

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

M^rBELARIBI AHMED SEIF EL ISLAM

Memoire de Fin d'Etudes

Département des Mines et Géologie

Thème

*Aperçu sur la minéralogie du filon aurifère
de la mine d'Amesmesssa*

Soutenu le 14/10 /2020 devant le jury composé de:

Présidente :	S.BOUNAB	M.C.B	U.A.M.B
Promotrice:	Z.SOUICI	M.C.B	U.A.M.B
Examinatrice :	K.KICHER	M.A.A	U.A.M.B
<i>Année Universitaire: 2019-2020</i>			

REMERCIEMENTS

Je témoigne que c'est par la grâce de Dieu le tout-puissant et miséricordieux, d'aide incessante, qu'il m'a porté et d'orientation imminente qu'il m'a accordé pour achever ce travail.

J'exprime ma gratitude envers Madame **Zahia Souici**, ma promotrice, maître de conférences à l'université de Béjaia pour ses conseils avisés tout au long du semestre. J'ai beaucoup apprécié la rigueur qui a guidé son encadrement ainsi que la discussion et la correction de ce manuscrit.

Je suis sensible à l'honneur que me fait Madame **S. Bounab**, maître de conférences à l'université de Béjaia d'avoir accepté de présider le jury.

J'adresse mes sincères remerciements à Madame **K.Kicher** Enseignante-chercheur à l'université de Béjaia pour tout l'intérêt qui a porté à mon travail.

J'ai un grand plaisir à remercier les enseignants et le personnel du département Mines et Géologie.

Je remercie enfin les membres de ma famille et mes amis pour leur présence et leur soutien

Dédicace

A la personne devant laquelle tous les mots de L'univers sont incapables d'exprimer ma reconnaissance, à L'être qui m'est le plus cher à ma douce mère. Mère, si tu je ferais quoi que ce soit je ne pourrais pas rendre tes bienfaits merci infiniment.

A mon cher père qui a payé et qui paye toujours des années d'amour et de sacrifices, ce prix de ma façon de penser. (Père, je te remercie d'avoir fait de moi un homme).

A toutes ma famille Que dieu la protège.

A mes chers amis A tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Sommaire	
Dédicace	
Remercîment	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I :généralité sur la minéralisation de l’or et les filons aurifères .	
I.1. Introduction	02
I.2.Généralités sur l'or.....	02
I.2.1. Propriétés physiques	02
I.2.2.propriétés chimiques	03
I.2.3. Composition de l'or natif	03
I.3. Minerais aurifères	03
I.4. Formation des filons aurifères	04
I.5 . Traitement des Minerais d’or	06
I.6 Minéralogie et propriétés des Minerais de l’or	06
I.6.1. La phase minéralurgique de l’or 06	06
I.6.2. Traitements métallurgiques classiques selon les types de minerais	07
I.7. Méthodes d’exploitation.....	08
I.7.1. Exploitation à ciel ouvert.....	09
I.7.2. Exploitation souterraine.....	09
I.7.3. Exploitation artisanale de l’or.....	10
I.8 .les Grandes mines d'or du monde.....	11
I.9. Conclusion	11

SOMMAIRE

Chapitre II : présentation de gisement d'amessmassa

II.1 Introduction.....	13
II.2. Situation géographique de la mine.....	13
II.3. Aperçu géologique et gîtologique du gisement aurifère Amesmessa.....	14
II.3.1 La géologie régionale.....	14
II.3.2. Aperçu gîtologique du gisement Amesmessa.....	15
II.4. Minéralisation Aurifère.....	16
II.5 Les filons aurifères d'Amesmessa.....	21
II.5.1 Description générale des filons de quartz aurifères.....	21
A-1 : Morphologie des filons	21
A-2 : Disposition des filons	21
A-3 : Direction des filons	21
A-3-1-Les filons de quartz d'orientation N-S	22
A-3-2-Les filons de quartz d'orientation NE-SW.....	22
A-3-3-Les filons de quartz d'orientation E-W	22
A-4 Roches encaissantes	22
A-4-1 : Contrôle lithologique de la minéralisation	23
A-4-2 : la zone de contact filon de quartz aurifère /mylonite	23
B- CARACTERISTIQUES DES ZONES AURIFERES D'AMESSMESSA	24
B/1- Présentations des zones filoniennes	24
B.2.Le filon8	25
II.6 .Source de l'or	25
II .7 Conclusion.....	27

SOMMAIRE

Chapitre III :analyse de minerai aurifères issu de filon 8 de la mine d'amessmassa

III.1 Introduction.....	28
III.2 Description des échantillons	28
III.3 Analyse et caractérisation des échantillons	29
III.3.1 Diffraction des rayons X (DRX)	29
III.3.1.1 Principe.....	29
III.3.1.2 Instrumentation.....	30
III.3.1.3. Manipulation	31
III.3.1.4. Identification des phases par diffraction des rayons X	32
III.3.2 Analyse par fluorescence X (XRF).....	33
III.3.2.1. Principes de base	34
III.4. Conclusion	39

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

CHAPITRE I.

Figure I.1 : Filon. AA représentent des couches de pyrite de fer ; BB des couches de quartz C une couche de minerai de cuivre05

Figure I.2. : Exploitation à ciel ouvert d'un gisement d'or09

Figure I.3 : Mine d'or souterraine d'Éléonore au Canada09

CHAPITRE II.

Figure II.1: Situation géographique de la mine d'Amesmessa..... 11

Figure II.2 : Carte et coupe géologique du gisement d'Amesmessa..... 13

Figure II. 3 : Aspect et morphologie d'un affleurement de filon de quartz minéralisé et de métasomatite (bérisite).....14

Figure II.4: Échantillon de la ligne minéralisée des filons d'Amesmessa.....15

Figure. II.5 : Aspect macroscopique des filons de quartz minéralisés. a); Bloc de quartz composé de quartz blanc laiteux massif (au cœur du filon) et d'un rubanement de quartz gris et de quartz blanc (à la périphérie gauche du filon). b): Bloc de quartz composé de quartz blanc laiteux massif (centre du filon) avec de la galène en moucheture.....16

Figure. I.6 : Aspect macroscopique des bérisites. a): Bérisite (métasomatite) grise verdâtre, massive, riche en petits cristaux de pyrite disséminés et recoupée par des veines de quartz gris, remplies parfois aussi de pyrite. b): Bérisite (métasomatite) claire recoupée par une veine de quartz gris, remplie de cristaux automorphes de pyrite et de quartz gris.....17

Figure. II.7 : Aspect macroscopique de la minéralisation métallifère. a): Quartz blanc très riche en galène à aspect métallique. b): Veinule remplie de pyrite massive jaunâtre (au centre) et de galène grise-métallique (aux périphéries) dans du quartz blanc. c): Grosse veine de pyrite massive longeant la bordure d'un filon de quartz gris.....19

Figure. II.8 : Aspect macroscopique des de l'or. a): Petits grains d'or natif associés à la galène dans du quartz blanc
b): Grains minuscules et nuages d'or dans le quartz blanc.....20

Figure II.9: Diagramme classique montrant les différents types des filons de quartz aurifère dans une zone de cisaillement (d'après Ramsay et Roberts, 1992). S1 : foliation régionale majeure, Sm : foliation de la shear zone. Lm : linéation dans la shear zone.....21

LISTE DES FIGURES

Figure II-10: Relation entre les terranes panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier Targui (Hoggar). Semiani et al. 2004 25

CHAPITRE III

Figure III.1Minerai frais de terrain 28

Figure III.2:Minerai oxydé de terrain..... 28

Figure III.3 : Loi de Bragg 29

Figure III.4 :Schéma de principe de la diffraction des RX 31

Figure III.5 :Appareil de DRX au niveau de laboratoire de GP à l'université de Bejaia. 31

Figure III. 6: Identification des phases du minerai oxydé..... 32

Figure III. 7: Identification des phases du minerai frais..... 33

Figure III.8 : Fluorescence X : 1) Spectrométrie à dispersion en énergie (ED-XRF). 2) Spectrométrie à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF) 35

Figure III.9 : Spectromètre de fluorescence X à dispersion en énergie (ED-XRF..... 36

Figure III.10 :Quelques plans parallèles à la surface d'un cristal 36

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I .

Tableau I.1. :Les principaux minéraux porteur d'or 07

Tableau I.2 :Types de traitement selon la nature de minerai..... 08

CHAPITRE II .

Tableau II.1:Répartition des filons de quartz majeurs au niveau du gisement d'Amesmesssa.....15

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Quelques cristaux utilisés dans les instruments de fluorescence X à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF)..... 37

Tableau III.2: Résultats WDXRF de l'échantillon frais 38

Tableau III.3: Résultats WDXRF de l'échantillon oxydé 38

LISTE DES ABRIVIATION

Liste des abréviations

Au : l'or

ENOR : Entreprise Nationale d'Or

.

SHEAR ZONE :Le Terme S'applique Sur des Structure Tectonique Cisaillant ,Il S'appelle Egalement La Faille Ductile ,

ZCEO :zone de cisaillement est ouzalien

SONATRACH :acronyme de société national pour la recherché la production le transport et la commercialisation des hydrocarbures

SONAREM : Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière .

ORGM : Office National de Recherche Géologique et Minière.

LPCMC: Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux et Catalyse

CRNB : centre de recherche nucléaire de Birine

ASTM : American Society of Testing and Material .

SAA : Spectromètre Analyse Atomique.

DRX : Diffraction Des Rayon X

FX : Fluorescence X.

INTRODUCTION GENERALE

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.[1]

L'analyse du minerai est une étape essentielle pour le choix du traitement puisque les minerais sont de perméabilités différentes vis-à-vis du cyanure. Cela va mener à un bon taux d'extraction de l'or, donc une étude minéralogique du minerai est d'une extrême importance puisque le coût de l'extraction y dépend. Le présent travail se compose de:

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique expliquant les propriétés physico-chimiques de l'or, les minerais et les filons aurifères et leur minéralisation suivi d'un autre chapitre descriptif de la mine d'Amesmessa avec sa géologie régionale et sa géographie. La connaissance de la nature du minerai et sa composition minéralogique définissent la méthode efficace de traitement, pour cela nous nous intéressons dans le troisième chapitre à l'analyse et la caractérisation du minerai aurifère de la mine d'Amesmessa appartenant au filon numéro 8. Les procédures expérimentales et les résultats de ces essais et leurs discussions font l'objet aussi du troisième chapitre.

Nous terminons ce manuscrit par une synthèse globale des chapitres, donnée sous forme de conclusion générale.

I.1. Introduction

L'or est utilisé par l'homme depuis la fin de la préhistoire sous la forme de bijoux. À l'époque contemporaine, il a également servi d'étalon monétaire seul ou avec l'argent. C'est un métal précieux caractérisé par sa couleur jaune brillante et ses propriétés physico-chimiques (résistance à la corrosion, malléabilité, densité ...etc) intéressantes qui lui confèrent une place importante dans la technologie industrielle. Une étude minéralogique contribue à la connaissance de la matière première à différentes échelles et à la compréhension des processus de formation des gisements. La minéralogie a une importance spéciale dans la réalisation des modèles descriptifs et génétiques d'un type de gisement. Les études minéralogiques ont également une importance pratique, en particulier pour la valorisation des minerais et l'extraction des métaux.

Au cours de ce chapitre, nous allons faire une synthèse sur l'or et ses propriétés et les gisements d'or dans le monde ainsi que la minéralisation aurifère.

