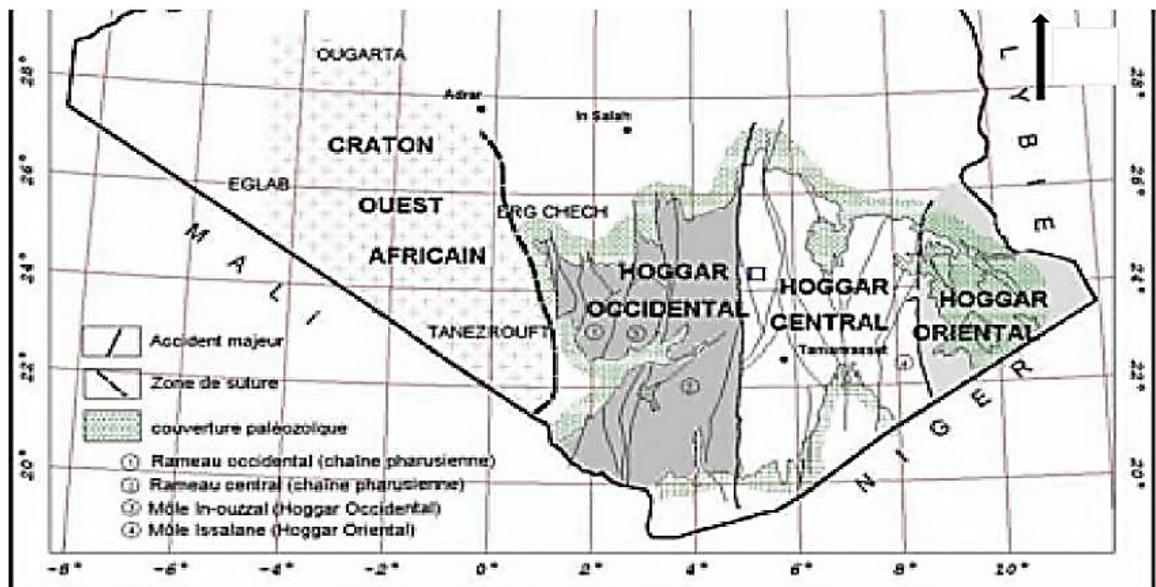


Figure I.02. Carte des principales subdivisions et des principaux domaines structuraux du Hoggar [5]

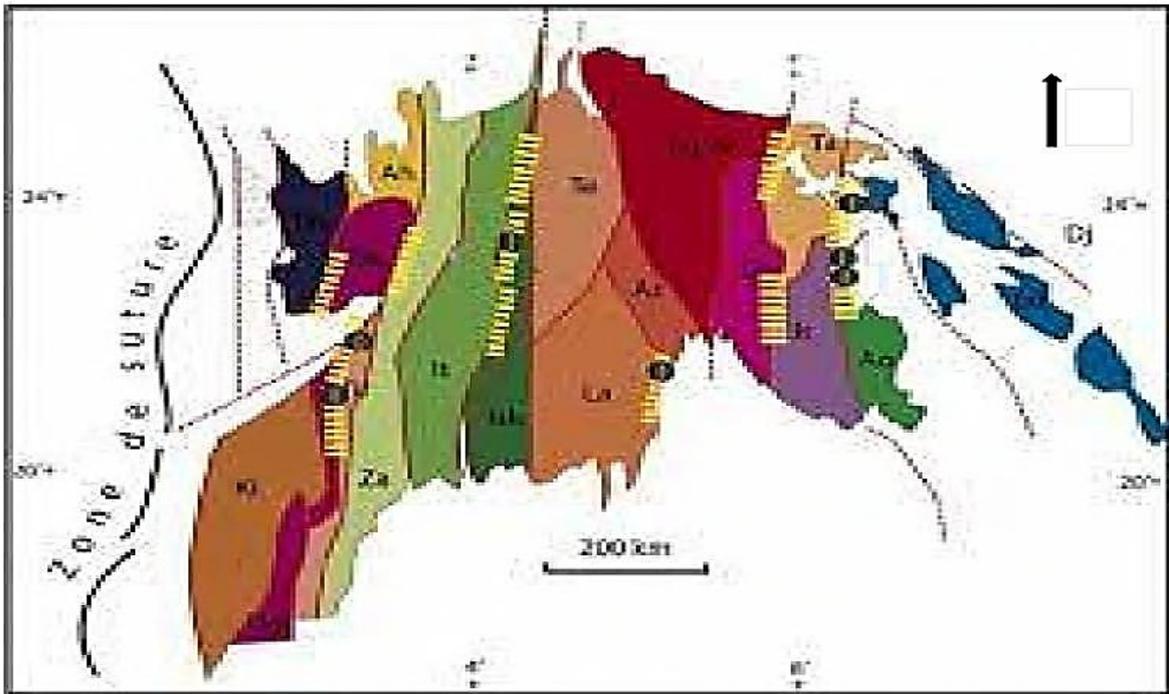


Figure I.03. Relation entre les trannes panafricaines, les zones de cisaillement et la minéralisation d'Or dans le bouclier Targui (Hoggar)

I.2. Géologie des deux régions étudiées I.2.1. Ain Guezzam

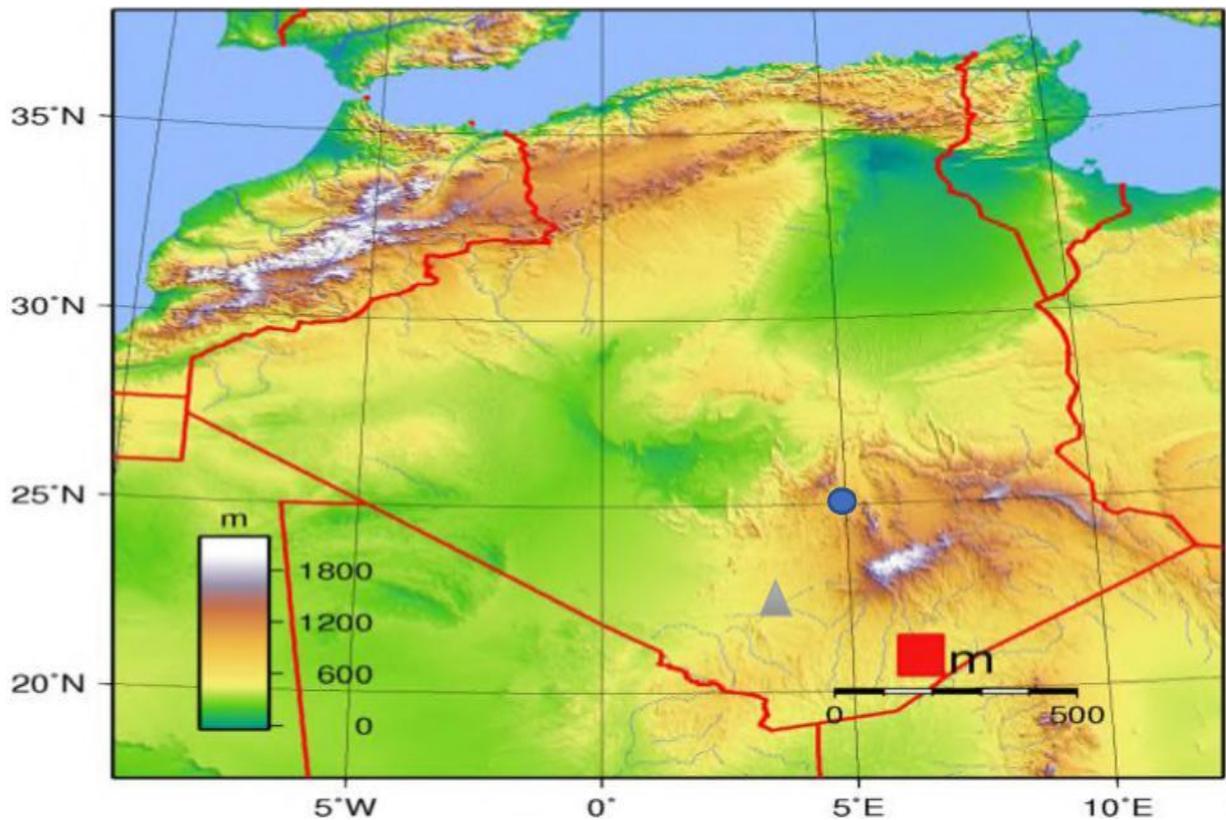
Notre projet est une étude comparative entre deux minerais de deux régions différentes du sud. Pour mieux décrire cette différence entre les deux minerais, nous avons commencé par les positions et les situations géologiques de deux sites : d'Ain Guezzam et celui d'Amesmassa au niveau de Hoggar[8].

I.2.1. Situation géographique des sites de Tin Ezzerarine

Le site de Tin Ezzerarine est situé dans le Sud algérien à environ 320 km de Tamanrasset (figure I.04) et à 80 km au Nord du poste frontalier d'Ain- Guezzam. La RN 1 (Transsaharienne) passe à environ 13 km du site. [6]

Du point de vue administratif le site est situé sur le territoire de la wilaya de Tamanrasset, commune d'Ain Guezzam. [6]

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or



 Site de TIN EZZERARINE

 Tamenrasset

 Ain guezzam

Figure I.04. Situation géographique de Tin Ezzerarine [6]

Tableau I.02. Coordonnées UTM nord du Sahara zone (31)

Point	X(m)	Y(m)
1	777 400	2243 800
2	777 600	2243 800
3	777 600	2243 400
4	777 700	2243 400
5	777 700	2243 100
6	777 800	2243 100
7	777 800	2242 800
8	777 600	2242 800

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

9	777 600	2243 000
10	777 500	2243 000
11	777 500	2243 300
12	777 400	2243 300
Superficie	22 ha	

I.2.1.1. Géologie locale du site de Tin Ezzerarine

Le secteur de Tin Ezzerarine (figures I.06) est situé entre deux failles régionales méridiennes : la faille Orientale, marquée par un contact anormal entre les formations du Paléoprotérozoïque et celles du Cambro- Ordovicien et la faille Occidentale représentée par une puissante zone remplie par un dyke de rhyolite avec un rejet supérieur à 500m. Les deux failles délimitent un bloc étroit large de 4 à 6 km et long de 25 à 30km orienté NS[6].

Les zones aurifères sont localisées à l'intérieur des roches carbonato-détritiques graphiteuse à pyrite. Par endroit, à l'intérieur de ces zones, on rencontre de veinules de quartz titrant jusqu'à 1-2 g/t. Cette minéralisation aurifère est associée aux phénomènes régionaux de silicification, pyritisation, séricitisation, et de carbonatation qui affectent les roches carbonato-détritiques, métamorphisées dans le faciès schistes vert à chlorite et séricite.

Les formations géologiques encaissant la minéralisation aurifère affleurent sur plus de 9Km, avec des épaisseurs 400 à 800 m.

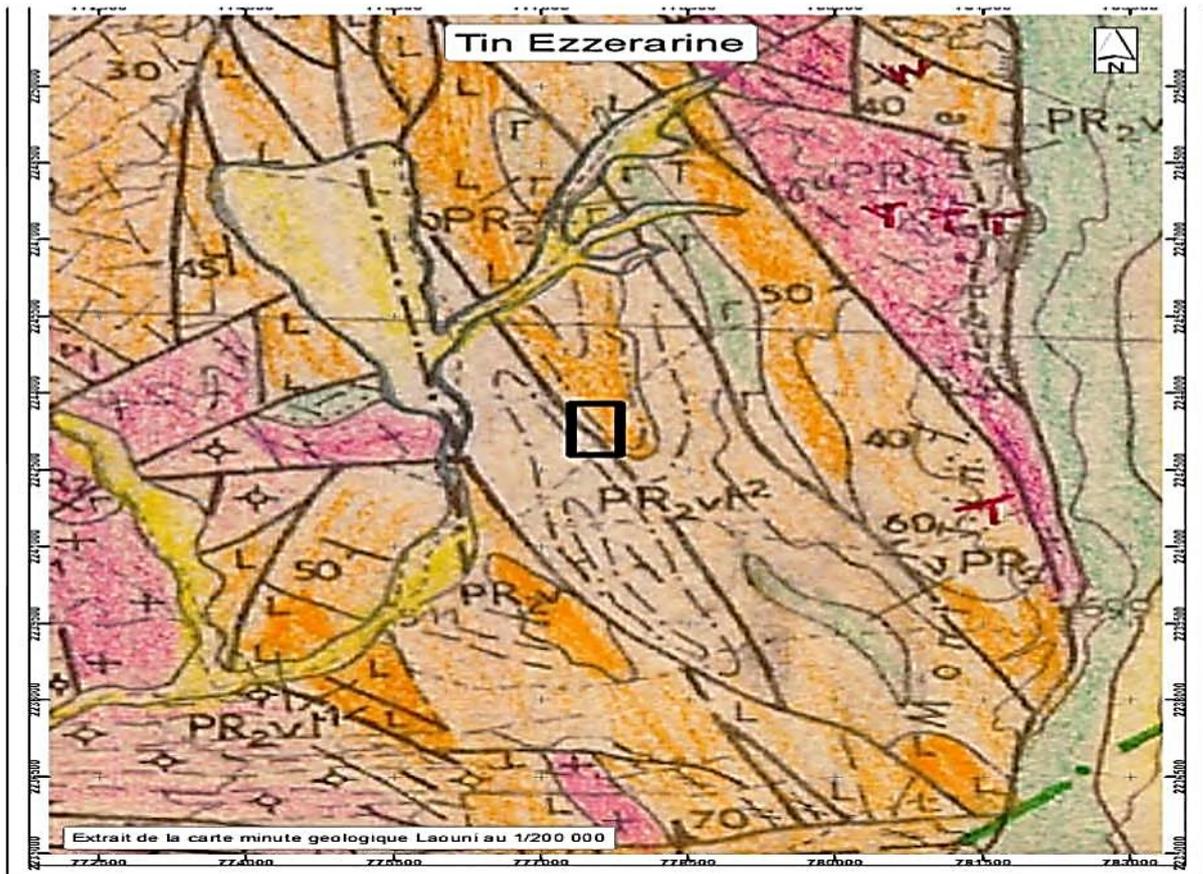


Figure I.05. Position locale du site Tin Ezzerarine [6]

I.2.1.2. La minéralisation des indices d'Or de Tin-Ezzararine

La minéralisation aurifère du secteur de Tin-Ezzararine est irrégulière suivant la direction du filon, se présentant d'une manière éparse et ce, en raison de la morphologie de la zone encaissée dans les formations schisteuses qui ont causées de fortes déformations à la suite de la combinaison de la tectonique cassante et plicative[6].

La minéralisation est représentée essentiellement par de la pyrite. La présence de l'Or visible est signalée en petits grains, en liaison avec des filons de quartz blancs à pendage doux et de quartz à tourmaline à pendage raide. La minéralisation est encaissée dans les formations métasomatiques à séquence basique renfermant des cristaux d'oxydes de fer (magnétite).

I.2.2. Amesmassa

I.2.2.1. La géologie de la région d'Amesmassa

La zone d'Amesmassa est située à environ 500 Km au Sud-Ouest de Tamanrasset et à environ 150 Km au Nord de la frontière malienne (figure I.07). Elle est localisée dans une

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

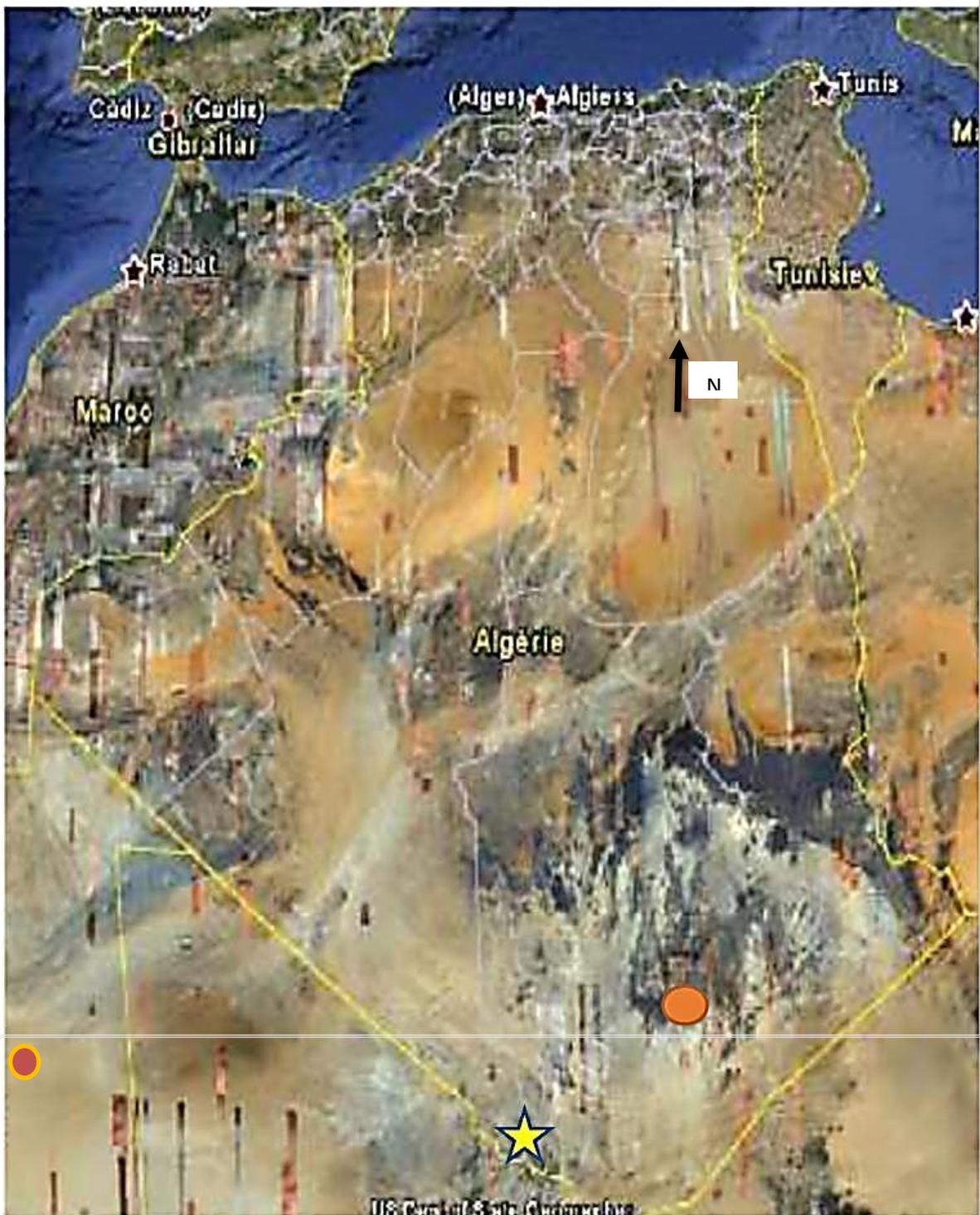
zone de cisaillement causée par l'accident Est Ouzzalien qui sépare le bloc Archéen à l'Ouest et le bloc protérozoïque à l'Est[9].

