

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
جامعة مولود معمري  
+٠٧٠:٢١٠ ٤:١١:٧ + ٤.٤.٠  
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement**

Par : **GHEZALI Aghiles**

et

**LAMRI Fares**

**Thème :**

Etude comparative entre le minerai d'Or d'exploitation artisanale  
et celui du gisement d'Amesmessas, ENOR wilaya d'In Guezzam

**Soutenu publiquement le 02 /07/ 2024 devant le Jury composé de:**

Mr. SAMI Lounis

Professeur à l'UMMTO

Président

Mr. MAKHLOUF Ali

M.C.A à l'UMMTO

Encadreur

Mr. HAMIS Ahmed

M.C. B à l'UMMTO

Examineur

Mr. LOUZ Mohammed

Directeur des opérations (ENOR)

Co-encadreur

## Remerciements

Il est agréable de saisir cette occasion pour apporter nos vifs remerciements et exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance à tous ceux qui ont attribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Nous tenons en tout premier lieu à remercier Dieu ALLAH, Le Tout Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans l'assistance et le soutien de plusieurs personnes qui étaient toujours disponibles pour me donner des informations et les conseils. Nous saisissons cette occasion pour leur exprimer ma profonde gratitude tout en leur témoignant mon respect.

Nous tenons aussi à remercier Mr LOUZ.M directeur des opérations à l'ENOR pour ses conseils et son aide précieuse, Mr MORCELI.H chef de laboratoire pour sa grande culture scientifique, Mr CHIBANI MOHAMED géologue de la mine, Mr M. Abdelmalek chimiste et Mr M. KEDDADI, Mr ZANDRI. A Géologue au laboratoire d'Amesmessas et enfin Mr Si MOUSTAPHA chimiste au niveau de ORGM, Boumerdes.

Nos remerciements vont également à Mr MAKHLOUF notre promoteur.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et évaluer notre travail.

Nous ne pouvons pas achever ce mémoire sans remercier tous les enseignants du département des sciences géologiques de l'UMMTO.

Et enfin un grand merci à nos familles qui nous ont toujours soutenus et encouragés et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

## Dédicace

*Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont été un soutien indéfectible et une source d'inspiration tout au long de cette aventure académique.*

*À mes parents,*

*Pour leur amour inébranlable, leur soutien constant et les nombreux sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation. Votre confiance en mes capacités et votre sagesse m'ont guidé à chaque étape de ce parcours.*

*À mes sœurs et frères,*

*Pour leur encouragement, leur compréhension et leur présence réconfortante. Votre soutien inconditionnel a été une source précieuse de motivation et de réconfort.*

*À mes amis,*

*Pour leur solidarité, leur patience et leur amitié sincère. Vos conseils avisés et votre présence ont illuminé mon chemin lors des moments de doute et de difficulté.*

*À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous exprime ma plus profonde gratitude.*

*Votre contribution a été inestimable et restera gravée dans ma Mémoire.*

*.. Aghiles*

## Dédicace

*Je dédie cet humble travail, marquant une étape importante de mon parcours d'études, à ma mère qui a toujours cru en moi, mes sœurs Zineb et Amira, mon frère Oussama et mon beau-frère Belkacem, qui m'ont toujours encouragé à aller de l'avant.*

*Je ne manque pas de l'offrir à mes amis et mes proches qui m'ont soutenu pour arriver à ce stade.*

*Je le dédie à mes encadrants et les remercie pour leur effort et accompagnement.*

*Je le dédie également à mon grand-père « Jeddi Saïd » qui repose là-haut en espérant qu'il est fier de son petit-fils.*

*Je vous fais savoir à travers ma dédicace que vous avez été le pilier de mes ambitions par votre soutien et votre amour.*

*...Farès*

# *Table de matière*

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Géologie de la région d'étude .....	4
I.1 Introduction .....	4
2. Géologie régionale .....	4
2.1 Géologie du Hoggar.....	4
2.2 Les minéralisations du Hoggar .....	7
3. Géologie des régions d'étude .....	7
3.1 Mole In Ouzzal .....	7
3.2 Géologie d'Amesmesssa .....	8
3.2.1 La lithologie des districts de la région d'Amesmesssa.....	10
3.2.2 Caractéristiques de gisement d'Amesmesssa .....	12
3.2.3 Morphologie du gisement d'Amesmesssa.....	12
4. Géologie des indices étudiés .....	14
4.1 Régions d'Abalessa, Silet (Indice Tin Erit) & (Indice d'In Tedeïni).....	15
4.1.1 Situations géographiques .....	15
4.1.2 Géologie des indices de Tin Erit & In Tedeïni.....	16
4.2 Région de Tamanrasset, (Indice d'In Allarene) .....	20
4.2.1 Situation géographique .....	20
4.2.2 Géologie & minéralisations associées à l'indice d'In allarene .....	20
Chapitre II : Présentation de la mine d'Amesmesssa.....	23
II.1 Introduction .....	23
II.2 Entreprise d'exploitation des mines d'or ENOR.....	23
3. Exploration et Exploitation des gisements d'Or .....	24
3.1 Méthode d'exploitation des micro-entreprises .....	24
3.2 Méthode d'Exploration des gisements d'Or d'Amesmesssa .....	25

3.2.1	Reconnaissance géophysique.....	25
3.2.2	Travaux géochimiques .....	25
3.2.3	Réalisation de tranchées.....	26
3.2.4	Sondages (forages).....	26
3.3	Travaux d'exploitation des gisements d'Or d'Amesmesssa. ....	27
3.3.1	Mode d'ouverture .....	27
3.3.2	Tir à l'explosif.....	28
3.3.3	Abattage à l'explosif.....	30
3.3.4	Chargement et transport.....	30
Chapitre III : Procédé de traitement du minerai .....		33
III.1	Introduction .....	33
2.	Description du procédé de valorisation .....	33
2.1	La réception du minerai.....	33
2.1	Préparation mécanique du minerai .....	34
2.1.1	Le concassage .....	34
2.1.2	Le broyage .....	35
2.1.3	Hydrocyclone.....	36
2.2	Traitement des minerais.....	36
2.2.1	Pour le minerai high grade.....	36
2.2.2	Pour le minerai low grade.....	39
2.3	La raffinerie .....	42
Chapitre IV : Protocole opératoire et analyses .....		49
IV.1	Introduction .....	49
2.	Echantillonnage.....	49
3.	Laboratoire de la mine d'or d'Amesmesssa.....	50
3.1	La préparation mécanique .....	50
3.1.1	Le concassage .....	51

3.1.2	La division .....	52
3.1.3	Le broyage .....	52
3.1.4	Le quartage .....	53
4.	Initiation au tests réalisés au laboratoire .....	53
4.1	Test de lixiviation .....	56
4.1.1	Matériel utilisé .....	56
4.1.2	Mode opératoire .....	57
4.2	Test d'adsorption dynamique avec charbon actif .....	58
4.3	Test de décantation .....	59
4.3.1	Décantation naturelle .....	59
4.3.2	Décantation forcée .....	60
4.4	Test de densité.....	60
4.5	Docimasia plumbeuse (Fire Assay) .....	61
4.5.1	Fusion : .....	61
4.5.2	Coupeellation :.....	62
4.6	Digestion acide .....	62
5.	Détermination de la teneur des minerais .....	63
IV.6	Conclusion.....	66
Chapitre V : Résultats et discussions.....		68
2.	Processus de traitement à petite échelle .....	68
2.1	La lixiviation.....	68
2.1.1	Identification des échantillons .....	69
2.1.2	Interprétation des résultats .....	69
2.2	Test d'absorption .....	72
2.3	Teneur de charbon actif après adsorption .....	75
2.4	Résultats de test de densité : .....	75
3.	Résultats de test de décantation :.....	76

4. Etude comparative :.....	78
5. Conclusion.....	79
Conclusion générale .....	81

## *Table des figures*

<b>Figure I.1.</b> Les subdivisions du massif du Hoggar (modifiée à partir de Caby et al. 1981 et Boulrier, 1991).....	6
<b>Figure I.2.</b> Localisation géographique du gisement d'Amesmesssa.....	9
<b>Figure I.3.</b> Carte géologique du gisement d'Amesmesssa (ORGM,1993).....	10
<b>Figure I.4.</b> Structure du filon de quartz (Semiani, 1995 ; Ferkous et Leblanc, 1995).....	11
<b>Figure I.5.</b> Coupe de corps minéralisé à Amesmesssa, (Semiani, 1995 ; Ferkous et Leblanc, 1995). .....	12
<b>Figure I.6.</b> Vue longitudinale du modèle géologique pour les zones filoniennes 9 et 8 (ENOR.2005, Inédite). .....	14
<b>Figure I.7.</b> Ensemble des terranes occidentaux (Semiani et al., 2004). .....	14
<b>Figure I.8.</b> Localisations géographiques des régions étudiées. ....	15
<b>Figure I.9.</b> Carte géologique du complexe granitique de Tin-Erit (Boissonnas, 1973 ; Azzouni-Sekkal, 1989, Azzouni-Sekkal & Bonin ;1998) .....	17
<b>Figure I.10.</b> Image Google Earth du site Tin Erit.....	18
<b>Figure I.11.</b> Position de l'indice Tin Erit (Extrait de la carte minute géologique de Tin Felki au 1/200 000) (Bellal Mohamed et al...). .....	18
<b>Figure I.12.</b> Image Google Earth du site In Tedeïni.....	19
<b>Figure I.13.</b> Position de Indice in Tedeïni (Extrait de la carte minute géologique d'In Tedeïni au 1/200 000).....	19
<b>Figure I.14.</b> Carte géologique de la région qui montre la position de l'indice d'In allarene (d'après des rapports internes de la SONAREM) et (Black et al., 1994). .....	20
<b>Figure I.15.</b> Image Google Eart du site d'In Allarene.....	21

<b>Figure I.16.</b> Position locale d'indice d'In Allarene (Extrait de la carte minute géologique de Tirek au 1/200 000) (M. H. Benyoucef, M. M. Bouabdellah, et M. M. Kaci 1997).....	21
<b>Figure II.1.</b> Vue satellite de la zone Tirek-Amesmesssa (M. Benhamouda, M. Rhouma, M. Allal, (ORGM), 1972). .....	25
<b>Figure II.2.</b> Echantillon obtenu après sondage. ....	27
<b>Figure II.3.</b> Mine d'Or exploitée à ciel ouvert Fillon 8 (Exploitation en arrêt). ....	27
<b>Figure II.4.</b> Coupe d'un plan de tir avec distribution des charges. ....	29
<b>Figure II.5.</b> Remplissage des trous. ....	29
<b>Figure II.6.</b> Schéma de connections. ....	30
<b>Figure II.7.</b> Chargement du minerai abattu. ....	31
<b>Figure II.8.</b> Schéma des travaux d'Exploration & d'Exploitation de la mine d'Amesmesssa. .	31
<b>Figure III.1.</b> Zone de stockage de minerai. ....	34
<b>Figure III.2.</b> Unité de concassage. ....	35
<b>Figure III.3.</b> Broyeur à boulets.....	35
<b>Figure III.4.</b> Epaisseur. ....	37
<b>Figure III.5.</b> Carbone in Leach (CIL). ....	38
<b>Figure III.6.</b> Schéma d'une cuve de lixiviation. ....	39
<b>Figure III.7.</b> Lixiviation en tas (Heap Leach). ....	40
<b>Figure III.8.</b> Vue générale haut des deux Heap Leach d'Amesmesssa. ....	40
<b>Figure III.9.</b> Système d'arrosage.....	41
<b>Figure III.10.</b> Système de récupérations du lixiviat.....	41
<b>Figure III.11.</b> Colonnes de charbon. ....	42
<b>Figure III.12.</b> Colonne d'élution. ....	43
<b>Figure III.13.</b> Électrolyseur.....	44
<b>Figure III.14.</b> Fusion. ....	45
<b>Figure III.15.</b> Versement de lingot. ....	45
<b>Figure III.16.</b> Lingot d'Or.....	46
<b>Figure III.17.</b> Schéma récapitulatif de traitement et récupération de Lingot d'Or par la lixiviation en cuve .....	46
<b>Figure III.18.</b> Diagramme de l'usine de traitement d'Amesmesssa. ....	47
<b>Figure IV.1.</b> Prélèvements des échantillons, a) – Dépôt d'un échantillon hôte, b) - Filon N°08. ....	50
<b>Figure IV.2.</b> Partie mécanique de laboratoire. ....	51
<b>Figure IV.3.</b> Concasseur a mâchoire. <b>Figure IV.4.</b> Minerai concassé (<4mm).....	51

<b>Figure IV.5.</b> Diviseur a riffle. ....	52
<b>Figure IV.6.</b> Homogénéisation du minerai concassé par le diviseur à riffle.....	52
<b>Figure IV.7.</b> Pulvérisateur à disque LM2. ....	53
<b>Figure IV. 8.</b> Processus de Préparation Mécanique et de Quartage des Minerais. ....	55
<b>Figure IV.9.</b> Dispositif de rotation des « Bottel roll ». ....	57
<b>Figure IV.10.</b> Echantillon après filtration. ....	58
<b>Figure IV.11.</b> Charbon récupéré après le test. <b>Figure IV.12.</b> Charbon dans le bain marie. .	59
<b>Figure IV.13.</b> 100g de minerai.....	60
<b>Figure IV.14.</b> Pulpe + Flocculant. ....	60
<b>Figure IV.15.</b> Solide pétrit après séchage. ....	61
<b>Figure IV.16.</b> Tubes contenant les perles et HNO <sub>3</sub> dans un Bain-marie. ....	62
<b>Figure IV.17.</b> Les solutions de HCL + HNO <sub>3</sub> .....	63
<b>Principe de AAS</b> .....	63
<b>Figure IV.18.</b> Principe de la spectrométrie d'absorption atomique (Cours biochimie clinique A4-DV-ISV El Khroub- 2021/2022). ....	64
<b>Figure IV.19.</b> Spectromètre d'absorption atomique du laboratoire d'Amesmesssa .....	64
<b>Figure IV.20.</b> Schéma récapitulatif des étapes du protocole d'analyse. ....	65
<b>Figure V.1.</b> Graphe montrant le taux de récupération des échantillons 0801 & 0802.....	70
<b>Figure V.2.</b> Graphe montrant le taux de récupération de l'échantillon 0803. ....	70
<b>Figure V.3.</b> Évolution du taux de récupération des échantillons 2431 et 2422. ....	71
<b>Figure V.4.</b> Évolution du taux de récupération d'échantillon 2427.....	71
<b>Figure V.5.</b> Graphe de taux de récupération de l'échantillon 2409 .....	72
<b>Figure V.6.</b> Graphe de taux d'évolution de d'adsorption de l'échantillon 0803 en fonction de temps de séjours. ....	72
<b>Figure V.7.</b> Taux d'évolutions du taux d'adsorption d'ECH 081 et ECH 082 en fonction du temps de séjours. ....	73
<b>Figure V.8.</b> Taux d'évolutions du taux d'adsorption d'ECH 2422 et ECH 2431 en fonction du temps de séjours. ....	73
<b>Figure V.9.</b> Évolutions du taux d'adsorption ECH 2427 en fonction du temps de séjours. ....	74
<b>Figure V.10.</b> Évolutions du taux d'absorption d'ECH 2409 et en fonction du temps de séjours. ....	74

## *Liste des tableaux*

Tableau IV.1. : Exemple de résultats d'analyse effectué par AAS.....	65
Tableau V.1. Résultats des teneurs du charbon actif après adsorption des échantillon d'Amesmesssa. ....	75
Tableau V.2. Résultats des teneurs du charbon actif après adsorption des échantillons des indices.....	75
Tableau V.3. Résultats du test de densité – Amesmesssa .....	75
Tableau V.4. Résultats du test de densité – Indices.....	76
Tableau V.5. Résultats des tests de décantation naturelle du Fillon 08.....	76
Tableau V.6. Résultats des tests de décantation forcée du Fillon 08.....	76
Tableau V.7. Résultats des tests de décantation naturelles des régions In Allarene & Tin Erit. ....	77
Tableau V.8. Résultats des tests de décantation forcée des régions In Allarene & Tin Erit. ....	77
Tableau V.9. Résultats des tests de décantations naturelle de la région In Tedeïni.....	77
Tableau V.10. Résultats des tests de Décantions forcée de la région d'In Tedeïni.....	78

## *Liste des abréviations*

<i>Symboles &amp; Abréviations</i>	<i>Significations</i>
<i>ENOR</i>	<i>Entreprise d'exploitation des mines d'Or</i>
<i>SONAREM</i>	<i>Société nationale de recherches et d'exploitation minière</i>
<i>ORGM</i>	<i>Office National de la Recherche Géologique et Minière</i>
<i>Sonatrach</i>	<i>Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures</i>
<i>GMA</i>	<i>Gold mine Algeria</i>
<i>FMI</i>	<i>Fond Monétaire Internationale</i>
<i>Mm</i>	<i>Millimètre</i>
$\mu$	<i>Micromètre</i>
<i>UTM</i>	<i>Transverse Universelle de Mercator</i>
<i>NS</i>	<i>Nord Sud</i>
<i>Ma</i>	<i>Million d'années</i>
<i>NE-SW</i>	<i>Nord Est –Sud West</i>
<i>E-W</i>	<i>Est – West</i>
<i>N-S</i>	<i>Nord-Sud</i>
<i>SAA</i>	<i>Spectrométrie d'adsorption atomique</i>
<i>Mgo</i>	<i>Oxyde de Magnésium</i>
<i>HNO3</i>	<i>Acide nitrique</i>

<i>HCL</i>	<i>Acide chlorhydrique</i>
<i>CIL</i>	<i>Charbon en lixiviat</i>
<i>CN-</i>	<i>Cyanure</i>
<i>HCN</i>	<i>Acide cyanhydrique</i>
<i>SiO2</i>	<i>Silice</i>
<i>Au</i>	<i>Or</i>
<i>CIP</i>	<i>Charbon en pulpe</i>
<i>Ppm</i>	<i>Partie par million</i>
<i>g/t</i>	<i>Gramme / Tonne</i>
<i>AgNO3</i>	<i>Nitrate d'Argent</i>
<i>PH</i>	<i>Potentiel d'hydrogène</i>
<i>Al2O3</i>	<i>Alumine</i>
<i>Ag</i>	<i>Argent</i>
<i>Pb</i>	<i>Plomb</i>
<i>C°</i>	<i>Celsius</i>
<i>T</i>	<i>Tonne</i>

## **Résumé**

Actuellement, l'usine d'Amesmesssa récolte des minerais de différents filons pour extraire l'or en mettant en œuvre un procédé de traitement adéquat (Cyanuration), Ensuite ce précieux métal est récupéré à l'aide du charbon actif par adsorption, puis il est enrichi pour produire un lingot d'Or. Récemment l'entreprise ENOR reçoit également des dépôts de minerais provenant des micro-entreprises qui exploitent de manière 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 utilisé par la mine consiste à dissoudre l'or pour le récupérer par charbon actif. Dans le cadre de notre étude, avait consisté à étudier les minerais récupérés de différentes microentreprises et ceux de la mine d'Amesmesssa, après échantillonnage et la réalisation d'une simulation similaire à celle de l'usine de traitement à petite échelle, il ressort que les minerais récupérés des régions Tin-Zaouatine, Silet, In-Guezzam, sont des minerais pauvres en teneur en Or par rapport à ceux d'Amesmesssa vu leurs teneurs initiales, cela intègre la différence dans les méthodes de traitement en fonction de la teneur du minerai, ceux à faible teneur en Or sont destinés à un traitement en tas (Heap Leach), les minerais à haute teneur en or sont traités par cyanuration (Leach Tank).

## **Abstract**

Currently, the Amesmesssa plant harvests ores from different veins to extract gold by implementing an appropriate treatment process (Cyanidation), then this precious metal is recovered using activated carbon by adsorption, then it is enriched to produce a gold ingot. Recently, the ENOR company also receives deposits of ores from micro-enterprises that exploit in an artisanal way gold indices from several sites at the Hoggar level for the recovery and enrichment of the gold found on its sites. The process used by the mine consists of dissolving the gold to recover it by activated carbon. As part of our study, it consisted of studying the ores recovered from different micro-enterprises and those from the Amesmesssa mine, after sampling and carrying out a simulation similar to that of the small-scale processing plant, it appears that the ores recovered from the Tin-Zaouatine, Silet, In-Guezzam regions, are ores with low gold content compared to those from Amesmesssa given their initial contents, this includes the difference in processing methods depending on the content of the ore, those with low gold content are intended for heap processing (Heap Leach), ores with high gold content are treated by cyanidation (Leach Tank).

---

***Introduction  
générale***

---

## Introduction générale

L'or, ce métal précieux aux propriétés exceptionnelles, a fasciné les civilisations depuis la haute antiquité. Utilisé pour la création de bijoux, d'objets d'apparat et comme symbole de richesse, l'or possède des caractéristiques physico-chimiques uniques. Il est un bon conducteur, ductile, malléable et l'un des métaux les moins réactifs. Sa densité élevée, à 19,32 g/cm<sup>3</sup>, et ses points de fusion (1064°C) et d'ébullition (3081°C) en font un matériau hors du commun. [1]

L'Algérie est le pays africain qui détient la plus grande quantité d'or, avec une réserve officielle de 174 tonnes métriques. Ce pays d'Afrique du Nord est suivi de près par l'Afrique du Sud, dont les réserves officielles d'or atteignent 125 tonnes métriques. Les gisements aurifères d'Amesmessa et de Tirek sont parmi les plus importants en Algérie.

L'exploitation aurifère artisanale a commencé à être régularisée en Algérie il y a environ deux ans (02). Plus précisément, cent trois (103) micro-entreprises impliquées dans l'exploitation aurifère à petite échelle ont bénéficié de cette régularisation.

Ces micro-entreprises extraient des minéraux aurifères de ces indices. Les minerais sont transportés à la mine d'Amesmessa (appartenant à l'ENOR) pour l'enrichissement et l'extraction. Cependant, des études limitées ont caractérisé chaque site et déterminé leur minéralogie et leur comportement lors du traitement. Des questions subsistent quant à la rentabilité de ces indices par rapport aux gisements plus importants. Pour répondre à ces questions, une étude comparera la composition minéralogique et chimique des minerais extraits artisanalement à ceux du gisement d'Amesmessa. De plus, le comportement du minerai lors de la lixiviation au cyanure et de l'adsorption sur charbon actif sera étudié à l'aide d'échantillons provenant de ces indices et des filons 8 du gisement d'Amesmessa.