I.2. Généralités sur l'or

L'or, déjà connu dans les temps les plus reculés et qui est le plus puissant et le plus universellement répandu des auxiliaires de l'échange commercial, a toujours été regardé comme le roi des métaux. En tout cas, sa rareté et son inaltérabilité font de lui le métal le plus précieux. Sa valeur est extrêmement peu variable. Il est caractérisé par les propriétés physico-chimiques suivantes:

I.2.1. Propriétés physiques

L'or présente une couleur jaune brillante; c'est un métal lourd vu sa densité de 19,32. Il est malléable, ductile, et peut être réduit en feuilles très minces par le battage. L'or ainsi réduit en feuilles laisse passer une couleur verte, couleur complémentaire du rouge réfléchi par l'or.

L'or émet pas de vapeurs perceptibles à la température dans un arc électrique et non pas dans un four industriel; il fond très rapidement en donnant d'abondantes vapeurs métalliques. Le point de fusion de l'or fin est de 1045°C.

L'or cristallise en octaèdres réguliers ou en dodécaèdres rhomboïdaux et en autres formes dérivées du cube. Précipité par le sulfate de fer, l'or offre une couleur brune. En suspension dans l'eau, il laisse passer une couleur bleu-violacée. [1]

I.2.2. Propriétés chimiques

L'or a pour symbole **Au**, un poids atomique estimé à **196,6**. Il résiste à l'action de l'air et de l'eau dans n'importe quelles conditions, et est inattaquable aux acides nitrique, chlorhydrique et sulfurique mais il est sensible au cyanure, à l'eau régale et au chlore et au brome

I.2.3. Composition de l'or natif

L'or natif n'est jamais pur. Il renferme presque toujours de l'argent dans des proportions allant quelquefois jusqu'à 40 % et 50 % et est très souvent allié, quoiqu'en faibles proportions, à du fer, du cuivre, du platine, et à d'autres métaux encore. Quelquefois on rencontre de l'or natif en cristaux du système cubique, dont les faces sont males et les arêtes légèrement arrondies. [1]

I.3. Minerais aurifères

Les minerais métalliques qui renferment souvent de l'or sont : les pyrites arsenicales, les pyrites de fer, la galène, la blende, les cuivres panachés, les cuivres gris et le sulfure d'antimoine. Mais la plus grande partie de l'or provient des alluvions et ensuite des filons quartzeux. Les alluvions sont formées de sables ou d'argiles et de roches ou fragments de roches, siliceuses ou granitiques, désagrégés par l'eau et l'air et entraînés du haut des montagnes par les eaux. Comme on y trouve souvent l'or encore engagé dans sa gangue quartzreuse, il ne peut y avoir de doute sur l'origine de ces alluvions.

L'or trouvé dans les alluvions a la forme de paillettes ou de grains. Ces derniers, lorsqu'ils dépassent un certain volume est appelé pépites ; on connaît des pépites pesantes plusieurs kilogrammes. Dans le quartz, l'or est en petits grains ou en veines, mais le plus souvent en particules fines et invisibles à l'œil nu.

Les filons quartzeux traversent généralement des schistes talqueux, des schistes micacés ou amphibolifères, des granits, des porphyres, de la serpentine [1] .

I.4. Formation des dimensions aurifères

Description : On distingue dans un filon le toit ou partie supérieure, et le mur ou partie inférieure. La distance entre les deux indique la puissance du filon. La tête du filon, c'est-à-dire la partie la plus voisine du sol, s'appelle l'affleurement, tandis que la partie la plus profonde est nommée queue. La salbande est la partie qui, dans le filon, sépare les murs du gîte métallique.

La direction d'un filon est l'angle que fait avec le méridien une ligne tirée par le milieu de la salbande, tandis que son inclinaison est l'angle que fait une ligne perpendiculaire à la direction, avec le plan horizontal.

Dans un filon la partie métallifère est le plus souvent distribuée sous forme de nodules ou de ramifications, ou même déposée directement sur le mur. Dans les filons très réguliers, elle est symétriquement placée entre les couches des différentes substances qui les forment.

Il a été remarqué que les cristaux des filons ont presque toujours leurs pointes dirigées vers l'intérieur, ce qui permet d'admettre qu'ils y ont été déposés par une solution qui remplissait la cavité en fissure, et que c'est par des dépôts successifs, abandonnés par les eaux très chargées en sels minéraux que contenaient les fissures ou fentes dues ; soit à des soulèvements ou glissements de terrain, soit à l'action volcanique, que la formation des filons s'est accomplie.

. La disposition des couches parallèlement superposées des diverses substances qui les composent semblent indiquer qu'à plusieurs époques éloignées les unes des autres, les fentes ont été remplies par des eaux de compositions différentes qui y ont déposé des sels dissemblables [1].

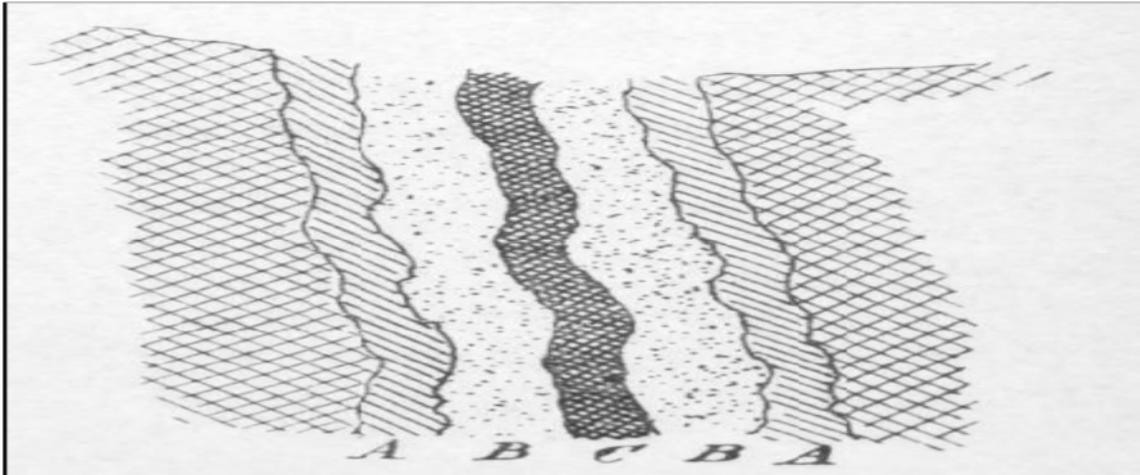


Figure I.1 : représentation schématique d'un Filon aurifère. AA représentent des couches de pyrite ; BB des couches de quartz ; C une couche de minerai de cuivre [1]

Le quartz, qui est de la silice pure, ne peut être un dépôt de la même solution que le sulfure de fer. Il est à noter ici que dans un quartz pyriteux, l'or se trouve plus souvent dans la pyrite que dans le quartz. [1]

La présence presque constante de la pyrite dans les filons quartzeux aurifères montre certaines corrélations avec le dissolvant de l'or.

La pyrite, qui est un sulfure, est formée par une sulfuration lente d'un sel de fer, d'un chlorure ou plutôt d'un sulfate. Le sulfate de sesquioxyde de fer, qui dissout l'or en très petite quantité, a très bien pu être sulfuré peu à peu, et abandonner à l'état métallique l'or qu'il tenait en suspension.

Le dissolvant de l'or des pyrites devait être acide, et celui de l'or que l'on trouve dans le quartz alcalin. Quant au quartz, il devait se trouver en solution à l'état de silicate, et l'or à l'état d'aurate alcalin.

I.5 . Traitement des Minerais d'or

Les caractéristiques des minéraux de l'or (natif principalement) ont conduit au développement des méthodes de traitement des minerais d'or par exemple :

- La densité élevée de l'or et de ses minéraux a conduit au développement des techniques de concentration gravimétrique.
- Le caractère hydrophobe de la surface de l'or natif lui confère une excellente flottabilité. Sachant que la flottation est une méthode de traitement très utilisée pour l'élaboration des concentrés.
- L'or et certains de ses minéraux sont solubles dans les solutions diluées et alcalines de cyanure. Cette propriété a donné naissance à la lixiviation au cyanure. La technique de traitement la plus courante pour ses minerais d'or.
- L'or est aussi soluble dans d'autres solvants, parmi lesquels il faut citer la thio-urée et les thiosulfates en milieux acides. Ces deux composés pourraient connaître de développements industriels dans les prochaines années.
- L'or est enfin mouillable par le mercure, car la tension de surface entre l'or et le mercure est faible. Cette propriété est utilisée dans l'amalgamation, connue depuis bien longtemps. [2]

I.6 Minéralogie et propriétés des Minerais de l'or

I.6.1. La phase minéralurgique de l'or

L'or est susceptible d'exister dans des environnements géologiques relativement variés (roches sédimentaires, filons intra-plutonique ou péri-plutonique). Mais sa faible réactivité chimique, fait qu'il se présente dans la nature sous des phases minéralogiques peu nombreuses. Les principaux minéraux porteurs d'or sont marqués dans le tableau I.1. [2]

Tableau I.1. : Les principaux minéraux porteur d'or .[2]

Le minéral	La composition	La teneur en or %	La densité	La dureté
Or natif	Au	> 75	16- 19	2,3 -3
Elctrum	Au Ag	45- 75	13 -16	2 -2,5
Calaverite	Au te ₂	40	9,2	2,5- 3
Krennerite	AU ₄ AgTe ₁₀	31- 44	8 ,6	2,5
Sylvanite		24- 30	8,2	1,5- 2
Pelzite	Au Ag Te ₄	19- 25	9,1	2,5
hessite	Ag ₃ Au Te ₃	<5	8 ,4	2,5- 3

D'un point de vue économique, le minéral prédominant est l'or à l'état métallique ou or natif qui peut avoir une grande variété de formes et de dimensions dans les différents gisements. [3]

I.6.2. Traitements métallurgiques classiques selon les types de minerais

Il existe huit types principaux de minerais, sous réserve que des évolutions techniques en cours viennent modifier cette classification. Parmi ces évolutions, la bio-oxydation et l'attaque oxydante sous pression pour les minerais difficiles arrivent en tête (tableau I.2).

La bio-oxydation n'est donc pas utilisée seulement pour traiter les concentrés, mais aussi pour faciliter la lixiviation en tas de minerais bruts sulfurés ne pouvant être flottés. On opère en deux temps : bio-oxydation de minerais concassés mis en tas, puis lixiviation classique au cyanure après lavage et apport de chaux pour obtenir un pH basique.

Tableau I.2 :Types de traitement selon la nature de minerai [2]

	type	Minéralurgie- métallurgie
1	Or libre	Gravité sur la minéralisation grossier cyanuration pour les mineralisations fines (lixiviation en tas(heap leaching) ou en fosse (vat leaching) ou en verse (dump leaching) .
2	Or inclus dans des pyrite et les arsénopyrites	Flottation des sulfures Cyanuration apres voyage fin ou grillage ou oxydation sous pression ou bio-minéralurgie appliques aux concentré ou minerais(thio-bacilaires) .
3	Tellures d'or	Flottation cyanuration après broyages ou oxydations sous pression .
4	Sulfures de cuivres aurifères	Flottation des sulfures de cuivre fusion du concentres électro-raffinage du cuivre traitement chimique des bous anodique contenant l'or .
5	Sulfures de plombe-zinc aurifères	Flottation Fusion Récupération de l'or dans les scories ou dans les résidu d' électrolyse des métaux de base Parfois des cyanuration des concentres .
6	Minerais carbonneux	Flottation ou oxydation par grillage ou par oxygène sous pression Cyanuration .
7	Or latéritique	oxydations sous pression si nécessaire, et lixiviation cyanuré en tas ou en cuves .