Le bloc Archéen est caractérisé par l'événement tectono-métamorphique Eburnéen (2000 Ma) tandis que le bloc protérozoïque est structuré au panafricain (600 Ma). [9]

Généralement, les grandes zones de cisaillement s'accompagnent par des couloirs de mylonites avec une foliation d'allongements caractéristiques.[9]

Cette zone fait partie de la zone de cisaillement qui s'est structurée lors des événements éburnéen et panafricain et relativement plate et de faible altitude (550 m) ; les gisements sont distants de 60 km.[9]

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or



Amesmassa

★ Tamenrasset

Figure I.06. Carte de localisation géographique de la région d'Amesmassa [9]

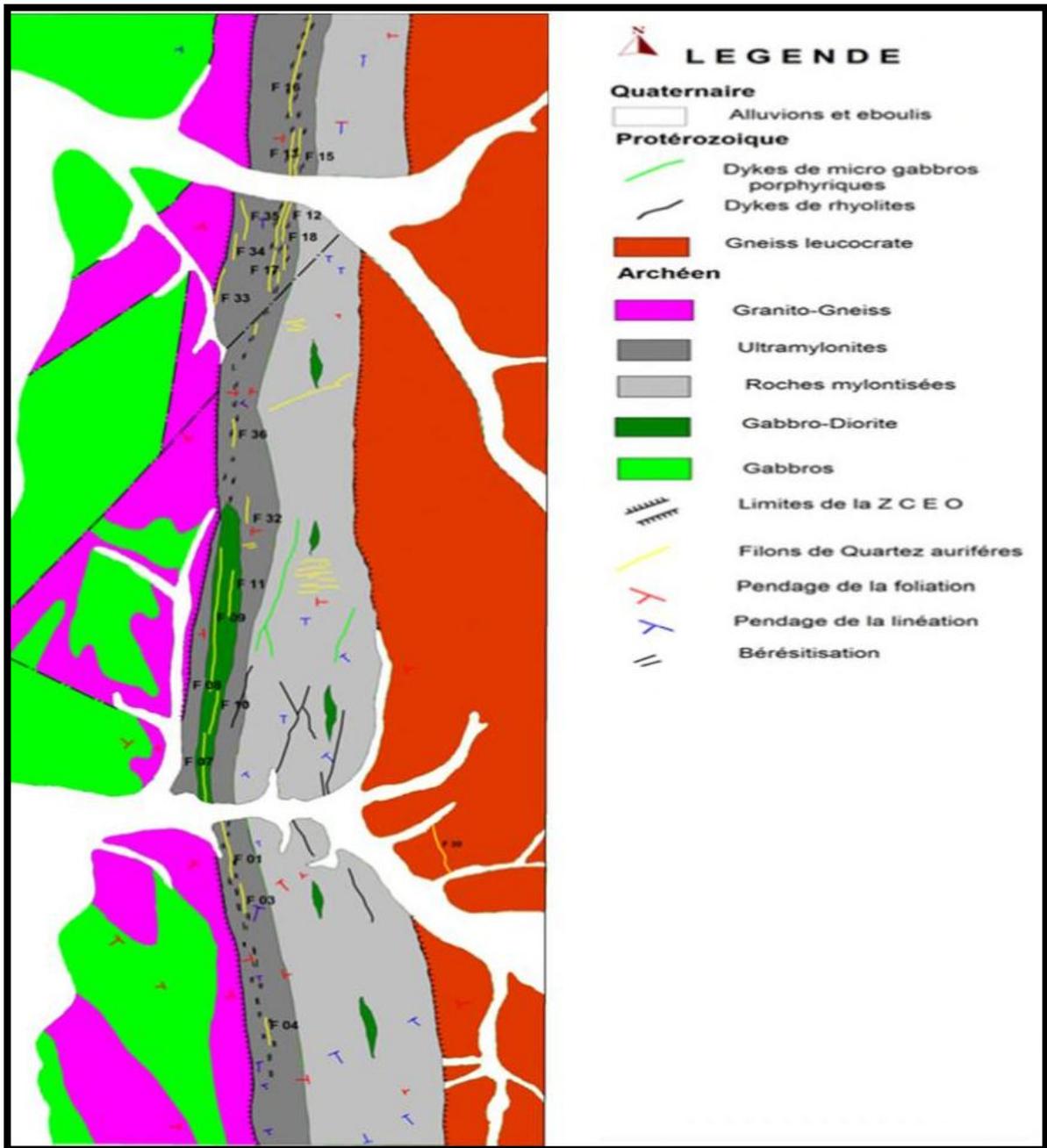


Figure I.07. Carte géologique du gisement d'Amesmasa [10]

I.2.2.2. La lithologie des districts de la région d'Amesmassa

Dans le périmètre du gisement d'Amesmassa et dans sa partie Ouest affleurent les roches du môle In-Ouzzal d'âge Archéen remobilisées au Paléo-protérozoïque. Elles sont représentées par des méta-gabbros, gabbros, gabbro-diorites, amphibolites et des pyroxénites (figure I.08) [11].

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

Elles sont granitisées à différents degrés. Les granito-gneiss jouissent également d'une large extension. On y note aussi des intercalations de marbre à olivine- spinelle et grenat avec des quartzites [11].

I.2.2.3. La minéralisation du gisement d'Amesmassa

Le gisement aurifère d'Amesmassa comporte un champ filonien constitué de nombreuses zones filoniennes et des filons de quartz (figure I.09) s'étendant sur une superficie de 30 km² en direction subméridienne. [10]

Les corps minéralisés exploitables sont constitués par :

- Des filons de quartz seuls, ou avec des salbandes aurifères, [10]
- Séries de filons de quartz disposés généralement en échelon, parallèles, subparallèles ou en essaim. [10]
- Des zones de roches d'altération hydrothermale ou metasomatites, appelées bérésites (roches d'altération hydrothermale à quartz – séricite-pyrite) avec minces veinules de quartz. [10]

Les zones minéralisées ont une direction prédominante subméridienne et un pendage sub-vertical de 60° à 85° vers l'ouest. On rencontre aussi les filons d'orientation NE-SW et E-W (figure I.10). [10]

La longueur discontinue des filons et des zones filoniennes atteint les quelques centaines de mètres. L'épaisseur des filons varie de 0.2-2.5m à 1m, alors que la puissance des zones d'altération atteint par endroit les 10-20 mètres. [12]

Généralement, la minéralisation (sulfures et or natif) est plus abondante dans les rubans de quartz blanc. Les sulfures sont par ordre décroissant d'abondance : pyrite, galène et plus rarement sphalérite et chalcopryrite. [12]

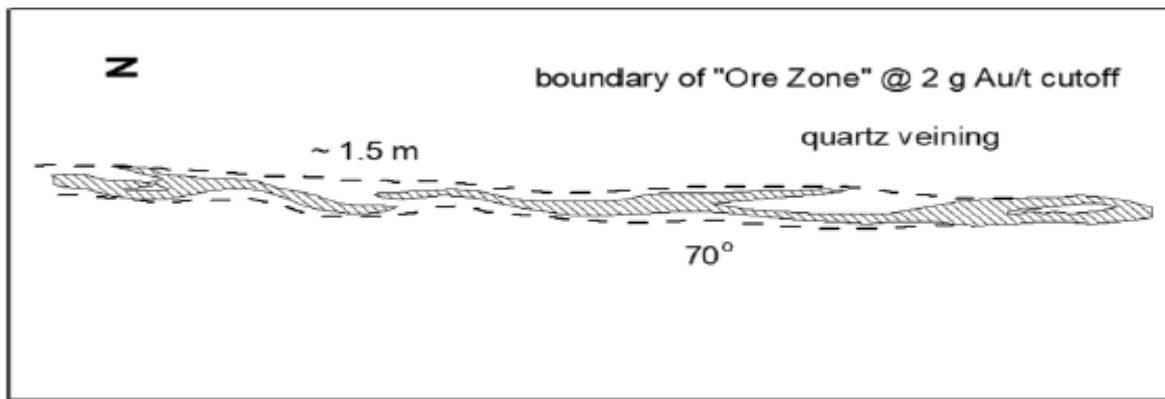


Figure I.08. Croquis détaillé d'un filon de quartz à Amesmessa

(fait pour ENOR par Behre Dobear et Company, Inc. 2001). [10]

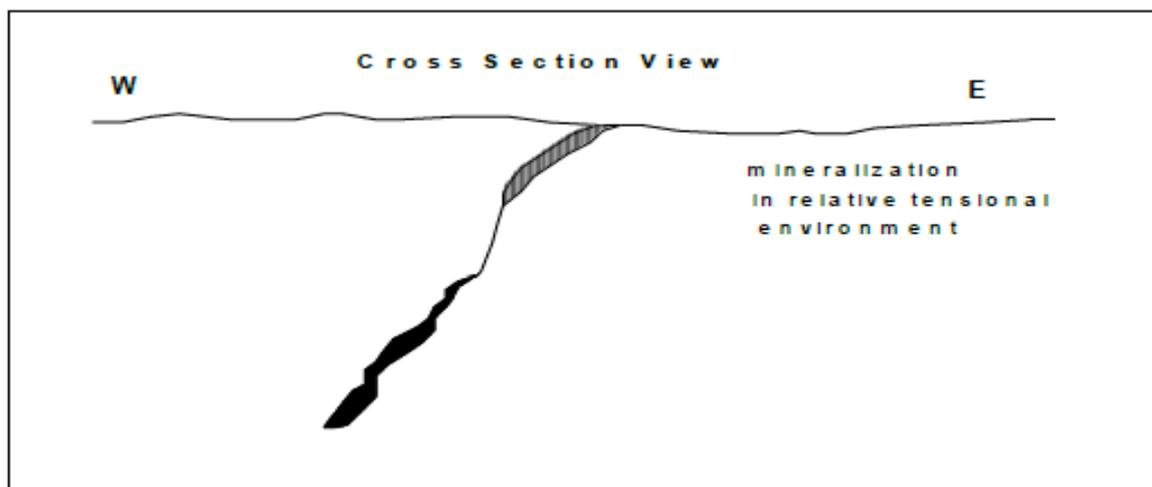


Figure I.09. Coupe de corps minéralisé à Amesmessa Fait pour ENOR Par Behre

(Dolbear & Company, Inc. 2001). [10]

I.2.2.4. Travaux de recherche et d'exploration

Au niveau du gisement d'Amesmessa, 50 zones filoniennes et filons de quartz ont été mises en évidence. 36 ont fait l'objet de travaux d'exploration plus au moins détaillées dont 10 (les plus importants) sont prospectés par des travaux de forage. 16 sont considérés avoir un intérêt économique. Les zones 8 et 9 sont étudiées au niveau -80m par une galerie directionnelle. (ORGM, 1993). [4]

Le gisement, dont l'extension N-S est d'environ 13km, est divisé en trois secteurs : Nord, Centre et Sud. [4]

I.3. Travaux d'exploitation des gisements d'Or

I.3.1. Méthode d'exploitation des gisements d'Or au niveau d'Ain Guezzam

La récupération des indices d'or d'Ain Guezzam se fait par les micro-entreprises. Cette méthode est appelée exploitation artisanale.

L'exploitation artisanale autrement appelé « exploitation à petite échelle » est une méthode d'exploitation des minéraux, qui est devenue une activité en pleine expansion en Algérie et dans de nombreux pays africains. Cette activité s'est développée au niveau national et international vue la teneur des gisements d'Or qui devient de plus en plus faible. [13]

Cette méthode d'extraction d'indices d'or au niveau du sud algérien qui a pour but d'extraire l'or à une profondeur maximale de 5 mètres. Ce type d'exploitation appelé exploitation à ciel ouvert à l'ancienne est géré par la loi 12 de J.O.D.L.R.A. n°52. [14]

I.3.1.1. Equipements utilisés pour l'exploitation artisanale

Le titulaire d'un permis d'exploitation minière artisanale de l'or ne peut utiliser que les moyens et outils susceptibles d'être manipulés manuellement (pelles, pioches, marteaux, marteaux perforateurs, etc.), afin de réduire au maximum les stériles et les gangues. Ils sont utilisés pour réduire la dimension des blocs, et pour la récupération du minerai à la surface, pour cela ils utilisent uniquement les cordes et des seaux. Le minerai se transporte ensuite au niveau de l'ENOR pour le procédé de traitement et d'enrichissement[14].

I.3.2. Travaux d'exploitation des gisements d'Or d'Amesmassa

Pour l'exploitation des gisements d'Or d'Amesmassa, ils utilisent généralement l'exploitation à ciel ouvert, et avant de lancer les travaux d'exploitation, une étude était réalisée pour l'identification des gisements cette étape est appelée exploration :

I.3.2.1. Exploration avant exploitation

C'est l'ensemble de recherche et de travaux qui ont pour but de rechercher un gisement minéralisé, et de mieux comprendre la mise en place de la minéralisation, et délimiter le gisement. Pour cette étape les chercheurs géologues et les ingénieurs de mines vont passer par plusieurs étapes de travaux dont nous allons citer :

➤ Travaux géochimiques

Les méthodes d'exploration géochimique consistent en l'échantillonnage d'un média et en l'analyse chimique de celui-ci en vue de mettre en évidence des concentrations

Chapitre I Aperçu sur la géologie régionale du Hoggar, géologie des deux sites étudiés et les travaux d'exploitation des gisements d'Or

anormales pouvant indiquer la présence de minéralisations. La substance recherchée étant rarement seule dans les occurrences minéralisées, le spectre d'éléments analysés est généralement large et comprend les potentiels accompagnateurs de la substance d'intérêt. Dans le cas de l'or, il peut s'agir, par exemple, de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'argent ou du tellure. Les développements analytiques permettent aujourd'hui d'analyser en routine des éléments présents à des teneurs extrêmement faibles, de l'ordre du ppb. [15]

➤ Travaux géophysiques

Cette partie a pour but de délimiter la zone d'exploitation, on utilise des œuvres indirects et vise à modéliser des structures géologiques ou des altérations. Les méthodes utilisées sont principalement des méthodes magnétiques ou électriques (résistivité et polarité induite)

Après avoir délimité la zone d'exploration grâce aux travaux géophysiques, elle est subdivisée selon une maille d'échantillonnage de 200m de distance entre les profiles et de 25m entre les points de prélèvement des échantillons. [15]

➤ Les tranchées

En cette partie on vise à déterminer la morphologie, l'azimut, le pendage, la direction et la puissance du corps minéralisé et sa composition chimique.

➤ Le sondage

On réalise le sondage par un forage à l'aide d'une couronne diamanté de la roche qui peut atteindre jusqu'à 400-500m de profondeur. Chaque sondage est caractérisé par son point d'implantation. Son azimut et son inclinaison (figure I.11). [10]



Figure I.10. Sondage destructif

A la fin il faut obtenir un échantillon représentatif homogénéisé, pour le faire passer par un ensemble d'analyses au laboratoire de la mine (le procédé d'échantillonnage et de laboratoire est donné au chapitre II).

Conclusion

Le gisement d'Or et l'indice d'Or ne sont pas extraire de la même manière ni par les mêmes méthodes, l'état a attribué pour chacun une méthode différente de l'autre.

Chapitre II

Procédés d'extraction de l'Or au niveau de la mine d'Amesmassa

Introduction

L'or est connu depuis la haute antiquité comme un métal précieux par excellence. Toutes les civilisations l'ont utilisé pour la réalisation de bijoux et d'objets d'apparat ou comme symbole de richesse. La découverte de nouveaux gisements a toujours fait l'objet d'attrait particulier. [17]

En Algérie, l'extraction de l'or se fait à partir d'un minerai en utilisant plusieurs méthodes telles que : les méthodes gravitaires, l'amalgamation et la cyanuration. La méthode adoptée à l'usine d'Amesmassa est celle de la cyanuration après conditionnement du minerai. Au cours de ce chapitre, nous allons décrire le protocole suivi au niveau de la mine pour récupérer l'or métallique des minerais issus du gisement et des micro-entreprises d'exploitation minière artisanale. Ce dernier, commence par la réception des échantillons et se termine par le lingot Or-Argent.

II.1. Réception du minerai au niveau de la mine d'Amesmassa

Les minerais issus du gisement d'Amesmassa ou des micro-entreprises sont exploités et transposés à l'usine de traitement sous forme de roches à des dimensions différentes, pour le procédé de séparation (gangue/concentré).

II.2. Travaux de laboratoire de la mine d'Amesmassa

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

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

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

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

Pour la réalisation de ses analyses et traitements, le laboratoire doit être doté de plusieurs appareils et instruments d'analyses et de mesures. Chaque échantillon va passer par un protocole analytique à l'aide de ces appareils et instruments.

Le laboratoire contient plusieurs salles dont : salle de préparation mécanique, salle des fours, salle des analyses chimiques (digestion acide), et salle de Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA).

II.2.1. Préparation mécanique

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

A. Le débitage des roches

C'est la réduction de la taille des roches manuellement à l'aide d'un marteau, pour faciliter son passage au concasseur à mâchoire. (figure II.01)



Figure II.01. Roches à des dimensions réduites [photo prise 2022]

B. Le concassage

L'opération est assurée par un concassage primaire à l'aide d'un concasseur à mâchoire du laboratoire pour permettre la réduction de la taille des roches (figure II.02) ainsi que la libération des minéraux existants.



Figure II.02. Minerai concassé [photo prise 2022]

C. La division et l'échantillonnage

Au cours de cette étape, on fait passer le minerai concassé dans un diviseur à riffle pour obtenir deux échantillons égaux représentatifs et homogènes. Une sera considéré comme échantillon témoin et la deuxième qui sera à son tour divisé en deux pour effectuer les tests et les essais.

D. Le broyage

C'est le passage du minerai dans un pulvérisateur à disque (figure II.03) dans le but d'effectuer un broyage primaire, secondaire et tertiaire jusqu'à l'obtention d'un produit broyé très fin d'une granulométrie inférieure à **75 μ m**. Cette granulométrie est la plus adéquate pour obtenir un taux de libération optimale qui permet d'avoir de meilleurs résultats.



Figure II.03. Pulvérisateur à disque du laboratoire d'Amesmassa [photos prises 2022]

II.2.2. Fire Assay (docimasia plombreuse (1ère partie))

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

➤ Fusion

A l'aide d'un creuset en matière réfractaire (figure II.04), on utilise 100 g d'un mélange fondant de borax, carbonates du sodium, silice, et oxyde de plomb avec 30 g d'échantillon et 3 g de la farine. 3 ml de nitrate d'argent (AgNO_3) est rajouté au mélange et passée au four pendant 1heure à une température comprise entre 1030°C et 1050°C .

Après refroidissement de 10 minutes du creuset dans un moule en acier, on brise la scorie avec un marteau et on récupère et on aplatit le bouton de plomb résultant de la fusion.



Figure II.04. Creusets en matière réfractaire [photo prise 2022]

➤ **Coupeellation (2ème partie)**

Dans des coupelles en MgO (qui ont tendance à adsorber tous les métaux transitoires), le bouton de plomb est placé dans une coupelle de magnésite au four préchauffé à 950°C. Les métaux de base s'oxydent et s'adsorbent par la coupelle tandis que les métaux nobles (inoxydables), restent à la surface. A la fin de la coupeellation, une perle argentée (Au+Ag) est obtenue (figure II.04).



Figure II.05. Outils de fire Assay [photos prises 2022]

II.2.3. Digestion acide ou attaque chimique (3ème partie)

Dans un tube à essai on récupère la perle et on ajoute une solution de 3ml d'Acide Nitrique (HNO_3) à 30% (figure II.06). Pour éliminer l'argent on laisse 20 minutes au bain-marie préchauffé et on ajoute 3ml de l'Acide Chlorhydrique (HCl) 34% pendant 20 minutes encore au bain-marie pour avoir de l'eau-régale qui va faire dissoudre l'Or. Enfin on rajoute 4ml d'eau distillée pour obtenir 10ml de solution.



Figure II.06. Tube à essai + solution (or +eau distillée) [photo prise 2022]

II.2.4. Spectrométrie d'Absorption Atomique

Après le refroidissement de la solution, on agite le tube à essai afin d'homogénéiser le contenu et on la fait passer au spectromètre d'absorption atomique SAA (figure II.07).



Figure II.07. Spectromètre d'adsorption atomique (SAA) [photo prise 2022]

II.3. La cyanuration

Le principe de la cyanuration est basé sur le fait que l'or peut être solubilisé dans une solution diluée de cyanure de sodium NaCN. Le cyanure de sodium est un poison violent et soumis à des règlements de manipulation stricts : il ne peut être employé que dans des usines respectant des normes sévères.

II.4. Protocole suivi à l'usine de traitement (process)

Le protocole suivi au niveau de la mine d'Amesmassa pour obtenir des lingots Or-Argent du minerai quartzeux est le suivant :

- Après la réception de minerai, il est trié et classé suivant sa teneur :
 - Minerai à une teneur inférieure ou égale à 1g/t ;
 - Minerai à teneur comprise entre 1 et 2 g/t ;
 - Minerai à teneur comprise entre 2 et 4 g/t ;
 - Minerai à teneur comprise entre 4 et 8 g/t ;

Le minerai à teneur supérieure à 8g/t est considéré comme minerai riche, et le minerai dont la teneur est inférieure à 8 g/t est considéré comme minerai pauvre.