Pour ce faire, nous avons jugé nécessaire de présenter d'abord dans un premier chapitre une étude bibliographique, puis d'aborder la géologie des sites étudiés : le gisement d'Amesmessa et les indices In allarene, In Tedeïni, Tin Erit.

Le second chapitre présentera brièvement l'organisme de l'ENOR et décrira le mode d'exploitation de l'or pour le gisement d'Amesmessa et les indices étudiés.

Le troisième chapitre portera sur Amesmessa, en exposant les deux processus établis à l'usine de la mine.

Le quatrième chapitre englobera tout le protocole opératoire des tests et des analyses que nous avons effectués au niveau de la mine d'Amesmessa, ainsi que d'autres analyses de caractérisation.

Enfin, le cinquième chapitre présentera les résultats des opérations et les discussions, ainsi que la comparaison entre le minerai d'Amesmessa et celui des autres sites, pour objectif de déterminer la méthode de traitement de chaque minerai en fonction des teneurs obtenus durant la simulation réaliser au niveau de laboratoire d'analyse d'Amesmessa.

La conclusion générale synthétisera tous les résultats obtenus, qu'ils soient bibliographiques ou expérimentaux.

---

***Chapitre I :***  
***Géologie de la***  
***région d'étude***

---

## **Chapitre I : Géologie de la région d'étude**

### **I.1 Introduction**

En Afrique saharo-sahélienne, certains pays possèdent d'importantes ressources minérales, notamment de l'or. L'Ahaggar (ou Hoggar), situé dans le sud de l'Algérie, est l'un de ces sites riches en métaux nobles, terres rares et uranium, bien que ces richesses n'aient pas encore été exploitées.

Les deux principaux gisements aurifères en Algérie sont Amesmessa et Tirek. La découverte du gisement d'Amesmessa remonte à 1978, et il est considéré comme l'un des plus grands de la région du Hoggar, en Algérie. Actuellement, l'entreprise d'exploitation de mines d'or (ENOR) exploite le gisement d'Amesmessa.

La région du Hoggar présente un climat désertique, chaud et sec en été, mais plus clément en hiver. La pluviométrie y est très faible, rarement supérieure à 10 mm par an.

Dans ce chapitre, nous aborderons la géologie régionale du Hoggar, notamment celle des indices mis à l'exploitation par les microsociétés et d'Amesmessa, et les minéralisations associées à ces régions

## **2. Géologie régionale**

### **2.1 Géologie du Hoggar**

Le Hoggar algérien couvre une superficie d'environ 550 000 km<sup>2</sup> et s'étend sur près de 1 000 km d'est en ouest, ainsi que sur 700 km du nord au sud. Il constitue le principal bouclier touareg, prolongé au sud-est par le massif des Iforas au Mali et à l'est par le massif de l'Aïr au Niger. [3]

Il peut être vu comme une série de domaines juvéniles panafricains « 900-550 Ma », alternant avec des terranes constitués de roches de différentes époques, allant de l'archéen « avant 2500 Ma » au Néo protérozoïque, qui ont été repris et transformés par l'orogénèse éburnéenne « 2000 Ma », et partiellement remobilisées lors de l'orogénèse panafricaine (Black et al., 1994). [2]

Perçu comme un amalgame de terrains mobile allochtones appelés « Terranes » vingt-trois « 23 » sont identifiées « Black et Al, 1994 » puis vingt-cinq « 25 » terranes « Liégeois,

## **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE**

2019 », séparés soit par des zones de méga-cisaillement subverticales, soit par des fronts de chevauchement (deux grandes collisions Est-Ouest, entre le craton Ouest Africain et le craton Est Saharien). [3]

Sa formation s'est réalisée en deux étapes distinctes au cours de l'orogénèse panafricaine, d'abord entre 750 et 660 Ma, puis entre 650 et 550 Ma. La collision avec le Craton Est Saharien, survenue dès 700 Ma, a été précoce, marquant le commencement d'un métamorphisme régional intense et d'une délamination du manteau lithosphérique continental. La collision suivante avec le Craton Ouest Africain, autour de 600 Ma, a entraîné le déplacement et la fragmentation des terranes le long de vastes corridors mylonitiques sub-méridiens. Cette collision a provoqué une migration générale des terranes le long des grandes zones de cisaillement nord-sud, accompagnée d'un magmatisme post-collisionnel abondant, de type calcoalcalin et potassique, ainsi que d'un métamorphisme régional à haute température. [3]

Les frontières de ces terranes sont fréquemment marquées par la présence de complexes ophiolitiques et de dépôts de molasses, ou encore par l'apparition de granitoïdes alcalins à peralcalins, parfois associés à des roches mafiques-ultramafiques. [3]

Trois grands domaines sont définis de l'Est vers l'Ouest :

Le Hoggar Oriental ;

Le Hoggar Central « Polycyclique » ;

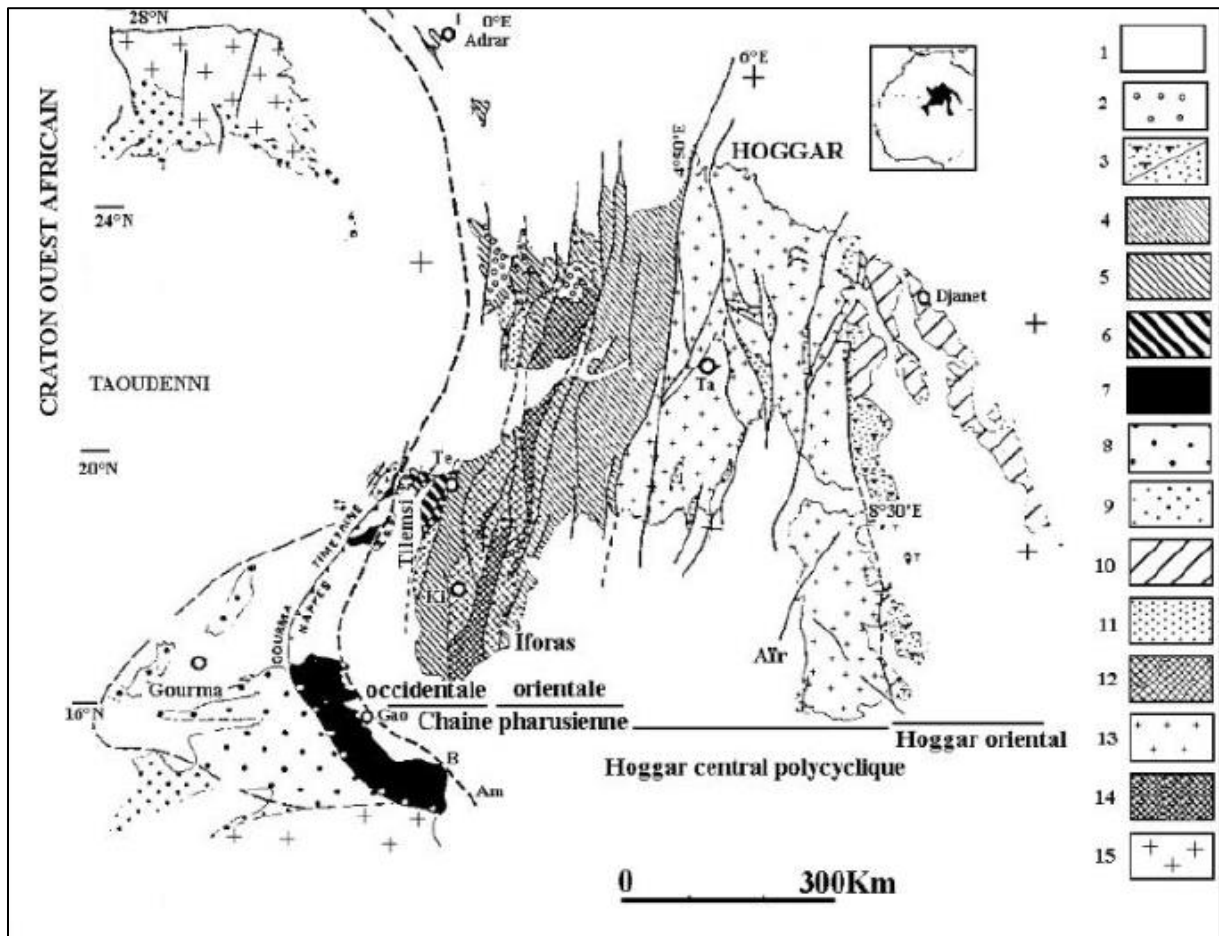
Le Hoggar Occidental « Chaîne Pharusienne ».

Le Hoggar oriental, bien que moins étudié présente deux domaines structuraux districts : le bloc Taffassasset-Djanet et la chaîne linéaire de Tiririne.

Quant au Hoggar central, il est qualifié de polycyclique et est dominé par les ensembles gneissiques du Paléoproterozoïque inférieur, notamment les séries de l'Arechchoum et d'Aleksod. Ces formations sont recouvertes en discordance par les séries volcano-sédimentaires pharusiennes, telles que Arefsa et Serouenout.

Enfin, le Hoggar occidental abrite la chaîne dite Pharusienne, composée de deux rameaux (occidental et oriental) séparés par le môle granitique d'In Ouzzal, datant de l'âge archéen. Cette région est constituée de deux séries volcano-sédimentaires épaisses d'âge Néoproterozoïque, le Pharusien inférieur et le Pharusien supérieur, qui ont été intrudées par un plutonisme orogénique très développé.

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE



**Figure I.1.** Les subdivisions du massif du Hoggar (modifiée à partir de Caby et al. 1981 et Boulier, 1991).[6]

1- Couverture paléozoïque et mésozoïque. 2- « Série pourprée » molassique ou Nigritien. 3- Ceintures schisteuses volcano-détritiques du Protérozoïque supérieur terminal dans le Hoggar central et oriental avec les groupes de Tiririne et du « Proche-Ténéré ». 4- Greywackes et roches magmatiques de la chaîne pharusienne orientale. 5- Greywackes et roches et magmatiques de la chaîne pharusienne occidentale. 6- Greywackes et roches magmatiques de l'arc insulaire de Tilemsi. 7- Nappes de Gourma et de Timertine. 8- Dépôts de bassin de l'aulacogène de Gourma. 9- Sédiments de plate-forme du Protérozoïque supérieur. 10- Roches indifférenciées du Hoggar oriental (métamorphisme d'environ 730 Ma). 11- Gneiss affectés par un métamorphisme tardif HT-BP. 12- Gneiss indifférenciés fortement réactivés au Panafricain. 13- Gneiss pré panafricains réactivés. 14- Granulites éburnéennes faiblement réactivées dans la chaîne pharusienne. 15- Dorsales Reguibat et Leo.

# **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE**

## **2.2 Les minéralisations du Hoggar**

### **A. Minéralisation aurifère**

Le Hoggar est constitué de plusieurs terranes séparées par des méga-décrochements lithosphériques sub-méridiens ductiles (shearzones) qui ont commencé à jouer à la fin de l'orogénèse Panafricaine (650-611Ma), les principaux gisements aurifères du Hoggar sont localisés dans ou à proximité de ces zones de cisaillement dont le principal rôle a été la mise en place de roches magmatiques divers qui à leur tour ont favorisé la circulation de fluides. [4]

Il s'agit de filons lenticulaires de quartz à or natif, pyrite, sphalérite, galène et dans une moindre proportion chalcoppyrite, cuivre gris, minéraux de bismuth ; où les seules altérations hydrothermales consistent en une bérésitisation (calcite, séricite, chlorite, pyrite). [4]

Mis à part quelques exceptions, l'or natif s est déposé en une seule phase et se présente soit libre dans la gangue, soit soulignant les microfractures des sulfures, voire même soulignant les stylolites. [4]

La distribution de l'or est extrêmement irrégulière, néanmoins dans tous les cas, les teneurs en or diminuent vers la profondeur et l'essentiel des réserves est présent dans la partie supérieure des filons. Tous ces gisements et indices sont encaissés dans des terrains ayant subi un métamorphisme de type "greenschist facies". Ils diffèrent des types "shear zone" et "archean epizonal lode-gold deposits". [4]

L'âge du terrain encaissant des filons a joué un grand rôle dans la richesse ou la pauvreté en or de ces derniers. En effet, les gisements les plus riches sont encaissés dans les terrains d'âge archéen (Tirek, Amesmessa); les moyennement riches dans des terrains d'âge protérozoïque supérieur (Tiririne, ...), alors que les plus pauvres sont encaissés dans des terrains paléozoïques et plus récents. En outre, les méga-shearzones structurant le Hoggar contrôlent aussi d'autres minéralisations telles Sn, W, Nb, Ta, Be, U. [4]

## **3. Géologie des régions d'étude**

### **3.1 Mole In Ouzzal**

Le môle In-Ouzzal, constitué de matériaux essentiellement d'âge Archéen et Protérozoïque inférieur est un compartiment en forme de triangle, de 450 km de long, large dans sa partie septentrionale d'environ 80km. Il est pris entre les formations des deux rameaux pharusiens du Hoggar occidental et s'effiloche vers le sud, relayé par l'Adrar des Iforas, son équivalent plus méridional. Il est limité à l'Est et à l'Ouest par des zones de cisaillement dont

## **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE**

les derniers jeux, respectivement dextre et sénestre ont été acquis vers la fin de l'événement tectono-métamorphique panafricain. Ces jeux sont compatibles avec la remontée du môle In-Ouzzal vers le Nord au cours de cette période (Caby, 1970 ; Attoum, 1983 ; Haddoum, 1993).[8]

Du point de vue lithologique, le môle In-Ouzzal offre une grande variété de roches, pouvant être regroupées en deux ensembles bien distincts. Ce sont :

- **Les orthogneiss et les granites charnockitiques**

Ils sont très diversifiés sur le plan de leur composition pétrographique et de leur position structurale. Ils constituent l'essentiel des formations affleurantes. La chronologie absolue (Peucat et al., 1991 ; Haddoum et al., 1994) de ces roches, combinée à des données structurales et métamorphiques concernant l'événement tectono-métamorphique éburnéen (Ouzegane, 1987 ; Bertrand et al., 1992) a conduit Haddoum et al., (1994) à distinguer trois différentes familles : [8]

a- Les orthogneiss Granulitiques  $\gamma_0$  ;

b- Les orthogneiss Granulitique  $\gamma_1$  ;

c- Les orthogneiss Charnockitiques  $\gamma_2$

### **3.2 Géologie d'Amesmesssa**

La zone d'Amesmesssa est située à environ 500 km au sud-ouest de Tamanrasset et à environ 150 km au nord de la frontière malienne (**Figure I.2**).

Appartenant à la partie méridionale de terrane de In Ouzzal, Amesmesssa longe la bordure de la zone de cisaillement Est Ouzzalienne auxquelles sont associés des granites panafricains et des minéralisations aurifères.[5]

La zone d'étude est composée de marbres à olivine-spinelle avec des textures réactionnelles visibles à l'œil nu, de granulites Al-Mg à grenat-quartz-sillimanite-orthopyroxène-saphirine-cordiérite, et de granulites Al-Fe à grenat-sillimanite-quartz-gédrite-orthopyroxène-cordiérite. On y trouve également des formations ferrifères litées contenant un assemblage de grenat, quartz, orthopyroxène, clinopyroxène, magnétite, ilménite, et parfois de la magnétite ex-solvant de l'ilménite. [5]

Les roches granulitiques sont intrudées par des roches carbonatées syénitiques ultramafiques.

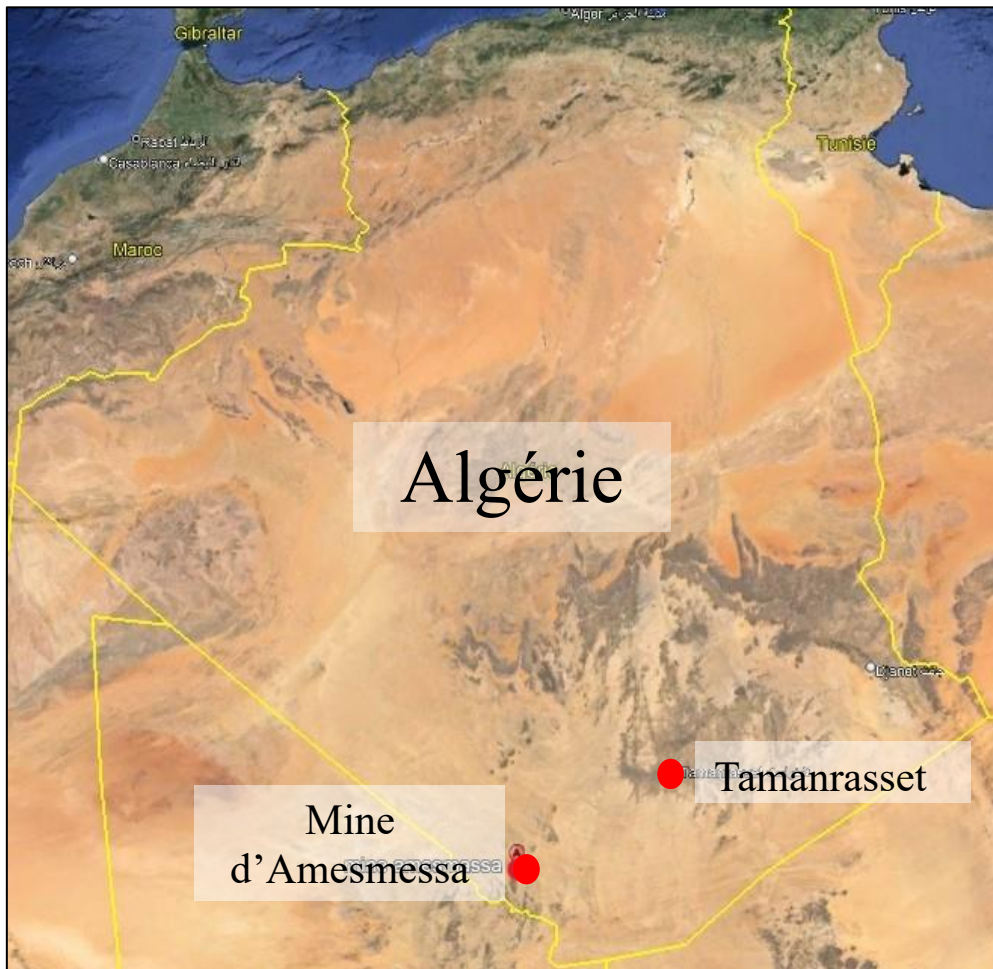
## **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE**

La zone a subi trois cycles orogéniques antépaléozoïques : Ouzzalien, Éburnéen et Panafricain.

Le bloc Archéen est caractérisé par l'événement tectono-métamorphique Eburnéen (2000 Ma).

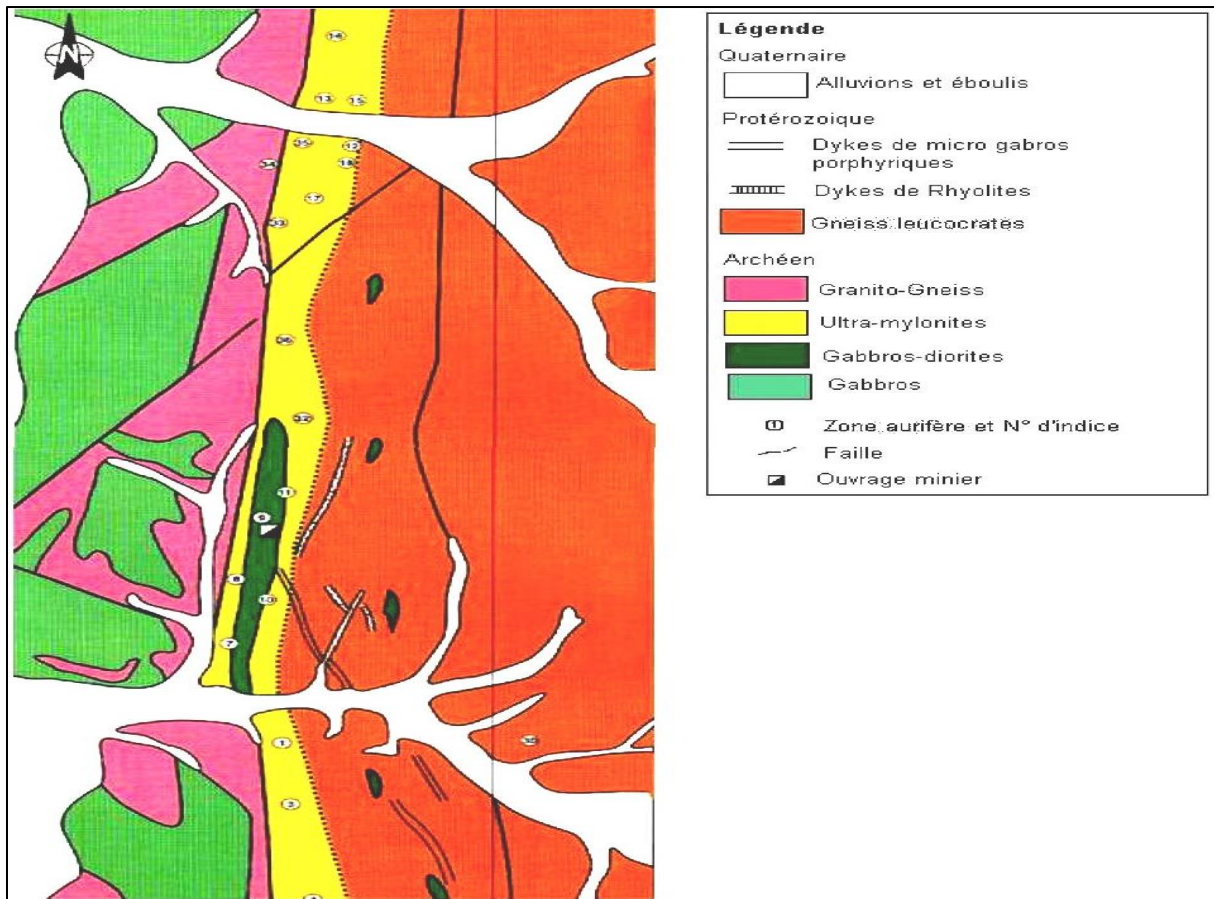
Le bloc protérozoïque est structuré au panafricain (600 Ma).