I.7. Méthodes d'exploitation

Pour exploiter un minerai aurifère, il faut tenir en compte des raisons économiques. Il faut que le prix de revient du kilogramme de métal ne serait pas trop élevé. Ceci est possible si le minerai a une teneur en métal pur supérieure à une valeur minimum. Au dessus de laquelle le cout devient élevé.[4]

Les différentes méthodes de traitement des minerais dorés sont:

I.7.1. Exploitation à ciel ouvert

L'exploitation à ciel ouvert est un type d'exploitation dans laquelle le dépôt de minerai s'étend profondément dans le sous-sol nécessitant l'enlèvement de couches superposées de morts terrains et de minerai (figure I.2). [5]



Figure I.2. :Exploitation à ciel ouvert d'un gisement d'or.[5]

I.7.2. Exploitation souterraine

Le mode d'exploitation souterraine est utilisé pour les gisements en profondeur, c'est-à-dire pour les minéralisations se trouvant à plus d'une centaine de mètres de profondeur. Lors de l'exploitation, le champ minier peut être partagé en étapes, par soutènements ou non. Dans les mines souterraines (figure I.3), il faut veiller à l'exhaure, éclairage, aération, soutènement pour la sécurité et la santé des travailleurs. [6]



Figure I.3 : Mine d'or souterraine d'Éléonore au Canada. [7]

I.7.3. Exploitation artisanale de l'or

L'exploitation traditionnelle ou artisanale, est toute sorte d'exploitation dont les activités consistent, à extraire et concentrer les substances minérales et à en récupérer les produits marchands par les méthodes et procédés manuels et traditionnels d'utilisation directe de l'énergie humaine dans l'extraction des minerais.

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

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

On retient que l'exploitation artisanale de l'or est une activité qui se fait sans l'utilisation de moyens techniques (machines) ou du moins à un degré moindre. [8]

En général, les différentes méthodes d'exploitation minière mises en place varient d'un point à l'autre afin de prendre en compte des variations géologiques locales et de maintenir la rentabilité des travaux. Parmi les très nombreux facteurs qui interviennent pour modifier les conditions de travail, signalons spécialement :

- ✓ La puissance, le pendage et l'irrégularité de la formation
- ✓ La dureté, les propriétés mécaniques du minerai et la nature des éponges
- ✓ Les variations des teneurs
- ✓ La stabilité de la couronne
- ✓ L'importance du gisement. [6]

I.8 .les Grandes mines d'or du monde

Dans le monde, il existe plusieurs mines d'or soit à ciel ouvert ou souterrain, qui sont actuellement en production aux États-Unis, au Pérou, en Australie, en Argentine et en Afrique du Sud : Cortez, et la mine d'Amesmessa au sud Algerienetc.

➤ La mine de Grasberg située dans l'Ouest Papouasie en Indonésie à une altitude d'environ 4200 mètres au-dessus du niveau de la mer, la mine est ouverte en 1973.

➤ La mine à ciel ouvert est estimée comme étant la plus grande mine d'or et de cuivre quant aux réserves et produit près de 250000 tonnes de minerais par jour.

➤ Tau Tona est une mine d'or en Afrique du Sud, ouverte en 1962, sa profondeur de 3.4 kilomètres en fait l'une des plus profondes au monde et sa production atteint 15 tonnes/an d'or. C'est une des mines d'or les plus rentables d'Afrique du Sud et elle est restée en opération de manière continue, même lorsque le prix de l'or chuta. [9]

I.9. Conclusion

les généralités sur l'or et ses minerais ont été reportés vu l'intérêt de ce métal et ses applications dans la technologie industrielle. La minéralogie des minerais aurifères, la méthode d'extraction, les méthodes d'exploitation et les méthodes de traitement sont aussi expliqués.

II.1 Introduction

Parmi les plus grand gisement aurifère, il existe deux en Algérie: les gisements de Tirek et d'Amesmessa qui ont été découvert en 1971 et 1978. Ces deux gisements se situent dans la région du Hoggar au sud du pays.

Actuellement, la mine d'Amesmessa est la seule exploitée elle comporte plusieurs filons, chacun avec une minéralogie spécifique. Dans ce chapitre, nous allons reporter des informations sur la mine commençant par sa situation géographique

II.2. Situation géographique de la mine

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

Administrativement elle est localisée dans la commune de Tin ZaouatineW.Tamanrasset. Les deux gisements Amesmassa et Tirek sont distants 60Km, de coordonnées Lambert suivantes :

1. Amesmessa : $20^{\circ}55'30''$ - $21^{\circ}03'$ latitude Net $2^{\circ}28'$ - $2^{\circ}31'25''$ longitude E.
2. Tirek : $21^{\circ}26'$ - $21^{\circ}29'$ latitude N et $2^{\circ}30'$ - $2^{\circ}32'$ longitude E.[10]



Figure II.1: Situation géographique de la mine d'Amesmessa.[11]

II.3. Aperçu géologique et gîtologique du gisement aurifère Amesmessa

II.3.1 La géologie régionale

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

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

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

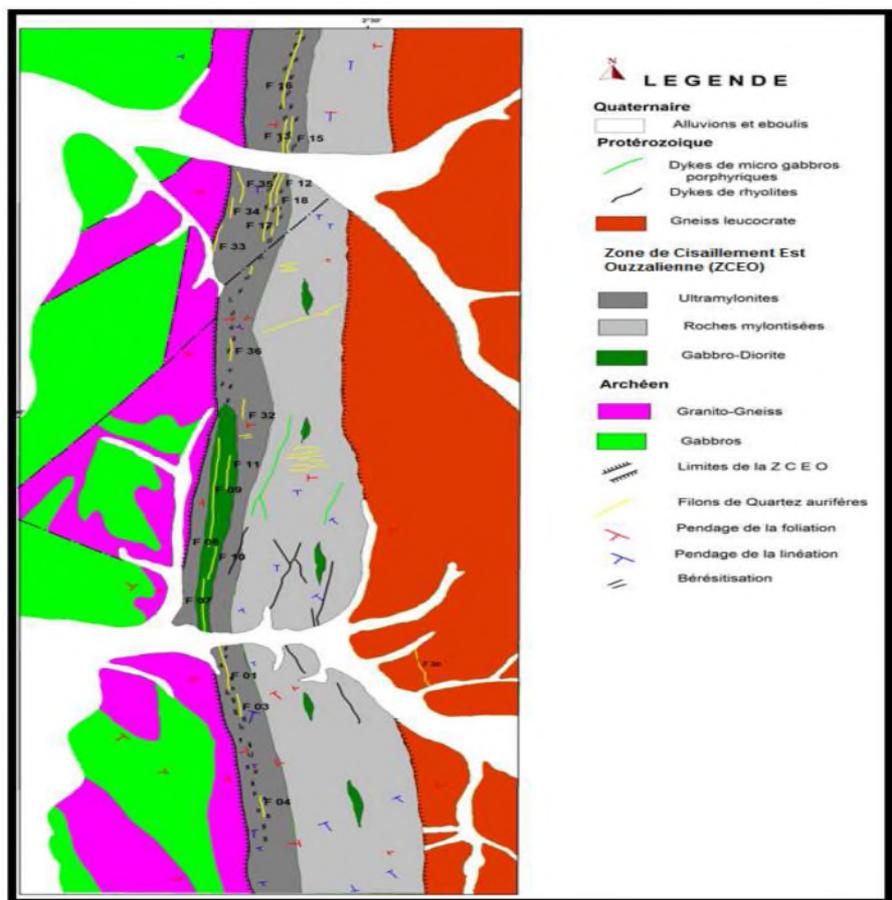


Figure .II. 2 : Carte géologique du gisement d'Amesmessa [12].

II.3.2. Aperçu géologique du gisement Amesmessa

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

Le gisement est subdivisé en trois parties : Nord, Centrale et Sud. La partie Centrale est la plus intéressante et la mieux étudiée. Elle contient environ 75% des ressources connus. Les filons 9&8 sont actuellement le site des importantes carrières d'exploitation.[13]

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



Figure II. 3 : Aspect et morphologie d'un affleurement de filon de quartz minéralisé et de métasomatite (bérésite). [14]

II.4. Minéralisation Aurifère

La formation des minéralisations aurifères le long de la faille à l'Est d'In-Ouzza est associée à un processus hydrothermal à température relativement haute et supergène dont le résultat fut la mise en place des différentes paragenèses.

De part sa composition minéralogique, le gisement d'Amesmessa est rapporté au type quartz aurifères peu sulfurés, les sulfures ne dépassent pas 5%. Ce gisement est formé dans des conditions de température haute à moyenne.

Les faits plaidant pour cette hypothèse sont les suivants : or fin, altération hydrothermale de moyenne température des roches encaissantes (séricitisation feldspathisation), associations para génétiques des différents minéraux métalliques (pyrite, chalcopryrite, galène...).[15]

Par ailleurs, ce gisement s'est mis en place à des profondeurs moyennes, pour ce type de gisement l'extension verticale de la minéralisation atteint 2-4 km.

Enfin, on observe un lien spatial entre les gisements de Tirek et d'Amesmessa ainsi que d'autres indices situés le long de la faille In-Ouzza Est avec des corps de gabbros qui ont certainement servi de source aux solutions hydrothermales.

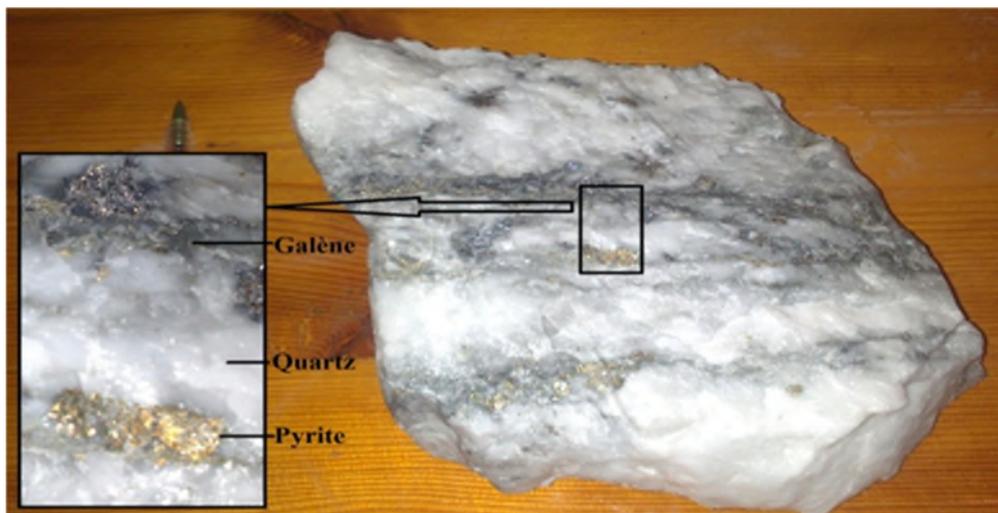


Figure II.4: Échantillon de la ligne minéralisée des filons d'Amesmessa.[1]

Chapitre II: Présentation du gisement d'Amesmesssa

A Amesmesssa, la minéralisation est localisée dans les fractures de cisaillements, parallèles à la faille principale ($2^{\circ}30'$). Les fractures de ce type localisent les filons de quartz et les zones quartzieuses. Les fractures les moins favorables à l'ouverture sont représentées par les zones mylonitisées, broyées et schistifiées. Les majeures zones de quartz sont présentées dans le tableau II.1 ci-dessous.

Tableau II.1:Répartition des filons de quartz majeurs au niveau du gisement. [10]

Zone	Filons de quartz majeurs
Centrale	Les zones 7, 8, 9, 10 et 11 sont les plus importantes de point de vue économique. Elles représentent 74.4% des réserves. Zone 9 : on a établi l'extension de la minéralisation la plus importante en profondeur qui est de 440m et dont la teneur est de 34.7g/t.
Nord	Zones 12, 17 et 18 se situent au Nord du oued Tamesguida tandis que les zones 13, 15 et 16 se trouvent au Sud de ce oued. Zones 33, 32, 34, 35 et 36. Représentent 19.2% des réserves totales
Sud	Zones 1, 2, 3, 4 représentent 6.4% des réserves totales L'étude en profondeur n'a été effectuée que pour la zone 1 et la minéralisation a été suivie jusqu'à 120m, la teneur est de 34.8g/t.