- Une préparation mécanique qui comporte :

II.4.1. Concassage du minerai

Le minerai à une dimension variant entre 200 et 600mm passe dans une trémie avec grilles à barreaux, ensuite il passe par un concasseur primaire à mâchoire double (une mâchoire fixe et l'autre mobile), après enfin sur un grizzly vibrant (figure II.08).

- ➔ Les particules à petites dimensions passent par un crible
- ➔ Les particules grossières passent par un concasseur à cône

A la fin de l'opération, on obtient un produit de 6mm à 8mm de dimension.



Figure II.08. Unité de concassage [photo prise 2022]

II.4.2. Broyage de minerai

Le produit concassé passe dans un broyeur à boulet d'une capacité de 8t/h, la taille du minerai sera réduite à moins de 75 μ m. Il s'agit d'un broyage humide ou le minerai est mélangé avec l'eau (3 à 4 m³ /t) à la rentrée de la coque du broyeur de forme cylindrique. On obtient à la sortie de la coque une pulpe (minerai fin mélangé avec de l'eau). Cette pulpe sera pompée vers l'hydrocyclone ou le minerai fin (75 μ m) est séparé du grossier.

On distingue deux types de minerai de 74 μ m: minerai pauvre et minerai riche. Selon cette classification, deux procédés de traitement sont effectués :

II.4.2.1. Minerai riche (High grade)

Pour l'enrichissement de ce type de minerai, on utilise le traitement par lixiviation dans les cuves (CIP) : ou le minerai de granulométrie supérieure ou égale à 74 μ m est envoyé vers l'hydrocyclone pour la séparation des particules fines et grossières. A l'aide de la sous-verse, particules revient directement au broyeur alors que pour les particules fines elles passent à l'épaississeur.



Figure II.09. Unité de décantation épaisseur [photo prise 2022]

● **Épaisseur** : Au niveau de l'épaisseur (figure II.09) on rajoute le flocculant pour accélérer la décantation des particules (minéral ou produit) et récupération de l'eau jusqu'à 30%. (Séparation solide/liquide). Ensuite la pulpe passe par un ingénieux circuit de 5 cuves de lixiviation aérées et agitées.

● **Les colonnes de charbon (CIL)** : Dans les CIL (figure II.10) on trouve une solution cyanurée préparée à une concentration de 300 à 500 ppm, du charbon actif, et un tamis vibrant (figure II.11). Grâce au passage à contre-courant, le charbon actif adsorbe l'Or dissous dans la solution cyanurée.

Le résultat de cette étape est sous deux formes soit :

- Charbon actif enrichi de l'Or => tamis vibrant => raffinerie
- Pulpe => Heap Leach (lixiviation en tas)



Figure II.10. Les colonnes de charbon [photo prise 2022]



Figure II.11. Tamis vibrant et le charbon actif [photo prise 2022]

Le charbon actif chargé de l'Or est envoyé vers la raffinerie par des citernes pour le traitement complémentaire, qui contient un lavage par attaque en acide chlorhydrique afin de d'éliminer les impuretés et les carbonates. Une solution de 1% de soude caustique et 0.5% de cyanure est préparée et chauffée à 140°C à une pression de 4Bar.

L'or libéré en solution passe par l'électrolyse (figure II.12) par la suite l'or métallique se dépose sur la cathode, après que les cations Au^+ captent les électrons et donnent le métal d'Or. La réaction de réduction qui se fait à la cathode est :



Réaction à l'anode (oxydation) :



Après l'électrolyse, l'or est récupéré sous forme d'une bourbe par jet d'eau avec un nettoyeur sous pression. La bourbe passe au four de séchage à une température de 25°C. A la sortie, la bourbe d'or est mélangée avec un fondant constitué de :

Bourbe d'Or + 50 % de borax + 25 % carbonates + 25 % sodium

Le mélange est ensuite chauffé à 1300°C pendant 3 heures pour la fusion, puis on fait couler le mélange fondu dans des moules en fer en cascade de sorte que :

- ➔ L'or lourd reste piégé au premier moule vu sa densité très élevée (19.3)
- ➔ Les scories, vu leurs légèretés passent vers les autres moules ;

Après le refroidissement du mélange, le lingot d'or est obtenu et les impuretés sont séparés (figure II.13).

Le lingot d'or est constitué de : 70% à 85% d'Or et 10 à 20% d'Argent.



Figure II.112. Electrolyse [photos prises 2022]



Figure II.13. Fusion, versement, séparation d'Or des impuretés et obtention de lingot d'Or-Argent. [photos prises 2022]

II.4.2.2. Minerai pauvre

Pour le control géologique, des échantillons seront pris du terrain à partir des différents filons pour déterminer les teneurs en or avant l'extraction et le transport vers les installations de traitement.

Après acheminement du minerai vers les lieux de traitement, le minerai est concassé à une granulométrie de 6mm. Un échantillon est envoyé au laboratoire pour confirmer la teneur en Or du minerai, à cette étape si le minerai est considéré comme pauvre il sera envoyé vers le **Heap Leach** pour la lixiviation en tas (figure II.14), là où le minerai sera stocké dans un bassin à une membrane imperméable de 2mm.



Figure II.14. Lixiviation en tas Heap Leach [photos prises 2022]



Figure II.15. Rompe d'arrosage de cyanure au niveau de Heap Leach [17]

Le produit est arrosé (figure II.15) d'une solution cyanurée pour libérer l'or. Le bassin est incliné en but de récupérer les solutions cyanurées riches en Or qui percolent vers le fond. Lors de cette opération le pH est ajusté entre (10.5 à 11), il est contrôlé par la chaux pour empêcher toute émanation de cyanure qui est sous forme de gaz mortel (HCN).

Le lixiviat récupéré du tas soit collecté dans un bassin qu'on appelle une fosse de récupération (figure II.16). La solution aurifère est très riche et pour des raisons environnementales, il faut perméabiliser la base par une double géo-membrane liée à un système de détection de fuites et des pompes immergées pour détecter les fuites et aspirer la solution en cas de fuites. [17]



Figure II.16. Fosse de récupération des solutions aurifères Amesmassa [photo prise 2022]

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre en premier point le procédé effectué au laboratoire de la mine pour déterminer la teneur en or du minerai. Nous avons aussi expliqué les étapes suivies lors du traitement de minerai riche. L'organigramme présenté ci-dessous résume tout le procédé. Enfin le procédé suivi lors du traitement du minerai pauvre est aussi expliqué.

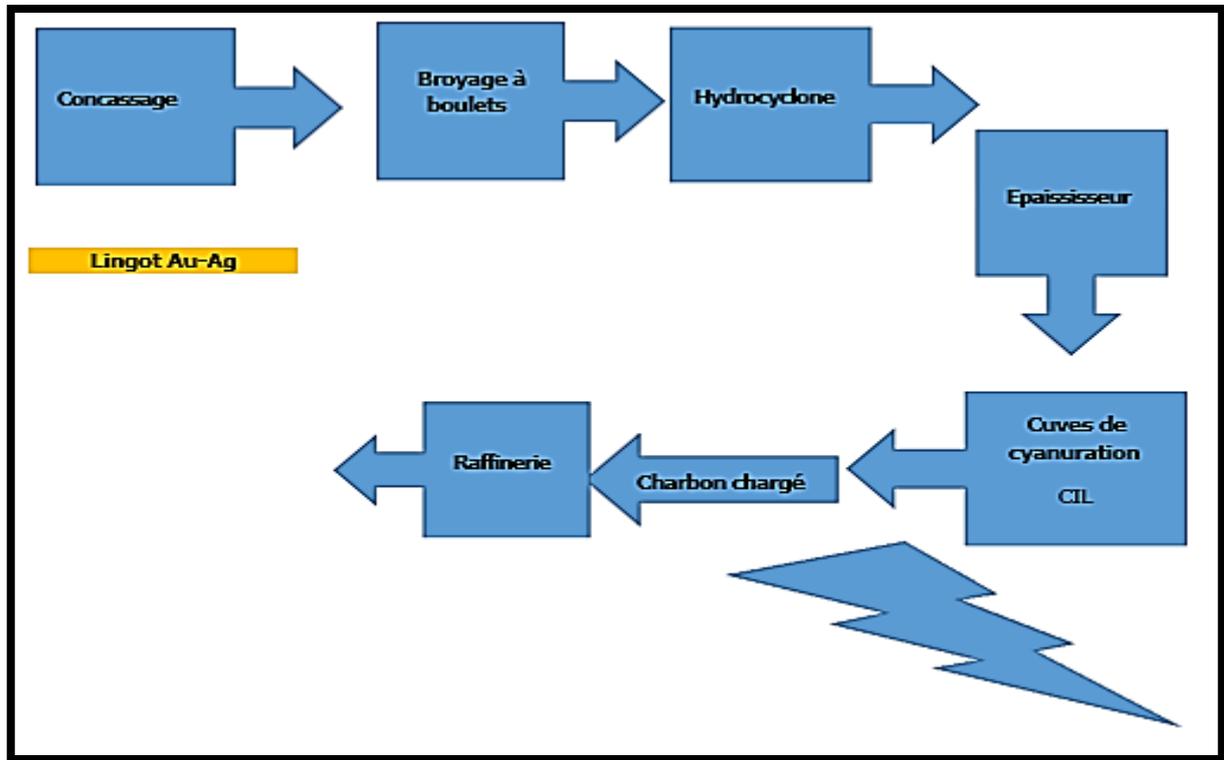


Figure 17. Procédé de récupération de lingot Au-Ag au niveau d'Amesmassa

Chapitre III
Protocole opératoire et
analyses

Introduction

Le présent chapitre englobe les différentes étapes et méthodes adoptées lors de notre stage. Commencant par l'échantillonnage jusqu'aux tests de caractérisation en exposant à chaque fois les produits et le matériel utilisés. Les tests ont été effectués sur le minerai d'Amesmassa et quelques dépôts des indices d'Ain Guezzam, tous cela dans l'objectif de déterminer la teneur en or, et la composition minéralogique de chaque minerai.

III.1. Echantillonnage

La première étape de notre stage était la visite du site pour la réalisation d'un échantillonnage au niveau du **filon N°08** et le **filon 16** (figure III.01), ainsi que le dépôt d'Ain Guezzam à la présence des géologues de la mine. Avant tout travail au laboratoire nous devant effectuer un bon échantillonnage ou la matière doit être réduite tout en conservant ses propriétés.

Nous avons réalisé un échantillonnage perpendiculaire des deux filons N°08 et N°16 à l'aide d'un pique et un marteau (figure III.02) à une longueur de 1m, pour enlever la roche encaissante et la zone minéralisée (figure III.03).

Pour ce qui concerne les échantillons d'Ain Guezzam nous avons fait un échantillonnage dans un tas (figure III.04), en prenant des échantillons représentatifs (figure III.05) sur tout le dépôt de bas en haut et sur tout le tour.



Figure III.01. Filon 16 zone d'Amesmassa [photo prise 2022]



Figure. III.02. Filon 8 zone d'Amesmassa [photo prise 2022]



Figure. III.03. Echantillon représentatif des Filons 08 et 16 [photo prise 2022]



Figure III.04. Dépôt de minerai du gisement d'Ain Guezzam [photos prises 2022]

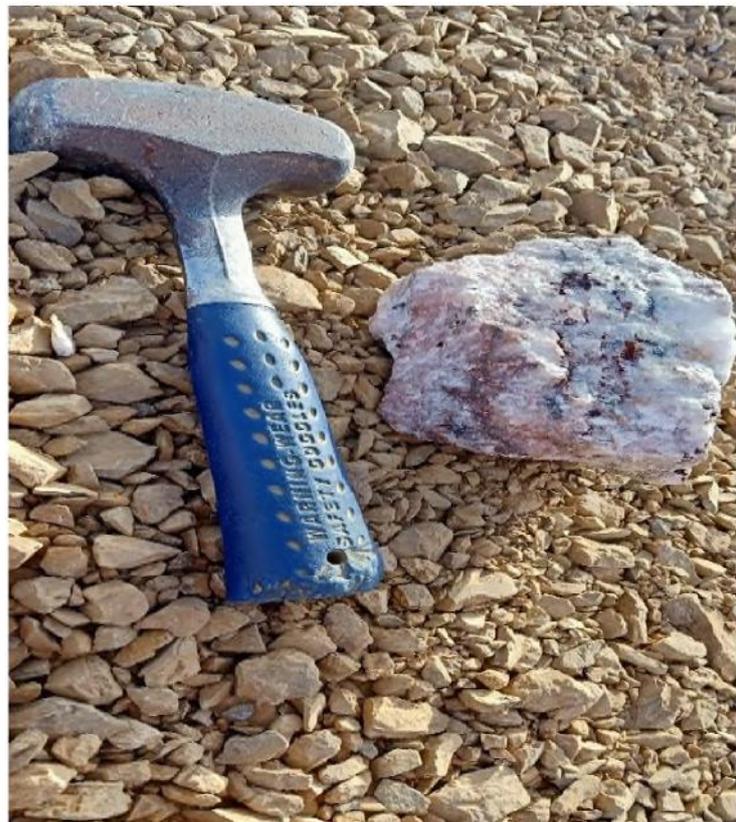


Figure III.05. Echantillon représentatif du minerai d'Ain Guezzam [photo prise 2022]

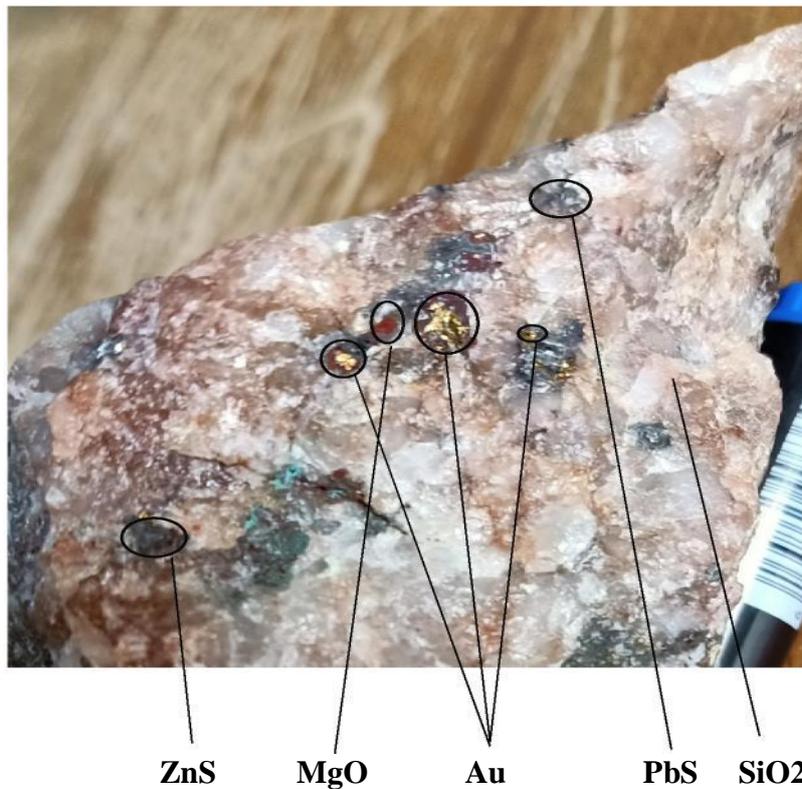


Figure III.06. Minerai de quartz accompagné des sulfures [photo prise 2022]

III.2. Pétrographie

III.2.1. Minerai d'Amesmassa

Tableau III.01. La description visuelle des échantillons d'Amesmassa.

Minerai	Description visuelle
Zone d'Amesmassa	C'est une Chear Zone, les filons sont constitués principalement de quartz minéralisé par des sulfures. Elle subit des modifications structurales en subissant des mouvements tectoniques.
Filon N° 08	C'est du quartz blanc minéralisé par des sulfures : Pyrite (FeS), chalcopryrite(CuFeS ₂), la galène(PbS)..., encaissé par la métasomatite et la limonite d'une couleur noirdâtre.
Filon N° 16	C'est du quartz gris minéralisé par des sulfures : pyrite, chalcopryrite...

III.2.2. Minerais d'Ain Guezzam

Tableau III.2. La description des échantillons d'Ain Guezzam.

Minerai micro-entreprise	Description visuelle
Echantillon pauvre	<p>Filon de quartz blanc, rosâtre solide, compact fortement oxydé par des oxydes de fer (FeO), présent comme limonite a couleur jaune, et la goethite couleur rougeâtre à noir parfois</p> <p>Ce filon de quartz très fracturé et fissuré à l'échelle centimétrique à millimétrique, rempli d'oxydes de fer. La minéralisation de sulfure comme la Galène (Pbs) Inclus dans la fracture de quartz, le quartz et Blende</p>
	<p>(Zns), parait en couleur gris noirâtre, NB :</p> <p>La Pyrite (FeS₂) et Chalcopyrite (CuFeS₂) sont aussi présentes avec la galène, dans le quartz se forment de petits grains disséminés à couleur jaune verte</p> <p>De la Silice (SiO₂)</p>
Echantillon riche	<p>filon de quartz de couleur blanc grisâtre, fortement oxydé par la limonite (oxyde de fer) qui se présente dans les cavités et les fissures avec une couleur jaune parfois</p>

Après l'étape de l'échantillonnage, nous avons ramené les échantillons au niveau de la mine pour la réalisation des analyses physico-chimiques. Au laboratoire la première étape consiste à la réduction de dimension jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine.

III.3. Préparation mécanique

Lors de la préparation mécanique des échantillons, nous avons suivi toutes les étapes expliquées au chapitre II à savoir :

- A. **Débitage des roches** : réduction de dimension en petit roches ;
- B. **Concassage** : réduction de dimension jusqu'à 6mm ;
- C. **Division et échantillonnage** : mélanger le minerai et le diviser pour obtention d'échantillon représentatif ;
- D. **Broyage** : réduction de dimension jusqu'à 74 μ m pour rendre le minerai sous forme d'une poudre ;
- E. **Homogénéisation par quartage** : l'échantillon est étalé et divisé (figures III.07-III.08) ;



Figure III.07. Quartage de minerai après Le broyage [photo prise 2022]



Figure III.08. Deux quarts opposé [photo prise 2022]

Le schéma suivant résume toutes les étapes effectuées.