En général, les grandes zones de cisaillement s'accompagnent de couloirs de mylonites présentant une foliation d'allongements caractéristiques. Cette étendue fait partie de la zone de cisaillement qui s'est structurée lors des événements éburnéen et panafricain. Elle est relativement plate et de faible altitude (550 m). [5]



**Figure I.2.** Localisation géographique du gisement d'Amesmessa.

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE



**Figure I.3.** Carte géologique du gisement d'Amesmesssa (ORGM,1993).[18]

### 3.2.1 La lithologie des districts de la région d'Amesmesssa

Dans la zone du gisement d'Amesmesssa, à l'ouest, on trouve des roches du môle In-Ouzzal, datant de l'Archéen et remobilisées au Paléo-protérozoïque. Ces roches comprennent des méta-gabbros, des gabbros, des gabbro-diorites, des amphibolites et des pyroxénites (Figure I.3).[6]

Ces formations rocheuses ont subi une granitisation à différents degrés. Les granito-gneiss sont également largement présents. On observe également des intercalations de marbre contenant de l'olivine, du spinelle et du grenat, associées à des quartzites.[6]

Le gisement aurifère d'Amesmesssa présente un champ filonien comprenant de nombreux filons de quartz. Ces formations s'étendent sur une superficie de 30 km<sup>2</sup> dans une direction subméridienne.[6]

Les corps minéralisés exploitables sont constitués principalement de filons de quartz, soit seuls, soit associés à des salbandes aurifères.

Les filons de quartz et les zones minéralisées dans la région d'Amesmesssa :

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Filons de quartz : Les filons de quartz sont disposés généralement en échelon, parallèles, subparallèles ou en essaim.

Ils sont associés à des zones de roches d'altération hydrothermale ou metasomatites appelées bérissites. Ce sont des roches d'altération hydrothermale contenant du quartz, de la séricite et de la pyrite, avec de minces veinules de quartz.

### B. Zones minéralisées

Les zones minéralisées ont une direction prédominante subméridienne et un pendage sub-vertical de  $60^\circ$  à  $85^\circ$  vers l'ouest.

On trouve également des filons d'orientation NE-SW et E-W.

La longueur des filons et des zones filoniennes est discontinue et atteint quelques centaines de mètres (Figure I.5).

L'épaisseur des filons varie de 0,2 à 1 mètre, tandis que la puissance des zones d'altération peut atteindre 10 à 20 mètres (Figure I.4).

### C. Minéralisation

La minéralisation (sulfures et or natif) est plus abondante dans les rubans de quartz blanc.

Les sulfures présents, par ordre décroissant d'abondance, sont la pyrite, la galène et plus rarement la sphalérite et la chalcopyrite.

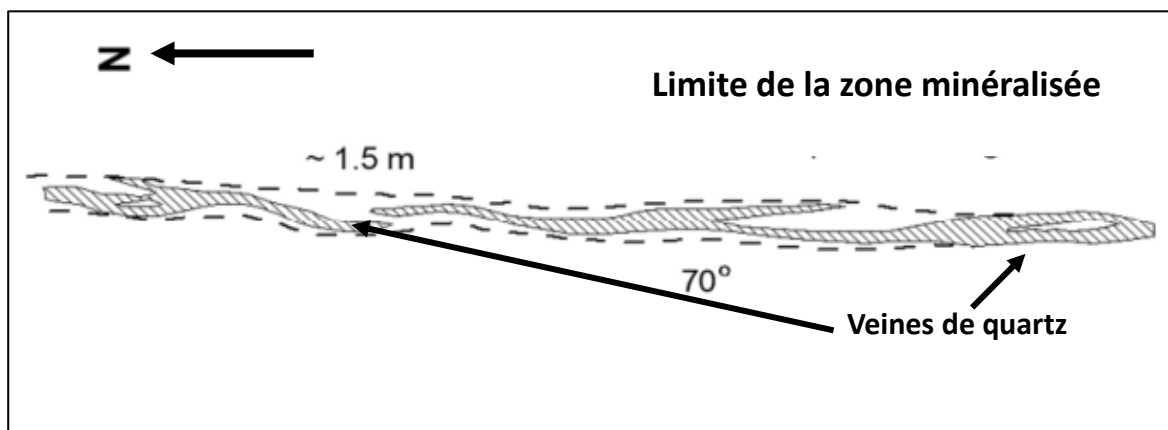
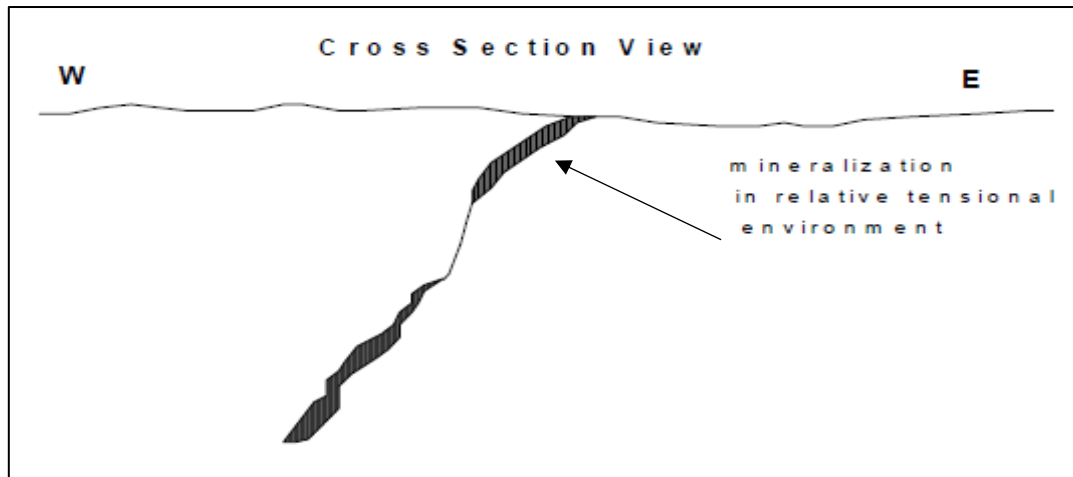


Figure I.4. Structure du filon de quartz (Semiani, 1995 ; Ferkous et Leblanc, 1995).[6]

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE



**Figure 1.5.** Coupe de corps minéralisé à Amesmessa, (Semiani, 1995 ; Ferkous et Leblanc, 1995). [6]

### 3.2.2 Caractéristiques de gisement d'Amesmessa

Au niveau du gisement d'Amesmessa, on a identifié 50 zones filoniennes et filons de quartz. Parmi celles-ci, 36 ont fait l'objet d'explorations plus ou moins détaillées, dont 10 (les plus importants) ont été prospectés par des travaux de forage. Seize de ces zones sont considérées comme ayant un intérêt économique. Les zones 8 et 9 ont été étudiées à une profondeur de -80 mètres grâce à une galerie directionnelle « ORGM, 1993 ».

Le gisement s'étend sur environ 13 km dans une direction nord-sud et est divisé en trois secteurs : Nord, Centre et Sud.

### 3.2.3 Morphologie du gisement d'Amesmessa

Le gisement d'Amesmessa présente une morphologie complexe, caractérisée par plusieurs types de formations minéralisées :

- Filons seuls : Des filons isolés ;
- Filons avec des salbandes aurifères : Des filons associés à des veines aurifères ;
- Séries de filons disposés en échelon « zones filoniennes » : Des ensembles de filons disposés en échelon ;
- Systèmes de petits filonnets « 2-3 cm » : De petits filons ;
- Roches altérées « bérissites » avec des veinules de quartz aurifère : Des roches altérées contenant de minces veinules de quartz aurifère.

La complexité du corps minéralisé est observée tant en direction qu'en pendage, avec des biseautements fréquents et des transitions progressives entre les zones silicifiées.

## ***CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE***

La longueur des filons et des zones filoniennes est discontinue, atteignant parfois plusieurs centaines de mètres. L'épaisseur des filons varie de 0,2 à 1 mètre, tandis que la puissance des zones d'altération peut atteindre 10 à 20 mètres par endroits. La répartition de l'or est extrêmement irrégulière, avec des teneurs dans les filons de quartz allant de 0,1 g/t à 202 g/t, en moyenne autour de 10-20 g/t. Dans les zones d'altération hydrothermale, les teneurs sont généralement plus faibles, entre 2 et 10 g/t.

Le gisement s'étend sur environ 13 km dans une direction nord-sud et est subdivisé en trois parties : Nord, Centrale et Sud. Les principales zones filoniennes de quartz se trouvent dans ces secteurs :

- Sud : Filons 1, 3 et 4 ;
- Centrale : Filons 7, 8, 9, 10 et 11 ;
- Nord : Filons 12, 13, 15, 16, 17, 18, 31, 32, 33, 34, 35 et 36.

La partie centrale est la plus intéressante et la mieux étudiée, abritant environ 75 % des réserves connues. Les zones filoniennes 8 et 9 (Figure I.6), ainsi que la zone 7, sont actuellement les principales zones d'exploitation minière.

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.

# CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

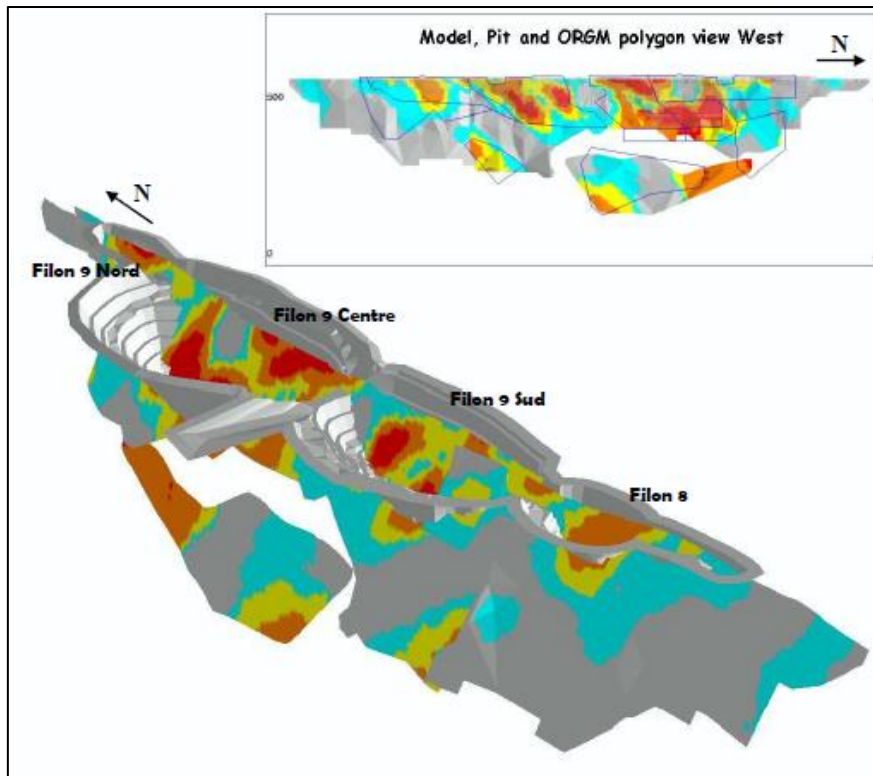


Figure I.6. Vue longitudinale du modèle géologique pour les zones filoniennes 9 et 8 (ENOR.2005, Inédite).[6]

## 4. Géologie des indices étudiés

Les terranes occidentaux sont divisés en deux grandes ceintures. À l'est, nous avons les roches volcaniques et les sédiments du Cryogénien dans la ceinture pharusienne orientale, comprenant les terranes d'Iskel (Is), (It) In Tedeïni et Tin Zaouatine. À l'ouest, dans la ceinture pharusienne occidentale, se trouvent les roches archéennes et paléoprotérozoïques des terranes de (Ti) Tirek, (Ou) In Ouzzal, (Ah) Ahnet, (Tas) Tassendjanet et (Ki) Kidal (Figure I.7).[3]

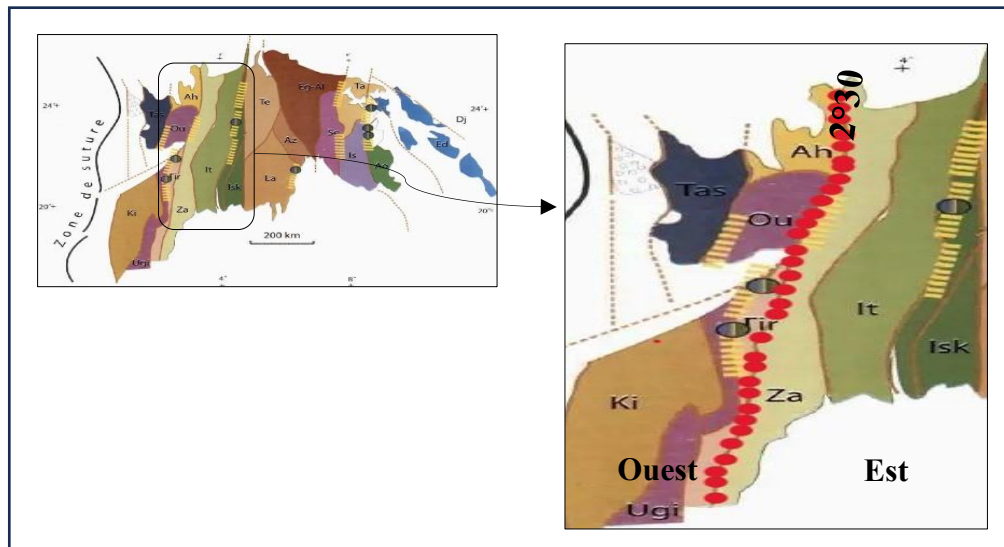


Figure II.7. Ensemble des terranes occidentaux (Semiani et al., 2004).[3]

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE



Figure I.8. Localisations géographiques des régions étudiées.

### 4.1 Régions d'Abalessa, Silet (Indice Tin Erit) & (Indice d'In Tedeïni)

#### 4.1.1 Situations géographiques

Le site de Tin Erit est situé au Hoggar occidental à environ 15 km du nord d'Abalessa, Daïra de la wilaya de Tamanrasset, limité à l'Est par Tin Zaouatine à environ 230 kilomètres, à l'Ouest In Salah à environ 350 kilomètres, et au Sud Tin Amzi, à environ 80 kilomètres.

- **Latitude** : Environ 23°33' Nord.
- **Longitude** : Environ 5°43' Est.

## **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE**

Tandis que l'indice d'In Tedeïni, sur le point administratif cette zone se trouve dans la wilaya d'In-Guezzam. Celle-ci est délimitée au Nord par la Wilaya d'In Salah, au Sud par la Wilaya d'In Guezzam, à l'Ouest par la Wilaya de Bordj Badji Mokhtar, et à l'Est par la Wilaya d'Illizi.

- Avec un climat sec et tempéré, des températures qui varient entre «  $-8\text{ C}^\circ$  » degrés et «  $35\text{ C}^\circ$  » Celsius.

### **4.1.2 Géologie des indices de Tin Erit & In Tedeïni**

Ces terranes forment la ceinture pharusienne orientale. Elles sont caractérisées par des séquences volcano-sédimentaires correspondant aux formations pharusiennes I et II. Ces formations sont liées respectivement au Tonien et au Cryogénien. Les deux séries ont été affectées par d'importants batholithes calciques à calco-alcalins «  $868\text{ Ma}$  », ainsi que par des complexes bimodaux tardifs de roches ignées stratifiées mafiques-ultramafiques et un complexe granitique alcalin à alcalino-calcique de type A.[7]

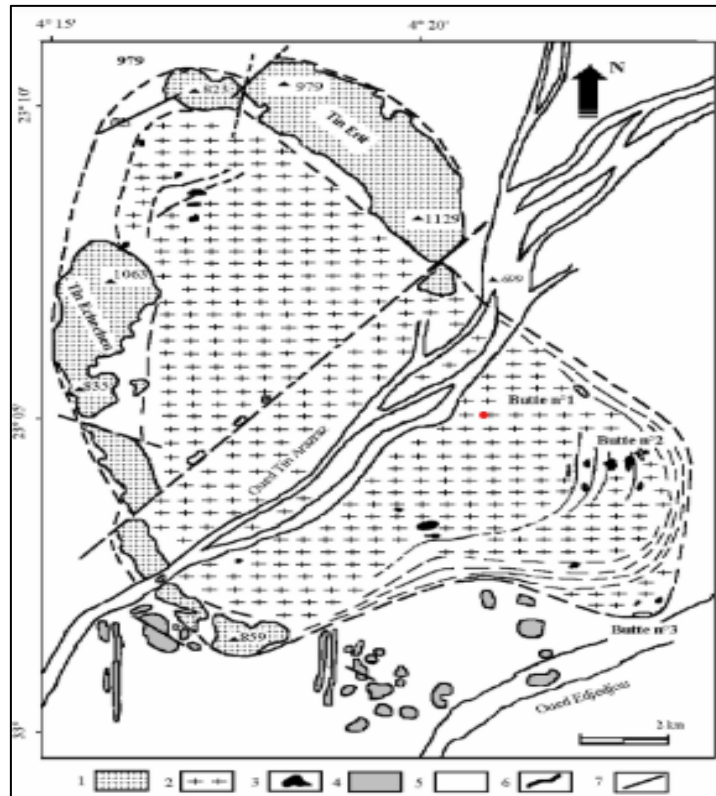
Pharusien I : le terrane d'Iskel est associé à une série de stromatolites, formations volcano-sédimentaires comprennent des conglomérats, des greywackes, des pélites ainsi que des marbres caractéristiques de plate-forme. On y trouve également des basaltes en coussins typiques d'une formation intraplaque, ainsi que des pyroclastites interstratifiées. Des lentilles de roches mafiques et ultramafiques largement altérées par la serpentinisation sont observées en alternance avec ces couches. Ces formations ont subi un métamorphisme sous des conditions de schistes verts. [7]

Pharusien II : comprend trois ensembles une série détritique, une série volcano-détritique et une série volcanogène.

Cette série (Amdad) inclut des grès, des tuffogrès, des grès quartzo-feldspathiques, arkosiques et des greywackes, ainsi que des schistes argilocharbonneux. La série volcano-détritique est constituée d'andésites, de volcanites basiques métasomatisées, avec des intercalations détritiques telles que des conglomérats, des grès et des pélites, ainsi que des bancs de marbres et des sills de roches acides dacitiques. La série volcanogène (série d'Irrelouchem) est composée de matériaux volcaniques acides tels que des dacites, des rhyolites, des tufs, des brèches volcaniques et des pyroclastites. Ces formations ont subi un métamorphisme dans le faciès schistes verts.[7]

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

La minéralisation se présente sous forme de filons de quartz en échelons encaissés dans des roches volcaniques du Protérozoïque. Ils sont orientés N40 à N60° avec un pendage de 30 à 60°, une longueur 200 à 1500 m et une puissance 0.15 à 3 m. Ces filons sont composés essentiellement de quartz précoce blanc-gris drusique et de quartz rosâtre bréchique qui accompagne les sulfures (pyrite, chalcoppyrite, galène) et l'or natif. Les teneurs en or sont très irrégulières de 0.5 à 405 ppm. (La moyenne, en excluant les fortes teneurs, est de 15 ppm ; variance 1082 ; coefficient de variation 241).[7]



**Figure 1.9.** Carte géologique du complexe granitique de Tin-Erit (Boissonnas, 1973 ; Azzouni-Sekkal, 1989, Azzouni-Sekkal & Bonin ;1998). [7]

### La légende :

1. Granite de la couronne ;
2. Granite du centre ;
3. Enclaves basiques ultrabasiqes du granite du centre ;
4. Complexe basique-ultrabasiqes d'Edjedjou ;
5. Encaissant ;
6. Réseau filonien du granite du centre ;

# CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

## 7. Faille.



Figure I.10. Image Google Earth du site Tin Erit.

Cette zone est d'une superficie de 48 ha selon les coordonnées UTM Nord du Sahara.

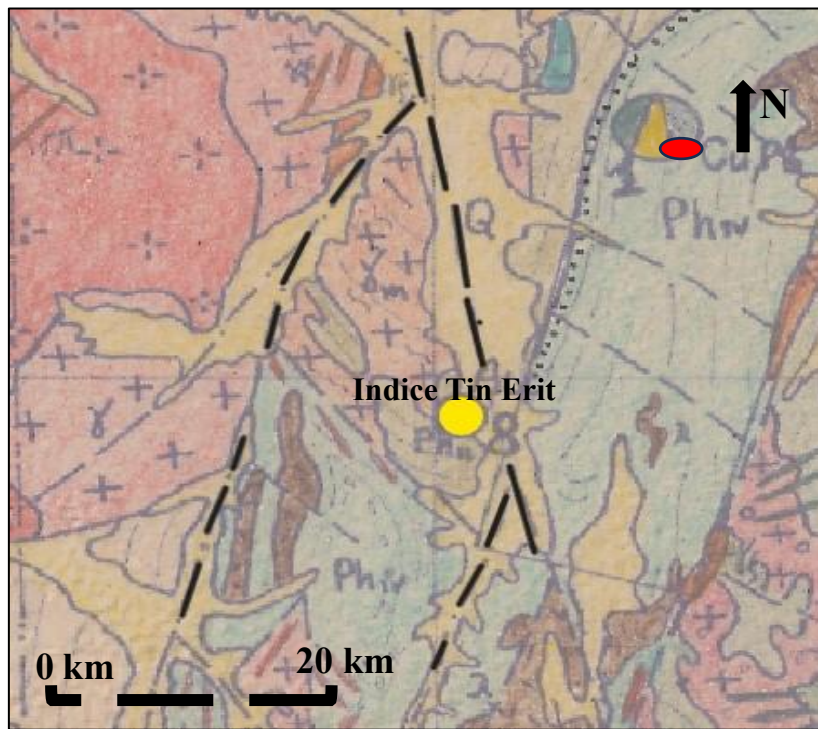









Figure I.11. Position de l'indice Tin Erit (Extrait de la carte minute géologique de Tin Felki au 1/200 000) (Bellal Mohamed et al...).

### La légende :

-  Brèches volcaniques acide ; rhyolites, dacites ;
-  Granite roses à grains moyens non déformés (biotite et chlorite) ;
-  Granite roses à grains moyens à biotite et muscovite (sans chlorite) ;
-  Marbres de teintes variées (stromatolithes) ;
-  Indice d'Or.
-  Cu-Pb ;
-  Faille.