Les filons de quartz sont souvent de forme lenticulaire, déformés et ayant une morphologie complexe. Ils sont constitués de quartz blanc à blanc laiteux et de quartz gris à gris sombre (Fig.II 5).



Figure. II.5 : Aspect macroscopique des filons de quartz minéralisés. a); Bloc de quartz composé de quartz blanc laiteux massif (au coeur du filon) et d'un rubanement de quartz gris et de quartz blanc (à la périphérie gauche du filon). b): Bloc de quartz composé de quartz blanc laiteux massif (centre du filon) avec de la galène en moucheture. [14]

La composition minéralogique des filons de quartz est globalement : 90-99% quartz (SiO_2), séricite $\text{K}_5\text{Al}_4(\text{Si}_8\text{A}_{15})\text{O}_2(\text{OH})_4$ (1-5%), carbonate (Ca, Mg) $(\text{CO}_3)_2$ (1-3%) et sulfures (15%).

Les teneurs en or dans les filons de quartz varient de quelques grammes dans le quartz blanc pauvre en sulfures, à quelques dizaines de grammes dans le quartz blanc laiteux riche en galène (Fig. 5a) et peuvent atteindre les quelques centaines de grammes par tonne dans le quartz gris rubané riche en sulfures (Figure. II.5.a).

La bérésite est un terme russe qui définit une roche métasomatique (roche d'altération hydrothermale) composée de quartz (25 à 50%), d'albite - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (5-25%), de séricite (10-15%), de carbonate (10%) et enrichie de la pyrite. Elle se développe dans les halos autour des veines de quartz aurifère au dépend des roches acides et intermédiaires sous l'influence des solutions acides.

Dans les conditions de surface les bérésites altérées ont une couleur claire, brune et rougeâtre. Dans les fonds des carrières d'exploitation ce sont des roches massives fraîches de couleur claire, grise verdâtre riches en pyrite et parcourues de veines et veinules de quartz (Figure.II.6).

Généralement les teneurs en or dans les bérésites dépassent rarement les 2g/t. Elles sont plus fortes à l'approche des filons de quartz.



Figure. II.6 : Aspect macroscopique des bérésites. a): Bérésite (métasomatite) grise verdâtre, massive, riche en petits cristaux de pyrite disséminés et recoupée par des veines de quartz gris, remplies parfois aussi de pyrite. b): Bérésite (métasomatite) claire recoupée par une veine de quartz gris, remplie de cristaux automorphes de pyrite et de quartz gris. [14].

Chapitre II: Présentation du gisement d'Amesmessa

La minéralisation métallifère visible dans les filons de quartz est représentée principalement Par les sulfures et l'or.

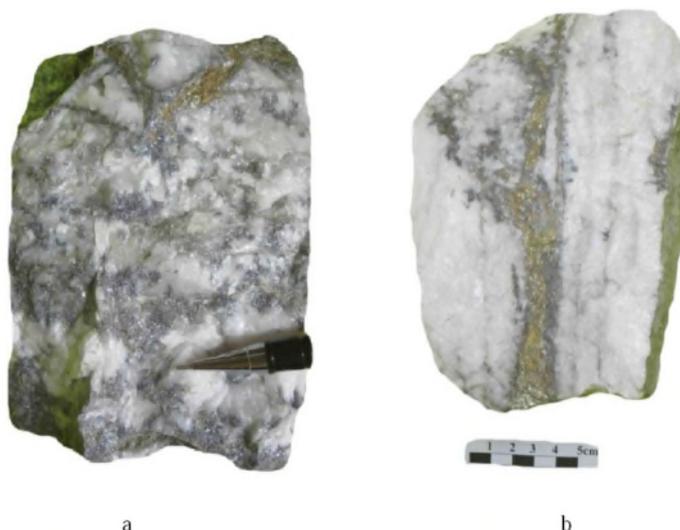
Les minéraux métalliques sont peu développés dans le quartz du gisement (< 5%), rarement plus) et ne sont bien manifestés que sur certains tronçons minéralisés des filons riches (Filon 9). Par ordre décroissant d'abondance les sulfures sont : la pyrite, la galène, la sphalérite et trèsrarement la chalcoppyrite.

La pyrite et la galène sont nettement visibles à l'oeil nu. La sphalérite(ZnS) peut être identifiée à la loupe binoculaire, tandisque la chalcoppyrite (CuFeS₂)n'a étéobservé que rarement sous le microscope. [14]

La pyrite (FeS₂) : est le sulfure majoritaire elle est rencontrée dans les filons de quartz et les roches d'altération hydrothermale. De couleur jaune grisâtre, elle forme des cristaux et des agrégats (parfois géants) de cristaux idiomorphes. Elle se manifeste aussi sous forme de veinules le long des joints des rubans du quartz gris ou blanc laiteux des bordures des filons. (Figure. I.6)

La galène (PbS) de couleur grise métallique forme des mouchetures et des nids dans le quartz blanc laiteux au coeur des grands filons (Fig. 4a). Elle se trouve aussi avec la pyrite dans les microfissures et le long des plans de fractures qui séparent les rubans des filons, où elle forme des veinules et des plages à contours irréguliers. (Figure.II. 7)

Les minéraux d'altération supergène des sulfures dans la zone d'oxydation (jusqu'à 20-30m de la surface) sont les oxydes et les hydroxydes de fer, dont on peut citer l'hématite (Fe₂O₃), la limonite, la goethite (FeO(OH)) la cérusite (PbCO₃) et parfois la malachite (Cu₂(OH)₂CO₃) etl'azurite (Cu₃(OH)₂CO₃)





c

Figure. II.7 : Aspect macroscopique de la minéralisation métallifère. a): Quartz blanc très riche en galène b): Veinule remplie de pyrite massive jaunâtre (au centre) et de galène grise-métallique (aux périphéries) dans du quartz blanc. c): Grosse veine de pyrite massive longeant la bordure d'un filon de quartz gris. [14]

L'or endogène (dans la zone fraîche) d'Amesmessa est très fin et rarement visible à l'oeil nu. Dans les parties riches en sulfures, notamment la galène, il se présente sous forme libre dans la masse quartzeuse en très petits grains xénomorphes (cristaux de forme quelconque, sans faces bien définies), ou en nuages très fins visibles que par la loupe binoculaire. Il se rencontre aussi dans les microfissures. (Figure. II.8).



a



b

Figure. II.8 : Aspect macroscopique des de l'or. a): Petits grains d'or natif associés à la galène dans du quartz blanc. . b): Grains minuscules et nuages d'or dans le quartz blanc. [14]

II.5 Les filons aurifères d'Amesmessa

L'essentiel du travail est comme suit:

II.5.1 Description générale des filons de quartz aurifères

Ils sont situés soit à l'intérieur soit sur les bordures de la zone du cisaillement 2°30

A-1 : Morphologie des filons

La forme générale des filons de quartz aurifère est très variable et très complexe. Les filons présentent des épaissements à leur centre et des rétrécissements à leurs extrémités ainsi que des ramifications ou bifurcations. Ils présentent aussi des formes lenticulaires délimitant des lentilles indépendantes; les veinules de quartz sont aussi fréquentes.

A-2 : Disposition des filons

Les filons sont généralement disposés dans un même système, il s'agit d'une série de filons ou filonnets de quartz discontinus, qui se rejoignent par endroits pour constituer un seul filon ; mais parfois ces filons sont continus sur tout le long de la surface d'affleurement. D'une manière fréquente, les filons se disposent généralement en échelon, parallèle, subparallèle ou en essaim.

A-3 : Direction des filons

Classiquement, on distingue trois types de filons en fonction des particularités structurales des zones de cisaillements. (Figure II.9) [16]

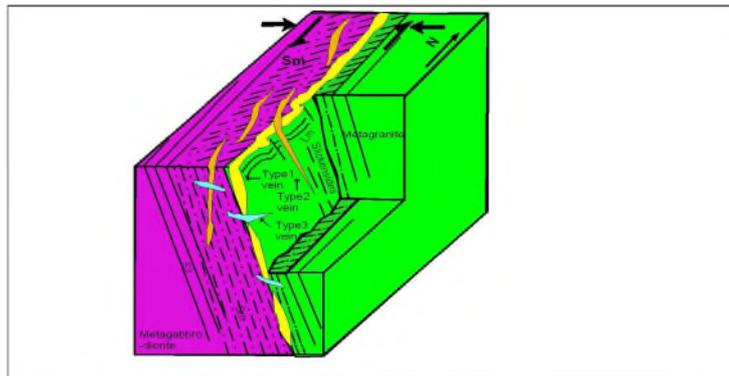


Figure II.9: Diagramme classique montrant les différents types des filons de quartz aurifère dans une zone de cisaillement (d'après Ramsay et Roberts, 1992). S1 : foliation régionale majeure, Sm : foliation de la shear zone. Lm : linéation dans la shear zone.[16]

A-3-1-Les filons de quartz d'orientation N-S:

Ils affleurent dans la partie nord du gisement d'Amesmassa, en position parallèle à la foliation des ultramylonites. Ils peuvent atteindre 800m de longueur, avec une épaisseur métrique, et plus de 300m de profondeur. Le pendage est de l'ordre de 70°W.

La minéralisation est plus abondante dans les rubans de quartz blanc. Les sulfures sont par ordre décroissant d'abondance : pyrite, galène, et plus rarement sphalérite et chalcopyrite.

A-3-2-Les filons de quartz d'orientation NE-SW:

Ils se rencontrent dans les gisements et les indices associés aux failles fragiles tardives, d'orientation N20° à N40°. Les cataclasites et les brèches y sont très nombreuses [17].

La minéralisation de l'or aurifère portée par ces filons n'apparaît qu'à l'intersection de ces failles fragiles avec le cisaillement majeur est Ouzzalienne qu'elles décalent selon des rejets horizontaux allant jusqu'à quelques centaines de mètres [17].

A-3-3-Les filons de quartz d'orientation E-W :

Peu nombreux et pauvres en Or, s'affleurent principalement au Nord -Est du gisement aurifère d'Amesmassa dans la mylonite sous forme de petites filons isolés subparallèles entre eux mais parfois elles sont associées à des veinules de direction NW-SE à NNW-ESE, sur une longueur de 300m et de leur épaisseur métrique. Ces filons sont caractérisés par:

1. l'absence de déformation ductile du quartz.
2. l'absence de fracturation.
3. l'absence de l'altération hydrothermale à leurs épontes.
4. l'aspect disséminé des sulfures.

Ils diffèrent des filons N-S par la présence des sulfures de cuivre

A-4 Roches encaissantes:

Après les études effectuées sur les tranchées réalisées par l'ORGM, nous avons réalisé les observations suivantes :

- Les filons présentent des contacts nets et tranchants avec les roches encaissantes de l'or et de l'élément utile ; parfois soulignés par des altérations hydrothermales.

- La nature des roches encaissantes est variée (ultramylonite, mylonite, granite, gneiss, granito-gneiss et gabbros tout au long de la zone de cisaillement.

A-4-1 : Contrôle lithologique de la minéralisation:

Les filons de quartz et de quartz aurifères font partie de la (ZCEO) , Ces filons discontinus forment en fait des zones filoniennes. Ils sont disposés dans l'espace d'une manière assez régulière et affleurent systématiquement vers la bordure de la (ZCEO), là où le degré mylonitisation est maximal. Parfois ces filons débordent le domaine des ultramylonites et apparaissent dans les terrains archéens peu mylonitisés.