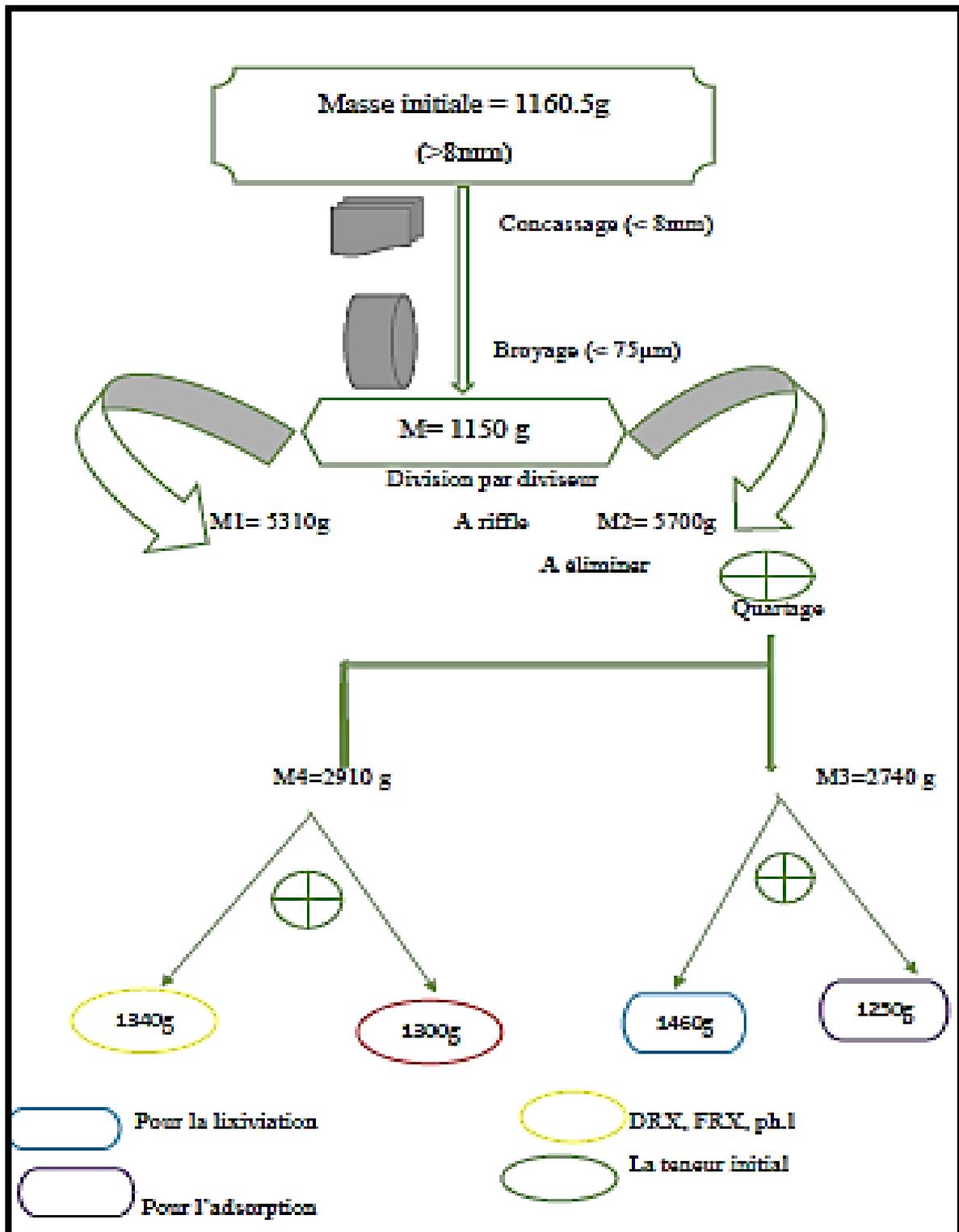


Figure III.09. Schéma de la préparation mécanique et le quartage de minerai d'Amesmassa

III.4. Détermination de la teneur initiale des minerais

Notre minerai est caractérisé par spectrométrie d'adsorption atomique (SAA). Qui est une technique décrite pour la 1^{ère} fois par Walsh en 1955. C'est un puissant instrument analytique quantitatif[18].

III.4.1. Principe de la SAA (Spectrométrie d'Absorption Atomique)

Principe : C'est l'analyse par l'absorption de radiations d'une certaine longueur d'ondes (UV-Vis), par des atomes libres à l'état fondamental conduisant à un passage d'un de ses électrons externes d'une orbite électronique à une autre et un changement de l'énergie. Cette absorption est spécifique à chaque élément (figure III.10). [18]

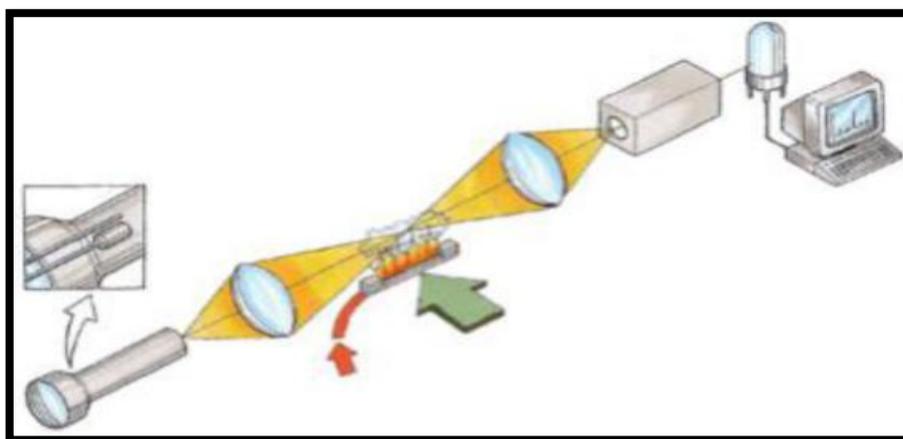


Figure III.10. Principe de fonctionnement de la SAA [18]

Matériel : Un spectrophotomètre d'absorption atomique comprend généralement une source, un atomiseur, un monochromateur, un détecteur et un dispositif d'acquisition. Il existe des spectromètres à simple faisceau et ceux à double faisceaux. [18]

La sensibilité est déterminée par la source de rayonnement et l'atomiseur. Puisque les lampes utilisées usuellement ont la même largeur de raies, la plus grande différence est attribuable au type d'atomiseur. Chacune des techniques utilise différents types d'atomiseurs. [18]



Figure III.11. Spectromètre d'absorption atomique du laboratoire d'Amesmassa [Photo prise 2022].

L'application de la SAA (figure III.11) a pour but, la détermination de la teneur en Or (Au) initiale, finale et pendant les prélèvements. L'identification et la quantification de l'or contenu dans notre échantillon se font grâce aux spectres atomiques. [19]

A cette étape nous avons utilisés 4 minerais de deux régions différentes, deux minerais d'Amesmassa : celui du filon N°08 et le filon N°16. Deux autres minerais issus de la région d'Ain Guezzam.

III.4.2. Matériel d'analyse

❖ Pour la préparation thermique (fusion)

- Un échantillon homogène d'une granulométrie $<75\mu\text{m}$;
- Des creusets en porcelaine propres;
- Un chariot;
- Un four pour fusion;
- Mélange de fondant constitué de carbonate de sodium, borax, farine et oxyde de plomb;
- Une spatule;
- Une balance électrique;
- Nitrate d'argent (AgNO_3) ;
- Un marteau et un support.

❖ Pour la coupellation

- Des coupelles;
- Un four.

❖ Pour la préparation chimique (la digestion)

- Des tubes à essai propres et un support;
- Plaque chauffante pour Bain-marie;
- Une solution d'acide nitrique (HNO₃) de 30% ; Une solution d'acide chloridrique (HCl) de 100% ; Eau distillée.

❖ Pour la détermination finale de l'analyse

- Un spectromètre d'absorption atomique (SAA) ;
- Nous avons utilisé tous ces outils et solutions chimiques pour effectuer nos analyses en suivant un mode opératoire bien déterminé.

III.4.3. Mode opératoire**o Préparation thermique (la fusion)**

- On pèse 30g de chaque minéral
- On verse les échantillons dans les creusets en porcelaine selon un ordre bien défini qui est noté sur une fiche de travail, puis on rajoute le mélange de fondant dans chaque creuset afin d'obtenir un bouton de plomb de 25 à 30g
- On injecte dans chaque creuset 2ml d'AgNO₃, puis on mélange avec une spatule bien propre pour éviter toute contamination possible.
- On met les creusets dans le four (figure III.12) à 1100°C pendant 1heure pour assurer la fusion, puis on verse le fondant dans des moules selon l'ordre établie et on attend jusqu'au refroidissement total du mélange.



Figure. III.12. Four de fusion [photo prise 2022]

– A l'aide d'un marteau, on brise les scories pour récupérer les boutons de plomb résultants de la fusion, on les aplatit et on les met dans leurs supports.

o La coupellation

– On préchauffe un nombre de coupelle égal aux boutons de plomb résultants pendant 10min dans un four à 1000°C ;

– Suivant la fiche de travail précédemment préparée, on dispose les boutons de plombs dans leurs coupelles, puis on les charge soigneusement dans le four à 1000°C pendant 40min pour but de fusion;

– On ouvre la trappe du four pour ventiler les vapeurs d'oxyde de plomb, puis on retire les coupelles et on les entrepose sur le plan de travail, on laisse ventiler et refroidir, on obtient à la fin de cette opération une perle (figure III.13) constituée de métaux précieux (Ag et Au);



Figure. III.13. Perle Ag-Au dans les coupelles [photo prise 2022]

o L'attaque chimique (la digestion)

- On dépose les perles résultantes de la coupellation dans des tubes à essais qui seront bien arrangés dans leurs supports selon l'ordre établi sur la fiche de travail;

- On ajoute dans chaque tube à essai 3ml d' HNO_3 à 30% et on met dans un Bain-marie (figure III.14) préchauffé pendant 20 min pour éliminer l'argent (Ag) ;

- On rajoute 3ml d'HCl sur le résidu d'or dans chaque tube, on mélange les acides pour former de l'eau régale qui va faire dissoudre l'or, puis on remet sur bain-marie pendant 20min;
- A la fin, on y ajoute 4ml d'eau distillée pour diluer la solution, on laisse refroidir pendant 10 min ;
- Une fois refroidi, on agite les tubes à essai afin d'assurer d'une bonne homogénéisation ;



Figure III.14. Tubes contenant les perles + HNO₃ sur le bain-marie pour préchauffer [photo prise 2022]

o Détermination de la teneur initiale

On fait passer les tubes à essai après décantation totale du résidu un par un dans le spectromètre qui est lié à un ordinateur pour lire le résultat final de la teneur en or de notre minerai.

III.5. Test de lixiviation dynamique en bouteilles roulantes

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

Les bouteilles utilisées (figure III.15) pour ces tests étaient disponibles au laboratoire de la mine d'Amesmess, elles sont de forme cylindrique et en matière plastique. Elles sont

utilisées dans le cadre de même projet que le nôtre. Pour ces essais, nous avons préparé une bouteille afin d'étudier la récupération de l'or par le cyanure en fonction du temps.

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

III.5.1. Matériel utilisé

- Une balance électrique;
- Soude caustique (NaOH) pour régulariser le pH ;
- Cyanure;
- 500g du minerai d'or broyé;
- Bouteilles roulantes en verre;
- 1L d'eau distillée;
- Des tubes à essais et leur support;
- Spectromètre d'absorption atomique (SAA).

III.5.2. Mode opératoire

- On pèse 1kg du minerai à étudier (broyé finement);
- Le mettre dans une bouteille en plastique (bottel roll) (figure III.15) bien lavé pour éviter tout contamination;
- En parallèle, on prépare une solution de 1 litre d'eau distillée (figure III.16) ;
- 0.5 g de soude caustique (NaOH) (figure III.17) ;
- 3 g de cyanure de sodium (NaCN) (figure III.18) ;
- Verser le tout dans la bouteille et la mettre en rotation.



Figure III.15. Bottel roll [photo prise 2022]



Figure III.16. Eau distillée [photo Prise 2022]



Figure III.17. NaOH [photo prise 2022]



Figure III.18. NaCN [photo prise 2022]

- On met la pulpe en agitation pendant **12h** sur un dispositif de rotation des bouteilles roulantes (figure III.19) ;



Figure III.19. Dispositif de rotation des bouteilles roulantes [photo prise 2022]

- On effectue des prélèvements des échantillons pour analyse par SAA selon des intervalles bien déterminés: 10 min, 20min, 30min, 60min, 90min, 180min, 240min, 300min, 720min.
- Chaque échantillon prélevé (figure III.23) doit être filtré (figure III.24) avant de les faire passer en SAA ;
- A la fin du test on verse tout ce qui reste dans la bouteille (la pulpe figure III.20) pour déterminer la teneur de solide (figure III.22) final après filtration est séché dans une étuve (figure III.21)



Figure III.20. La pulpe récupérée à la fin du test [photo prise 2022]



Figure III.21. La pulpe récupérée dans l'étuve pour le séchage [photo prise 2022]



Figure III.22. Le solide après séchage [photo prise 2022]

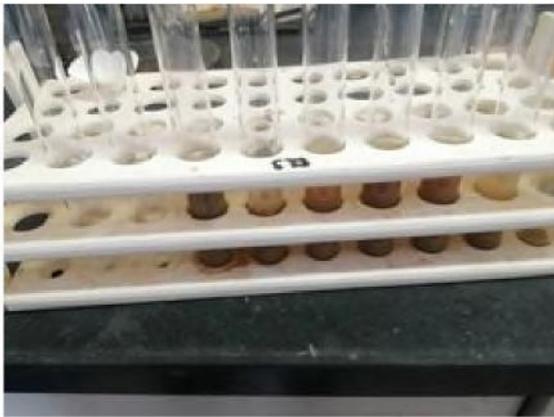


Figure III.23. Tubes à essais remplit d'ECH prélever [photo prise 2022]



Figure III.24. Echantillon après filtration [photo prise 2022]

III.6. Test d'adsorption dynamique avec charbon actif

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur la surface de l'adsorbant par des liaisons faibles : forces de Van der Waals, interactions électrostatiques, liaisons hydrogène. L'adsorption se fait par charbon actif donc il s'agit d'une structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone, généralement obtenue après une étape de carbonisation de la matière à haute température. [21]

C'est le même procédé et le même matériel utilisé pour la lixiviation qui se répète pour 1kg de chaque minerai la différence pour l'adsorption est :

- ✓ Laisser en rotation pendant 12h sans rien faire ;
- ✓ Après 12h de rotation on fait le premier prélèvement pour déterminer la teneur initiale ;
- ✓ On ajoute 1.5 g de charbon vierge ;
- ✓ Dès l'ajout du charbon on commence le prélèvement des échantillons pour analyse par SAA selon des intervalles bien déterminés de 0 min, 10min, 20 min, 30 min, 60 min, 90 min, 180 min, 240 min, 300 min, 720 min ;
- ✓ Ajoutant à la teneur finale de solide on détermine aussi la teneur du charbon finale;
- ✓ Pour la teneur du charbon à la fin du test on le récupère de la pulpe à l'aide d'un tamis et on le met dans un bécher (figure III.25) après dans l'étuve pour le séchage.



Figure III.25. Charbon récupéré à la fin du test d'adsorption pour le séchage [photo prise 2022]

III.7. Tests de décantation

III.7.1. Décantation naturelle

On prépare 100g (figure III.27) de minerai dans une éprouvette graduée (figure III.26), ajouté 100 ml d'eau, puis mélanger bien, ensuite on a laissé décanter la boue (figure III.28) selon des distances bien déterminer [0cm ; 0.5cm] et noté le temps que chaque distance à pris.



Figure III.26. Eprouvette graduée [photo prise 2022]



Figure III.27. 100g du minerai [photo prise 2022]



Figure III.28. La pulpe eau + minerais mélangé [photo prise 2022]

III.7.2. Décantation forcée (ajout du flocculant)

C'est le même principe et la même méthode mais seulement on rajoute un flocculant à une concentration de 0.02 g (figure III.29).



Figure III.29. Flocculant + pulpe [photo prise]

III.8. Test de densité

On a choisi un échantillon représentatif sous forme de roche puis on l'a pesé à l'aide de la balance du laboratoire (figure III.30). Ensuite on l'a immergé dans une éprouvette graduée dont on a déjà versé une quantité d'eau, pour but de déterminer le volume de minerais.



Figure III.30. Echantillon représentatif pour le test de décantation [photos prises 2022]

III.9. Techniques de caractérisation

Pour étudier les minerais bruts, différentes techniques de caractérisations ont été employées comme la diffraction des rayons X, fluorescence X et photoluminescence X. Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux et Catalyse. (LPCMC) de l'université de Béjaïa.

III.9.1. Analyse par diffraction des rayons X

Après leur élaboration, les échantillons sont caractérisés par diffraction des rayons X. Le diffractomètre est constitué d'un goniomètre horizontal, d'un porte-échantillon tournant et d'un tube à rayons X. Cette technique permet d'identifier les phases cristallines en présence dans le matériau et de déterminer leurs caractéristiques cristallographiques[22].

Principe de la diffraction des rayons X [22]

Un cristal est caractérisé par une répartition périodique des atomes dans l'espace autrement dit par un réseau ainsi que par sa structure cristalline. Lorsqu'un faisceau de rayons X qui est un rayonnement électromagnétique entre en contact avec le cristal, il y a interaction élastique entre le rayonnement incident et le nuage électronique de chacun des atomes.

La longueur d'onde des rayons X étant du même ordre de grandeur que la distance qui sépare les plans atomiques des réseaux cristallins, la structure du cristal diffractera un faisceau de rayons X de telle sorte que le rayonnement conserve sa cohérence, on parle de diffusion cohérente ou élastique.

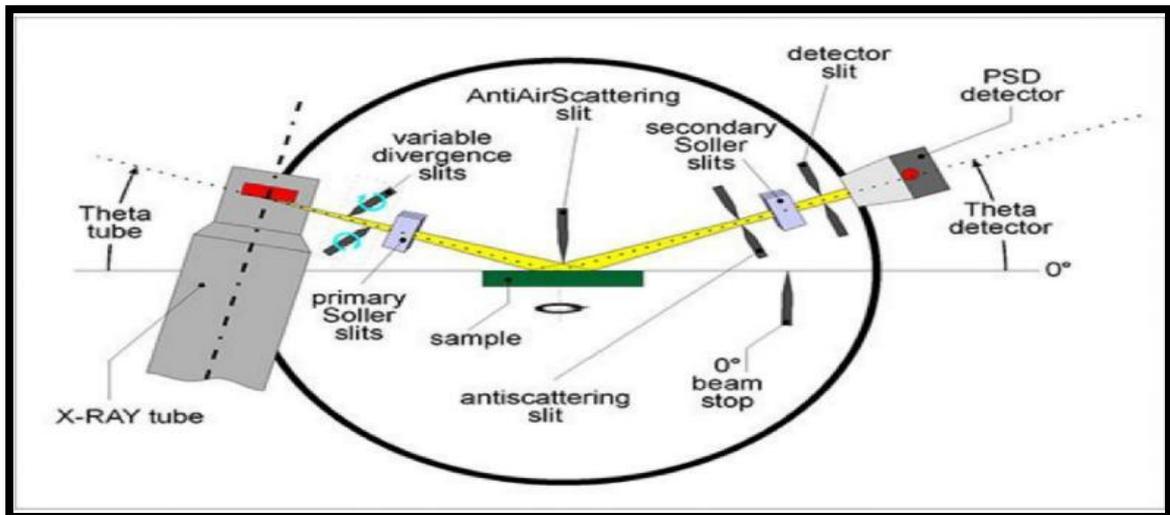


Figure III.31. Schéma d'un diffractomètre

La répartition des atomes (ou molécules) d'un cristal est faite suivant des familles de plans réticulaires appelées indices de Miller et notées (hkl) . Chaque ensemble de plans parallèles se caractérise par une distance inter-réticulaire d_{hkl} entre chacun d'entre eux. L'onde plane incidente de vecteur d'onde k_0 fait avec les plans un angle θ , appelé angle de Bragg (voir Figure III.31).

Cette diffraction est d'autant plus intense que la famille de plans est « dense » c'est-à-dire riche en atomes. Un faisceau de rayons X incident de longueur d'onde λ ne sera réfléchi par une famille de plans (hkl) que dans la mesure où il rencontre ces plans sous un certain angle θ dit angle de Bragg (Figure III.32) tel que :

Avec n , nombre entier, qui est l'ordre de diffraction.

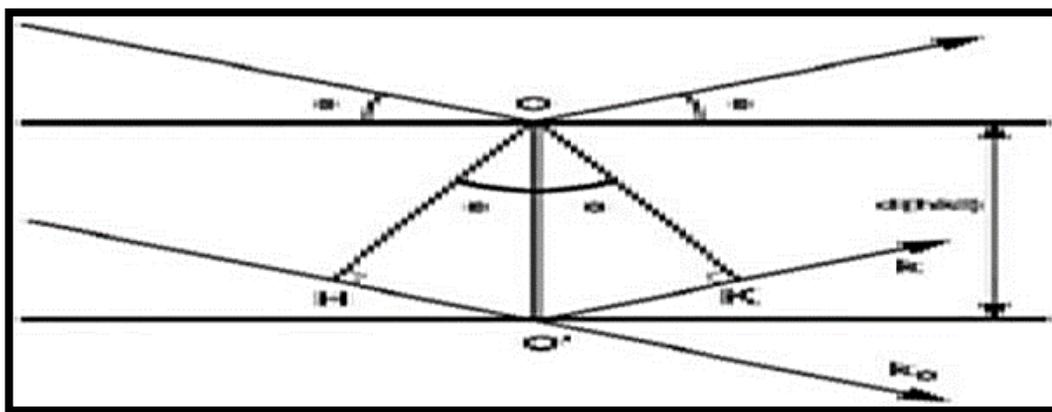


Figure III.32. Un faisceau de rayons X.

Un balayage d'angle de diffraction est obtenu à l'aide d'un goniomètre où l'échantillon plan effectue une rotation avec un mouvement uniforme de vitesse angulaire w .