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE



Figure I.12. Image Google Earth du site In Tedeïni.

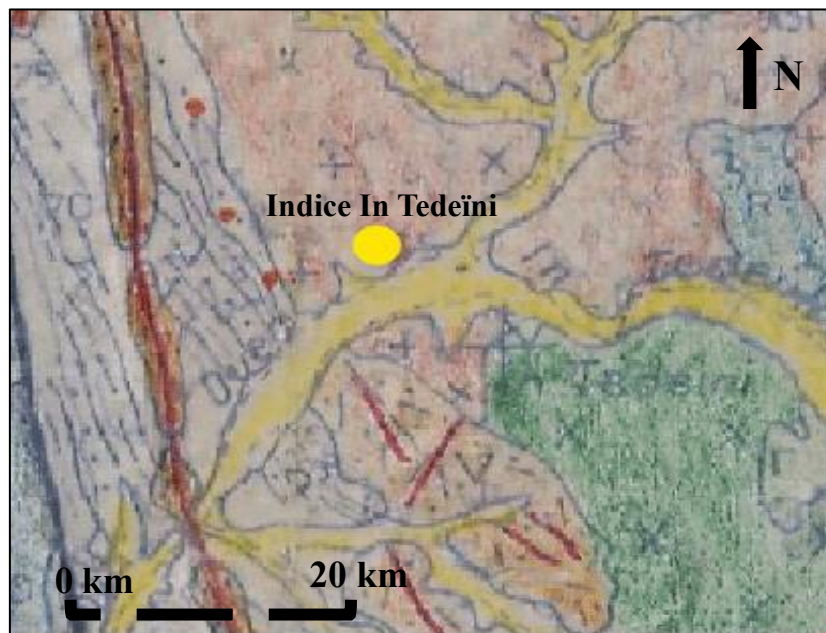






Figure I.13. Position de Indice in Tedeïni (Extrait de la carte minute géologique d'In Tedeïni au 1/200 000).

### La légende :

-  Granites indifférenciés ;
-  Granites Taourirt (530 Ma) ;
-  Gabbros et diorites non rétromorphosés ;
-  Indice d'Or.

# CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

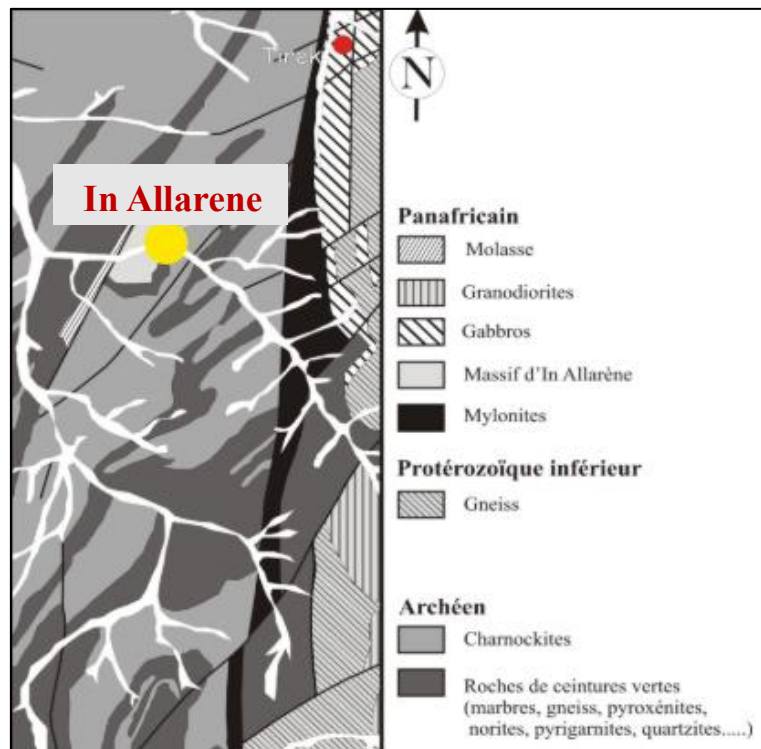
## 4.2 Région de Tamanrasset, (Indice d'In Allarene)

### 4.2.1 Situation géographique

In Allarene se situe dans la partie sud d'In Ouzzal, plus exactement à 20 km au sud de la région de Tirek. La superficie dans cette région est de 10 ha selon les coordonnées UTM Nord du Sahara.

### 4.2.2 Géologie & minéralisations associées à l'indice d'In allarene

Subdivisé en deux zones. En premier la zone In allarene de direction NE, cette zone se trouve dans une branche orientale annexe du cisaillement ductile principal 2°30 (couloir mylonitique de l'accident Est-Ouzzalien), où plusieurs filons (d'une épaisseur de 0,2 à 2,7 mètres) sont présents dans des gneiss mylonitisés. Ces filons montrent une orientation générale moyenne de N33°. La répartition de l'or est relativement uniforme à l'intérieur des filons et des lentilles, bien que les concentrations en or soient plus élevées au centre des filons, et diminuent nettement avec la profondeur (Aissa et Al.,2002).[9]



**Figure I.14.** Carte géologique de la région qui montre la position de l'indice d'In allarene (d'après des rapports internes de la SONAREM) et (Black et al., 1994).[9]

Tandis que la seconde zone située au sud (S) et au sud-ouest (SW) de la zone précédente, s'étend sur plus de 8 kilomètres et comprend une trentaine de filons et de filons lenticulaires. Ces structures ont une orientation moyenne de N8° et sont incluses dans des ultramylonites-

## CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

mylonites, des gneiss granulitisés, des amphibolites et des dykes mafiques. Mis à part leur orientation et les types de roches encaissantes, cette zone présente des caractéristiques similaires à celles observées dans la zone précédente. [9]

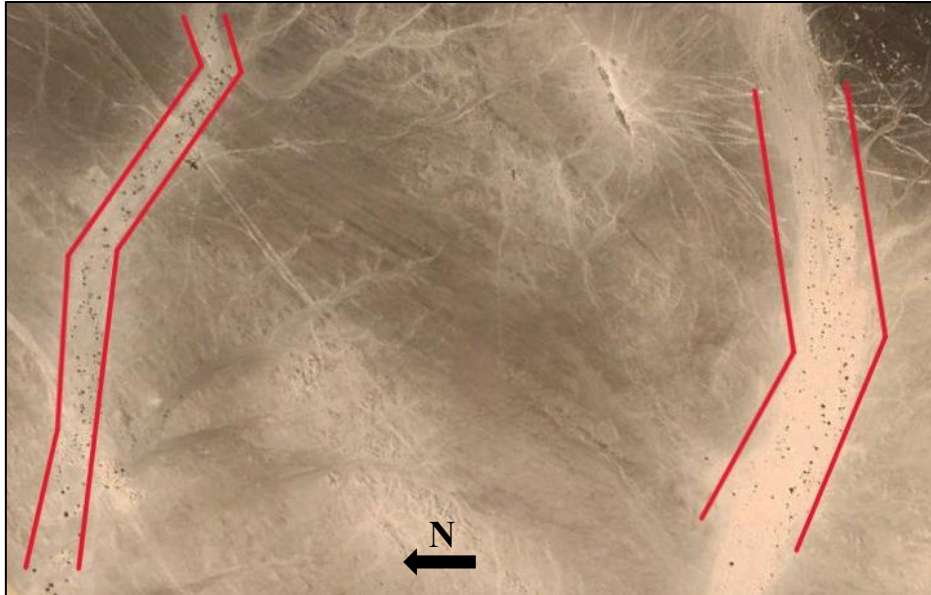


Figure I.15. Image Google Eart du site d'In Allarene.

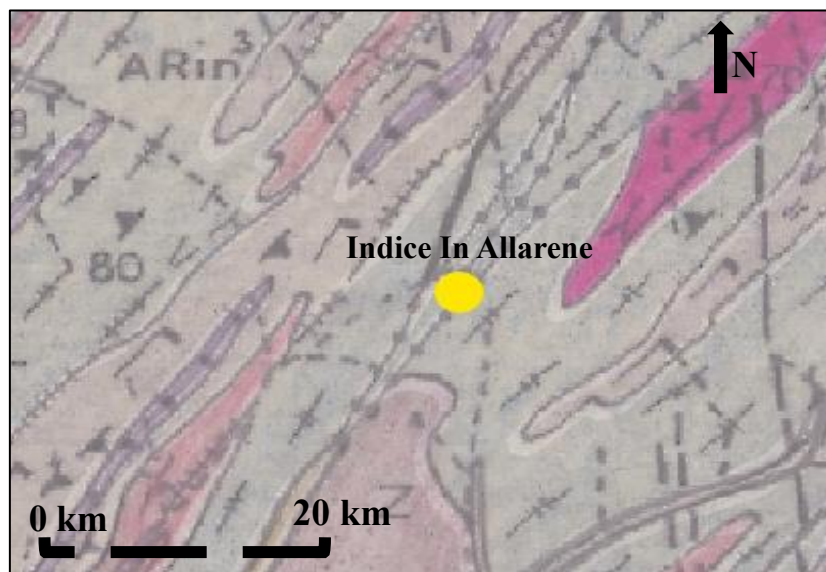





Figure I.16. Position locale d'indice d'In Allarene (Extrait de la carte minute géologique de Tirek au 1/200 000) (M. H. Benyoucef, M. M. Bouabdellah, et M. M. Kaci 1997).

La légende :

-  Gabbros pegmatitiques et hybrides ;  Indice d'Or.
-  Roches de ceintures vertes (marbres, gneiss, pyroxénites, norites, quartzites...).

---

***Chapitre II :***  
***Présentation de la***  
***mine d'Amesmessa***

---

### **Chapitre II : Présentation de la mine d'Amesmess**

#### **II.1 Introduction**

Au cours des dernières décennies, l'intérêt pour l'exploration et l'exploitation de l'or en Algérie a été ravivé, principalement en raison de l'augmentation des prix de l'or sur les marchés mondiaux et de l'évolution des technologies minières. Les autorités algériennes reconnaissent le potentiel aurifère du pays et ont encouragé les investissements dans le secteur minier, y compris dans l'exploration de nouvelles zones aurifères et le développement du projet minier (Mine d'Or Amesmess) exploitée par l'ENOR.

Avec un volume de stocks en or estimé à 173,6 T au début de l'année 2015, l'Algérie est parmi les 25 plus grands détenteurs d'or au monde, selon les chiffres du Conseil mondial de l'or qui a établi ce classement en se basant sur les Statistiques du FMI.

#### **II.2 Entreprise d'exploitation des mines d'or ENOR**

L'Entreprise Nationale d'Exploitation des Mines (ENOR) est une société minière algérienne qui opère dans le secteur de l'exploitation des ressources minérales, principalement dans le domaine d'extraction de l'Or et d'argent. ENOR est détentrice d'une autorisation sur une superficie de 1400 km<sup>2</sup> comprenant les gisements d'Amesmess et Tirek ainsi que les indices situés entre ces deux mines, du Hoggar, à environ 400 km au sud – ouest de la ville de Tamanrasset. [10]

- 04/1992 : Création de l'entreprise ;
- 07/2001 : Entrée en production de l'usine de Tirek ;
- 07/2002 : Conclusion de partenariat ;
  - GMA : 52% ;
  - Sonatrach : 48% ;
- 04/2006 : Lancement de plan développement d'Amesmess ;
- 01/2008 : Entrée en production de l'usine d'Amesmess ;
- 2020 : Interruption de l'exploitation du gisement d'Amesmess, due aux risques d'effondrements des gradins dans la carrière à ciel ouvert, a incité les autorités minières à envisager un changement de méthode d'exploitation vers une méthode souterraine.

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA**

**GMA** : (Gold mine of Algeria) partenaire de Sonatrach dans l'exploitation de la mine d'or d'Amesmesssa.

### **3. Exploration et Exploitation des gisements d'Or**

Dans le domaine d'exploitation des gisements on retrouve deux procédés dont un artisanal et l'autre conventionnel (Technique & Mécanique), développé comme ci-dessous :

#### **3.1 Méthode d'exploitation des micro-entreprises**

Appelée « Exploitation Artisanale », en utilisant des méthodes et des outils rudimentaires pour extraction de cette matière (Or) en petite quantité.

L'exploitation artisanale de l'or en Algérie est souvent réalisée par des groupes de personnes ou individuels. Il convient de noter que cette activité est réglementée par le gouvernement d'où le permis minier pour une superficie délimitée est accordé, fixant la durée au micro-entreprise, renouvelable au terme duquel il lui sera interdit de céder, de transférer, et de louer partiellement ou totalement les activités liées à ce domaine, en respectant toutes les réglementations édictées, notamment l'interdiction de l'utilisation d'explosifs, de produits chimiques nocifs., a titre d'exemple, on peut citer :

- La société In Kerkourene pour l'Or et l'exploration, titulaire du permis minier ARM 7422, est habilitée à réaliser des travaux d'exploitation artisanale sur l'indice d'or d'In Allarene, enregistré sous le numéro 2409, pour une superficie de 10 hectares (10 ha), et ce, pour une période de cinq (05) ans.
- La société d'exploration Teninaït, titulaire du permis minier ARM 8079, est autorisée à mener des activités d'exploitation minière artisanale sur l'indice d'or In Tedeïni, immatriculé sous le numéro 2422, pour une superficie totale de 6 hectares (6 a), et ce pour une durée de cinq ans (05).
- La société Oueld Salem pour l'or, détentrice du permis minier ARM 7989, est autorisée à réaliser des activités d'exploitation minière artisanale sur l'indice d'or Tin Erit, immatriculé sous le numéro 2427, couvrant une superficie de 48 hectares (48 ha), et ce, pour une durée de cinq (05) ans.

Les titulaires de permis d'exploitation minière artisanale sont restreints à l'utilisation d'outils et d'équipements manuels, tels que des pelles, pioches, marteaux, et des marteaux

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA

perforateurs, en optimisant la récupération du minerai à la surface, lequel sera transporté vers l'unité de traitement d'ENOR où il sera transformé.

### 3.2 Méthode d'Exploration des gisements d'Or d'Amesmessa

Les travaux d'exploration de l'or ont commencé bien avant par l'ORGM dont ses travaux ont été réalisés grâce à la prospection, laquelle a permis d'identifier les anomalies aurifères. Lesquelles ont été étudiées, à l'aide des cartographies à différentes échelles et des analyses lithogéochimiques, révélant des indices aurifères, dont certains sont soumis à des travaux d'exploitation minière par l'ENOR, procédant à des études géochimiques des tranchées et des sondages. [11]

#### 3.2.1 Reconnaissance géophysique

Appelée prospection géophysique, c'est une étude qui intervient en tant que première étape de l'exploration, moins coûteuse, utilisée pour sa capacité à révéler des anomalies géophysiques dans le but de déterminer la forme du corps en profondeur et de connaître sa disposition grâce à plusieurs méthodes (électriques, magnétiques, la diagraphie, la gravimétrie).[11]

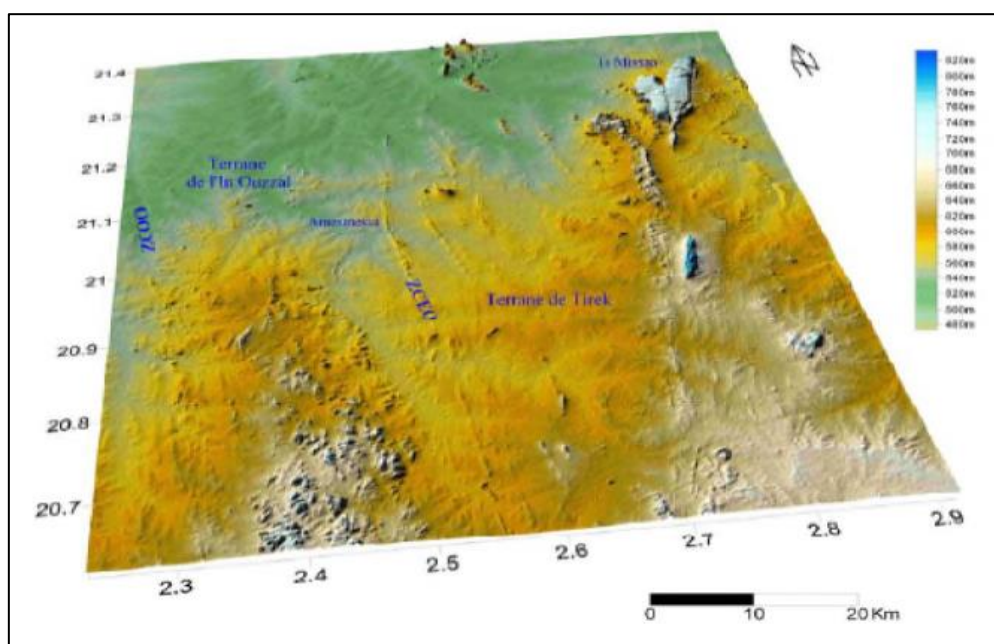


Figure II.1. Vue satellite de la zone Tirek-Amesmessa (M. Benhamouda, M. Rhouma, M. Allal, (ORGM), 1972). [25]

#### 3.2.2 Travaux géochimiques

L'échantillonnage au sol se fait après avoir localisé les anomalies, la zone est subdivisée en grille d'échantillonnage espacées de 200m, grille elle-même dispose de point de

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA**

prélèvements à intervalles de 25m, l'objectif étant d'évaluer la teneur de la minéralisation et son origine.

Ainsi la méthode et procédure d'échantillonnage se résume à ce qui suit, notamment :

La prise d'échantillon a une profondeur de 25-30cm est d'une granulométrie  $< 70\mu$  après analyse granulométrique (tamisage), d'où chaque opération ce matériel (Tamis) est nettoyé. Aussi le poids de la matière destinée à l'analyse étant de 50g renfermée dans des sacs hermétiques pour éviter toute contamination. [11]

### **3.2.3 Réalisation de tranchées**

Les tranchées sont creusées pour obtenir des informations supplémentaires sur, la direction, la profondeur (1-2 m), le pendage, et la morphologie de la minéralisation.

Sont généralement creusées à l'aide d'équipements lourds tels que des pelles mécaniques (distance moyenne entre deux tranchées successives est de 20m), une fois la tranchée creusée des échantillons de roche sont prélevés le long des parois exposées, elles peuvent être utilisées pour confirmer les résultats de reconnaissances géophysique. [11]

### **3.2.4 Sondages (forages)**

Le sondage est effectué en utilisant un équipement de forage équipé d'une couronne diamantée, permettant de percer la roche jusqu'à des profondeurs allant jusqu'à 400 à 500 mètres.[12]

Le forage a pour but de délimiter le corps minéralisé en profondeur, effectué sur des profils perpendiculaires, de nature destructive, à l'aide d'une sondeuse a circulation inverse (RC). [12]

Cette opération consiste à réaliser des forations en utilisant un « Trépan diamanté » sur des coordonnées envisagées en assurant la protection du trou de forage, ensuite la récupération des échantillons dans des sachets en plastique selon les profondeurs marquées, quartage des échantillons selon leur nature. [12]

Ces échantillons sont envoyés dans le Laboratoire d'analyse (Chapitre IV), ils seront soumis à une série de tests, afin d'aboutir à des résultats qui confirmeront toutes les études effectuer durant l'exploration et ensuite élaborer un plan pour procéder à l'exploitation du gisement. [12]



**Figure II.2.** Echantillon obtenu après sondage. [25]

### **3.3 Travaux d'exploitation des gisements d'Or d'Amesmesssa.**

#### **3.3.1 Mode d'ouverture**

L'exploitation du gisement d'Amesmesssa est faite à ciel ouvert, de haut en bas par gradin de 15m, berme de sécurité de 5m et par une plateforme de travail de 12m. [14]



**Figure II.3.** Mine d'Or exploitée à ciel ouvert Fillon 8 (Exploitation en arrêt).

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA

- Angle des talus des gradins : 50° Pour 10 m de profondeur ;  
De 60° à 65° Profondeur de 10 à 90m ;  
De 70° à 75° Profondeur de 90 à 150.
- Angle des bords : 54° Pour les bords sans rampe ;  
50° Pour les bords avec rampe.
- Profondeur finale : 170 m.
- longueur des gradins : Variable.

### 3.3.2 Tir à l'explosif

Avant de planifier le tir de mine, l'ingénieur de l'exploitation il lui est essentiel de comprendre la géologie du site, notamment la nature de la roche, les emplacements et les caractéristiques des trous (la profondeur, le diamètre et l'espacement), ainsi que les types d'explosifs, les trous de mine sont réalisés par des foreuses TAMROCK (PINTRA 1500). La maille adaptée est de 2,8m X 2,5m. Les trous sont généralement verticaux et rarement incliné. De 102mm de diamètre et d'une profondeur moyenne de 5,8m. [13]. [14]

Le plan de tir donc prend en considération ces objectifs en appréciant les paramètres tels que :

- La hauteur du gradin, ( $H_g$ ) ;
- La profondeur du trou ;
- La sur foration ( $L_s$ ) ;
- Longueur du bourrage intermédiaire ( $L_{bi}$ ) ;
- Longueur du bourrage terminal ( $L_{bt}$ ) ;
- Longueur de charge de pied ( $X_p$ ) ;
- Longueur de charge de colonne ( $X_c$ ) ;
- La ligne de moindre résistance (résistance au pied de gradin), ( $W$ ) ;
- La maille ou le rapport banquettes/écartement entre trous ;
- La distance entre les trous dans une rangée ( $a$ ) ;
- La distance entre les trous ( $b$ ) ;
- La qualité et quantité de la charge.



: Le bourrage.