Il existe une relation nette entre la nature de protolite et la richesse en or des filons. Alors que les filons de quartz existent d'une manière pratiquement continue sur tout le long de la bande ultramylonitique ; Ils ne sont substantiellement minéralisés que lorsque l'un des deux cas se présente :

.-lorsque les filons de quartz traversent les ultramylonites à protolithe de roches mafiques, ils s'enrichissent en or.

- Dès que les roches paradérivées, plus particulièrement les marbres et amphibolites du Domaine ouzzalien sont prises dans ce cisaillement, on a noté parfois l'apparition des filons d'or à leur proximité.

- La Paragenèse minérale rencontrée dans ces filons varie en fonction de la nature des roches environnantes. Ces observations indiquent donc qu'il existe un contrôle de premier ordre de l'intensité de la minéralisation aurifère par la nature pétrographique locale de la protolithe encaissant.

A-4-2 : la zone de contact filon de quartz aurifère /mylonite:

Afin d'étudier la zone de contact quartz aurifère-mylonite, on peut se baser sur trois (03) parties différentes :

1. La bordure du filon de quartz.
2. La zone bréchifiée du filon.
3. Les épontes.

La limite entre le filon et la zone du quartz bréchifiée est soulignée par une fracture rectiligne.[16]

B- CARACTERISTIQUES DES ZONES AURIFERES D'AMESSMESSA:

B/1- Présentations des zones filoniennes:

Dans le gisement d'Amesmesssa, l'ORGM a mis en évidence 50 zones filoniennes et dont 36 firent l'objet des travaux plus au moins détaillés (ORGM, 1993). Le gisement, dont l'extension N-S est de 13km, est divisé en trois secteurs: centre, nord et sud .

a/ Le secteur Centre: Il est constitué par les zones 7, 8, 9, 10,11 qui sont les plus importantes, du point de vue économique. Elles sont aussi les mieux étudiées jusqu'à ce jour. Les zones 7, 8, 9 sont continues du nord au sud sur près de 3 km. La largeur des zones varie de 1-2m à 25-30m. Les zones 8 et 9 sont celles qui possèdent les plus grandes extensions horizontale et verticale des filons (jusqu'à 440m de profondeur) pour une teneur moyenne de 34.7 g/t et une puissance du corps minéralisé de 1.13 m.

b/ Le secteur Nord: Il est situé à environ 3 km au nord du précédent. Il est constitué par les zones 12, 17,18 situées au nord de l'oued Tamezguida et les zones 13, 15,16, situées au sud de cet oued. Ce secteur représente 19.2 % des réserves total du gisement sur 3 km de longueur. Il est représenté par deux systèmes des zones: à l'ouest les zones 13, 16, 17,18 et à l'est les zones 12 et 15. A ce même secteur sont rattachées les zones 33, 34, et 35 situées le long de bordure occidentale de la faille In Ouzzal-Est. Au sud de la zone 17 et en direction du secteur central sont situées les zones 36 et 32. (fig.1)

c/ Secteur Sud: Il est séparé du secteur Nord uniquement par des dépôts meubles . A ce secteur sont rattachées les zones 1, 2, 3,4, dont la longueur est de 2 km. Les réserves de ce secteur représentent 6.4% des réserves totales.

En profondeur, n'a été étudiée que la zone 1, où la minéralisation a été suivie jusqu'à - 120 m de profondeur avec une teneur : 34,8 g/t et 1,29 m de puissance.

d / Le secteur Est: Il est situé à l'Est de la zone 9 de la subdivision , l'ORGM et constitué par les zones 19 et 29. A ce secteur est rattachée la zone 30 qui est localisée au nord de l'Oued Amesmesssa et à l'est de la zone 7 . Cette zone dont les filons sont en majorité orientés E-W est pratiquement stérile..1,

B.2. Le filon 8 :

de longueur 800 m , La morphologie de ce filon est plus simple que celle du filon 9. Il est en réalité représenté par du quartz filonien de direction N0°-80°W, de couleur blanc à gris dont les salbandes sont constituées de bérisites où le contact filon -encaissant est progressif . Cette zone est affectée par de nombreuses failles décalant les filons minéralisés .

Le Quartz blanc laiteux massif est parcouru par des zones de quartz gris correspondant à du quartz microcristallin \pm sulfures déposés en liaison avec des microcisaillements . Ces derniers sont parallèles aux épontes qui sont nettes.

Parfois, la roche aux épontes est constituée par un quartz grenu de couleur gris-verdâtre riche en grains de pyrite. L'observation détaillée montre que ce quartz est traversé par des veinules millimétriques de quartz gris-clair Les shales sont traversés par des veinules du quartz blanc stérile et rose riche en sulfures aux épontes .[16]

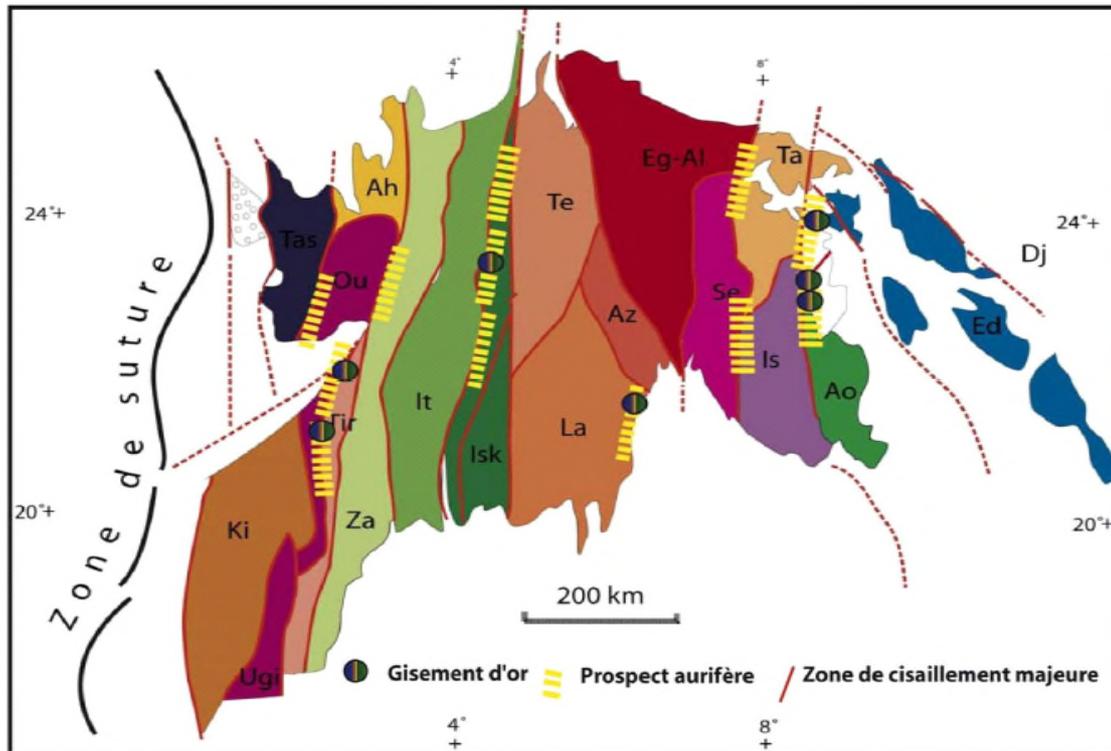
II.6 .Source de l'or

Le problème de la source de l'or a longtemps passionné les métallogénies. suggère que les gneiss protérozoïques, gabbros et partiellement les rhyolites ont des teneurs en or plus faibles, en-dessous du Clark (c'est-à-dire $<$ à 5 ppb). Il suppose que ces faibles teneurs sont dues à un lessivage et il a envisagé donc que ces roches sont à l'origine du stock d'or d'Amesmessa – Tirek, ce qui suggère que l'or lessivé soit probablement passé successivement dans le paléo – fluide accompagnant la déformation ductile et les solutions hydrothermales tardives. Ceci favorise une origine magmatique et protérozoïque de l'or qui sera principalement concentré dans les filons de quartz encaissés dans les ultramylonites. La présence de filons de quartz aurifères dans le domaine Protérozoïque et de traces d'altération hydrothermale dans ce domaine et dans la bande des mylonites suggère une large percolation des fluides minéralisateurs à l'Est de l'unité des ultramylonites [18]

La minéralisation est portée par les filons de quartz encaissés dans les shear zones et dans des intrusions dioritiques à granodioritiques. Des zones filoniennes aurifères et leur

Chapitre II: Présentation du gisement d'Amesmessa

cortège d'altérations hydrothermales sont surtout rencontrées dans les ensembles volcanosédimentaires d'âge Néoprotérozoïque[14]



Légende:

- Hoggar Oriental: Dj.(Djanet), Ed (Edembo), Ao (Aouzegueur),
- Hoggar Central: As-Is (Assodé-Issalane), Se (Serouenet),
Eg-Al (Egéré-Aleksod), Az (Azou-n-Fad), Te (Tefedest), La (Laouni)
- Hoggar Occidental: Isk (Iskel), Te (In Tedeini), Za (Tin Zaoutine),
Tir (Tirek), Ah (Ahnet), Ou (In Ouzzal), Ugi (Iforas), Tas (Tassendjanet)

Figure II-10: Relation entre les terranes panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier Targui (Hoggar). [14]

II .7 Conclusion

Le gisement d'Amesmessa présente le gîte minérales montrant la plus grande réserve aurifère du Hoggar. On s'intéresse de quartz filonienne de couleur blanc à gris dont les salbandes sont constituées de mylonites où le contact filon -encaissant est progressif.

Les filons de quartz sont composé globalement de : quartz (90-98%), séricite (1-5%), carbonate (1-3%) et de sulfures (1-5%).

Les minéraux métalliques sont représentés par les sulfures et l'or.

Les sulfures dans le quartz sont par ordre décroissant d'abondance: la pyrite, la galène, la sphalérite (ou blende) et très rarement la chalcopryrite.

III.1 Introduction

Le choix du traitement dépend principalement selon les résultats des analyses du minerai. Dans le cas de l'hydrométallurgie de l'or, cette étape est essentielle pour le choix du traitement puisque les minerais aurifères sont de perméabilités différentes vis-à-vis du cyanure, principal lixiviant.

Au cours de ce chapitre, nous allons donner des aperçus théoriques sur les deux analyses effectuées : la diffraction des rayons X et la fluorescence X. Ensuite, nous allons discuter les résultats trouvés .

III.2 Description des échantillons

Les échantillons ont été prélevés au niveau des cartiers de l'exploitation (filon 8) qui se scindent en deux types :

- **Echantillon frais** (primaire) : prélevé des tranchées du filon 8(figure III 1), a une profondeur de 50,5 m. Ce minerai est constitué de Quartz blanc riche en sulfures, pyrite, chalcoppyrite, et galène et il est difficilement lixiviable.
- **Echantillon oxydé** : prélevé des tranchées du filon 16(figure III.2), a une profondeur de 56,5 m. Ce minerai est constitué de Quartz blanc et gris caverneux avec la présence d'hématite, limonite et malachite, il est facilement lixiviable.

Les échantillons ont été déjà préparés mécaniquement après un prélèvement d'une quantité réduite et représentative de l'ensemble du minerai (échantillonna ge).



Figure III.1 : Minerai frais de terrain .



Figure III.2 : Minerai oxydé de terrain.

Il est à noter que les deux types d'échantillon (frais et oxydé) ont une granulométrie inférieure à $75\mu\text{m}$. Cette granulométrie permettant une libération optimale des particules d'or.