En balayant le domaine angulaire, on obtient un spectre entier présentant des pics d'intensité caractéristiques des différents plans réticulaires si le matériau est cristallisé. Si le matériau est amorphe en revanche, on n'obtiendra aucun pic seulement un signal très large.

Les diffracto-grammes ainsi obtenus, à l'aide d'un logiciel sont interprétés. Les positions et les intensités des pics observées sont comparés aux fichiers de référence **PDF-ICDD** (Powder Diffraction File - International Center for Diffraction Data) pour l'identification des phases minéralogiques présentes. Et éventuellement l'utilisation de **RIR** (Reference Intensity Ratio) inclus dans le logiciel **HighScore** en plus du fichier PDF-ICDD permet l'estimation semi quantitative des phases correspondantes détectées quand celles-ci sont requises et/ou possibles.

III.9.2. Analyse spectrométrie de fluorescence X [19]

La spectrométrie de fluorescence X (figure III.31) est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide. Elle permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles.



Figure III.33. Analyseur FRX [photo prise 2022]

Principe: L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayons X. Sous l'effet de ces rayons X, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. L'état excité est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme de photons X notamment. Chaque atome, ayant une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propres. C'est le phénomène de fluorescence X qui est une émission secondaire de rayons X, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement X secondaire permet à la fois de connaître la nature des éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique.

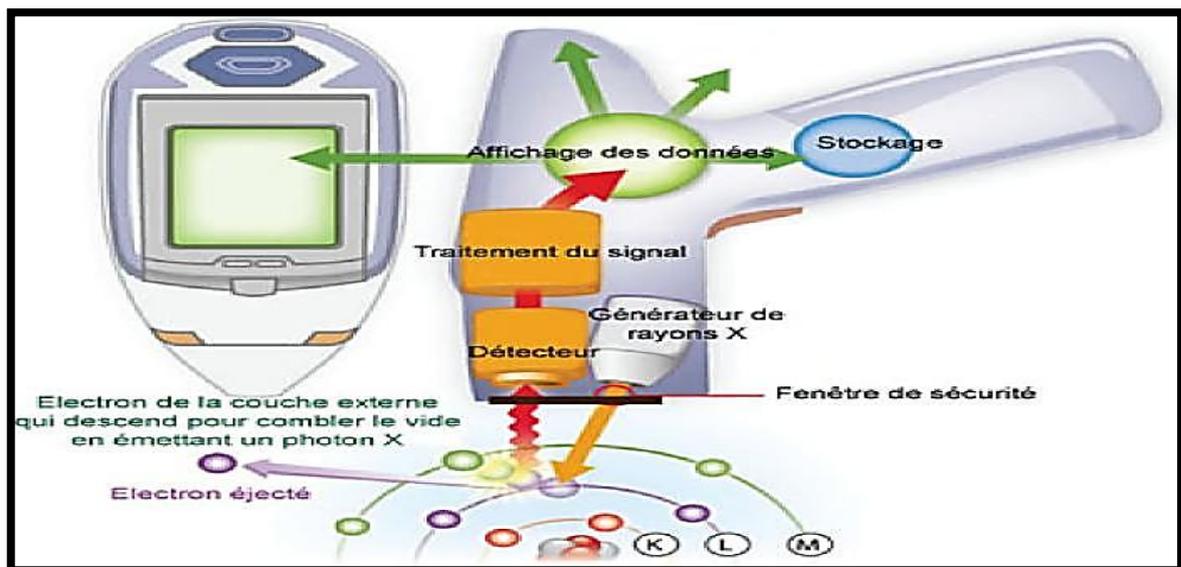


Figure III.34. Principe des spectromètres portables par fluorescence X [23]

Mode opératoire : dans un porte échantillon en plastique, on étale 2 à 3 g de l'échantillon et on le place sur le porteur de l'appareil (figure III.33). Les résultats sont affichés sur l'écran d'un ordinateur (figure III.34).



Figure III.35. Porteur de l'analyseur et de l'échantillon [photo prise 2022]



Figure III.36. Écran d'affichage des données de l'analyseur [photo prise 2022]

III.9.3. Analyse par photo luminescence

C'est une émission de lumière ou autrement dit d'un rayonnement électromagnétique (de photons) par la matière, dont l'intensité, pour certaines longueurs d'onde, est plus forte que celle du rayonnement thermique de cette matière à la même température[24].

Cette émission est souvent due à des transitions électroniques dans la matière (atomes, molécules ou cristaux). L'émission de cette lumière provient en premier lieu d'un apport d'énergie qui peut prendre différentes formes.

Il existe plusieurs types de luminescence (électroluminescence, thermoluminescence, radioluminescence) mais ici nous allons nous intéresser à la photoluminescence [9,10].

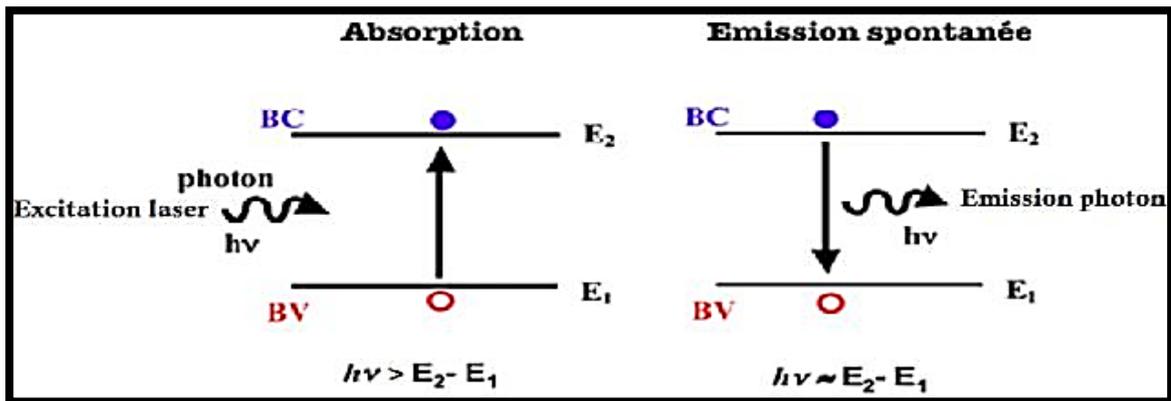


Figure III.37. Principe d'absorption et d'émission spontanée

Dans le cas d'un matériau semi-conducteur, lorsqu'on excite les électrons présents dans la matière en leur apportant de l'énergie, et suite à cette énergie, ils passent dans un niveau d'énergie supérieur. Cet état n'est pas stable et par conséquent on tend à revenir vers un état plus stable dit « fondamental ». Ce retour à l'équilibre se fait par l'émission d'un photon de longueur d'onde λ et la recombinaison de l'électron avec la bande de valence. (figure III.37). [24,25]

Principe de l'expérience de photoluminescence [24]

Un laser est émis puis réfléchi sur deux miroirs avant d'arriver sur notre échantillon placé dans le cryostat. Ensuite, la lumière émise par l'échantillon traverse deux lentilles puis la fibre optique (monochromator) (figure III.398).

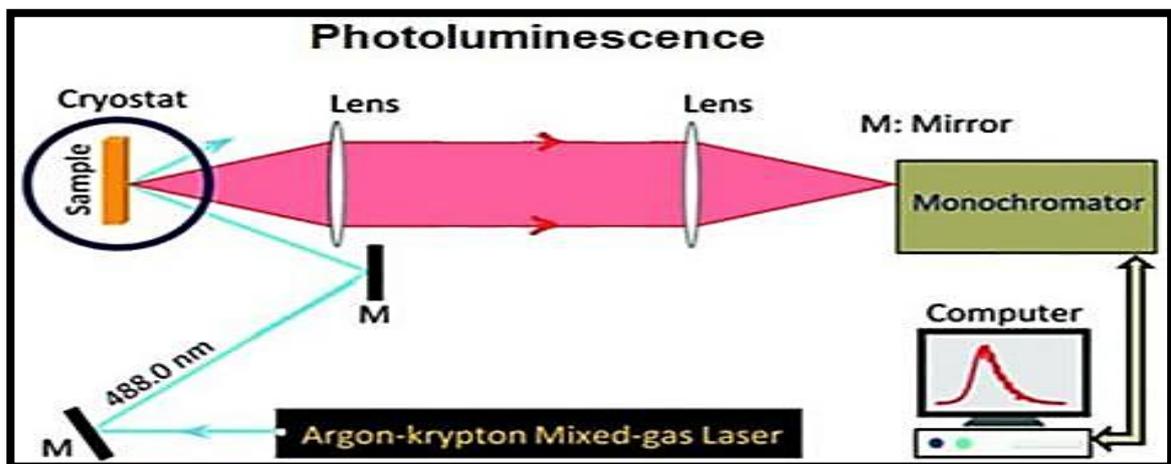


Figure III.38. Schéma de principe de l'expérience de photoluminescence.



Figure III.39. Spectromètre de photo luminescence utilisé pour réaliser nos analyses
[photo prise 2022]

III.10. Etude de la minéralisation par lames minces et section polie

Ces analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire de géologie de l'université de FERHAT ABBAS de Sétif.

III.10.1. Lame mince

Les lames minces ont une épaisseur de 30 microns pour être transparentes. Cette épaisseur est normalisée en France mais la normalisation change d'un pays à l'autre. [26]

Le principe : Chaque cristal apparaît, en lumière analysée polarisée, avec une gamme de couleur qui lui est propre. Cette couleur dépend de la nature du cristal, de l'épaisseur de la lame, de l'orientation du cristal par rapport à la lumière... Les cristaux très riches en silice comme le quartz sont souvent neutres en couleur et apparaissent en nuances de gris. Les ferro magnésiens sont par contre riches en couleur. [26]

Mode de réalisation d'une lame mince [27]

On a ramené un échantillon brut et on l'a préparé suivant les étapes ci-dessous :

i. Le sciage : La première étape dans la réalisation d'une lame mince est le sciage de l'échantillon. Cette opération est réalisée à l'aide d'une scie circulaire diamantée et dentée sous courant d'eau continue. La dureté de la scie permet de découper un échantillon de roche dure ou meuble afin d'en extraire ce que l'on nomme à tort un "sucre"(figure III.40).

- ii. **Le rodage des sucres** : cette étape se réalise mécaniquement ou manuellement disant. en premier sur un verre on avait réalisé un polissage des sucres à l'aide des abrasifs, (figure III.40).
- iii. **Le collage des lames** : on avait déposé le sucre sur une plaque chauffante pour le séchage et le dégazage, après un moment on colle le support de verre sur le sucre (figure III.41).
- iv. **Sciage de la préparation** : on coupe la lame à une épaisseur fine.
- v. **le polissage de la lame** : on poursuit le polissage par des abrasifs.



Figure III.40. Echantillon + sciage + rodage [photos prises]



Figure III.41. Séchage + collage de verre sur le sucre [photos prises 2022]

Après l'obtention de la lame mince voulue, on la fait passer par le microscope pour déterminer la minéralisation de l'échantillon par la lumière de l'analyse microscopique à l'aide de ses composants (figure III.42).

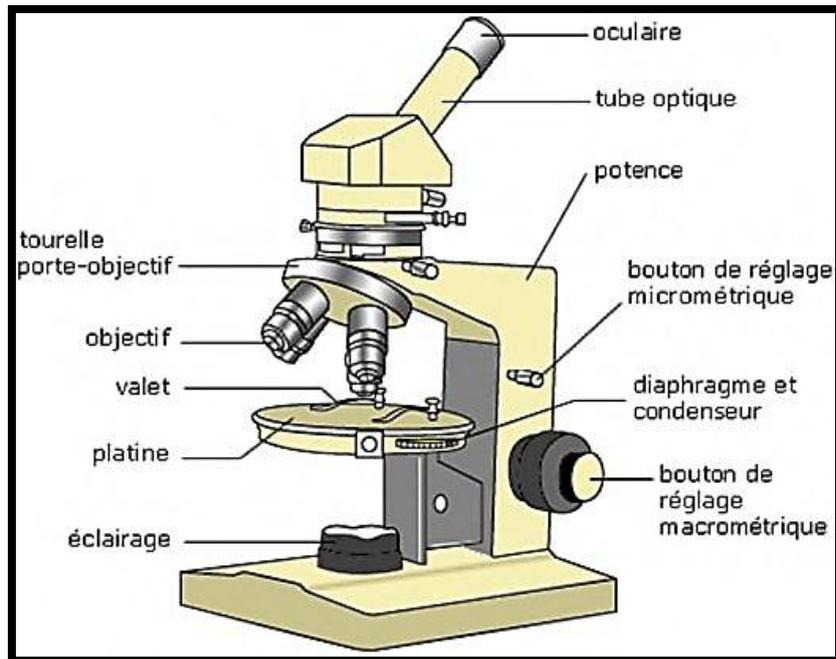


Figure III.42. Description de microscope [28]

III.10.2. Section polie

Pour la réalisation de cette étude nous avons suivi la même procédure que pour l'obtention du sucre sur le point III.10.1, mais cette fois-ci le sucre ne soit pas collé au verre par contre elle sera rodée sur un lapidaire en fonte pour vue d'un mouvement circulaire en utilisant d'autres abrasifs.

Conclusion

Nous avons effectué plusieurs échantillonnages de plusieurs minerais : filon N°08, filon N°16 de gisement d'Amesmassa et le minerai dépôt d'Ain Guezzam à la présence des géologues responsables de la mine pour extraire le minerai aurifère. L'objectif des tests est l'étude comparative entre les minerais des deux régions. Les échantillons ont été préparés mécaniquement en but d'avoir des échantillons représentatifs et homogènes, qui passeront à la caractérisation au sein des différents laboratoires. Nous avons aussi présenté les étapes de la caractérisation physico-chimique des minerais. Le mode opératoire, les techniques d'analyse sont aussi mises en évidence pour générer les résultats expérimentaux attendus, qui seront discutés dans le chapitre IV.

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

La démarche de caractérisation des minerais issus, soit du gisement d'Amesmassa ou des indices d'Ain Guezzam consiste à interpréter les observations minéralogiques (diffraction des rayons X, fluorescence X, photoluminescence X. La connaissance des propriétés minéralogiques guide les chercheurs à mieux connaître et à prévoir les procédés d'extraction et de la libération de l'or par cyanuration.

Nous allons essayer de caractériser les échantillons et réaliser des tests de lixiviations et d'adsorptions afin de connaître la composition minéralogique de ces minerais et essayer d'expliquer le comportement de ces derniers par rapport à la dissolution de l'Or par le cyanure et son adsorption par le charbon actif par rapport aux résultats obtenues leurs des tests et des analyses.

A la fin du chapitre nous allons donner l'étude comparative des minerais issus de l'exploitation artisanale et ceux de la mine d'Amesmassa.

IV.1. Caractérisation des minerais

Cette étude vise à produire un ensemble cohérent de données minéralogiques pour 4 échantillons : deux minerais issus de deux sites d'Ain Guezzam et deux minerais issus de deux filons du gisement d'Amesmassa (filon 8 et filon 16)

IV.1.1. Caractérisation par spectrométrie de fluorescence X

Une analyse des éléments composants nos minerais a été réalisée par spectrométrie FX au moyen du dispositif portable afin de préciser chimiquement leur composition et ainsi de mettre en lumière d'éventuelles variations chimiques qui existent entre les différents échantillons. Les résultats sont illustrés dans les tableaux ci-dessous:

A. Minerais d'Amesmassa

Le tableau ci-après rassemble l'ensemble des résultats concernant les deux filons d'Amesmassa

Tableau IV. 01 : Résultats de l'analyse par FRX des filons d'Amesmesssa

Filon N°08		Filon N°16	
Eléments	Résultats %	Eléments	Résultats %
SiO ₂	84.419 %	SiO ₂	76.485 %
Al ₂ O ₃	8.188 %	Al ₂ O ₃	14.597 %
Fe	2.234 %	K	3.573 %
K	1.907 %	Fe	3.133 %
Ca	1.364 %	MgO	1.020 %
MgO	1.151 %	Ca	0.561 %
S	0.300 %	Ba	0.200 %
Ti	0.111 %	Ti	0.155 %
Ba	0.077 %	P	0.075 %
Mo	0.070 %	Mo	0.065 %
Pb	0.040 %	Pb	0.035 %
Sr	0.039 %	Sr	0.034 %
P	0.030 %	Mn	0.026 %
Zn	0.024 %	Cd	0.017 %
Mn	0.016 %	Nb	0.013 %
Nb	0.015 %	Ag	0.005 %
Cd	0.011 %	Ni	0.004 %
Ag	0.004%	Zn	0.003%

A partir du tableau, on constate que le composant majoritaire est le quartz, avec un pourcentage élevé (84,419 % pour le filon 8 et 76,485 % pour le filon 16), cela est dû à la nature géologique du gisement en question (présenter en partie théorique chapitre I). Les formes d'oxydation apparus sous forme d'oxyde de magnésium et d'alumine, traduit la présence d'éléments Fe, K, Ag, Zn, détectés à des teneurs beaucoup plus faibles que le quartz, l'au n'a pas été observé sur l'appareil en vue de sa teneur très faible, ou son absence dans l'échantillon étudié.

B. Minerais d'Ain Guezzam

Le tableau ci-après rassemble l'ensemble des informations concernant les indices d'Ain Guezzam

Tableau IV.02 : Résultats de l'analyse par FRX des indices d'Au d'Ain Guezzam

Echantillon 1 (échantillon 832)		Echantillon 2 (échantillon 77)	
Eléments	Résultats %	Eléments	Résultats %
SiO ₂	87.569%	SiO ₂	84.123%
Al ₂ O ₃	7.196%	Al ₂ O ₃	7.478%
Fe	1.871%	Fer	1.567%
MgO	0.765%	MgO	0.771%
K	0.310%	Ca	0.336%
Ca	0.187%	Ba	0.130%
Ba	0.101%	Ti	0.098%
Ti	0.071%	Mo	0.063%
Mo	0.062%	Sr	0.045%
Sr	0.053%	P	0.041%
Mn	0.052%	Nb	0.013%
P	0.035%	K	0.010%
Ni	0.021%	Ni	0.008%
Nb	0.015%	Mn	0.007%
Ag	0.006%	Ag	0.006%
Cd	0.006%	Cd	0.005%
Tin	0.003%	Sb	0.004%
		Pb	0.002%

A partir du tableau, on trouve que le composant majoritaire est le quartz avec un pourcentage élevé par rapport aux échantillons d'Amesmassa (87.569 pour l'ECH 1 (823) et 84.123 % pour l'ECH 2 (77)), cela est dû à la nature géologique des sites en question (présenter en partie théorique chapitre I) les formes d'oxydation apparus sous forme d'oxyde de magnésium et d'alumine, traduit la présence d'éléments Fe, K, Ag, Zn, détectés à des teneurs beaucoup plus faibles que le quartz. Pour l'ECH2 on remarque une détection de présence de plomb et de l'antimoine comme éléments de plus, et pour l'ECH 1 c'est le Tin, on remarque l'absence de l'Au comme sur le tableau précédent.