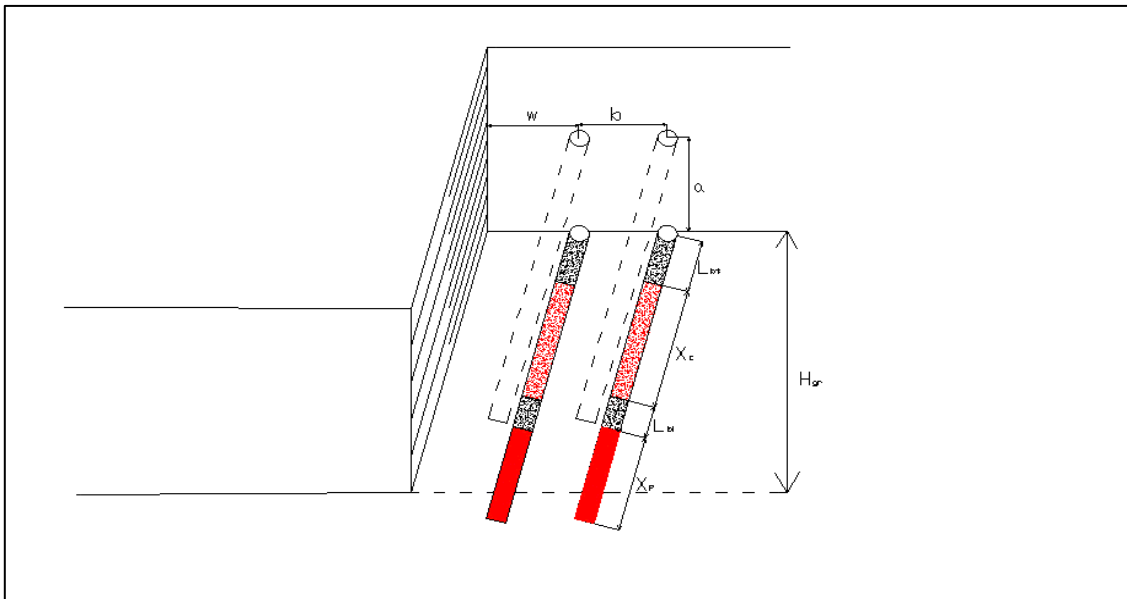


: La charge de colonne (Anfomil).



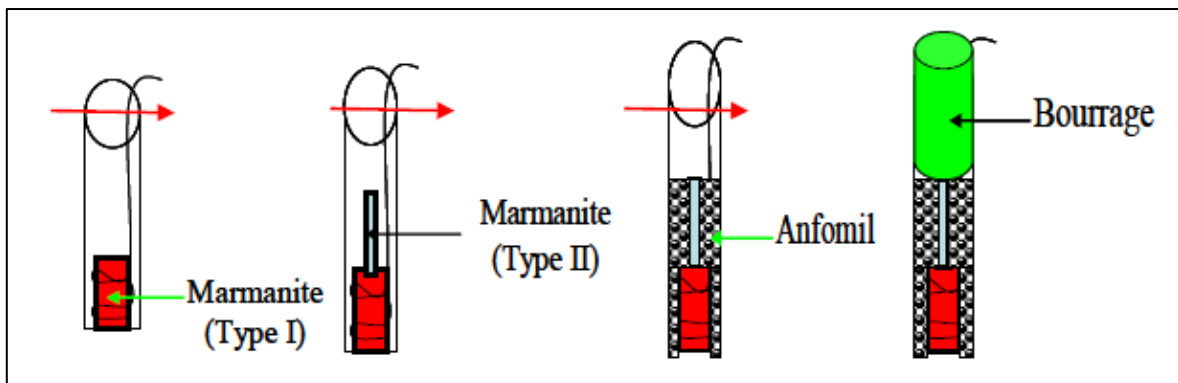
: La charge de fond (Marmanite).

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA



**Figure II.4.** Coupe d'un plan de tir avec distribution des charges.[15]

Avant de procéder au tir, il est nécessaire de préparer les trous en y introduisant les explosifs selon une séquence spécifique : tout d'abord, la Marmanite (Type I) est insérée à l'aide d'un cordeau, puis la Marmanite (Type II) est déposée par chute libre, et enfin, l'espace restant est comblé avec de l'Anfomil. Une fois les trous chargés, ils sont refermés et le vide est comblé avec du gravier. Pour faciliter la détonation, tous les trous sont reliés à l'aide d'un cordeau, de même que les lignes, utilisant le même fil de tir pour l'ensemble de l'opération.



**Figure II.5.** Remplissage des trous.[15]

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA

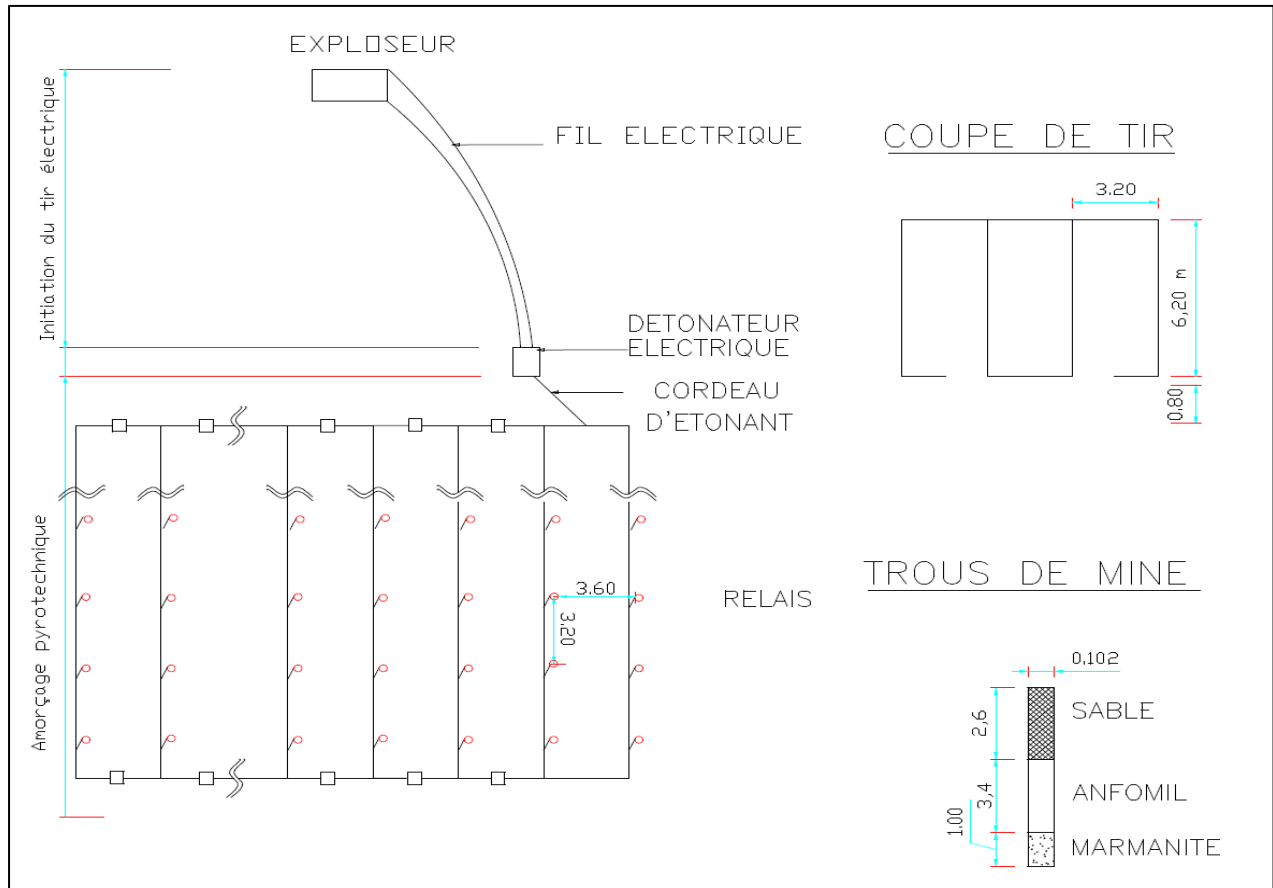


Figure II.6. Schéma de connections. [15]

### 3.3.3 Abattage à l'explosif

L'abattage des roches par explosion est très répandu dans les mines à ciel ouvert et c'est une méthode principale pour réduire les dimensions des roches dures, se fait par des travaux de forage et de tir, pratiqué dans les milieux rocheux qui ont une forte dureté (Amesmess=7).

### 3.3.4 Chargement et transport

Le minerai abattu est ensuite chargé et transporté vers la zone de stockage, le chargement s'effectue par une pelle hydraulique rétro (CATERPILLAR), Le transport s'effectue par Dumper articulé, de marque CATERPILLAR et de type 735. Ces Dumpers transportent 30 tonnes par voyage.

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA MINE D'AMESMESSA



Figure II.7. Chargement du minerai abattu.

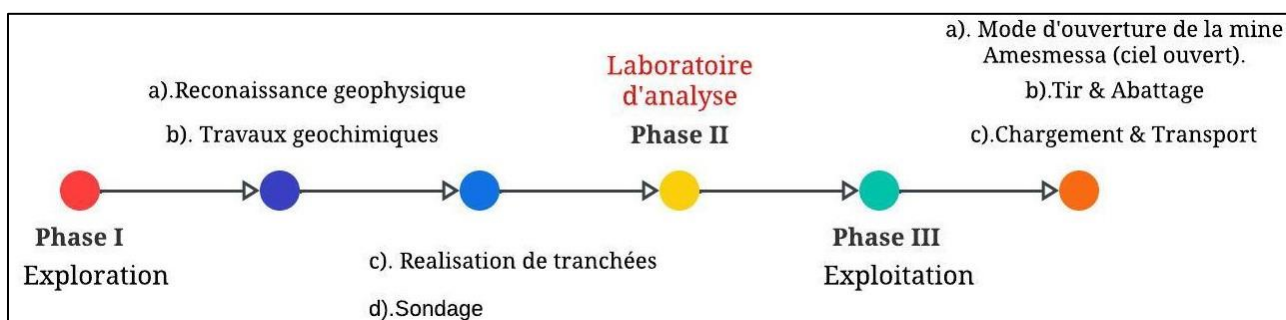


Figure II.8. Schéma des travaux d'Exploration & d'Exploitation de la mine d'Amesmessa.

### II.4 Conclusion

Dans les chapitres précédents I & II consacrés aux régions d'étude ainsi qu'à la mine d'Amesmessa, où dans le premier chapitre I on a développé les principales caractéristiques géologiques du Hoggar, en mettant en évidence les types de roches, les structures géologiques et les processus géologiques qui permettent la différenciation entre la formation du gisement d'Amesmessa et celles des indices minéraux étudiés, ceci explique les méthodes adaptées afin d'extraire l'or dans le chapitre II par ENOR, ainsi que par les microentreprises, en décrivant le domaine de l'exploration, la variété de l'exploitation artisanale et celle appliquée sur le gisement d'Amesmessa.

---

***Chapitre III :***  
***Procédé de***  
***traitement du***  
***minerais***

---

### **Chapitre III : Procédé de traitement du minerai**

#### **III.1 Introduction**

Le traitement du minerai d'or est un processus complexe qui vise à extraire l'or métallique des gisements de minerai brut. Il varie considérablement en fonction de la nature spécifique du minerai, de sa teneur en or, de sa composition minéralogique et de facteurs économiques. De plus, des méthodes alternatives telles que la flottation, la gravité ou l'utilisation de technologies de pointe sont également utilisées dans certains cas, en fonction des conditions spécifiques du gisement et des exigences de l'opération minière.

En Algérie, l'extraction de l'or à partir d'un minerai est réalisée par l'utilisation de différentes méthodes telles que la gravité, l'amalgamation et la cyanuration. À l'usine d'Amesmessas, la méthode principalement utilisée est la cyanuration après le conditionnement du minerai. Ce chapitre décrit le protocole suivi dans l'usine pour la valorisation et la récupération de l'or métallique des minerais provenant du gisement d'Amesmessas, et des minerais hôtes des microentreprises qui font de l'exploitation artisanale. L'étude s'étend sur tout le procédé de valorisation, à savoir, tout le procédé de valorisation, de la réception des minerais à la production du lingot d'Or.

## **2. Description du procédé de valorisation**

### **2.1 La réception du minerai**

Les minerais exploités et transportés à l'usine de traitement sous forme de roches à des dimensions différentes. Les minerais sont reçus sous forme de tout-venant dont la taille granulométrique va de 0 à 500 mm.

Le minerai reçu est stocké dans des zones de stockage (Figure III.1) en plusieurs tas selon leurs teneurs en or (1g /t, 2g/t, 4g/t, 8g/t).

## **CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI**



**Figure III.1.** Zone de stockage de minerai.

### **2.1 Préparation mécanique du minerai**

Cette opération vise à modifier la surface spécifique des particules solides par rapport à leur masse, que ce soit en les réduisant ou en les augmentant. Son objectif principal est d'améliorer l'efficacité du processus en permettant une meilleure interaction entre la solution de traitement et l'or présent dans le minerai. L'efficacité de cette opération est évaluée en mesurant l'accroissement de la finesse des particules, afin de garantir un contact optimal entre la solution et l'or, et d'assurer une lixiviation uniforme sur toute la masse du minerai. Ces modifications visent également à répondre aux exigences spécifiques des étapes ultérieures du traitement du minerai.[20]

#### **2.1.1 Le concassage**

Le minerai entre dans un processus de concassage en trois étapes. Tout d'abord, il est alimenté dans un concasseur à mâchoires. Ensuite, le matériau concassé est transporté via un convoyeur à bande vers un premier crible à trois étages, équipé de mailles de 100mm, 50mm et 22mm respectivement. Les particules de plus de 22mm sont dirigées vers un concasseur giratoire à cône pour un concassage secondaire, tandis que celles de moins de 22mm passent à travers un deuxième crible à deux étages, avec des mailles de 20mm et 16mm. Les particules de plus de 16mm subissent un concassage tertiaire dans un concasseur à cône, tandis que celles de moins de 16mm, ainsi que les produits du concassage tertiaire, sont convoyés vers le broyeur à boulets (Figure III.3), sachant que ce produit concassé a des teneurs en or variables et une granulométrie inférieure à 16mm. [20]

## CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI



**Figure III.2.** Unité de concassage.

### 2.1.2 Le broyage

Après le concassage, le produit est dirigé vers un broyeur à boulets (Figure III.3) d'une capacité de 8t/h, où la taille du minerai est réduite à moins de  $75\mu\text{m}$ . Ce processus implique un broyage humide, où le minerai est mélangé avec de l'eau ( $3 \text{ à } 4 \text{ m}^3/\text{t}$ ), lorsqu'il entre dans la coque cylindrique du broyeur. À la sortie de la coque, on obtient une pulpe, cette dernière est le résultat du mélange du minerai fin avec de l'eau. [20]



**Figure III.3.** Broyeur à boulets.

La pulpe obtenue est ensuite pompée vers l'hydrocyclone, où le minerai fin ( $\leq 75\mu\text{m}$ ) est séparé du minerai grossier ( $> 75\mu\text{m}$ ). Le minerai grossier est sortant de l'hydrocyclone est

## ***CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINERAI***

réintroduit dans le broyeur à boulets jusqu'à ce qu'il obtienne la taille voulue. Deux procédés de traitement sont effectués.

### **2.1.3 Hydrocyclone**

Dans ce processus, le minerai issu du broyeur à boulets n'a pas obligatoirement la taille granulométrique voulue ( $75\mu\text{m}$ ), il est plutôt un mélange de plusieurs granulométries qui peuvent aller jusqu'à  $120\ \mu\text{m}$ . Ce mélange est dirigé vers l'hydrocyclone pour séparer les particules fines ( $\leq 75\mu\text{m}$ ) des particules grossières ( $> 75\mu\text{m}$ ). Les particules grossières retournent directement au broyeur grâce à l'effet de sous-verre, tandis que les particules fines sont acheminées directement vers l'épaississeur.

## **2.2 Traitement des minerais**

Le choix de la méthode de traitement est basé sur les différentes teneurs du minerai reçus à l'usine de traitement, le contrôle de la teneur se fait au laboratoire de la mine.

### **2.2.1 Pour le minerai high grade**

Pour améliorer la valorisation du minerai avec des grandes teneurs en Or, le processus de traitement implique l'utilisation de la lixiviation en cuve Carbone In Leach (CIL) (Figure III.5).

#### **A. L'épaississeur**

Les particules fines reçues de l'hydrocyclone sont dirigées vers l'épaississeur (Figure III.4) où on va introduire le flocculant pour accélérer le processus de décantation des particules (qu'elles soient du minerai ou du produit), permettant ainsi la récupération de jusqu'à 30% de l'eau (opération de séparation solide/liquide). La pulpe est ensuite dirigée à travers un circuit composé de cinq cuves de lixiviation (Figure III.5), chacune étant alimentée par de l'oxygène et agitée.



**Figure III.4.** Epaississeur.

### **B. La cyanuration**

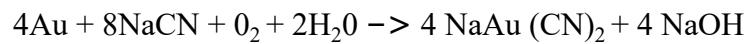
La pulpe qui contient les particules fines est ensuite dirigée vers la première cuve (LEACH TANK) (Figure III.5), où généralement 500 ppm de cyanure sont ajoutées pour assurer une bonne lixiviation. De plus, de la soude caustique est également introduite pour maintenir un pH basique. La pulpe est laissée en résidence pendant 12 heures (shifts) pour garantir une récupération optimale des particules d'or contenues dans la pulpe. En outre, des contrôles réguliers de densité et d'oxygène sont effectués pour surveiller et optimiser le processus de cyanuration (Figure III.6).

### **CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI**



**Figure III.5.** Carbone in Leach (CIL).

La Cyanuration a alors été décrite par la réaction :



Cette réaction a été proposée sans pour autant avoir de mécanisme de réaction bien précis ou d'explications sur l'importance de chacun des éléments de la réaction. La réaction de cyanuration fut expliquée avec plus de précision dans les années 1950 (Haque, 1992), soit environ un siècle après la découverte de la solubilité de l'or dans le cyanure.

## CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINERAI

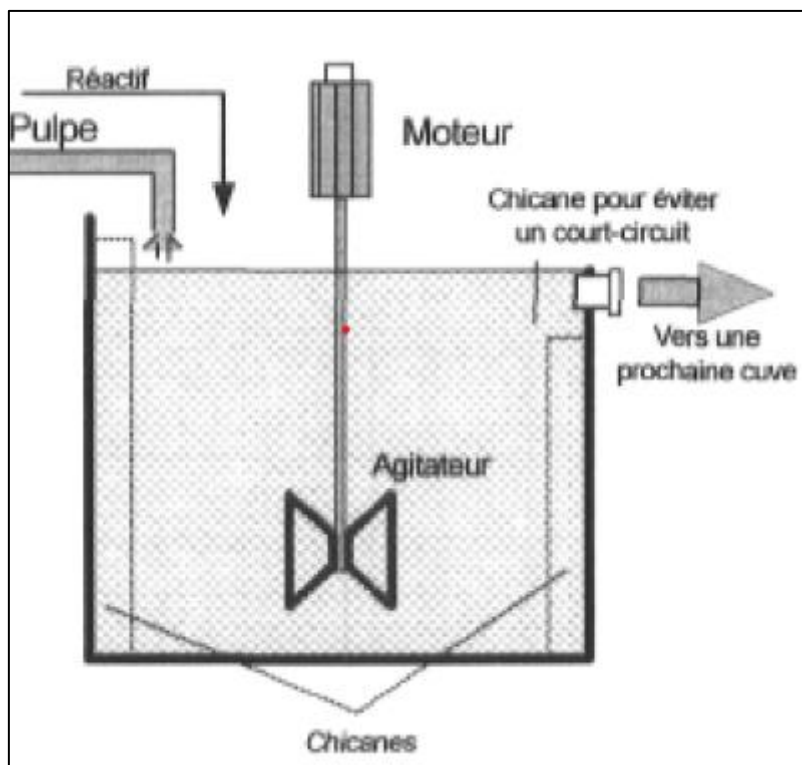


Figure III.6. Schéma d'une cuve de lixiviation. [16]

### C. Adsorption

Une solution cyanurée est préparée avec une concentration de 500 ppm, et elle est accompagnée de charbon actif et d'un tamis vibrant. Ce mélange est ensuite soumis à un processus de passage à contre-courant, où l'adsorption de l'or dissous dans la solution par le charbon actif va se produire. Cette adsorption est réalisée de manière sélective, avec du charbon actif qui agit comme un collecteur pour retenir l'or, pendant que la solution circule à travers ce charbon actif. Pour récupérer l'or retenu par le charbon, ce dernier, est traité avec une solution chaude de Cyanure alcalin. Ce processus est répété sur les cinq (5) cellules pour maximiser l'adsorption et réduire la teneur en Or restante dans la solution à un niveau pratiquement nul.

#### 2.2.2 Pour le minerai low grade

Pour le minerai low grade il n'exige pas la même réduction de dimension généralement pour ce minerai on élimine l'étape du broyage.

## CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI

### A. Tas et Aire de lixiviation

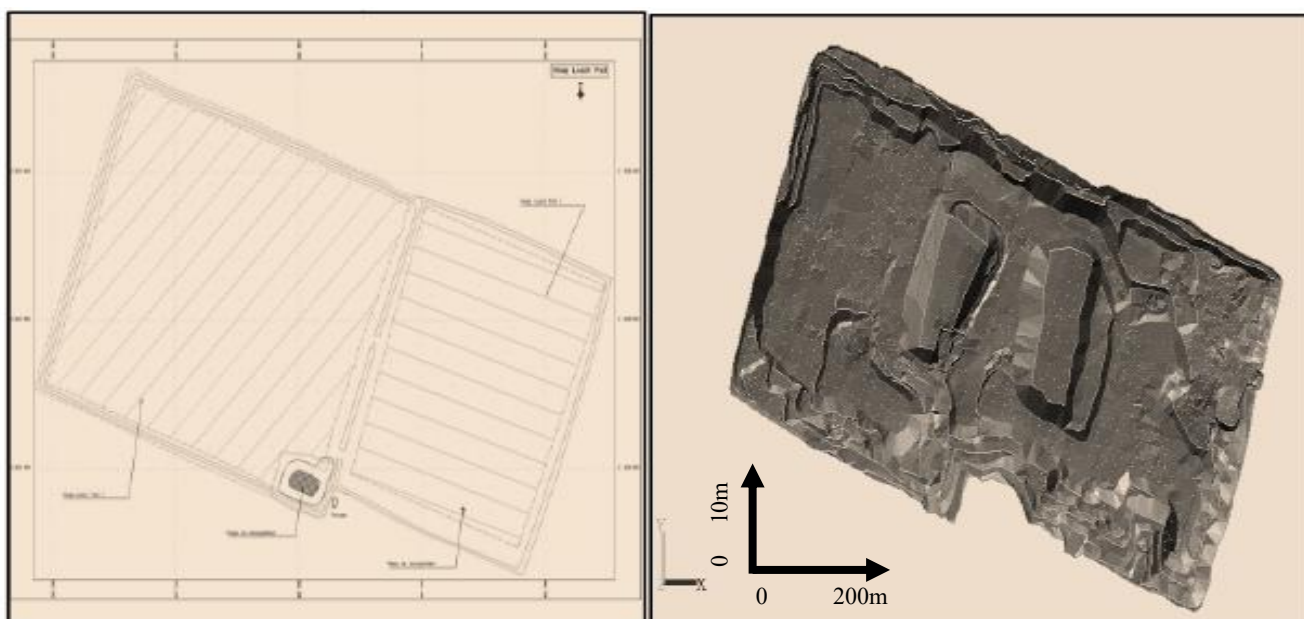


**Figure III.7.** Lixiviation en tas (Heap Leach).

Après avoir réduit les dimensions du minerai à moins de 16 mm, le produit de concassage est stocké dans un bassin à membrane imperméable. Dans ce bassin, le minerai est irrigué avec une solution de cyanure pour subir un traitement chimique par percolation. Ce processus permet de transformer l'or en ions ( $\text{Au}^+$ ). La solution de cyanure, contenant les ions d'Or, s'accumule au fond du bassin incliné. [21]

Cette procédure de lixiviation peut durer jusqu'à 21 jours pendant l'irrigation, du ciment ou de la chaux est ajouté pour maintenir un milieu basique ( $\text{pH} = 10,5-11$ ) et prévenir l'évaporation du cyanure. [17]

La mine d'Amesmesa possède deux Heap Leach, un est d'une capacité de 1 million de tonnes et l'autre est de 500 000 tonnes.[17]



**Figure III.8.** Vue générale haut des deux Heap Leach d'Amesmesa.[17]

## CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI

### B. Système d'arrosage par solution et récupération du jus

C'est l'étape de traitement chimique par ajout de solution de cyanure, cette solution est pompée dans un bassin à jus stérile ou elle est dispersée et répartie uniformément sur toute la surface de tas par différents systèmes d'arrosage (Figure III.9).[21]

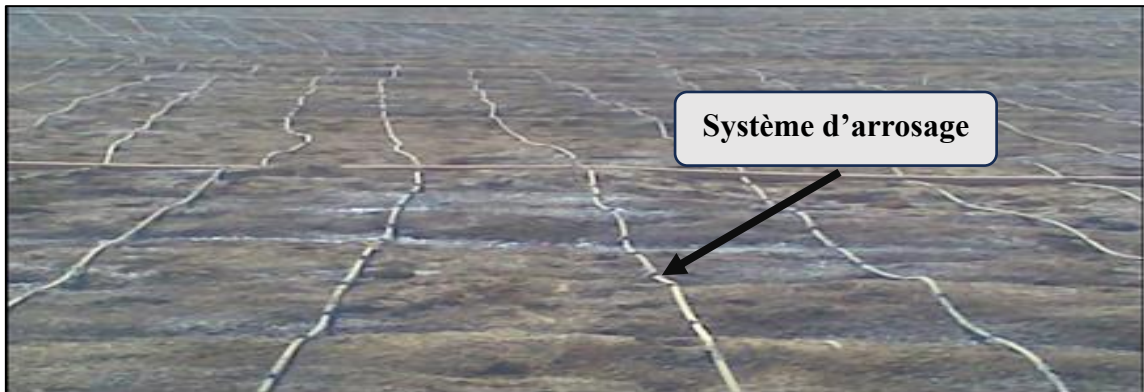


Figure III.9. Système d'arrosage.

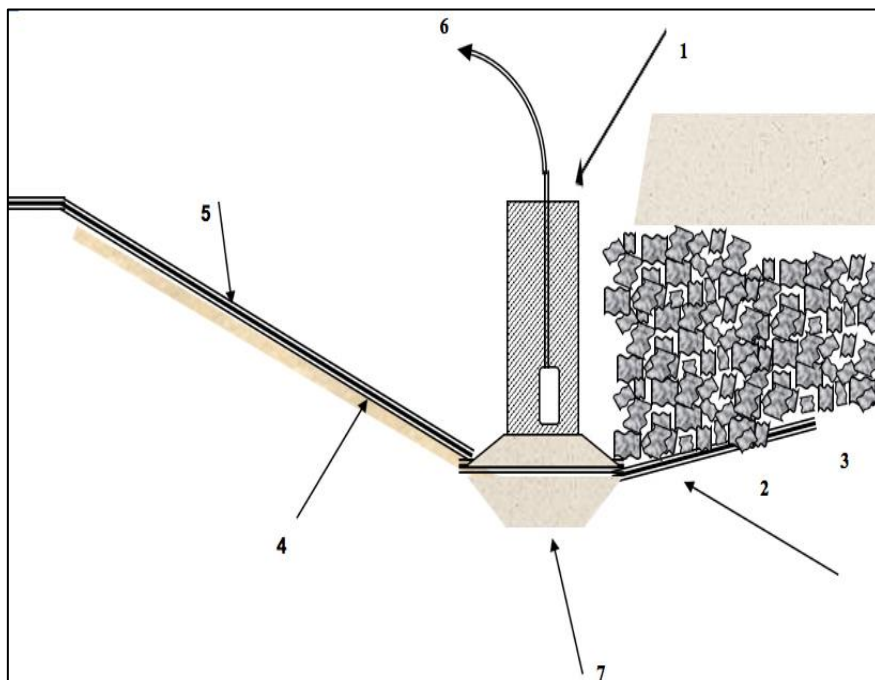


Figure III.10. Système de récupérations du lixiviat.[17]

1. Canule de décharge (150 mm diamètre)
2. La pente de 2% au minimum
3. Une couche de gravier ;
4. Deux couches d'argile bien compacte ;
5. Une géomembrane en polyéthylène de 1.5 mm d'épaisseur ;

## **CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI**

6. Vers les colonnes de charbon ;
7. Un système de récupération de solution perdue.

### **C. Enrichissement du charbon**

La solution de cyanure résultante de lixiviation est pompée vers des colonnes de charbon (5 colonnes) (Figure III.11), où le charbon actif va fixer les ions de l'or ( $\text{Au}^+$ ), à la cinquième colonne la teneur de l'or sera nulle dans la solution traversée.



**Figure III.11.** Colonnes de charbon.

### **2.3 La raffinerie**

Le produit « charbon » des deux différents traitements que ce soit pour le minerai high grade ou le minerai low grade seront destinée vers l'affinage « **Gold Room** ».

#### **A. Lavage du charbon**

À la raffinerie, le charbon qui contient les particules d'or est soumis à un processus de lavage dans une colonne en PVC d'une capacité de deux (2) tonnes, où 200 litres d'acide chlorhydrique (HCL) sont ajoutés. Pendant deux heures, l'HCL monte de bas en haut dans la colonne, passant à travers des filtres qui retiennent le charbon, permettant ainsi l'élimination des carbonates et d'autres impuretés. Ce laps de temps est nécessaire pour que le pH, initialement situé entre 3 et 4, devienne neutre, afin d'empêcher la formation de HCN (acide cyanhydrique). Ensuite, le charbon passe à travers la colonne d'éluion, où l'opération de désorption aura lieu.



Figure III.12. Colonne d'élution.

### B. La désorption

Le charbon neutralisé est introduit dans une colonne en acier inoxydable, où une solution est injectée pour dissoudre l'Or adsorbé par le charbon. La solution injectée est composée de 3% de soude caustique (NaOH) et de 0,1% de cyanure de sodium (NaCN). Cette solution est chauffée à une température comprise entre 120 et 140°C à l'aide d'échangeurs de chaleur, et maintenue à une pression de 4 bars. Sous ces conditions, le charbon libère l'or, lequel se dissout dans la solution. Cette solution passe ensuite par un processus d'électrolyse, où l'or se dépose sur la cathode.

### C. L'électrolyse [19]

La solution aurifère passe dans une cellule d'électrolyse (Figure III.13) qui opère généralement sous une tension de 4,2 à 5 volts et avec un courant continu de 900 ampères contenant 8 cathodes et 8 anodes ; des lames métalliques en alliage inoxydables ; pendant au moins 24h. Les cations  $Au^+$  sont attirés par les cathodes où ils vont capter les électrons ( $e^-$ ) donnant ainsi le métal d'or Au.

### **CHAPITRE III : PROCÉDE DE TRAITEMENT DU MINÉRAI**

On récupère les cathodes chargées d'or et on les lave avec un jet d'eau à haute Pression. La solution enrichie en or passe ensuite à travers un filtre presse pour obtenir un concentré humide d'or appelé bourbe.



**Figure III.13.** Électrolyseur.

#### **D. La fusion [19]**

La bourbe d'or récupérée de l'électrolyse est filtrée et ensuite soumise à un processus de séchage dans un four à 300°C pendant 12 heures. Après ce séchage, la boue est mélangée à quatre produits chimiques, comprenant 50% de borax, 20% de carbonate de sodium, et 25% de silice pour abaisser la température de fusion. Ce mélange est ensuite placé dans un four de fusion chauffé à 1000°C. Après trois heures de fusion, le mélange est coulé dans des moules (Figure III.14). L'or demeure au fond du premier moule tandis que les scories sont dirigées vers les autres moules (Figure III.15).

Il est indispensable de suivre toutes les étapes/opérations de fabrication pour obtenir à la fin un lingot contenant entre 80 et 85% d'or, 15 à 18% d'argent, et 2 à 3% d'autres composants.

### **CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI**



**Figure III.14. Fusion.**



**Figure III.15. Versement de lingot.**

### CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI



Figure III.16. Lingot d'Or.

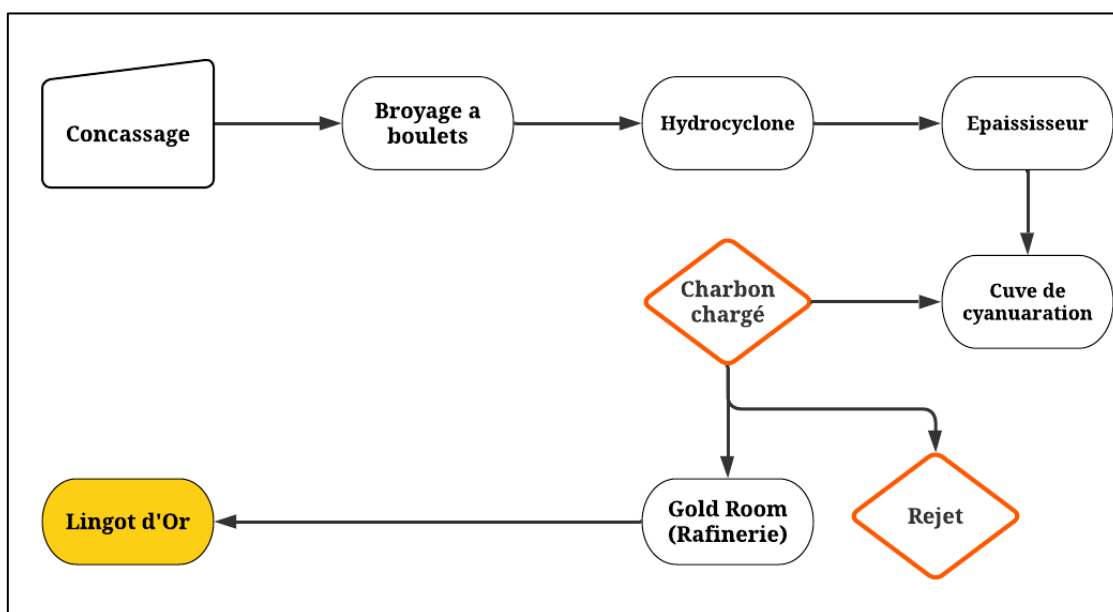


Figure III.17. Schéma récapitulatif de traitement et récupération de Lingot d'Or par la lixiviation en cuve

### CHAPITRE III : PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI

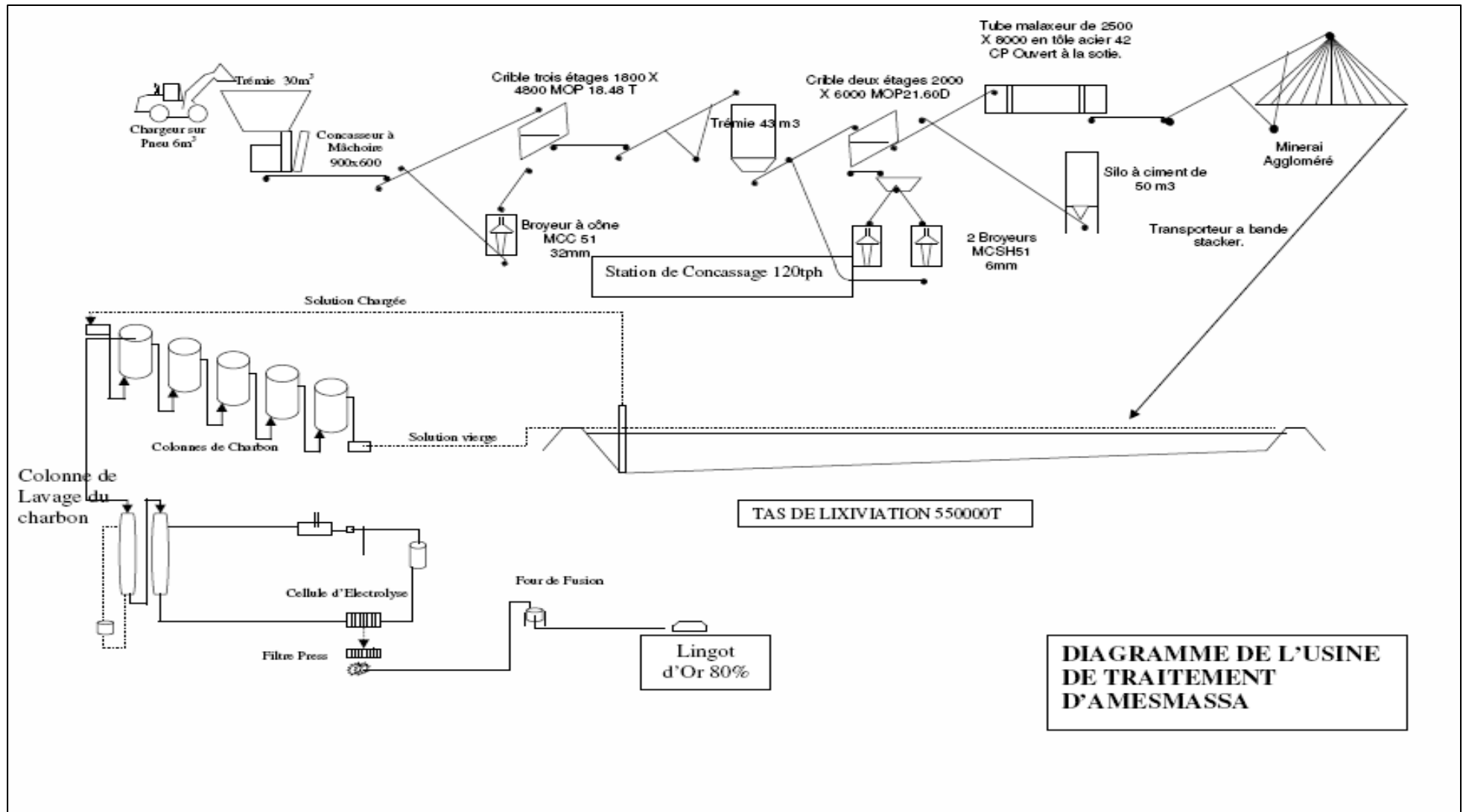


Figure III.18. Diagramme de l'usine de traitement d'Amesmassa.[17]

---

***Chapitre IV :***  
***Protocole***  
***opérateur et***  
***analyses***

---

### **Chapitre IV : Protocole opératoire et analyses**

#### **IV.1 Introduction**

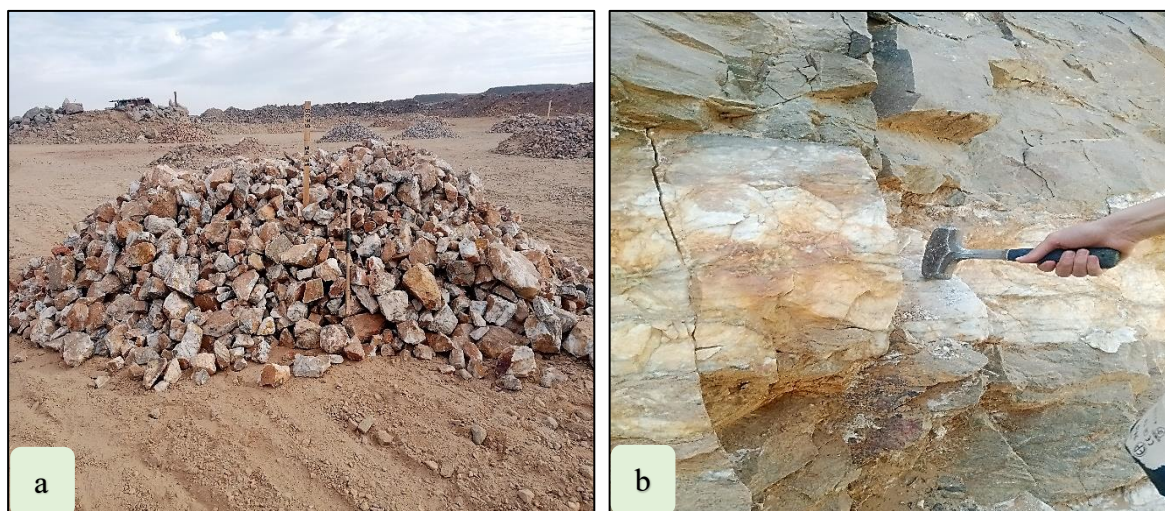
Dans ce chapitre dédié aux travaux du laboratoire, où on va aborder l'ensemble des opérations et les différentes étapes adoptées dans le laboratoire d'analyse chimique de la mine d'Amesmessas. En commençant par le choix de la méthode d'échantillonnage jusqu'aux tests de caractérisation, en mettant en lumière les produits utilisés ainsi que le matériel spécifique employé à chaque étape. Les tests ont été effectués sur deux minerais, le premier est le minerai extrait de la mine d'Amesmessas, le second sont des dépôts d'indices expédiés de la région de Tin Zaouatine, Sillet, Tirek, wilaya de « Tamanrasset » et « In Guezzam » dont le but est de déterminer la teneur en or., et la composition minéralogique et chimique de chaque minerai.

#### **2. Echantillonnage**

En tout premier lieu, il s'agit de prélever des échantillons de roche pour analyse en laboratoire. Dans notre cas, cela fait partie de la première étape du stage. Le prélèvement des échantillons était réalisé sous supervision du géologue de la mine, et ce, avant tout travail au laboratoire, car un bon échantillonnage va nous permettre d'avoir par la suite une matière réduite mais qui conserve toutes ses propriétés.

Nous avons réalisé un échantillonnage perpendiculaire au filon N°08 (roche encaissante et la zone minéralisée) (à la mine de Amesmessas) à l'aide d'un marteau et d'un pique (Figure IV.1). En parallèle, un échantillon hôte était choisis des minerais provenant des différentes microentreprises et qui portent chacun un matricule référentiel selon le permis minier de chaque microentreprise (**Chapitre II**).

Le prélèvement était effectué à l'aide d'une pelle et des sacs en plastique (environ de 10kg par sac).



**Figure IV.1.** Prélèvements des échantillons, a) – Dépôt d'un échantillon hôte, b) - Filon N°08.

### 3. Laboratoire de la mine d'or d'Amesmesssa

Il occupe une fonction en offrant un soutien indispensable à toutes les phases de la production minière, il joue un rôle essentiel en fournissant des données précises et fiables : Cela comprend l'analyse quotidiennement des échantillons provenant de l'usine de traitement (minerai, pulpe, solution et charbon). En outre, le laboratoire se trouve au cœur des opérations de contrôle « Géologique » et « d'Exploration ». Il est donc chargé de l'analyse approfondie des échantillons provenant des sondages réalisés par ces services

Le laboratoire d'Analyse se compose de quatre sections :

- Préparation mécanique ;
- Salle des Fours ;
- Laboratoire des analyses chimiques ;
- Salle du Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA).

#### 3.1 La préparation mécanique

Il s'agit d'un traitement mécanique appliqué sur le minerai (la roche) et vise à obtenir une pulpe fine et homogène, en trois étapes : Concassage des échantillons jusqu'à atteindre une fraction fine (<4mm) ; quartage des échantillons afin d'obtenir une quantité représentative d'environ un (01) kg ; et broyage à l'aide d'un Pulvérisateur « LM2 » jusqu'à parvenir à une pulpe fine (<75 $\mu$ m).

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES



Figure IV.2. Partie mécanique de laboratoire.

### 3.1.1 Le concassage

Avec 10kg de chaque minerai (Minerai de microentreprises & Zone minéralisée du filon n° 08) non concassé à notre disposition, nous avons procédé au concassage à l'aide d'un concasseur à mâchoire (échelle laboratoire) (Figure IV.3) pour permettre la réduction de la taille des roches ainsi que la libération des minéraux existants (Figure IV.4). Une taille de (<4mm) est généralement préférable pour une distribution homogène (Division). En optant sur cette dimension la séparation de ses fractions représentatives est plus convenable.



Figure IV.3. Concasseur a mâchoire.



Figure IV.4. Minerai concassé (<4mm).

## **CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES**

Le concasseur à mâchoires est constitué par deux mâchoires disposées en V, dont l'une est fixe et l'autre mobile. Cette dernière est articulée autour d'un axe horizontal qui peut être placé à la partie supérieure de l'appareil ou à la partie inférieure. Les mâchoires opèrent entre deux plaques latérales. Les matériaux sont concassés par compression et s'évacuent par gravité (Blazy et Jdid, 1991).[24]

### **3.1.2 La division**

Une fois concassé, on introduit le minerai dans le « diviseur d'échantillon à chutes » (Figure IV.5), également appelé « diviseur à riffle », cette opération permet de diviser avec une bonne précision l'échantillon initial (Figure IV.4) en deux sous-échantillons représentatifs, on élimine un au hasard et le second sera rediviser de la même sorte que le minerai concassé (initial), on obtient une masse d'approximativement 1kg pour passer en suite au broyage.



**Figure IV.5.** Diviseur a riffle.



**Figure IV.6.** Homogénéisation du minerai concassé par le diviseur à riffle.

### **3.1.3 Le broyage**

Le traitement se poursuit par le broyage, en plaçant l'échantillon obtenu de la division dans un « pulvérisateur à disque » (Figure IV.7) dont le but est de réduire encore d'avantage la taille des particules, jusqu'à l'obtention d'un produit dont la granulométrie est inférieure à **75 $\mu$ m** (pulpe fine). Cela nous permet d'observer et d'avoir de meilleurs résultats.