III.3 Analyse et caractérisation des échantillons

III.3.1 Diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (XRD) est une technique analytique rapide utilisée principalement pour l'identification de phase d'un matériau cristallin et peut fournir des informations sur la taille et l'orientation des cristaux. Le diagramme de diffraction des rayons X d'une substance pure est comme une empreinte digitale de la substance. La méthode de diffraction de la poudre est donc idéale pour la caractérisation et l'identification des phases polycristallines.

III.3.1.1 Principe

La structure tridimensionnelle des matériaux cristallins est définie par des plans réguliers et répétitifs d'atomes qui forment un réseau cristallin.

Lorsqu'un faisceau de rayons X de longueur d'onde λ , dirigé sur l'échantillon et le signal diffracté est analysé. Pour chaque angle d'incidence (diffraction) du faisceau correspond une intensité du signal diffracté qui se manifeste par un pic de diffraction de rayon x.

La théorie de la diffraction des rayons X a été élaborée concomitamment par W.L. Bragg et G. Wulff : on l'appelle la relation de Wulff-Bragg. Lorsqu'un faisceau de rayons X incident de longueur d'onde λ ne sera réfléchi par une famille de plan (hkl) que dans la mesure où il rencontre ces plans sous un certain angle θ dit angle de Bragg tel que: (Figure III.3)

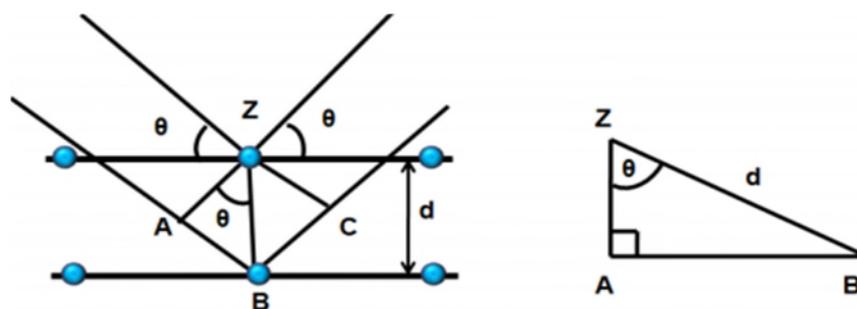


Figure III.3 : Loi de Bragg

Considérant les conditions nécessaires pour faire coïncider les phases des faisceaux lorsque l'angle d'incidence est égal et l'angle de réflexion. Les rayons du faisceau incident sont toujours en phase et parallèles jusqu'au point où le faisceau supérieur frappe la couche supérieure à l'atome Z. Le deuxième faisceau continue à la couche suivante où il est dispersé par l'atome B. Le deuxième faisceau doit voyager la distance supplémentaire $AB + BC$ si les deux faisceaux doivent continuer à se déplacer adjacent et parallèlement. Cette distance supplémentaire doit être un intégral (n) multiplié de la longueur d'onde (λ) pour que les phases des deux faisceaux soient les mêmes :

$$n\lambda = AB + BC \quad (1)$$

Pour relier ' d ' et θ à la distance ($AB + BC$).

$$AB = d_{hkl} \sin \theta \quad (2)$$

Parce qu' $AB = BC$ eq (1) devient,

$$n\lambda = 2AB \quad (3)$$

En remplaçant l'équation (2) dans l'équation (3) nous avons,

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (4),$$

Cette relation s'appelle la **loi de Bragg**.

Où, d_{hkl} l'espacement entre les plans dans le réseau atomique (distance interréticulaire), θ l'angle d'incidence du rayon X par rapport à la surface de l'échantillon, n l'ordre de diffraction et enfin, λ la longueur d'onde des rayons X. [19 ;20]

III.3.1.2 Instrumentation

Un diffractomètre à rayons X en poudre consiste en une source de rayons X (généralement un tube à rayons X), un échantillon, un détecteur et une disposition pour changer l'angle θ (Figure III.4). La radiographie est centrée sur l'échantillon sous un certain angle θ , tandis que le détecteur opposé à la source lit l'intensité du rayon X qui reçoit à 2θ du chemin source. L'angle d'incidence est l'augmentation dans le temps, tandis que l'angle du

détecteur reste toujours 2θ au-dessus du chemin source. La figure montre la représentation schématique du diffractomètre aux rayons X.

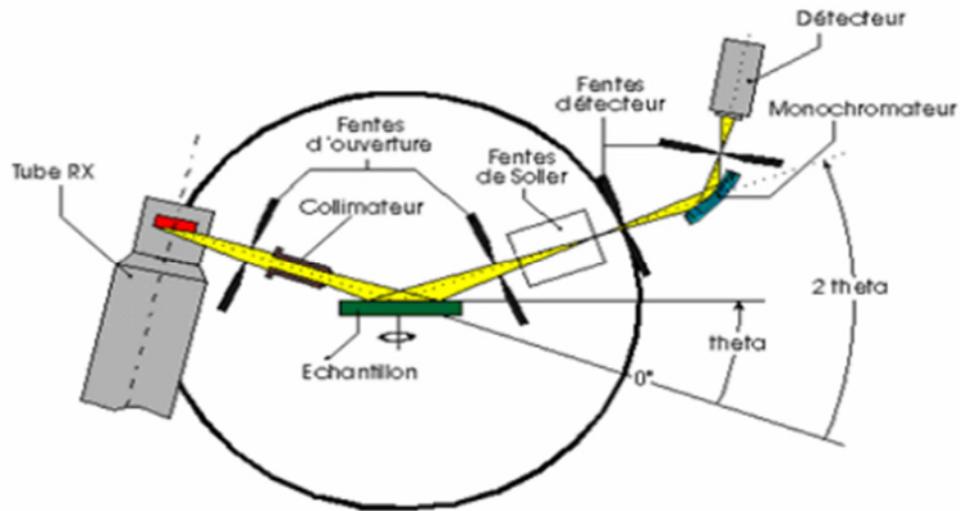


Figure III.4 : Schéma de principe de la diffraction des RX. [19-20]

III.3.1.3. Manipulation

Deux échantillons des particules ont une granulométrie inférieure à $75\mu\text{m}$ ont été préparés et soumis aux analyses par DRX. Le test a pour but la confirmation de la composition minéralogique des deux types de minerais d'or qui font l'objet de notre étude à savoir le minerai frais et le minerai oxydé.

L'appareil utilisé est celui du Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux et Catalyse (LPCMC) de l'université de Bejaia type (RIGAKU, Miniflex) figure III.5.



Figure III.5 : Appareil de DRX au niveau de laboratoire de GP à l'université de Bejaia.

III.3.1.4. Identification des phases par diffraction des rayons X

L'analyse radio cristallographique des échantillons à température ambiante dans un domaine angulaire 2θ allant de 10 à 80° avec un pas angulaire de $0,01$ degré a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre type RIGAKU, Miniflex du laboratoire LPCMC.

L'identification des phases (dépouillement) a été réalisée par une recherche automatique en se basant sur des fichiers ASTM (American Society of Testing and Material) reportée dans l'annexe (C). Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures ci-dessous :

Le spectre de la figure III.6 est celui du minerai oxydé. Quatre phases sont identifiées. La première phase majoritaire est repérée par les pics les plus intenses qui sont le Quartz. D'autres phases de faibles intensités sont aussi identifiées comme : la Goethite bien connu sous la forme ionique à $11,9\%$, la Magnétite ou bien connu sous la forme ionique à 3% et enfin 1% de Galène.

Le spectrogramme illustré sur cette Figure III.7, obtenu lors de la caractérisation minéralogique de l'échantillon du minerai frais montre la présence de plusieurs phases cristallisées à différents angles de diffraction contenant essentiellement le quartz, le fer et le soufre.

On distingue trois phases: phase dominante du quartz à 97% , la Pyrite à 2% , ainsi que la Galène (Pbs) à 1% .

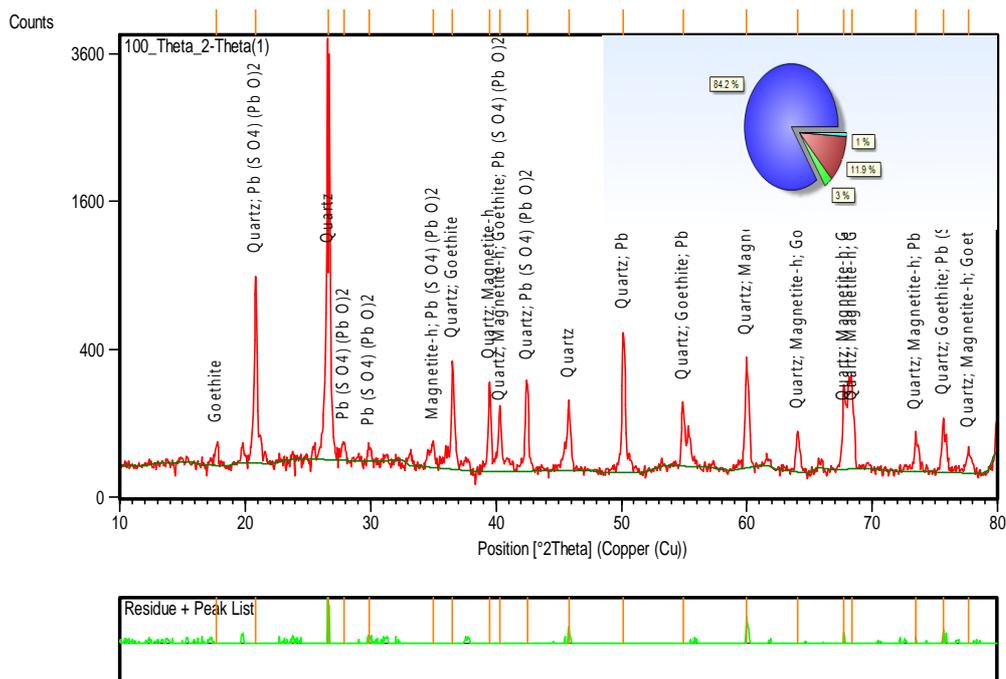


Figure III. 6: Identification des phases du minerai oxydé

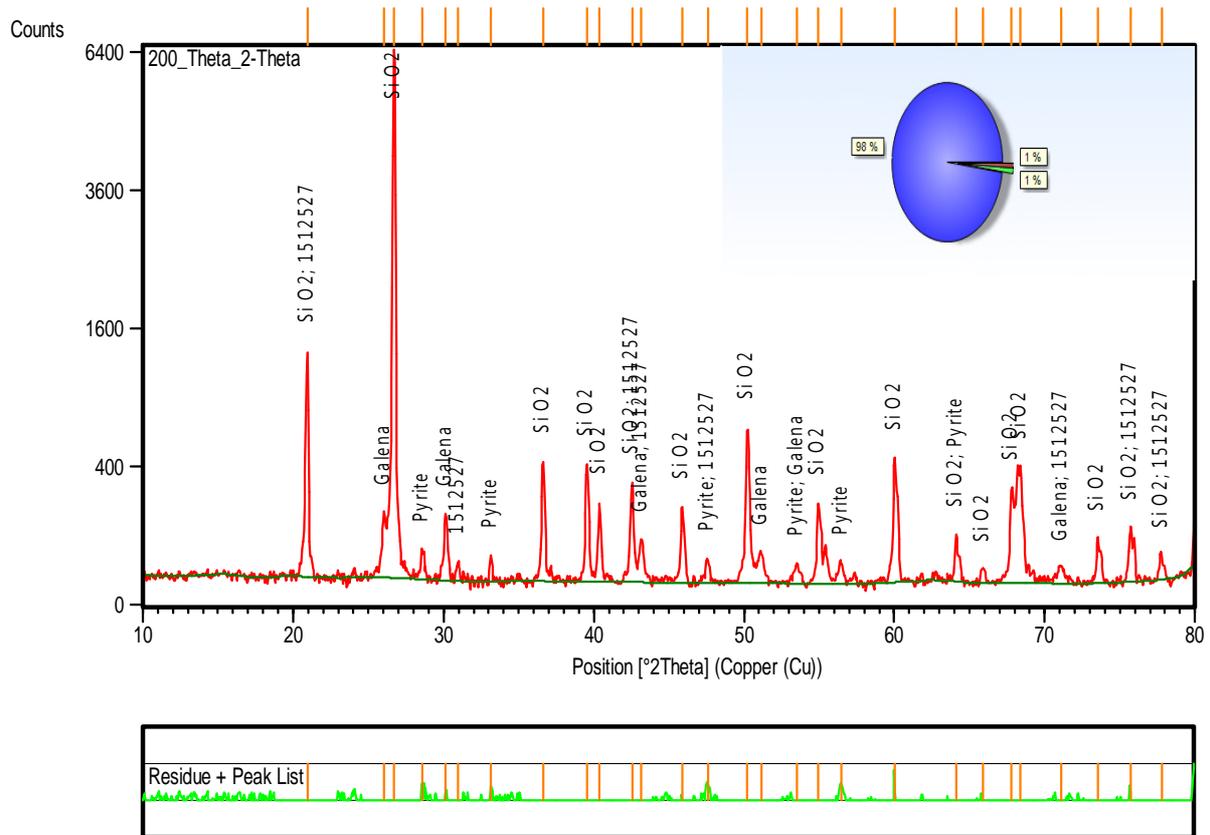


Figure III. 7: Identification des phases du minerai frais.