IV.1.2. Caractérisation par diffraction des rayons X

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

A. Minerais d'Ain Guezzam

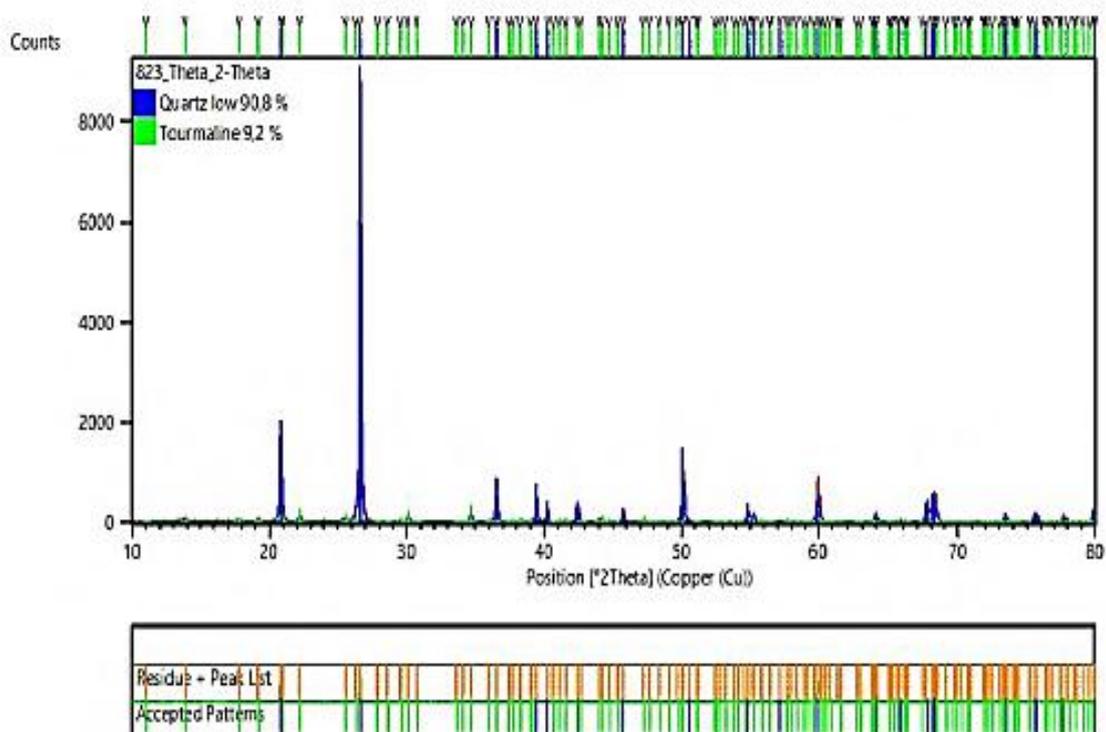


Figure IV.01. Spectre de la DRX de l'ECH-823

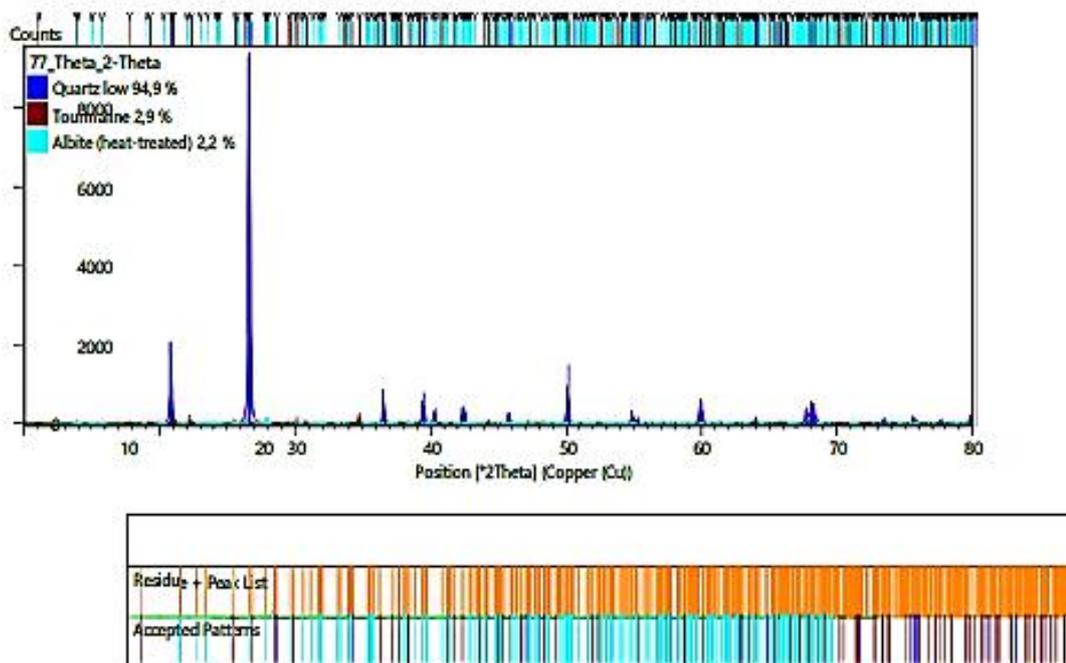


Figure IV.02. Spectre de la DRX de l'ECH-77

B. Minerais d'Amesmassa

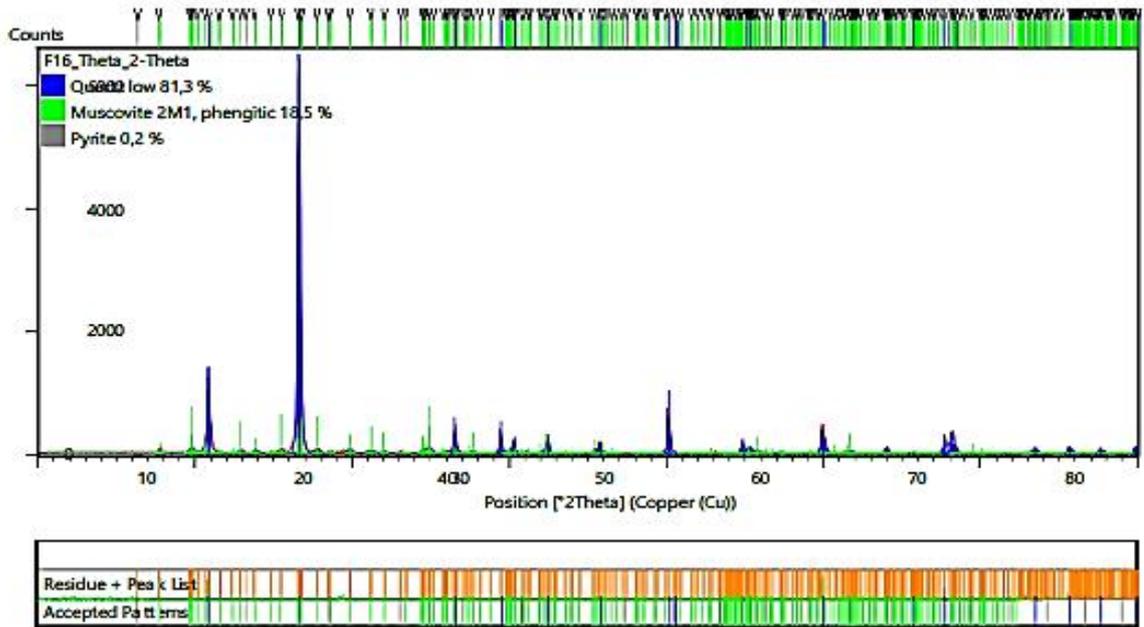


Figure IV.03. Spectre de la DRX de filon-16

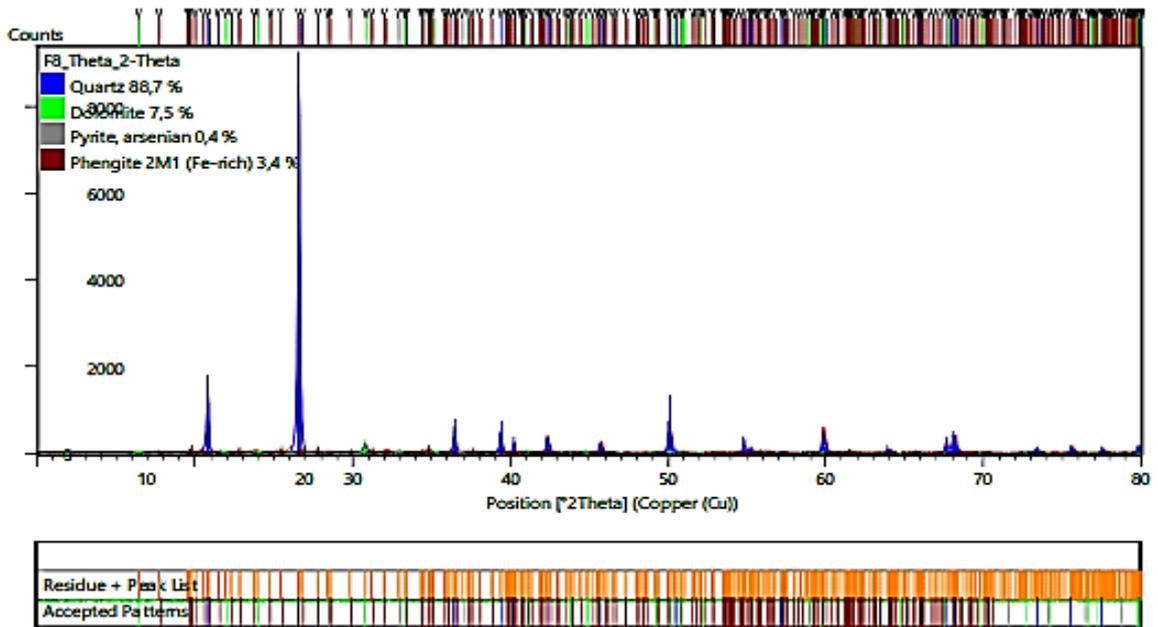


Figure IV.04. Spectre de la DRX de filon-8

Les figures IV1-4 présentent les spectres de diffraction des rayons X des minerais : de Ain Guezzam 823, Ain Guezzam 77, Amesmessa filon 16 et Amesmessa filon 8 respectivement. Pour l'ensemble des minerais, la phase majoritaire est le quartz. Cette dernière est illustrée par la présence des raies intenses.

Minerai d'Ain Guezzam 832 : En plus de la phase majoritaire (le Quartz), nous remarquons la présence d'une autre phase minoritaire qui est la tourmaline

Minerai d'Ain Guezzam 77 : On remarque la présence de deux phases cristallographiques en plus du quartz. Il s'agit de Tourmaline et l'Albite

Minerai d'Amesmessa filon 16 : Le diffractogramme correspondant indique la présence de la muscovite et la pyrite à côté du quartz comme phase majoritaire

Minerai d'Amesmessa 8 : La dolomite, l'arseno-pyrite, et la phengite sont présents en plus du quartz.

La présence de la pyrite dans les échantillons d'Amesmassa s'exprime par la nature de la géologie, le cortège minéralogique de minerai d'Au exige la présence de substance de soufre tel que la pyrite et la calchopyrite et cela s'explique par le point donné en partie théorie chapitre I (la partie minéralisation du gisement d'amesmassa).

Pour les échantillons de Ain Guezzam la présence de la tourmaline exprime ce qui a été donné dans la minéralisation des indices d'or de Tin-Ezzararine ou on avait dit la présence de l'Or visible est signalée en petits grains, en liaison avec des filons de quartz blanc à pendage doux et de quartz à tourmaline à pendage raide, de point de vue que le quartz est un quartz blanc donc la présence de l'albite est normal.

Pour l'absence de l'Au par la DRX c'est parce que l'Au a un pique trop petit et sa concentration est insignifiante par rapport aux autres constituant tel que la silice.

IV.2. Résultats des lames minces et des sections polies des échantillons des deux minerais

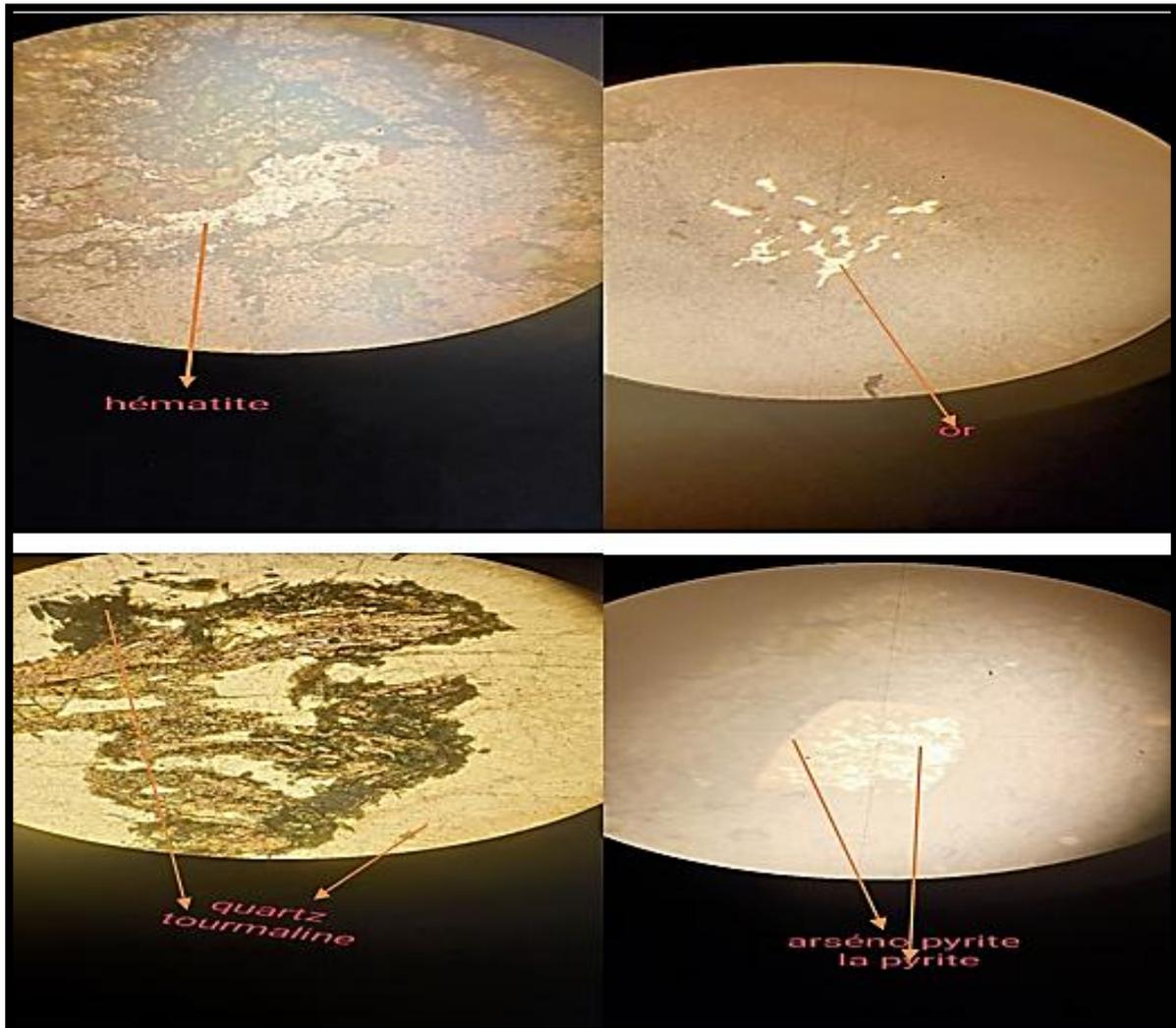


Figure IV.05. La minéralisation sous le microscope

IV.2.1. Lame mince et section polie du minerai d'Amesmassa

L'association minéralogique présente une association Pra génique.

Composée : argile (cerosite), pyrite, limonite, goethite (hématite), arsénopyrite, or.

Pyrite : macroscopiquement elle apparaît sous forme de dissémination dans le quartz et de remplissage de fracture affectant le quartz.

Au microscope : elle se présente sous forme cubique ou bien arrondi disséminée dans la gangue ou bien sous forme de remplissage de fractures parfois associée à l'hématite ou bien en exsolution avec de l'arsénopyrite.

Hématite : macroscopiquement elle se présente sous forme de plage remplissant les fractures qui ont affecté le quartz elle est souvent entourée de limonite.

Limonite : elle est sous forme pulvérulente entourant le plus souvent la goethite.

Arsénopyrite : au microscope elle apparaît sous forme cubique ou bien triangulaire parfois associé à la pyrite.

Quartz : nous avons découvert deux types de quartz (deux générations de quartz) :

Quartz I : qui remplit la caisse filonienne, il se présente sous forme de grandes plages subautomorphe à xenomorphe de taille mm souvent affecté par des fractures à remplissage de phengite, quartz de deuxième génération et les sulfures.

Quartz II : observé sous forme de remplissage de fractures affectant le quartz I, il est sous forme de petit grains xenomorphe de taille μm associé à de la phengite + pyrite.

Phengite : elle est mise en place tardivement, elle est observée dans les fractures en association avec le quartz II et la pyrite, elle est finement cristallisée elle est même affectée par des fractures à remplissage d'oxyde de fer. LPA Q*40

Galène : elle est observée dans les fractures ou bien elle apparaît sous forme de cristaux automorphe disséminé dans le quartz filonien parfois cubique et xenomorphe leur taille va de quelques mm à 1 mm. Q*10 LPNA.

Or : au microscope il est très peu présent nous n'avons pas observé que quelques grains qui apparaissent sous forme de petites plages disséminées dans le quartz, parfois associé à l'hématite.

IV.2.2. Lame mince et section polie de minerai d'Ain Guezzam

On a déterminé la présence de la limonite, la pyrite, tourmaline et de quartz.

Pyrite : elle se présente sous forme de petits grains microscopiques de forme arrondie disséminé dans le quartz.

Limonite : elle est observée dans les fractures affectant le quartz et la tourmaline elle est sous forme pulvérulente.

Quartz : à l'œil nu il est sous forme massive de couleur blanc postérieures à son dépôt. Il est suivi d'une tourmalinisation (poches de tourmalines).

Tourmaline : macroscopiquement, elle se présente sous forme de poche ou bien en remplissage des fractures de couleur noir dans les filons de quartz aurifères.

Au microscope par LPNA *10, elle se présente sous plusieurs formes :

- Aciculaire (forme aiguille) très allongée en forme de petit regroupement.
- De petits grains automorphe remplissant les fractures ou bien disséminés dans le quartz.
- Gros grains allongés ou bien sous forme de plage disséminé dans le quartz.

Albite : elle apparaît sous forme subautomorphe de taille 1 mm se présente en illusion dans les amas de tourmaline.

Galène : elle apparaît sous forme de très petits grains disséminés dans le quartz, leur taille ne dépasse pas quelque μm .

Le quartz, la pyrite, la limonite, la galène ont été déterminés par la description visuelle à la présence de géologue responsable de la mine. Pour la tourmaline dans le minerai de Ain Guezzam nous l'avons observé sur le microscope par une analyse en section polie, elle est aussi observée sur les résultats de la DRX.

On constate aussi que l'Or est très peu observé sous le microscope. L'échantillon de filon 16 est le seul dont a observé l'or sous le microscope.

IV.3. Les teneurs initiales des minerais

Tableau IV.03 : Teneurs initiales

	Ain Guezzam		Amesmassa	
ECH/solide	823	77	F-8	F-16
	Au (ppm)	Au (ppm)	Au (ppm)	Au (ppm)
Teneur initiale (g/t)	1.36	7.03	33.37	10.48

IV.4. Résultats des tests de lixiviations des minerais

IV.4.1. Minerais d'Amesmassa

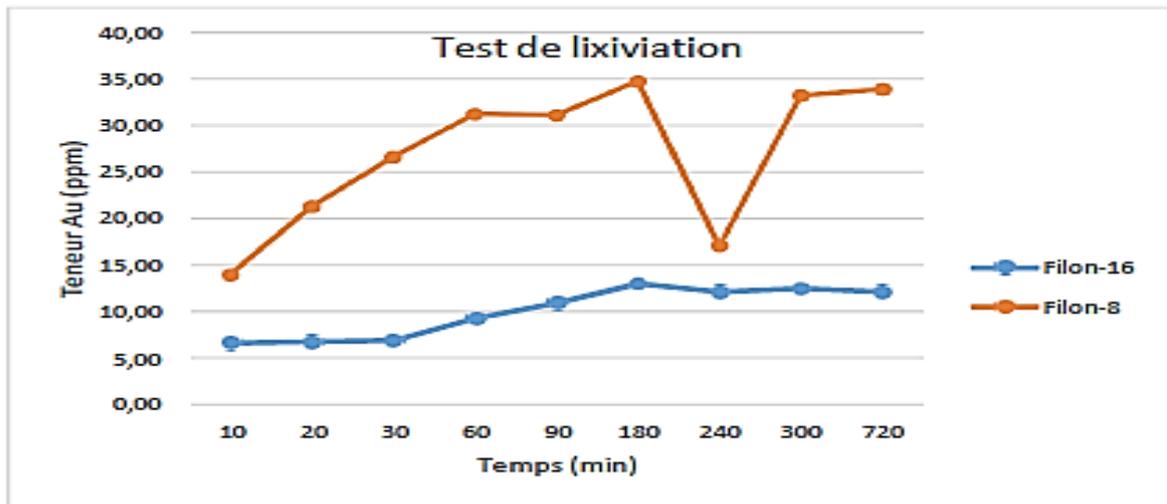


Figure IV.06. Evolutions de teneur de lixiviation de F-8 et F-16 en fonction du temps.

IV.4.2. Minerais d'Ain Guezzam

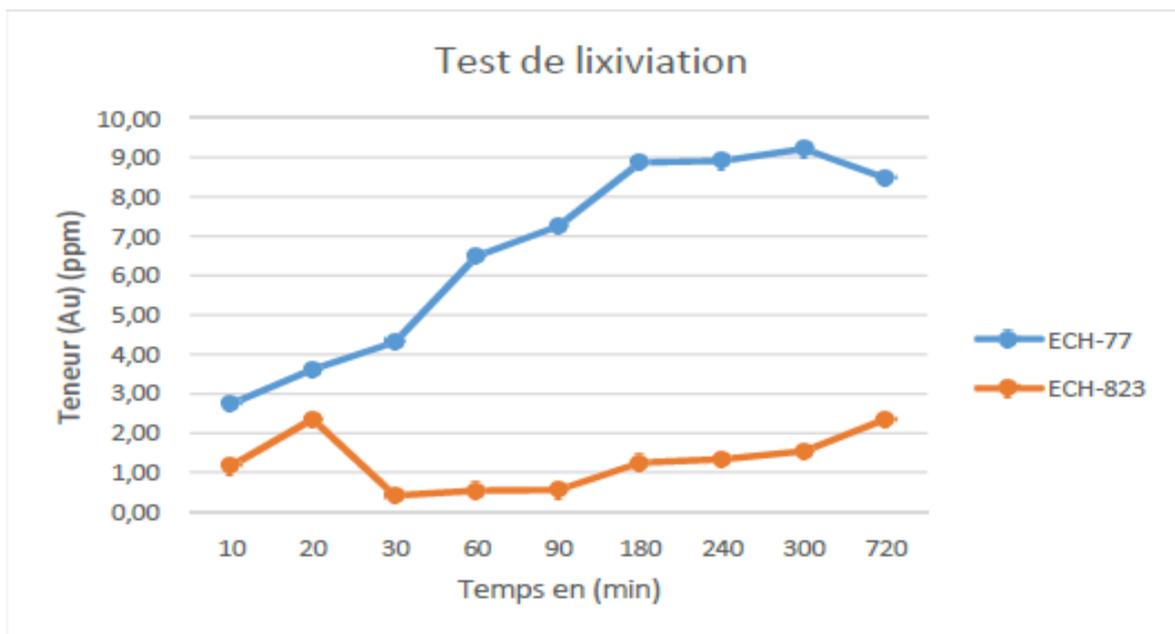


Figure IV.07. Evolutions de teneur de lixiviation d'ECH-823 et ECH-77 en fonction du temps.

❖ Remarque:

Lors du test de lixiviation par cyanure en bouteilles roulantes des échantillons, nous avons remarqué que:

- Entre les deux filons 8 et 16, le taux de récupération dans le filon 8 est plus élevé
- Entre les deux indices 77 et 823, le taux de récupération dans le minerai 77 est plus élevé
- Le pic d'extraction est obtenu après 180 minutes pour tous les échantillons
- Le taux de récupération maximal est obtenu dans l'échantillon 8 d'Amesmassa avec 35 ppm suivi par le filon 16 avec environ 14 ppm, après l'indice 77 d'Ain Guezzam avec 9 ppm et en dernier l'indice 832 avec 4 ppm.
- La diminution remarquée dans la figure IV.07 est dû probablement aux conditions de l'expérience et plus spécialement à la saturation de cyanure utilisé.
- Le temps de séjour est un paramètre très important pour la récupération totale de l'or dans notre cas 720 minutes.

❖ Interprétation:

Le taux de récupération est nettement plus important dans les échantillons d'Amesmassa, par rapport à ceux d'Ain Guezzam cela s'explique par la minéralogie.

- Le teneur en Au est beaucoup plus importante dans les échantillons d'Amesmassa que ceux de Ain Guezzam cela est dû à la présence de la pyrite (pourcentage élevé dans les filons d'Amesmassa) qui est facilement dissociable, car la pyrite est un sel soufré, et la nature des liaisons chimiques pyrite-Au non solide est facile à cassé.
- Teneur faible à moyenne des échantillons d'Ain Guezzam en élément Au car la présence de la tourmaline dans les échantillons appartenant à la famille des cyclo-silicates ayant la capacité de ralentir la lixiviation et toute dorme de solubilisation.

IV.5. Les teneurs finales

Tableau IV. 04 : Teneurs finales

	Ain Guezzam		Amesmassa	
ECH/solide	823	77	F-8	F-16
	Au (ppm)	Au (ppm)	Au (ppm)	Au (ppm)
Teneur finale (g/t)	0.20	2.18	10.76	3.07

On constate à partir du tableau IV.04 que les teneurs initiales ont diminué à la fin de test de lixiviation par rapport aux teneurs initiales dans tous les échantillons traités en fonction du temps. Cette diminution est un témoin de fiabilité de la cyanuration quant à la récupération de l'or.

IV.6. Résultats des tests d'adsorption des minerais

IV.6.1. Minerais d'Amesmassa

L'adsorption se fait sur charbon actif et les résultats sont présentés dans les graphes suivants:

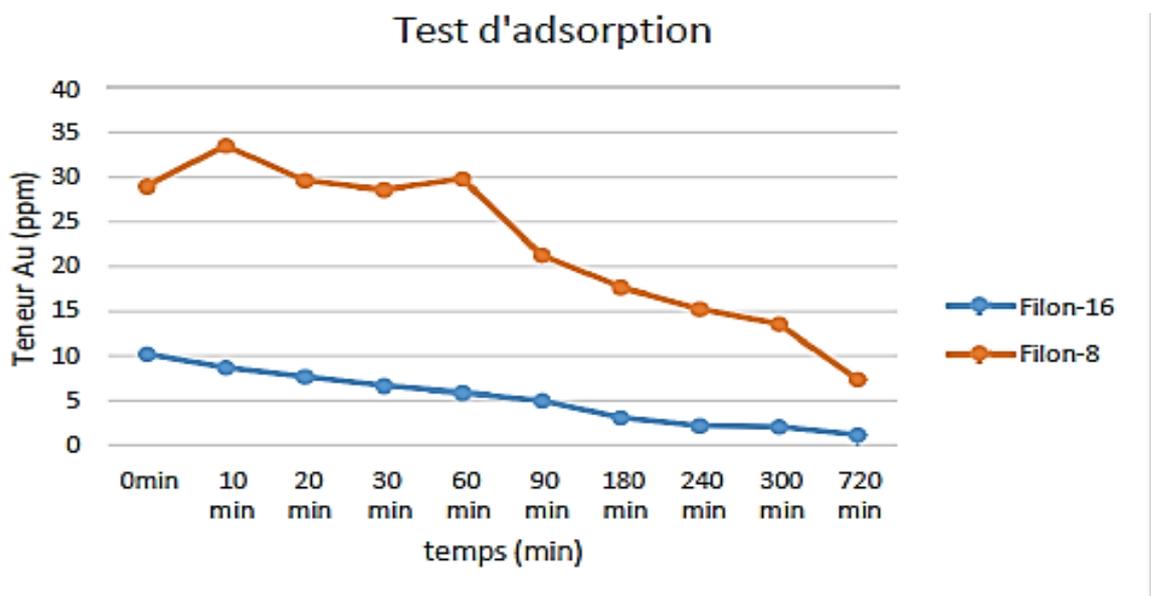


Figure IV.08. Evolutions du taux d'adsorption de F-8 et F-16 en fonction du temps

IV.6.2. Minerais d'Ain Guezzam

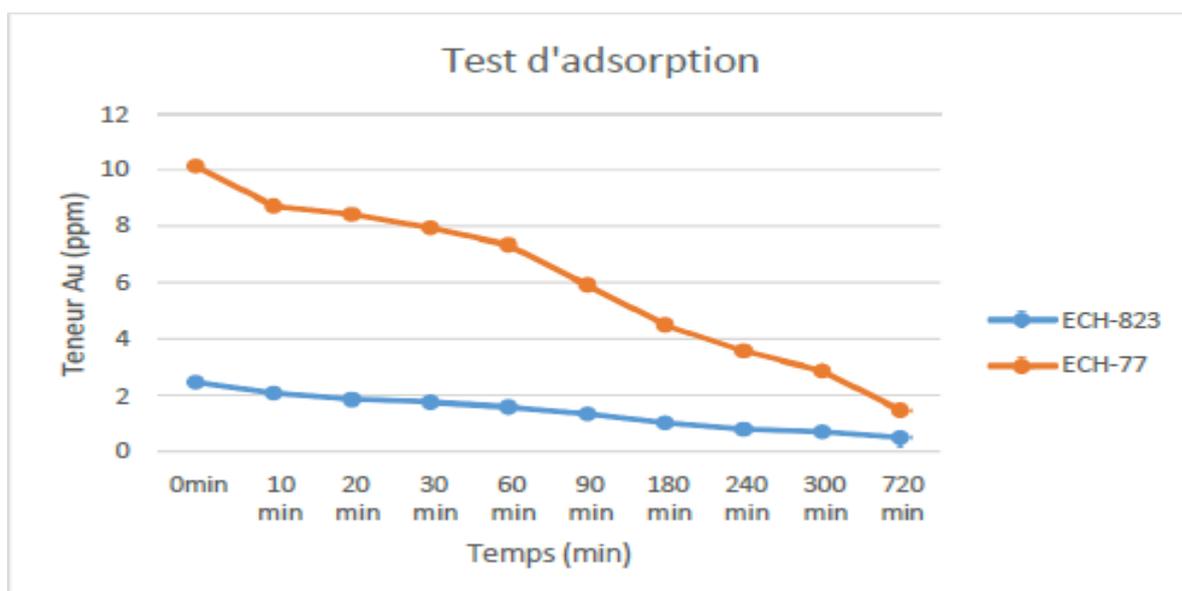


Figure IV.09. Evolutions du taux d'adsorption d'ECH-823 et ECH-77 en fonction du temps

Remarques:

- Nous remarquons que la teneur de l'or dans tous les échantillons diminue en fonction du temps mais par des teneurs différentes pour chaque échantillon, selon la teneur initiale et selon la composition minéralogique de chaque échantillon.
- Pour le filon n°8 la teneur avant l'ajout de charbon actif était de 28.90 ppm a 0min (après 12 h de lixiviation), puis elle a augmenté à 33.50 ppm après 10 min de l'ajout de charbon actif et à partir de là elle a commencé à diminuer environ 21.20 ppm après 720 min.
- Pour les trois autres échantillons on remarque une diminution de teneur en Au au long de tout le temps de l'adsorption de 0min (après lixiviation) jusqu'à 720min.
- La teneur en Au lors de test d'adsorption des quatre échantillons à diminuer en fonction de temps sur le long de séjour de 720 min.
- L'adsorption des anions CN^- , $Au(CN)_2^-$ par le charbon actif s'accompagne d'une variation des potentiels rédox et du pH (dans notre projet le pH est réglé à 11 dans le but qu'il soit le milieu alcalin), cela pour les échanges des ions OH^- ou H^+ . Les quantités d'Au libérées par le cyanure et adsorbées par le charbon ce qui explique la diminution de la teneur en Au en fonction de temps ce qui est montré sur les (figure IV.08 et figure IV.09).

Interprétation:

Le charbon actif est un cation à une charge (-) et le Au est un anion à une charge (+):

- L'ajout de charbon actif nous a permis de mettre en évidence sa capacité d'échange cationique et son potentiel à adsorber l'Au, cela se traduit par la diminution des Au⁺ et leur adsorption sur les sites libres de charbon actif.
- L'occupation des sites vides sur les granulats de charbon actif par le Au lixivié, traduit la présence de ce dernier ou pas.

IV.7. Teneur de charbon actif après adsorption

La teneur du charbon est (g/t) c'est l'équivalent de (mg/g) c'est-à-dire combien de mg de Au est adsorbé par 1 g du charbon

Tableau IV.05 : Teneurs de charbon après le test d'adsorption

	Ain Guezzam		Amesmassa	
Echantillon	823	77	F-8	F-16
	Au (mg/g)	Au (mg/g)	Au (mg/g)	Au (mg/g)
Teneur (mg/g)	1619	5798	17389	6515

❖ **Remarque :**

Nous remarquons que les teneurs de charbon actif récupéré par tous les échantillons ont augmenté par rapport aux teneurs initiales.

❖ **Interprétation :**

L'augmentation de la teneur de charbon actif récupéré après 720 min de test d'adsorption en bouteilles roulantes est expliquée par le phénomène d'adsorption de l'or qui est extrait par le cyanure et adsorbé par le charbon actif, les résultats de tableau IV.05 démontrent que le charbon actif porte l'Or en jouant son rôle d'un adsorbant.

IV.8. Résultats de test de densité (masse volumique)

A. Minerais d'Amesmassa

Volume = 40 ml

Poids de la roche = 105 g

Densité = poids/volume

=> densité (AMS) = $105/40 = 2.62 \text{ g/ml} = 2.62 \text{ kg/l} = 2.62 \text{ t/m}^3$

B. Minerais d'Ain Guezzam

Volume = 75 ml

Poids de la roche = 162.5 g

Densité = poids/volume

=> densité (A.G) = $162.5/75 = 2.16 \text{ g/ml} = 2.16 \text{ kg/l} = 2.16 \text{ t/m}^3$

Interprétation

On remarque que le minerai d'Amesmassa est le minerai le plus dense car l'échantillon est pris du filon 08 à une profondeur de -85 m où la roche est très compacte.

IV.9. Résultats des tests de décantation

IV.9.1. Minerais d'Amesmassa

IV.9.1.1. Décantation naturelle

Tableau IV.06 : Résultats de test de décantation naturelle des filons 8 et 16

Filon 8		Filon 16	
Distance (mm)	Le temps (min)	Distance (mm)	Temps (min)
5	2 :15	5	5 :00
10	2 :55	10	9 :50
15	3 :09	15	14 :00
20	4 :00	20	/

IV.9.1.2. Décantation forcée (par flocculant)

Tableau IV.07 : Résultats de test de décantation forcée des filons 8 et 16

Filon 8		Filon 16	
Distance (mm)	Le temps (min)	Distance (mm)	Temps (min)
5	1 : 00	5	5 : 00
10	1 : 28	10	11 : 00
15	1 : 53	15	17 : 00
20	2 : 03	20	21 : 00

IV.9.2. Minerais d'Ain Guezzam

IV.9.2.1. Décantation naturelle

Tableau IV.08 : Résultats de test de décantation naturelle des échantillons d'Ain Guezzam

823		77	
Distance (mm)	Temps (min)	Distance (mm)	Temps (min)
5	3 : 04	5	5 : 00
10	7 : 34	10	12 : 11
15	13 : 41	15	22 : 40
20	17 : 53	20	31 : 15

IV.9.2.2. Décantation forcée

Tableau IV.09 : Résultats du test de décantation forcée des échantillons d'Ain Guezzam

823		77	
Distance (mm)	Temps (min)	Distance (mm)	Temps (min)
5	2 : 53	5	6 : 01
10	7 : 00	10	11 : 00
15	12 : 00	15	16 : 00
20	16 : 17	20	20 : 59

❖ Remarques

On remarque que dans l'échantillon du filon 8, la décantation naturelle est la plus rapide puisque la pulpe a sédimenté en un temps record, contrairement aux trois autres échantillons qui sédimentent lentement. Alors que pour la décantation forcée, en ajoutant un flocculant la sédimentation a commencé lentement ensuite était lente au premier pas, après un temps où le flocculant facilite la décantation, nous avons remarqué que cette dernière est plus rapide qu'en décantation naturelle. L'ajout de flocculant améliore le rendement du filtre, facilite la

décantation où la sédimentation des particules lourdes de la pulpe est améliorée en diminuant les forces de répulsion entre particules.

❖ **Interprétation**

- Nous constatant que le filon 8 présente les meilleurs résultats principalement à la teneur élevée en dolomite qui permis au quartz une décantation et une précipitation, car elle le laisse pas garder sa forme de matière en suspension;
- L'ajout du flocculant qui est un produit chimique, qui joue le rôle de dispersant, donc il va disperser la dolomite de quartz, dans ce cas il va augmenter la vitesse de décantation car chacun sédimente séparément.
- Aussi le flocculant sépare les composés des minéraux des composés salifères et des composés organiques, qui à leur tour ont formé des floccs émergeant à leur place et rendant la décantation rapide.

On remarque que les minerais des différents sites se décantent avec des vitesses légèrement différentes, mais d'une manière presque linéaire. L'ECH 823 et l'ECH filon 08 sont les minerais les plus favorables car ils réagissent bien avec le flocculant.

IV.10. Caractérisation par photoluminescence

Lorsque nous effectuons une expérience de photoluminescence, nous excitons les échantillons avec un laser continu. Ici, nous avons choisi un laser d'une longueur d'onde de 210 nm. Nous choisissons cette longueur d'onde car nous souhaitons mettre en évidence les phénomènes d'excitation qui absorbent à cette longueur d'onde. Les mesures sont effectuées à la température ambiante. Les résultats obtenus sur les nos échantillons sont présentés sur les figures suivantes :

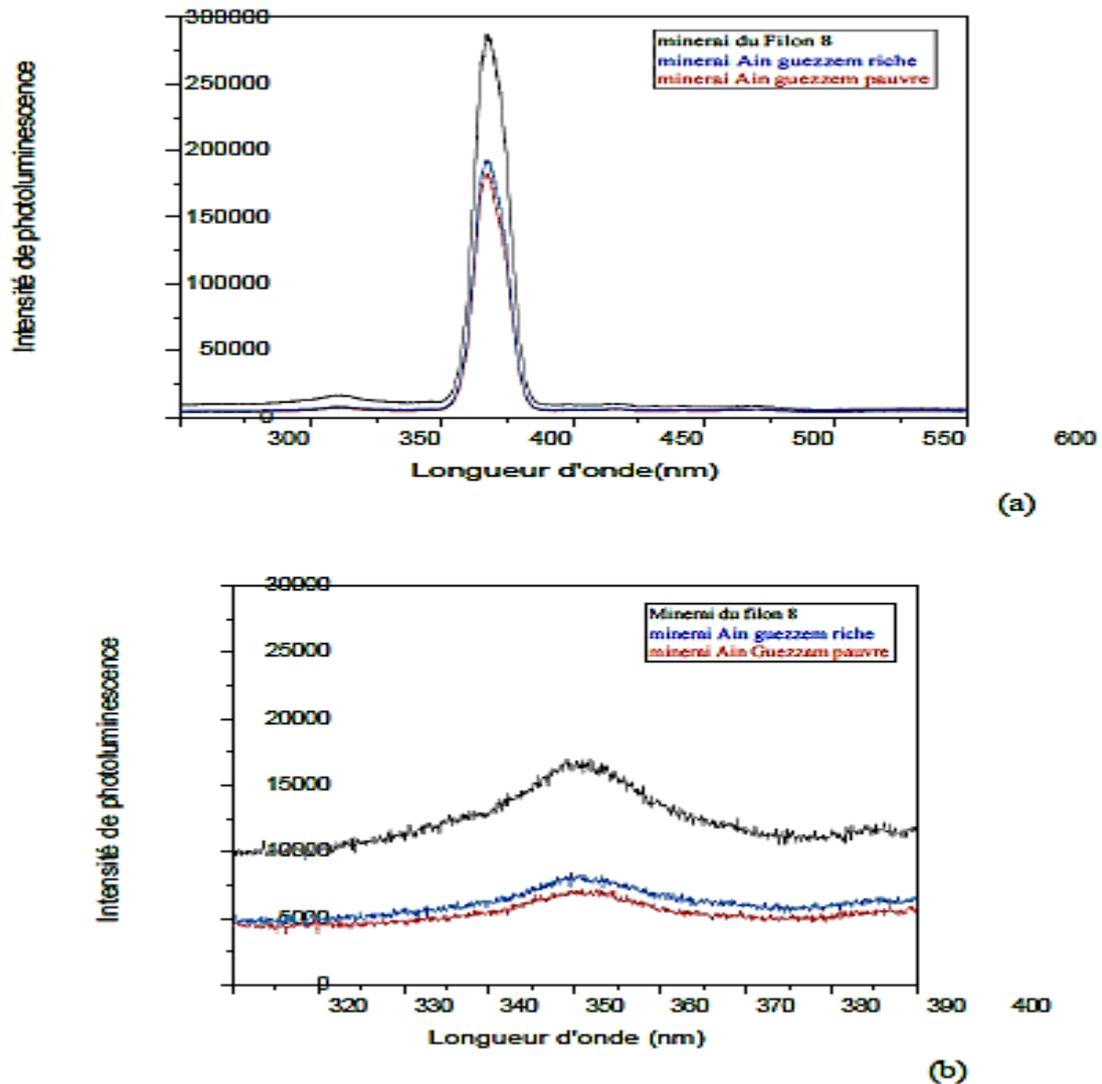


Figure IV.9. Spectres de photoluminescence des minerais d'Amesmessia et de Ain Guezzam

Remarque

Nous pouvons constater que les trois échantillons émettent la lumière autrement dit qu'il y a un phénomène d'excitation. La bande spectrale située à une longueur d'onde de 420 nm est appelée « harmonique de la longueur d'onde d'excitation ».