nous remarquons que le minerai oxydé contient des éléments sur consommateurs de cyanure à savoir: le fer(+3) et le soufre. Alors que l'échantillon frais contient le fer (+2) et une grande quantité de soufre (d'après la fiche technique des échantillons). Si en se base sur cette analyse on prévoit dans la suite de la chaîne d'extraction, un faible taux de récupération de l'or dans le minerai oxydé suite à la surconsommation du cyanure de la part des complexes $Fe(CN)_6^{3-}$ formés. Ces derniers sont plus stables que $Au(CN)_2^-$.

III.3.2 Analyse par fluorescence X (XRF)

Les travaux de Laue, Bragg et Moseley réalisés au début du vingtième siècle, 1912-1913, ont permis d'importantes avancés dans le développement des techniques d'analyse élémentaire. Parmi ces différentes méthodes d'analyse de la matière, la spectrométrie d'émission des rayons X est une méthode d'analyse élémentaire non destructive. Son principe consiste à irradier l'échantillon par un faisceau suffisamment énergétique, rayons X ou

particules accélérées tels que les électrons, les atomes ainsi excités vont à leur tour émettre un rayonnement de fluorescence dans la gamme des rayons X. Cette fluorescence de rayons X est une propriété spectrale caractéristique à chaque élément chimique, elle constitue son empreinte dans l'étude qualitative et quantitative lors de la détermination des éléments chimiques de l'échantillon.

Les conclusions de Moseley notées après plusieurs observations et expériences montrent que l'excitation des atomes est localisée à des niveaux profonds et les raies d'émissions X sont approximativement indépendantes des liaisons chimiques entre atomes. La fréquence (ν) de la raie X émise est proportionnelle au carré du nombre atomique (Z), elle est exprimée par la relation suivante :

$$\nu = k_1(Z - k_2)^2$$

Les constantes k_1 et k_2 sont des constantes ayant des valeurs définies pour chaque raie, elles sont aussi appelées constantes d'écran.

Remarques :

- La loi de Moseley n'est qu'une approximation.
- Les liaisons chimiques ont pour conséquence des déplacements dits chimiques des raies par rapport à la position de celles des éléments purs.
- Ces déplacements sont d'autant plus importants que l'élément est plus léger.
- En première approximation le spectre de désexcitation par émission des rayons X est caractéristique de la composition élémentaire de l'échantillon.

III.3.2.1. Principes de base

Le montage présenté par la figure III.8, illustre les deux types de spectromètres de la fluorescence des rayons X.

- a. **Spectromètre à dispersion d'énergie (ED-XRF)** : Les spectres sont obtenus directement au moyen d'une diode dont l'intensité du signal diffère selon l'énergie de chaque photon X incident.
- b. **Spectromètre à dispersion de longueur d'onde (WD-XRF)** : Les spectres sont obtenus par rotation d'un cristal utilisé comme un réseau. Dans ce type d'instrument, le montage goniométrique comporte un, ou plusieurs, détecteurs mobiles.

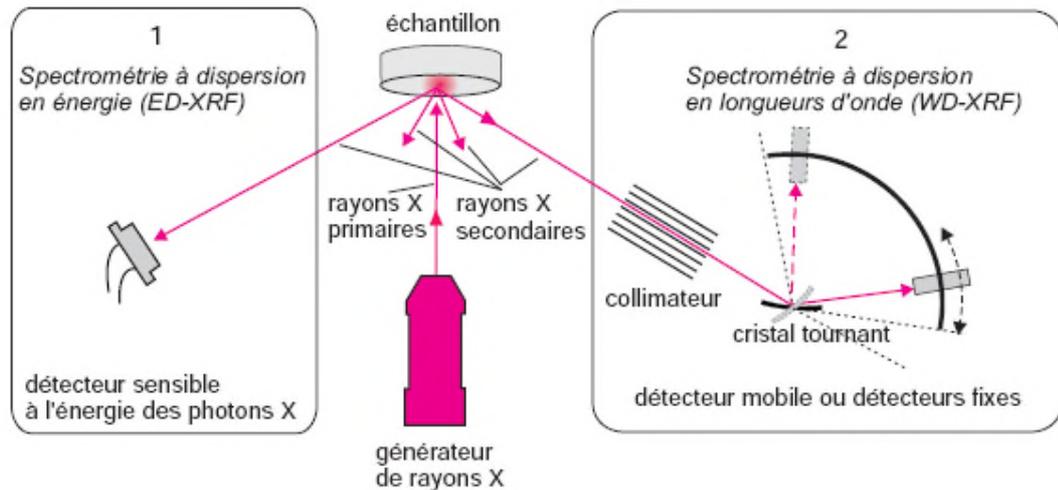


Figure III.8 : Fluorescence X

- 1) Spectrométrie à dispersion en énergie (ED-XRF).
- 2) Spectrométrie à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF)

Noter que, quel que soit le mode de détection, en dispersion d'énergie ou en dispersion de longueur d'onde, les spectres sont présentés en fonction de l'énergie (eV).

a.1. Appareils à dispersion en énergie (ED-XRF)

Ces instruments sont des spectromètres réservés à l'analyse qualitative des échantillons et aux dosages de routine. Le spectre de fluorescence X est obtenu à l'aide d'un détecteur installé à proximité de l'échantillon, figure I.8. Ce montage permet au détecteur de déterminer l'énergie de chaque photon de fluorescence émis par l'échantillon. Ces appareils sont équipés d'un tube à rayons X de faible puissance (environ 10 W) ou d'une source radioactive pour les appareils de terrain.

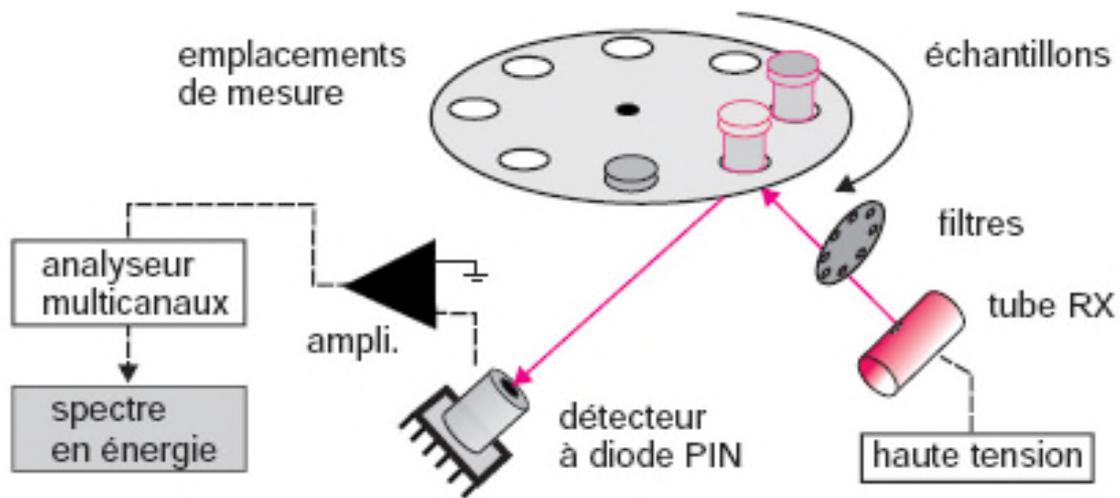


Figure III.9 : Spectromètre de fluorescence X à dispersion en énergie (ED-XRF)

a.2. Appareils à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF)

Dans ce type d'instrument est installé un collimateur constitué par de longs feuillets métalliques appelées fentes de Sollers. Il est caractérisé par une très bonne résolution spectrale. Le rayonnement X de fluorescence issu de l'échantillon passe par le collimateur puis vient se diffracter sur un cristal de structure déjà connue. Ce dernier possède à la surface des plans parallèles distants entre eux de d . Cette structure de plans parallèles forme en quelque sorte une succession de miroirs parallèles, dont chacun permet d'atteindre presque 100% de réflexion si l'angle d'incidence θ est le même que l'angle d'observation (détecteur) de la lumière réfléchie, figure I.10.

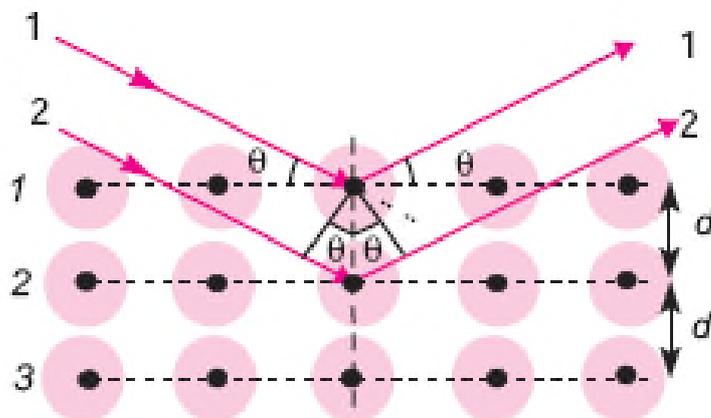


Figure III.10 : Quelques plans parallèles à la surface d'un cristal

Les rayonnements de fluorescence X sont observés s'il y a diffraction par les plans parallèles du cristal, c'est à dire seulement la longueur d'onde qui satisfait la condition de diffraction de Bragg suivante :

$$n \lambda = 2 d \sin\theta$$

n étant un entier appelé ordre de diffraction.

Dans ces montages, l'angle θ peut varier de 5 à 80°, il est donc nécessaire de choisir un cristal de plans parallèles à la surface et de distance interréticulaire (d) plus élevée pour observer les plus grandes longueurs d'onde de fluorescence X issus de l'échantillon.

Le tableau I.2, regroupe les distances interréticulaires de quelques cristaux utilisés dans les instruments de fluorescence X à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF).

Tableau III.1 : Quelques cristaux utilisés dans les instruments de fluorescence X à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF)

<i>Cristal</i>	<i>Plan d'indices de Miller</i>	<i>Distan ce d (Å)</i>
Fluorure de lithium (LiF)	200	2,013
Chlorure de sodium (NaCl)	200	2,820
Quartz (SiO ₂)	1011	3,343
Graphite pyrolytique (PG)	002	3,355
Penta-erythritol (PET)	002	4,371
ADP (NH ₆ PO ₃)	101	5,320
Cristal d'acide oxalique (C ₂ H ₂ O ₄)	001	5,850
Mica	002	9,960

Il existe deux types d'appareils à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF) :

- _ Appareils avec analyseurs séquentiels
- _ Appareils à canaux fixes .[21,22]

L'analyse des échantillons a été réalisée par la technique WDXRF du centre de recherche nucléaire de Birine (CRNB) Ain ouassara wilaya de Djelfa. Les Résultats des deux échantillons sont illustrés dans les tableaux suivants:

Tableau III.2: Résultats WDXRF de l'échantillon frais

Eléments chimique	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
% massique	0,307	0,353	4,09	81,6	0,0478	3,07	0,183
Eléments chimique	K	Ca	Ti	Fe	Zn	Zr	Pb
% massique	3,66	0,205	0,471	4,37	0,295	0,0292	1,35

Tableau III.3: Résultats WDXRF de l'échantillon oxydé

Eléments chimique	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
% massique	0,0487	0,202	3,59	82,0	0,0268	1,15	0,217
Eléments chimique	K	Ca	Ti	Fe	Zn	Zr	Pb
% massique	5,91	0,0709	0,609	2,01	0,094	0,0494	4,03

D'après les deux tableaux, nous remarquons que l'élément dominant est le silicium (82% dans l'échantillon oxydé et 81,6% pour le frais). Le résultat de cette technique renforce les résultats trouvés par DRX et qui montrent que la phase majoritaire est le quartz. Il est

important à noter que dans la fluorescence X, l'élément oxygène ne subit aucune fluorescence à cause de son nombre atomique < 10 . Il est considéré comme élément léger.

Dans les deux échantillons, l'apport massique de l'aluminium est de 4,09% dans le minerai frais et de 3,59% dans le minerai oxydé. Probablement issu de séricite $K_5Al_4(Si_8Al_5)O_2(OH)_4$ phase caractéristique du filon 8.

Même remarque pour le potassium (K), son apport massique est de 5,91% pour un minerai oxydé et 3,66% pour le frais. Issu de la séricite $K_5Al_4(Si_8Al_5)O_2(OH)_4$

L'existence de plomb, de fer et du soufre issus de la galène et de la pyrite (phases détectées par DRX).

Les deux éléments chimiques calcium et magnésium entrant dans la composition des carbonates (Ca, Mg) $(CO_3)_2$

D'autres éléments minoritaires comme (Na, P, Cl, Ti, Zn et Zr).

III.4 Conclusion

La minéralogie aurifère de chaque gisement et de chaque filon de minerai est unique, pour cela, l'étude minéralogique est très importante avant chaque extraction puisqu'elle prévoit le coût de l'opération d'extraction.

Deux méthodes ont été effectuées pour analyser les deux échantillons (frais ou primaire et oxydé) provenant du filon 8 de la mine d'Amesmesssa: la diffraction des rayons X et la fluorescence X.

Les résultats montrent que dans la composition minéralogique du filon participent les minéraux suivants:

- Le quartz (quartz blanc à blanc laiteux et de quartz gris à gris sombre)
- Le potassium et l'Aluminium qui entrent dans la composition de séricite $K_5Al_4(Si_8Al_5)O_2(OH)_4$
- Le calcium et le magnésium qui caractérisent les carbonates (Ca, Mg) $(CO_3)_2$
- Les sulfures par ordre décroissant d'abondance sont : la pyrite, la galène, la sphalérite et rarement la chalcoppyrite.
- éléments minoritaires comme (Na, P, Cl, Ti, Zn et Zr).
- Absence de l'or natif

Conclusion générale

Conclusion générale

La présentation du gisement et son caractérisation minéralogique est très importante que pour un géologue, un minier et beaucoup plus pour un traiteur, car c'est la nature du minerai et sa composition minéralogique qui définie la méthode efficace de traitement.

L'entreprise ENOR nous a proposé de traiter des échantillons composites du minerai aurifère d'Amesmess, provenant de filon 8 de ce gisement. Ce filon du gisement qui est en réalité représenté par du quartz filonien de direction $N0^{\circ}-80^{\circ}W$, de couleur blanc à gris dont les salbandes sont constituées de bérissites où le contact filon-encaissant est progressif. Les filons de quartz sont composé globalement de : quartz (90-98%), séricite (1-5%), carbonate (1-3%) et de sulfures (1-5%).

Les bérissites sont composées de : quartz (25 à 50%), , de séricite (10-35%), de carbonate (10-15%) et de la pyrite (10-15%).

Les minéraux métalliques sont représentés par les sulfures et l'or.

Les sulfures dans le quartz sont par ordre décroissant d'abondance: la pyrite, la galène, la sphalérite (ou blende) et très rarement la chalcopryrite.

Des échantillons prélevés ont été soumis à des analyses minéralogiques et chimiques (DRX, et FX). L'analyse radiocristallographique des échantillons à température ambiante dans un domaine angulaire 2θ allant de 10 à 80° avec un pas angulaire de $0,01$ degré a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre type RIGAKU, Miniflex du laboratoire LPCMC.

L'identification des phases (dépouillement) a été réalisée par une recherche automatique en se basant sur des fichiers ASTM (American Society of Testing and Material) montrent l'existence de quatre phases. La première phase majoritaire est repérée par les pics les plus intenses qui sont le Quartz (Si_3O_6). D'autres phases de faibles intensités sont aussi identifiées comme : la Goethite (Fe_4O_8 ou bien connu sous la forme ionique $Fe^{+3}O(OH)$) à 11,9 %, la Magnétite ($Fe_{12}O_{16}$ ou bien connu sous la forme ionique $Fe^{+2}Fe^{+3}O_4$) à 3% et enfin 1% de Galène $PbSO_4(PbO)_2$.

Les résultats par FX ont montrés que l'élément dominant est le silicium (82% dans l'échantillon oxydé et 81,6% pour le frais). Le résultat de cette technique renforce les résultats trouvés par DRX et qui montrent que la phase majoritaire et le quartz.

Conclusion générale

Dans les deux échantillons, l'apport massique de l'aluminium est de 4,09% dans le minerai frais et de 3,59% dans le minerai oxydé. Probablement issu de séricite $K_5Al_4(Si_8Al_5)O_2(OH)_4$ phase caractéristique du filon 8.

Même remarque pour le potassium (K), son apport massique est de 5,91% pour un minerai oxydé et 3,66% pour le frais. Issu de la séricite $K_5Al_4(Si_8Al_5)O_2(OH)_4$ L'existence de plomb, de fer et du soufre issus de la galène et de la pyrite (phases détectées par DRX).

Les deux éléments chimiques calcium et magesium entrant dans la composition des carbonates (Ca, Mg) $(CO_3)_2$ D'autres éléments minoritaires comme (Na, P, Cl, Ti, Zn et Zr).

Les références bibliographie

- [1] **H.BECHER**, L'Or, minerais aurifères et auro argentifères, extraction traitement métallurgique, Paris, 1896
- [2] **MOISAN M. et BLANCHARD F**, Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère au cyanure, impact potentiel sur l'environnement et recommandation, rapport final BRGM, 2012
- [3] **LIBAUDE J. et MORIZOT G**, Rapport de la société BRGM, industrie minérale – les technique, traitement de minerai d'or, 1984
- [4] **DESPAUXL**, Les métaux au temps de la préhistoire, 2001
- [5] **PIERRE Blazy**, Exploitation des minerais, 2004
- [6] **JOSEPH KumwbaMusao**, La problématique de l'exploitation minière artisanale dans la province de Katanga, 2009.
- [7] **L'or d'Eléonore**, Le plus grand projet aurifère au canada (
- [8] **KOUASSI Nicolas Kouadio**, Exploitation artisanale de l'or dans le processus de mutation socio-économique à Hiré, 2008.
- [9] **NATHALIE Dietrich**, mémoires de fin de cycle des stagiaires du Cesmat, Septembre 2007
- [10] **POZDNIAKOV**, Rapport de fin des travaux sur l'évaluation du gisement d'Amesmesssa avec récapitulatifs des réserves, Office Nationale de Recherche Géologique et Minière(ORG M), division sud, volume 01, (1993).
- [11]. **J. DE VISSER, Neil INWOOD**, Amesmesssa Veins 8 and 9, Tirek Veins II, III, XIV and XV, Geological Modelling and Ressource Estimation, Prepared by RSG Global on behalf of ENOR spa, PAME01, PAME02, (2005).
- [12] **ORG M, , N., 1993**. Rapport de fin des travaux sur l'évaluation du gisement d'Amesmesssa avec récapitulatif des réserves . Rapport inédit, O.R.G.M.
- [13] **LOUZ Mohamed et Dr. K. HACHAMA** étude des paramètres physico-chimiques et hydrologiques de la lixiviation en tas du minerai aurifère (cas de la mine d'amesmesssa) univ de tebessa
- [14] **Bagui M., 2015**. Contribution à l'étude des filons aurifères d'Amesmesssa

Les références bibliographie

(Hoggar Occidental). Mémoire de magister, FSTGAT-USTHB.

[15] Rapport interne de l'Entreprise Nationale de l'Exploitation des Mines d'Or (ENOR), Lagéologie du gisement aurifère d'Amesmassa, (2003).

[16] **M. Cherbal et A. Zekkour.** " Contribution à l'étude de la minéralisation aurifère et des carbonatites d'Amesmassa". Mémoire de master université USTHB.2011

[17] **[Semiani, 1995] semiani** mettalogenie of the late pan african gold bearing east ouzzal shear zone HoggarAlgérie

[18] **Zakaria Difallah et Bensalah Mustapha(2017)** Contribution a l'étude géologique de la minéralisation aurifère tirek-amesmassa (hoggar occidental).mémoire de master en géologie université aboubekrbelkaid de tlemcen

[19] **B. E. warren** x-ray diffraction, Ed. Addison-Wesley, New -york (1969)

[20] Guinebertière, R. (2006). Diffraction des rayons X sur échantillons polycristallins. Paris, hermes.

[21] **B. Beckhoff B. Kanngießner** Langhoff R. Wedell H. Wolff, Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

[22] **Francis Rouessac and Annick Rouessac**, Chemical Analysis, Modern Instrumentation Methods and Techniques, Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, 2007.

Résumé

La présentation du gisement et son caractérisation minéralogique est très importante que pour un géologue, un minier et beaucoup plus pour un traiteur, car c'est la nature du minerai et sa composition minéralogique qui définie la méthode efficace de traitement. Au cours de ce travail, nous avons traité des échantillons du minerai aurifère d'Amesmesssa issu du filon 8. Les échantillons prélevés ont été soumis à deux analyses minéralogiques (DRX et FX). Les résultats montrent l'existence d'une phase majoritaire qui est le Quartz (Si_3O_6) en plus Goethite (Fe_4O_8), la Magnétite ($\text{Fe}_{12}\text{O}_{16}$) et enfin la Galène $\text{PbSO}_4(\text{PbO})_2$.

Mots clés: Minéralisation, DRX, gisement, filon, aurifère.

Abstract:

The presentation of the deposit and its mineralogical characterization is very important than for a geologist, a miner and much more for a caterer, because it is the nature of the ore and its mineralogical composition that defines the effective method of treatment. During this work, we processed composite samples of Amesmesssa gold-rich ore from Seam 8 of this deposit. The samples collected were subjected to mineralogical and chemical analyses (DRX and FX). The analyses show the existence of four phases. A majority phase that is the Quartz (Si_3O_6) in addition to Goethite (Fe_4O_8), Magnetite ($\text{Fe}_{12}\text{O}_{16}$) and finally the Galene $\text{PbSO}_4(\text{PbO})_2$.

Key words: Minéralisation, DRX, deposit, vein, auriferous.