La bande située à 360 nm correspond à la photoluminescence du quartz blanc.

Dans la composition stœchiométrique de SiO_2 , où il n'existe pas d'atomes de Si en excès, on remarque qu'il n'existe pas d'émission de lumière.

On remarque aussi que l'intensité de la photoluminescence augmente avec la teneur d'or disséminé dans le quartz puisque d'après la teneur initiale des échantillons déjà calculée il a été constaté que le minerai d'Amesmessah du filon 8 a une teneur supérieure à ceux d'Ain Guezzam. Dans la même optique, nous avons aussi remarqué que l'indice 77 est plus riche que celui de 823. Si on compare cet ordre, on remarque que c'est celui de l'intensité de la photoluminescence.

Ceci nous mène à conclure que les raies observées dans la photoluminescence sont des signatures de plusieurs ions comme : Au^+ , Fe^{+2} , Fe^{+3} , Na^+ , K^+ et autres.

Interprétation

- L'analyse de PL confirme la composition minéralogique des échantillons préalablement obtenue.
- La teneur en quartz, en alumine augmente la réflectance de la lumière émise par l'appareil ceci se traduit par l'aspect de ses minéraux qui est vitreux, ayant un comportement d'émetteur vis-à-vis de luminescence.
- La fluctuation de phénomène est entravée par la présence d'éléments non vitreux, dont la pyrite, argile..., caractérisé par leur aspect matte.
- Les résultats obtenus par la PL sont en parfaite concordance avec les résultats de la DRX.

Etude comparative :

Entre un minerai d'or et un autre on trouve des convergences comme on trouve des divergences, pour l'extraction et la libération de l'or nous avons une des méthodes la plus utilisée c'est la libération par cyanuration.

D'après ces résultats on conclut que les échantillons sont classés comme suit:

- ✓ Tous les échantillons sont principalement du quartz comme point commun et présence de l'alumine, fer dans tous les échantillons et quelques sulfures comme la pyrite. Les différences sont :

- **Minerai du filon 8 d'Amesmesssa** : Est le plus rentable avec une :
 - Teneur en Or initiale très élevée de 33.37 ppm c'est un minerai riche ;
 - Observation de l'Or à l'œil nu sur la roche de quartz ;
 - Une bonne dissolution avec le cyanure ;
 - Teneur en Or finale est de 10.76 ppm
 - Augmentation de taux de récupération de l'Or par charbon actif ;
 - Une composition élémentaire apparition de plomb ;
 - Filtration très rapide de quelques secondes seulement ;
- **Minerai de filon 16 d'Amesmassa** : il a une teneur moyenne avec une :
 - Teneur en Au initiale de 10.48 ppm ;
 - Une bonne libération de l'or par cyanuration en fonction du temps ;
 - Teneur en Or finale de 3.07 ppm ;
 - Le taux de récupération de l'or par charbon actif est de la teneur initiale ;
 - Une composition élémentaire apparition de nickel ;
 - Filtration très lente ;
 - Présence des argiles dans sa composition minéralogique ;
- **Minerai Ain Guezzam ECH 1** : C'est un minerai à une teneur très faible avec une :
 - Teneur en Or initiale de 1.36 ppm ;
 - Sa dissolution de Au dans la lixiviation et son taux de récupération sont faibles
 - Sa composition élémentaire démontre la présence de nickel et le Tin ;
 - Filtration moyenne ;
 - C'est un minerai pauvre à une teneur finale de 0.20 ppm ;
- **Minerai de Ain Guezzam ECH 2** : une moyenne rentabilité à une :
 - Teneur en Or initiale 7.03ppm ;
 - La libération de Au par le cyanure est bonne avec un taux de récupération qui s'augmente en fonction de temps ;
 - Teneur en Au final de 2.18 ppm ;
 - En analyse par DRX on a trouvé la présence de l'albite
 - Une filtration lente en fonction du temps
 - C'est un minerai riche par rapport à l'ECH 1 ;

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le but de la réalisation de ce modeste travail, nous avons opté pour la caractérisation physico-chimique et les tests de lixiviation et d'adsorption dans l'industrie aurifère d'Amesmassa, le laboratoire de LPCMC de Béjaia, et le laboratoire de géologie de l'université Farhat Abbas de Sétif. Dans le but de faire une comparaison entre le minerai d'Amesmassa et le minerai d'Ain Guezzam qui sont différents le premier est un gisement, le deuxième est un indice.

Il faut cependant retenir que les échantillons traités ont été préparés dans des conditions réelles et optimales des opérations sur site d'Amesmassa (échantillonnage, concassage, broyage, excès de réactifs, homogénéisation des échantillons... etc.).

On termine tout le travail par une conclusion qui comporte :

- Les tests de lixiviation en bouteilles roulantes par cyanure ont déterminé que l'extraction de l'or est maximale dans les 4 échantillons utilisés en variant le temps de rotation. Ses essais ont montré que le cyanure est un solvant efficace pour la libération de l'or que ce soit pour le minerai riche ou le minerai pauvre.
- Les tests d'adsorption en bouteilles roulantes ont déterminé que l'or extraire dans les différents échantillons est consommé par le charbon actif.
- L'analyse de FRX nous a donné la composition élémentaire autrement dit les concentrations massiques en éléments dans chacun des échantillons.
- Caractérisation par DRX nous a permis de savoir les phases cristallines quartz pour tous les échantillons, plus la tourmaline pour les échantillons de Ain Guezzam, la pyrite pour les filons.
- Analyse par photoluminescence qui nous a aidés à étudier la configuration des bandes d'énergie des solides de même que leurs niveaux d'impuretés.
- Les lames minces et les sections polies nous ont confirmés la composition des échantillons par description visuelle comme la présence de l'Or (filons d'Amesmassa), tourmaline (Ain Guezzam) et des sulfures : pyrite, chalcopyrite, blende... et des oxydes : limonite...

Conclusion Générale

A la fin de notre travail, nous avons constaté qu'une étude complémentaire devra s'effectuer.

Nous suggérons aux personnes voudrons continuer dans le même axe de notre étude de prendre les points suivants en considération :

- Pour quelles causes les indices d'Or sont destinés qu'à l'exploitation artisanale ?
- Pourquoi ne pas utiliser la lixiviation en tas pour récupérer l'Or dans les minerais pauvres exploités par les micro-entreprises ?

.

Référence bibliographiques

Référence bibliographiques

- [1] **JESSICA Egan, Décembre 2007** : Effet de la granulométrie sur la cyanuration de l'or, Tome 1 ;
- [2] **H.BECHER, 1896** : L'Or, minerais aurifères et auro argentifères, extraction traitement métallurgique, Paris ;
- [3] **Open Edition Journals**, Ruées vers l'or au Sahara : l'orpaillage dans le désert du Ténéré et le massif de l'Aïr (Niger) ;
- [4] **Mémoire fin d'étude ZAKARIA DIFALLAH** : contribution à l'étude géologique de la minéralisation aurifère Tirek-Amesmassa (Hoggar occidental).2016/2017, université Abou Bekr Blkaid de Tlemcen ;
- [5] **Liégeois J.P., et al (2003)** : The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuaregshield,Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny, Journal of African Earth Sciences, vol 37 (2003) ;
- [6] **Fiche technique Ain Guezzam ANAM** (Agence Nationale des Activités Minière) ;
- [7] **BERTRAND, J .M.L and Caby, R., (1978)** :” Geodynamic evolution of the panafriainorogenicbelt : A new interpretation of the Hoggar shield (Algerian Sahara)”. Geol.Rundschman,
- [8] **SEMIANI, A., (1995)** : « Métallogénie de la zone de cisaillement aurifère Est-Ouzzaliennne; structure, pétrologie et géochimie des gisements d'Or de Tirek-Amesmassa (Hoggar occidental, Algérie). Thèse doct de l'université de Rennes I ;
- [9] **Caby, R. (1968)** : « Unezone de décrochements à l'échelle de l'Afrique dans le précambriende l'Ahaggar occidental ». B.S.G.F.,X, 7,
- [10] **Documents internes** ;
- [11] **Djemai, S. 2008** : « Etude structurale et pétrologique des séries précambriennes de la terminaison Sud de l'unité granulitique de l'In Ouazzal (Hoggar occidental) ». Thèse de doct d'état (U.S.T.H.B).
- [12] **Mémoire-magester : BAGUI Mokhtar 2015** <<contribution à l'étude des filons aurifères d'Amesmassa (Hoggar occidental) université Houari-Boumédiène ;

Référence bibliographiques

- [13] **Mémoire fin d'études : SEYDOU KEITA** ‘sur les mines artisanales et les exploitations minières à petite échelle au mali’
- [14] **Journal Officiel de La République Algérienne N°52 ;**
- [15] **CAIRN.INFO matières à réflexion ;**
- [16] **24-Carats.fr, trésors : L'Or ;**
- [17] **Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de master : Mr LOUZ Mohamed juin 2016 :** <<études paramètres physico-chimiques et hydrologique de la lixiviation en tas du minerai aurifère (cas de la mine d'Amesmassa)>> Université de KHemis Miliana ;
- [18] **FILAB laboratoire de chimie** organique, minéral et matériaux : analyse et caractérisation des matériaux par diffraction des rayons X (DRX) en laboratoire ;
- [19] **HAL open science :** spectrométrie de fluorescence X, Valérie V. Thirion-Merle ;
- [20] **Mémoire fin d'études ZIANE Khawla et ZIANE Asma 2015 :** études des facteurs influant sur l'extraction de l'Or par lixiviation en tas -cas de la mine d'Amesmassa.
- [21] **Thierry :** la lixiviation de l'Or par cyanuration.
- [22] **J. Protas Septembre 1999 :** diffraction des rayonnements introduction aux concepts et méthodes, Belgique, p 8, 11, 181,229 ;
- [23] **ESTEL CAMIZULI :** Géo-archéologie et Patrimoine industrie, fluorescence X portable ;
- [24] **Schmidt. T., Lischka K.,** Excitation power dependence of the near band edge photoluminescence of semiconductors. Phys. Rev. B. 1992, vol 45, n) 16, pp. 8989-8994;
- [25] **SZE S. M.** Physics of Semiconductor devices , 2 nd edition New york, Wiley Interscience 1981, 853p. ISBN 0-471-05661-8 ;
- [26] **cours de géologie :** lames minces ;
- [27] **Mr M.ADACI,** méthodes de confections de lames minces : université de telmcen ;
- [28] **maxicours :** description de microscope ;

Annexes

ANNEXES

Annexe A : Résultats des tests de lixiviation et d'adsorption

Nos échantillons ont été soumis à des tests de lixiviations et d'adsorptions pour la récupération des solutions afin de les faire passer à l'analyse en SAA, en but de déterminer les teneurs en Or.

A.1. Résultats de lixiviation des échantillons

Tableau 01 : Résultats des tests de lixiviation des échantillons de d'Amesmassa :

Teneur (Au)		
Temps (min)	Filon 8 ppm	Filon 16 ppm
10	13.96	6.60
20	21.21	6.77
30	26.51	6.88
60	31.11	9.28
90	30.98	10.90
180	34.60	13.00
240	17.05	12.10
300	33.07	12.50
720	33.77	12.10

Tableau 02 : Résultats de test de lixiviation des échantillons de d'Ain Guezzam :

Teneur Au		
Temps (min)	823 ppm	77 ppm
10	1.163	2.74
20	2.364	3.62
30	0.4163	4.31
60	0.5401	6.50
90	0.5605	7.26
180	1.256	8.87
240	1.342	8.92
300	1.549	9.22
720	2.361	8.47

A.2. Teneur initiale et finale

Tableau 03 : teneur initiale et teneur finale :

ECH/solide	Ain Guezzam		Amesmassa	
	823 Au ppm	77 Au ppm	F-8 Au ppm	F-16 Au ppm
Teneur initial g/t	1.36	7.03	33.37	10.48
Teneur final g/t	0.20	2.18	10.76	3.07

A.3. Résultats des tests d'adsorption des échantillons

Tableau 04 : Résultats du test d'adsorption des échantillons d'Amesmassa :

ECH/solution	Amesmassa	
	Filon 8 (ppm)	Filon 16 (ppm)
Avant l'ajout du charbon		
0 min (après 12h de lixiviation)	28.90	10.15
Après l'ajout du charbon		
10 min	33.50	8.61
20min	29.50	7.57
30min	28.50	6.59
60min	29.70	5.79
90 min	21.20	4.95
180 min	17.60	3.03
240 min	15.20	2.09
300 min	13.50	1.99
720 min	7.26	1.05

Tableau 05 : Résultats du test d'adsorption des échantillons d'Ain Guezzam :

ECH/solution	Ain Guezzam	
	823 (ppm)	77 (ppm)
Avant l'ajout du charbon		
0 min (après 12h de lixiviation)	2.43	10.08
Après l'ajout du charbon		
10 min	2.03	8.66
20min	1.81	8.37
30min	1.72	7.88
60min	1.54	7.28
90 min	1.31	5.87
180 min	0.99	4.45
240 min	0.76	3.53
300 min	0.67	2.83
720 min	0.45	1.43

ANNEXE B : Définitions

Un gisement : Est une concentration minérale exploitable économiquement. Le facteur de concentration correspond aux taux d'enrichissement en un élément chimique, c'est-à-dire au rapport entre sa teneur moyenne d'exploitation et son abondance dans la croûte (Clarke). [1]

Un indice : c'est un lieu qui n'est pas étudié et il n'est pas en cours d'exploitation rentablement parlons.

Or : l'Or est un métal noble, ce qui signifie qu'il possède la propriété de résister à l'oxydation (peut d'agents chimiques peuvent l'attaquer) et à la corrosion (il ne rouille pas comme le fer). C'est précisément parce qu'il a ces propriétés qu'il peut rester plongé dans l'eau de mer, enseveli sous la terre ou exposé à l'air libre sans être altéré, et en conservant son apparence originale.[2]

Agents chimiques qui attaquent l'Or : le brome, l'eau régale, le chlore, l'acide sélénique, le chlorure ferrique, les cyanures alcalins et l'acide sulfurique. [2]

Tableau 1. Désignation de l'Or : [2]

Nom courant	Nom latin	Symbole chimique	Numéro atomique
Or	aurum, i	Au	79

Cyanure : [3]

Le cyanure est un élément essentiel à la mise en solution de l'or. Il est ajouté sous forme de cyanure de sodium (NaCN).

Roche : est un matériau solide en général formé d'un assemblage de minéraux. Les roches sont constituées de minéraux, et les minéraux sont constitués d'éléments chimiques. Une roche peut être constituée d'une ou de plusieurs espèces minérales. [1]

Un minerai : Un minerai est un ensemble rocheux contenant des substances utiles en pourcentage suffisant pour justifier une exploitation. [1]

Lixiviation : [4]

La lixiviation consiste à mettre en solution, sous forme ionique, le ou les métaux recherchés. Le but est de déterminer le type de lixiviat optimal en termes de consommation et de coût de réactif, de solubilisation minimale d'impuretés et d'entretien du matériel.

La lixiviation (du latin lixivium : lessive) désigne dans le domaine de la chimie, de la pharmacie ou des sciences du sol, toutes les techniques d'extraction de produits solubles par

un solvant, et notamment par l'eau circulant dans le sol ou dans un substrat contenant des produits toxiques.

Adsorption : [4]

En chimie, l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide. Dans les cas d'un atome adsorbé, on parle d'adatom.

La solution est mise en présence d'un composé en poudre à forte surface spécifique tel que du charbon actif.

Charbon actif : [3]

Il a une forte microporosité donc une très bonne surface spécifique : 500 à 1300 m²/g existe dans deux formes : en poudre (particules de 10 à 50µm) et en grains (de 0.5 à 3 mm).

Il peut ensuite être extrait de la solution par flottation. L'opération de désorption est alors effectuée par un lessivage complexant à chaud.

Références bibliographiques :

[1] M^{me} Kicher.K cours géologie minière ;

[2] 24-carats.fr, trésors : Or ;

[3] M^{me} SOUICL.Z cours (master 2) métallurgie extractive ;

[4] M^{me} SOUICL.Z cours (L3) pyro-hydrrométallurgie ;

Résumé

L'usine d'Amesmassa reçoit des minerais des différents filons de la mine pour extraire l'Or par cyanuration, puis le récupérer par adsorption en utilisant le charbon actif puis l'enrichir pour obtenir un lingot d'Or. Récemment l'entreprise ENOR reçoit aussi des dépôts de minerais des micro-entreprises qui sont responsables de l'exploitation artisanale des indices d'Or de plusieurs sites au niveau du Hoggar pour la récupération et l'enrichissement de l'Or qui se trouve sur ses sites.

Le procédé suivi par la mine est la dissolution de l'or pour le récupérer par le charbon actif. Dans le cadre de notre travail nous avons pris deux minerais de deux régions différentes à étudier, après échantillonnage, caractérisation et analyse, il s'avère que le minerai du site de Ain Guezzam est un minerai pauvre en teneur en Or par rapport à celui d'Amesmassa vu leurs teneurs initiales et la composition minéralogique différente.

Mots clés : minerai, filon, or, indice, filon

Abstract

The Amesmassa plant receives ores from the different veins of the mine to extract the gold by cyanidation, then recover it by adsorption using activated carbon and then enrich it to obtain a gold ingot. Recently ENOR has also been receiving ore deposits from micro-enterprises responsible for artisanal gold mining at several sites in the Hoggar for the recovery and beneficiation of the gold found at these sites.

The process followed by the mine is the dissolution of the gold to recover it by activated carbon. In the framework of our work we took two ores from two different regions to study, after sampling, characterization and analysis, it turns out that the ore from the site of Ain Guezzam is an ore poor in gold content compared to that of Amesmassa given their initial grades and the different mineralogical composition.

Keywords: ore, lode, gold, index, lode

ملخص

يستقبل مصنع أميسماسا المعادن من مختلف طبقات المنجم لاستخراج الذهب عن طريق السيانييد، ثم يتم استردادها عن طريق الامتزاز باستخدام الفحم المنشط ثم إثرائه للحصول على سبائك الذهب. وفي الأونة الأخيرة، تتلقى شركة ENOR أيضا رواسب ركاز من المؤسسات البالغة الصغر المسؤولة عن الاستغلال الحرفي لمؤشرات الذهب في عدة مواقع في Hoggar لاستعادة وإثراء الذهب الموجود في مواقعها.

العملية التي يتبعها المنجم هي انحلال الذهب لاستعادته بواسطة الفحم النشط. كجزء من عملنا، أخذنا خامين من منطقتين مختلفتين للدراسة، بعد أخذ العينات والتوصيف والتحليل، اتضح أن الخام في موقع عين قزام هو خام فقير بالذهب مقارنة بخام أميسماسا بسبب محتوياته الأولية وتكوينه المعدني المختلف.

الكلمات الرئيسية: خام، لود، ذهب، فهرس، لود