Figure IV.7. Pulvérisateur à disque LM2.

### 3.1.4 Le quartage

Après avoir broyé l'échantillon, celui-ci est disposé sur une surface propre et neutre par rapport aux paramètres à analyser. À l'aide d'une bêche en papier, le matériau est façonné en une galette plate circulaire, celle-ci est ensuite divisée en quatre quartiers, d'où le nom « quartage ».

Le prélèvement consiste à collecter le matériau de l'échantillon en commençant depuis le bord externe du tas conique et en se déplaçant progressivement vers le centre. Cette méthode permet d'assurer une représentation homogène de l'échantillon, en prélevant cette portion de matériau provenant de différentes zones du tas et mise dans un sac en plastique, muni d'un numéro d'identification et la date de prélèvement de l'échantillon.

Comme dans notre cas d'étude, chaque échantillon prélevé est muni d'un matricule référentiel selon le permis minier de chaque microentreprise.

## 4. Initiation au tests réalisés au laboratoire

Après avoir mené à bien l'échantillonnage initial des minerais ciblés, nous avons entrepris les travaux mécaniques essentiels pour préparer les échantillons à des fins d'analyse approfondie. Cette étape rigoureuse a impliqué le concassage, la division et le broyage de l'échantillon afin de réduire sa taille et d'homogénéiser sa composition.

Une fois cette préparation mécanique est achevée, nous avons procédé au quartage des

## ***CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES***

échantillons, en prélevant soigneusement des portions représentatives d'environ 1 kg pour chaque test, ainsi qu'une quantité supplémentaire pour calculer la teneur initiale, et la réalisation des tests de décantation.

Le schéma intégré (Figure IV.8) illustre de manière concise l'enchaînement des différentes étapes, depuis l'échantillonnage initial jusqu'à la préparation des échantillons quartagés, offrant ainsi une vue d'ensemble claire et synthétique de notre processus de travail.

Ces échantillons quartagés ont été préparés avec minutie et placés dans des bouteilles roulantes, prêtes à être soumis à une série de tests d'analyse, notamment des tests de lixiviation et d'adsorption.

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES

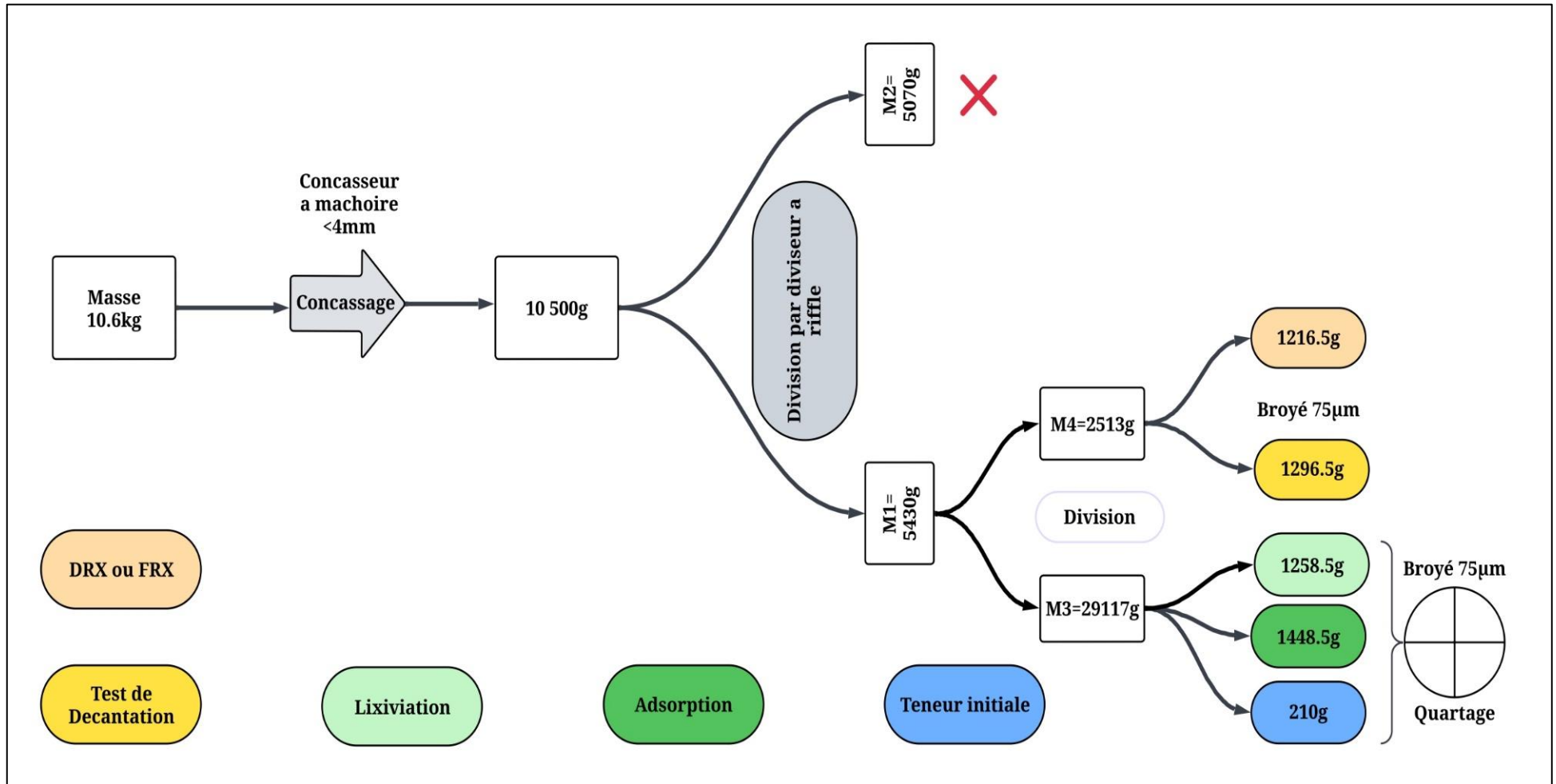


Figure IV. 8. Processus de Préparation Mécanique et de Quartage des Minerais.

## **CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES**

### **4.1 Test de lixiviation**

L'évaluation de la récupération de l'or par cyanuration en bouteilles roulantes est la première étape de la norme industrielle pour évaluer la possibilité de cyanuration, elle est souvent utilisée dans les laboratoires miniers « essais de cyanuration à petite échelle ». Cette expérience en bouteilles, est utilisée dans le traitement de l'or qui implique l'agitation de solution contenant du minerai aurifère avec du cyanure. Ces bouteilles sont ensuite placées sur un agitateur rotatif qui les fait rouler, assurant ainsi un mélange homogène du cyanure avec le minerai. Tout au long de l'essai, on surveille et contrôle attentivement les niveaux d'oxygène, l'alcalinité, Les résultats des essais permettent de connaître les taux de récupération prévus, et de déterminer les conditions optimales de cyanuration pour un minerai donné.

Le cyanure est utilisé pour les gites primaires, il rend soluble l'Or. La dissolution d'Or dépend de la concentration en cyanure de sodium (NaCN). Formant ainsi un complexe soluble d'or-cyanure.

La lixiviation est particulièrement adaptée pour les minerais de faibles teneurs (jusqu'à 0,2g/t). Seulement 0,3 à 0,5 kg de cyanure par tonne de minerai sont en principe nécessaires pour dissoudre et extraire l'or ; cependant dans la pratique, la consommation peut être comprise entre 300 grammes à plus de 2 kg par tonne pour atteindre une extraction efficace.

Le laboratoire de la mine d'Amesmesssa est équipé de bouteilles en plastique de forme cylindrique spécifiquement conçues pour ces tests (Annexe II.1). Dans le cadre de ces essais, nous avons soigneusement préparé une de ces bouteilles pour étudier la récupération de l'or par le cyanure à court terme.

#### **4.1.1 Matériel utilisé**

- Une balance électrique ;
- Soude caustique (NaOH) pour régulariser le pH ;
- Cyanure ;
- Minerai ;
- Bouteilles roulantes (Bottel roll) ;
- Eau distillée ;
- Des tubes à essais et leur support ;
- Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA).

Avant de commencer ces deux essais, un échantillon broyé de 60g a été prélevé pour calculer la teneur initiale du solide par analyse de SAA. Dans cette étape, le test est réalisé

## **CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES**

dans la salle des fours (Fusion, coupellation), le laboratoire des analyses chimiques (Digestion acide), et à la salle du SAA.

### **4.1.2 Mode opératoire**

- Préparer un (01) kg du minerai à étudier (broyage fin) (Annexe II.5), il faut le mettre dans une bouteille bien lavée (Bottel roll).
- En parallèle, préparer une solution de 1L d'eau distillée, ajouter à cette solution 0.5 g de soude caustique (NaOH) et 03 g de Cyanure de Sodium (NaCN) (Annexe II.4).
- Ajouter la solution préparée au minerai de 1 kg, et mettre en rotation la bouteille.
- Prélever des échantillons pour analyse par SAA selon les intervalles.

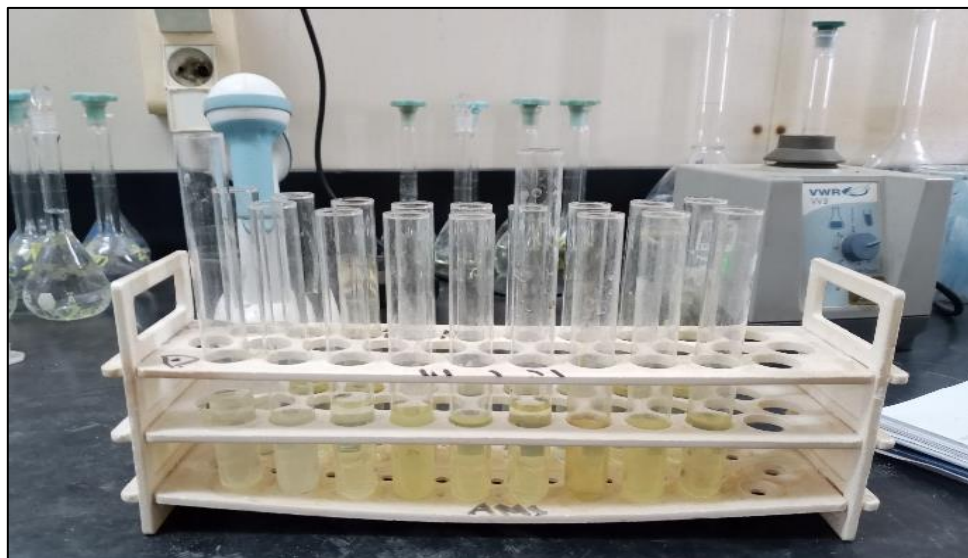
Le minerai broyé est traité dans la solution diluée de NaCN en pH basique ( $> 10$ ) afin éviter la libération de Cyanure d'Hydrogène (HCN) très toxique. La bouteille est ensuite mise en agitation pendant **12h** sur un dispositif de rotation (Figure IV.9).



**Figure IV.9.** Dispositif de rotation des « Bottel roll ».

Des échantillons sont prélevés dans des tubes à essai pour analyse SAA à des intervalles prédéterminés, à savoirs : 10 min, 20 min, 30 min, 60 min, 90 min, 180 min, 240 min, 300 min, 720 min.

Ils sont prélevés à différents instants. Immédiatement après le prélèvement, la pulpe est filtrée à l'aide d'un papier filtre pour récupérer la solution. Le solide est retourné dans la bouteille.



**Figure IV.10.** Echantillon après filtration.

A la fin du test, la pulpe (minerai + solution diluée) est versée dans une presse « Bottle roll » (Annexe II.6) dont le rôle est d'expédier la solution diluée par une tige, pour récupérer à la fin le solide de la pulpe (pulpe déshydratée) sous forme d'une galette arrondie (Annexe II.7). Ce solide sera ensuite séché dans une étuve (Annexe II.8).

### 4.2 Test d'adsorption dynamique avec charbon actif

L'adsorption est un processus de surface où des molécules se lient à la surface d'un matériau adsorbant par des interactions faibles telles que les interactions électrostatiques et les liaisons hydrogène. Le charbon actif est un exemple d'adsorbant, se présentant sous forme amorphe et principalement composé d'atomes de carbone, souvent obtenus par carbonisation à haute température de la matière première.

Le principe de récupération de l'or par le charbon actif dans ce test repose sur la capacité qu'ont les matières carbonées actives d'absorber l'or contenu dans la solution de cyanure.

**Charbon actif :** C'est un agent puissant pour la récupération, la séparation, et la purification de plusieurs matériaux. Avec le charbon actif, près de 99,5% de l'or peut être récupéré, en fonction de la réactivité du charbon, de la quantité de charbon utilisé, et de l'efficacité du mélangeur.

Le charbon chargé est séparé de la pulpe par un tamis.

Dans ce second test d'adsorption, le même procédé que celui du test de Lixiviation est répété, en utilisant le même matériel et le même mode opératoire. La seule différence dans l'adsorption est que la pulpe est agitée dans les bouteilles roulantes est mise en contact avec du

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES

charbon vierge :

- Il faut laisser la bouteille en rotation pendant 12h sans rien faire ;
- Après 12h de rotation, on fait un prélèvement pour déterminer la teneur initiale  $C_0$  ;
- Après prélèvement de  $C_0$ , on ajoute 1.5g de charbon vierge à la pulpe ;
- Dès l'ajout du charbon, on commence à prélever des échantillons pour analyse par SAA selon les intervalles suivants : 10 min, 20 min, 30 min, 60 min, 90 min, 180 min, 240 min, 300 min ;
- En plus de la teneur finale on Or dans le solide, sa teneur est déterminée dans le charbon par SAA, en passant par l'analyse chimique (Figure IV.12) ;
- Pour récupérer le charbon chargé du Bouteilles roullontes, on utilise un tamis (Figure IV.11), en suite le rincer avec de l'eau distillée, puis on le met dans l'étuve pour le séchage.



**Figure IV.11.** Charbon récupéré après le test. **Figure IV.12.** Charbon dans le bain marie.

### 4.3 Test de décantation

Elle consiste à laisser reposer un mélange hétérogène, dans notre cas (Eau/Pulpe), afin de permettre aux différentes matières de se séparer, ainsi les matières les plus lourdes se déposent en premier au fond, tandis que les autres vont se sédimentent suivant leurs densité (au-dessus).

#### 4.3.1 Décantation naturelle

On prépare 100g de minerai broyé à  $75\mu\text{m}$  (Figure IV.13), avec 100ml d'eau. Bien mélanger et mettre dans une éprouvette graduée, laisser décanter en mesurant la hauteur de la partie clarifiée en fonction du temps.

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES



Figure IV.13. 100g de minerai.

### 4.3.2 Décantation forcée

Nous procédons à une nouvelle exécution de l'expérience de décantation naturelle, cette fois-ci en introduisant un agent flocculant à raison de 0,02 g pour 100 g de minerai (Figure IV.14), afin de comparer les résultats avec la décantation naturelle.

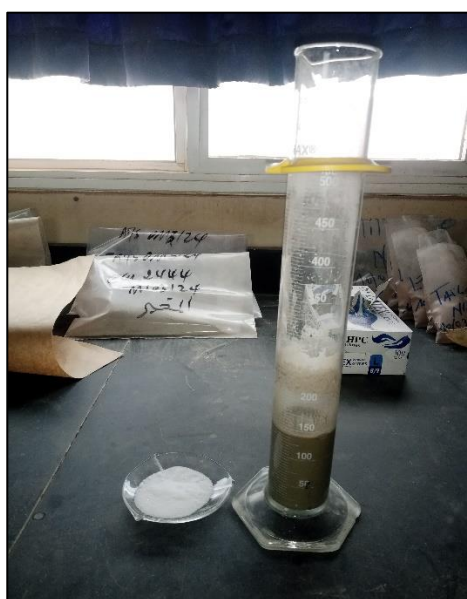


Figure IV.14. Pulpe + Flocculant.

### 4.4 Test de densité

Pour ce test, il faut choisir un échantillon représentatif sous forme de roche, le peser pour déterminer sa masse, puis l'immerger dans un béccher gradué et rempli d'eau. L'objectif est de déterminer le volume de cet échantillon, en prenant les niveaux d'eau avant et après

## **CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES**

l'émersion de l'échantillon.

L'unité de densité dans ce contexte est généralement exprimée en grammes par centimètre cube ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), mais elle peut également être en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ou dans d'autres unités équivalentes, en fonction de la préférence ou de la nécessité.

Densité = masse/volume

### **4.5 Docimasia plumbeuse (Fire Assay)**

La Docimasia Plumbeuse est une opération de traitement thermique de la pulpe extraite de la « Presse Bottle roll ». Elle est en deux étapes à savoir : la Fusion et Coupellation.

Avant de procéder à cette opération, on pétrifie le solide séché (Annexe II.7), puis le prélever à l'aide d'une spatule une quantité d'environ 70gr pour obtenir suffisamment de matière, afin effectuer une détermination de teneur en Or (finale) (Annexe II.9).



**Figure IV.15.** Solide pétrit après séchage.

#### **4.5.1 Fusion :**

Dans un creuset en matière réfractaire (Annexe II.10) on ajoute 90-100g de mélange fondant contenant du carbonate de sodium, de la farine alimentaire, borax et oxyde de plomb (Annexe II.11) et 30g de l'échantillon pétrifié (Annexe II.9). On mélange bien le contenu du creuset et on y ajoute 2ml de Nitrate d'Argent ( $\text{AgNO}_3$ ), puis on le met dans le four préchauffé à  $1050^\circ\text{C}$  (Annexe II.12) pendant une heure (60 min).

Une fois sortie du four, on déverse le contenu du creuset dans un moule en acier (Annexe II.13), le laisser refroidir pendant 10 min, puis briser la scorie avec un marteau et récupérer le

## **CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES**

bouton de plomb résultant de la fusion, puis l'aplatir avec le marteau.

Dans le processus de fusion de l'or, les scories se forment comme des résidus solides résultant de la fusion des minerais d'or. Ces scories sont généralement constituées d'impuretés telles que les métaux non précieux, les minéraux et les oxydes qui étaient présents dans le minerai d'or d'origine (Annexe II.14). Leur composition peut varier en fonction des caractéristiques spécifiques du minerai traité et des conditions de fusion utilisées. Les scories sont souvent séparées de l'or fondu et peuvent être traitées ultérieurement pour récupérer d'autres métaux ou être éliminées comme déchets.

### **4.5.2 Coupellation :**

La coupellation se fait dans le four préchauffé à 950°C (Annexe IV.12) où on place le bouton de plomb dans une coupelle de magnésite (Annexe IV.16) qui va réagir sous l'effet de la haute température en oxydant certains métaux (les métaux nobles ont pour propriétés d'être inoxydable). A la fin de la coupellation, nous obtenons une perle argentée (Annexe IV.17).

### **4.6 Digestion acide**

La perle est récupérée dans un tube à essai (Figure IV.16), où on ajoute 3 ml d'Acide Nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) à 30%, et on le met dans un Bain-marie préchauffé pendant 20 min (cela va faire dissoudre l'argent contenu dans la perle) ; puis on ajoute 3 ml d'Acide Chlorhydrique ( $\text{HCL}$ ) à 100% au tube à essai (du mélange des acides on obtient de l'eau-régale qui va faire dissoudre l'Or), et on remet ce dernier dans la Bain-marie pendant 20 min, à la fin, on y ajoute 4 ml d'eau distillée.



**Figure IV.16.** Tubes contenant les perles et  $\text{HNO}_3$  dans un Bain-marie.

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES



**Figure IV.17.** Les solutions de HCL + HNO<sub>3</sub>.

Une fois refroidis, agiter le tube à essai afin de s'assurer de la bonne homogénéisation du contenu, puis faire l'analyse de la teneur par SAA (Figure IV.19).

### 5. Détermination de la teneur des minerais

**Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) :** (Cours biochimie clinique A4-DV-ISV El Khroub- 2021/2022).

La SAA étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). La spectrométrie d'absorption atomique en flamme permet le dosage mono-élémentaire des cations majeurs de l'ordre du mg/L dans des échantillons liquides. [23]

Chaque élément a un nombre spécifique d'électrons associés à son noyau. La configuration orbitale normale et la plus stable des électrons est appelée état de base. Lorsque qu'une énergie est fournie à un atome, ce dernier l'absorbe et adopte une configuration électronique appelée état d'excitation. Cet état est instable et l'atome retourne immédiatement à son état de base libérant ainsi une énergie lumineuse.[23]

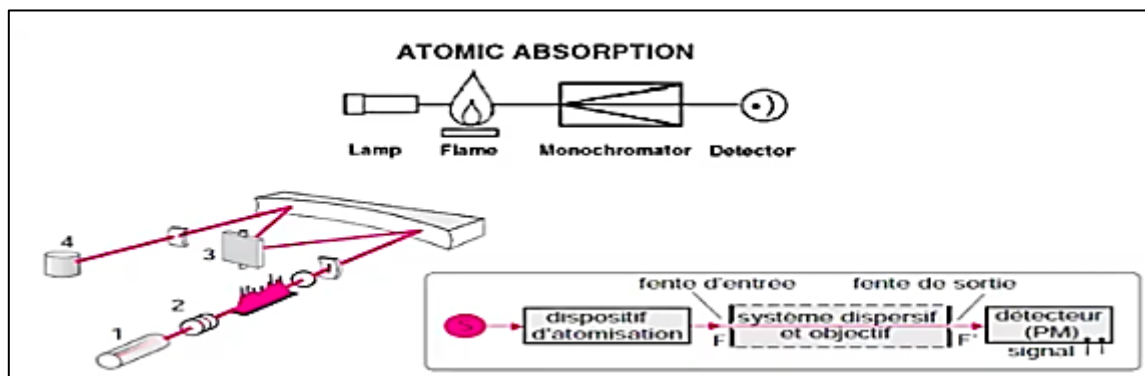
#### **Principe de AAS [23]**

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution.

L'adsorption atomique repose sur la capacité des atomes d'un élément métallique spécifique à être sélectivement adsorbés sur une surface, ce qui permet la détection et la

## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES

quantification précises de cet élément dans un échantillon donné.



**Figure IV.18.** Principe de la spectrométrie d'absorption atomique (Cours biochimie clinique A4-DV-ISV El Khroub- 2021/2022).

Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la flamme (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4).



**Figure IV.19.** Spectromètre d'absorption atomique du laboratoire d'Amesmesa.

La SAA appliquée aux minerais traités dans notre étude a pour but, la détermination de

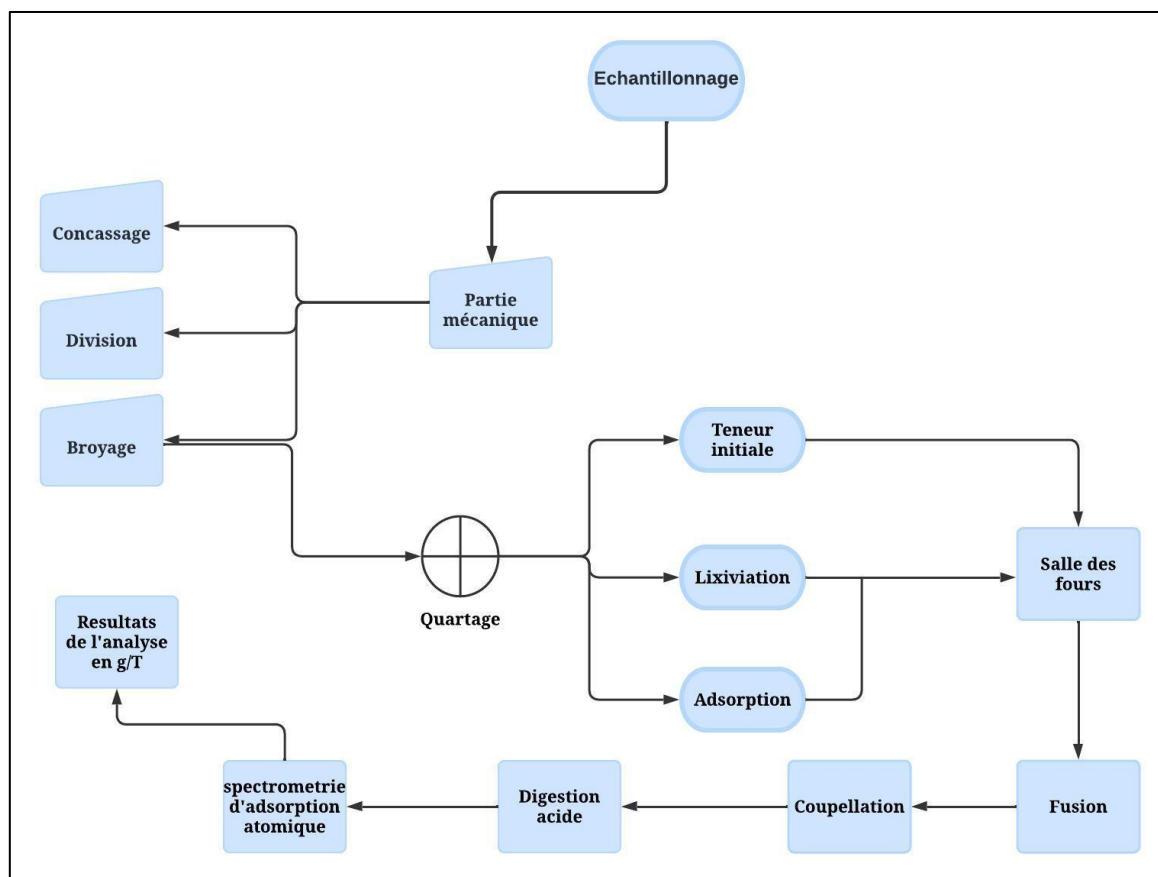
## CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES

la teneur en Or (Au) initiale, finale, et pendant les tests.

Pour l'échantillon traité dans notre étude (échantillon **2409**) In Allarene (Tirek), les résultats obtenus par la SAA sont :

**Tableau IV.1.** Exemple de résultats d'analyse effectué par AAS.

Test de Lixiviation d'In Allarene (Echantillon 2409)	
Teneur initiale	7.40 g/T
Test d'Adsorption d'In Allarene (Echantillon 2409)	
Teneur du charbon	3179,31 g/T
Teneur C0	8,79 g/T



**Figure IV.20.** Schéma récapitulatif des étapes du protocole d'analyse.

## ***CHAPITRE IV : PROTOCOLE OPERATOIRE & ANALYSES***

### **IV.6 Conclusion**

Ayant conclu les travaux du laboratoire dans ce chapitre, nous avons abordé l'ensemble des opérations et les différentes étapes adoptées dans le laboratoire d'analyse chimique de la mine d'Amesmessas. Le choix de la méthode d'échantillonnage ainsi que l'application des tests de caractérisation, les produits utilisés et le matériel employé à chaque étape sont des facteurs déterminants pour la qualité de l'étude. Ayant étudié deux minerais, le premier est le minerai extrait de la mine d'Amesmessas, le second sont des dépôts d'indices expédiés de la région de Tin Zaouatine, Sillet, Tirek, wilaya de « Tamanrasset » et « In Guezzam », notre but fut de déterminer la teneur en or., et la composition minéralogique et chimique de chaque minerai.

---

*Chapitre V :*  
*Résultats &*  
*Discussions*

---

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

### **Chapitre V : Résultats et discussions**

#### **V.1. Introduction**

La démarche de caractérisation des minerais prise en considération dans cette étude, soit du gisement « d'Amesmesssa » ou des indices de « In Allarene », « Tin Erit », « In Tedeïni » consiste à interpréter les observations géologiques, ce qui nous aide à mieux connaître et à prévoir les procédés d'extraction et de la libération de l'or par cyanuration, et aussi choisir la meilleure méthode de traitement pour chaque type de minerai donné.

Trois minerais de différentes régions récemment extraits par les microentreprises forment le sujet de cette étude.

En premier lieu, nous allons essayer de caractériser les échantillons et de 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.

La deuxième partie du travail sera consacrée à l'étude comparative des minerais issus de l'exploitation artisanale et ceux de la mine d'Amesmesssa.

#### **2. Processus de traitement à petite échelle**

Le travail réalisé dans le laboratoire simulait les opérations effectuées lors de la production de l'or à l'usine (**chapitre IV**).

Les échantillons destinés à cette étude comparative, ont été soumis à une série de tests dans le but de déterminer les taux de récupération relatif à chaque procédé de production. Grâce à ces tests, plusieurs aspects de la production ont été étudiés : la lixiviation, l'adsorption, la décantation, et densité.

Les tests nous ont permis d'obtenir des résultats qui nécessite une interprétation détaillée.

##### **2.1 La lixiviation**

La lixiviation exprimait le taux de récupération de l'or dans le minerai par l'usage du cyanure. Chacun des minerais sera traité séparément.

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

### **2.1.1 Identification des échantillons**

#### **A. Amesmessa**

Pour le gisement d'Amesmessa, trois échantillons ont été récupérés dans différentes zones minéralisées du Filon n° 08. Le prélèvement de ces échantillons a été réalisé comme suit :

- Deux échantillons à la surface n° 0801 & n°0802
- Un échantillon

#### **B. Les Autres indices**

Pour les échantillons des autres indices sont identifiés comme suit :

- L'échantillon 2409 provenant de l'indice In Allarene.
- L'échantillon 2427 de l'indice de Tin Erit.
- L'échantillon 2431 & 2422 de l'indice In Tedeïni.

### **2.1.2 Interprétation des résultats**

Sur le long du test de lixiviation par cyanure en bouteilles roulantes des échantillons, on a remarqué que :

- Le taux de récupération dans le Filon 8 varie considérablement d'un échantillon à un autre.
- La durée nécessaire pour atteindre le pic d'extraction varie selon les échantillons du gisement d'Amesmessa. Pour ces échantillons, le pic d'extraction est obtenu après 180 minutes.
- Le taux de récupération maximale est obtenu dans l'échantillon 0803 d'Amesmessa avec 65 ppm, suivis par l'échantillon 0802 avec 4 ppm, tandis que celui de l'échantillon 0801 ne dépasse pas les 2,5 ppm, Contrairement à ce qui a été rapporté dans les documents existants où la teneur en Or qui principalement se situe en grande quantité à la surface et en quantité réduite en profondeur, cela peut se résulter d'une inversion des couches lors de l'extraction du minerai effectuée dans les années précédentes (pratiques d'exploitation mal orientées).

## Chapitre V : Résultats et discussions

### a) Amesmessa

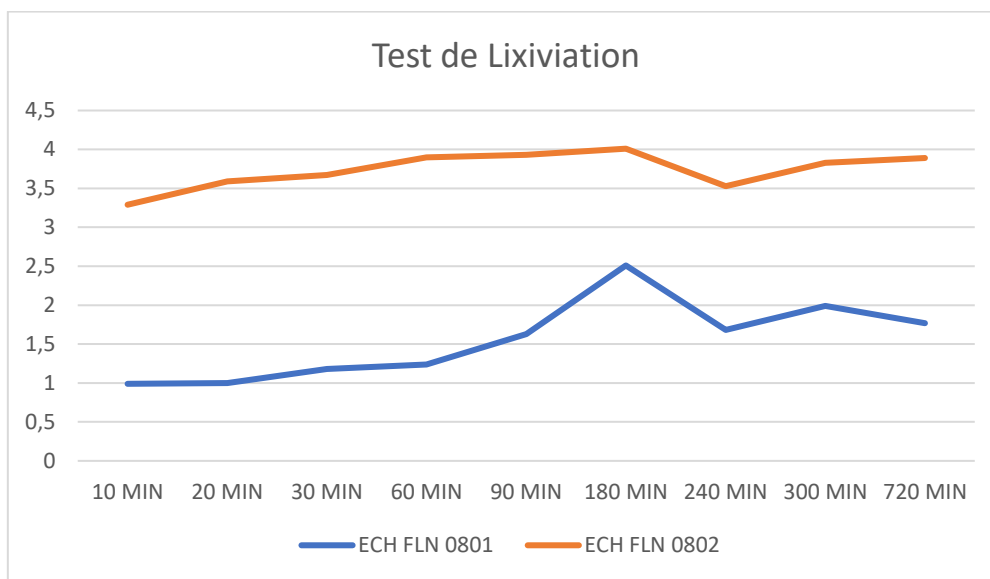


Figure V.1. Graphe montrant le taux de récupération des échantillons 0801 & 0802.

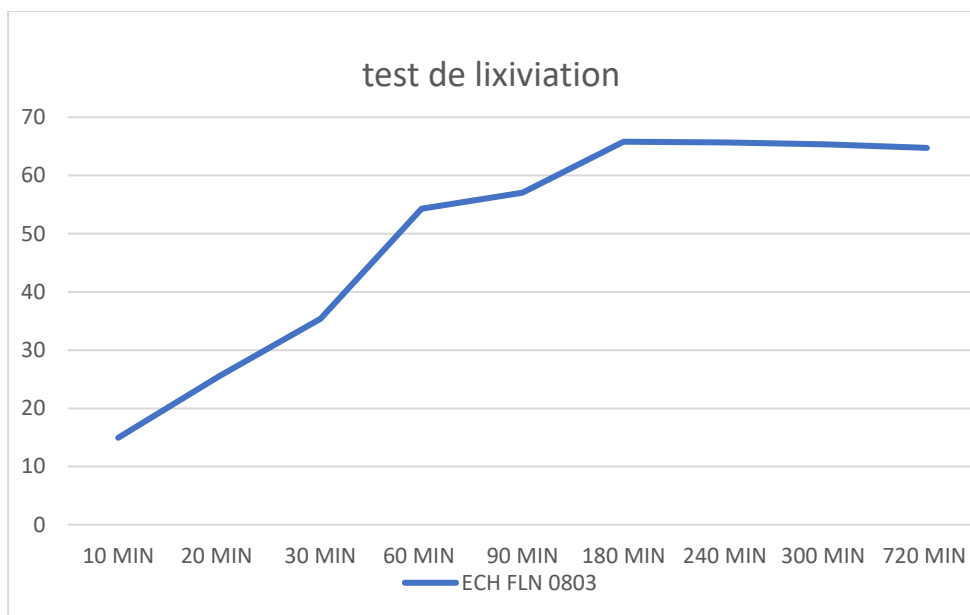
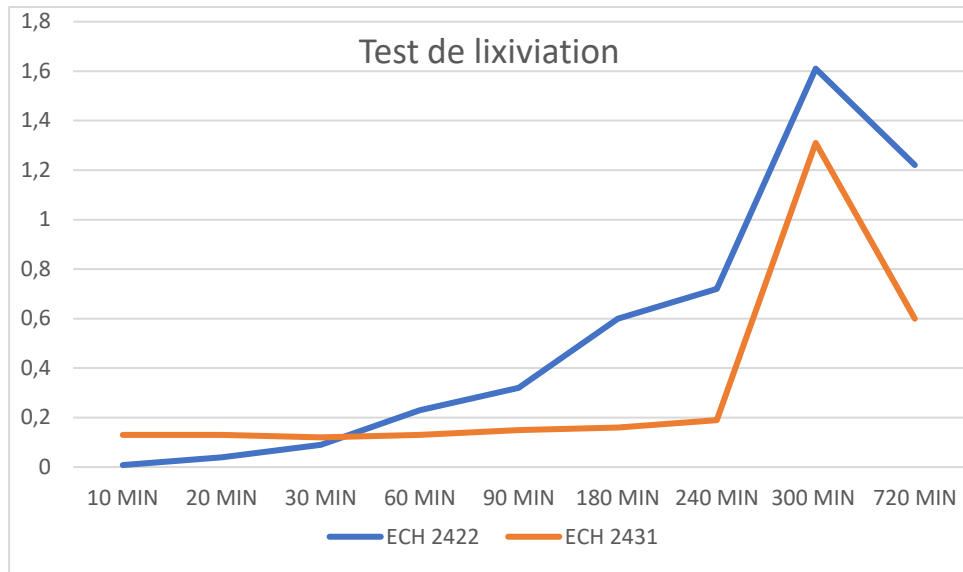


Figure V.2. Graphe montrant le taux de récupération de l'échantillon 0803.

### A. Les résultats de test de lixiviation pour les échantillons d'Indice de Tin Erit et d'Indice de In Tedeïni

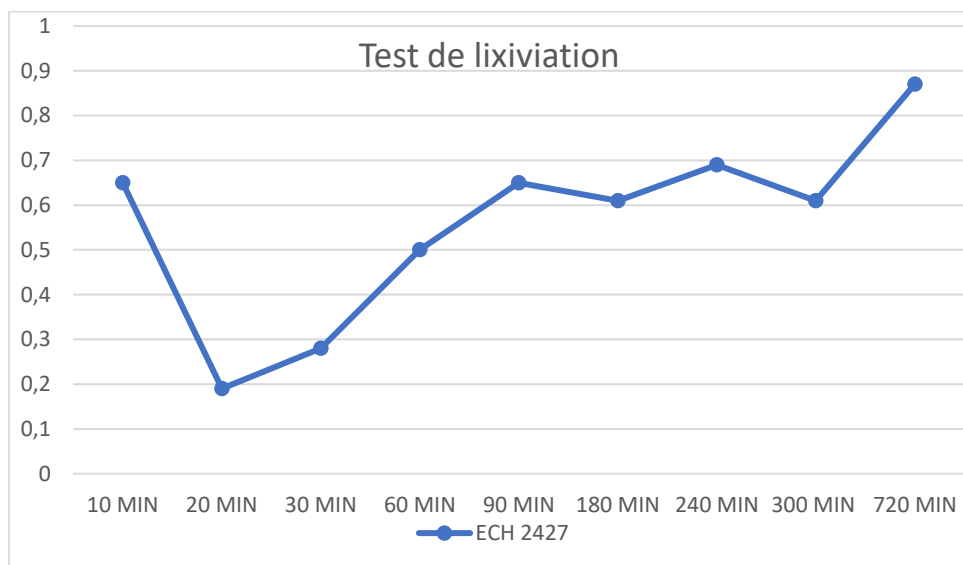
- Le taux de récupération de l'échantillon 2422 est plus élevé que celui de 2431 en fonction du temps, cependant le pic d'extraction de ces échantillons est obtenu après 180 minutes.

## Chapitre V : Résultats et discussions



**Figure V.3.** Évolution du taux de récupération des échantillons 2431 et 2422.

- L'échantillon 2427 marque une chute de récupération à partir de la minute 10 pour enregistrer un pic abyssal à la minute 20, puis le taux de récupération commence à augmenter progressivement, pour atteindre un pic d'extraction équivalent à 720 min égale à 1 ppm.

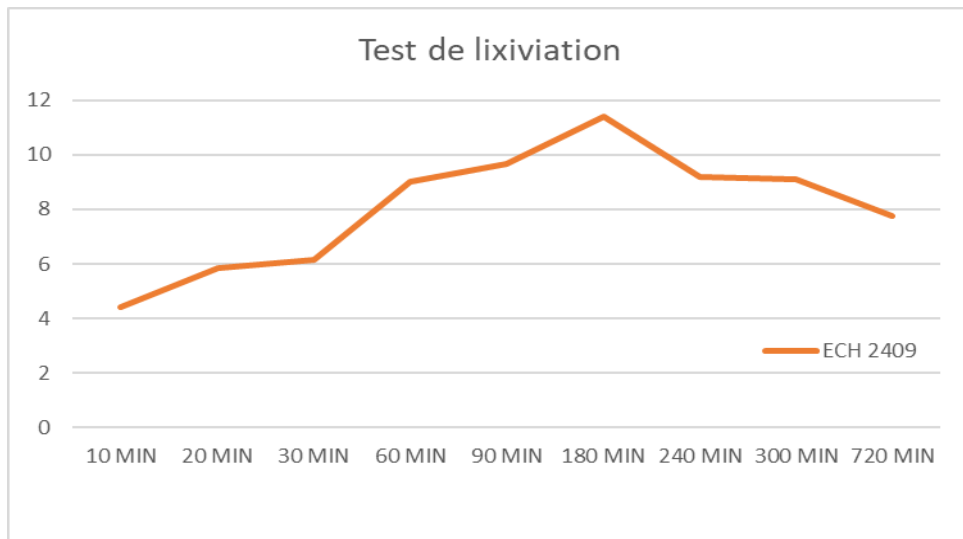


**Figure V.4.** Évolution du taux de récupération d'échantillon 2427.

### B. Les résultats de test de lixiviation pour l'échantillon d'Indice d'In Allarene.

- Le pic d'extraction est obtenu après 180 minutes, la teneur de cet échantillon d'in Allarene 2409 va jusqu'à 11 ppm.

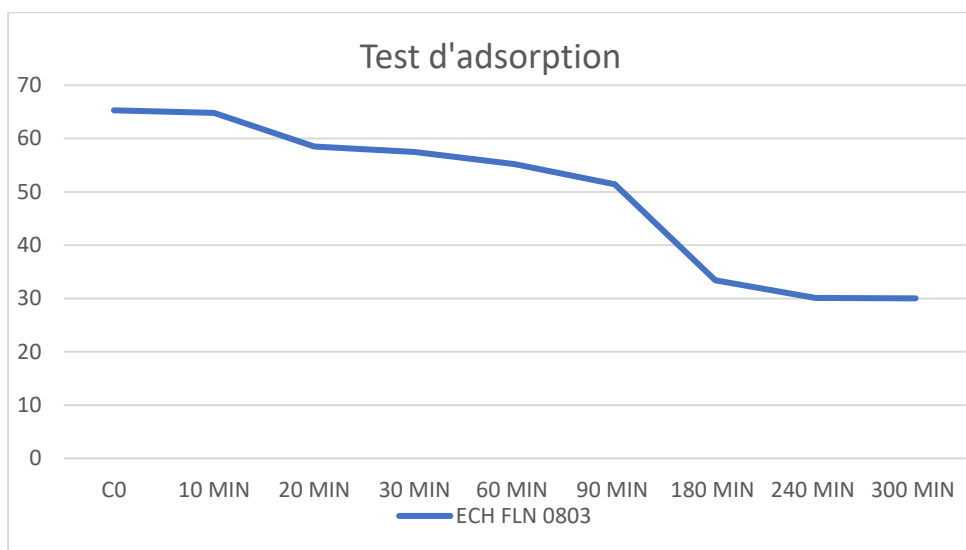
## Chapitre V : Résultats et discussions



**Figure V.5.** Graphe de taux de récupération de l'échantillon 2409.

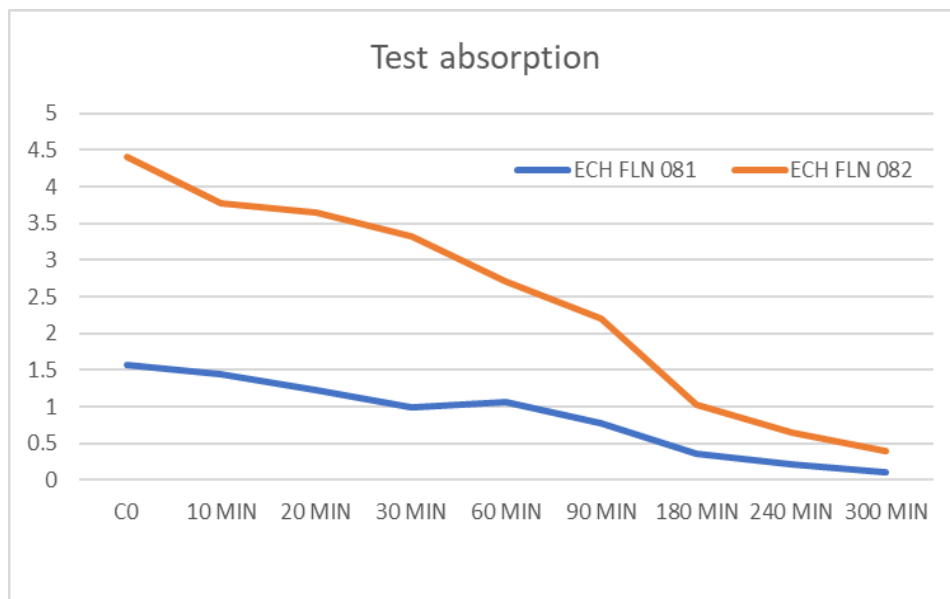
### 2.2 Test d'adsorption

#### a. Les résultats de test d'adsorption pour les échantillons Amesmessa



**Figure V.6.** Graphe de taux d'évolution de d'adsorption de l'échantillon 0803 en fonction de temps de séjours.

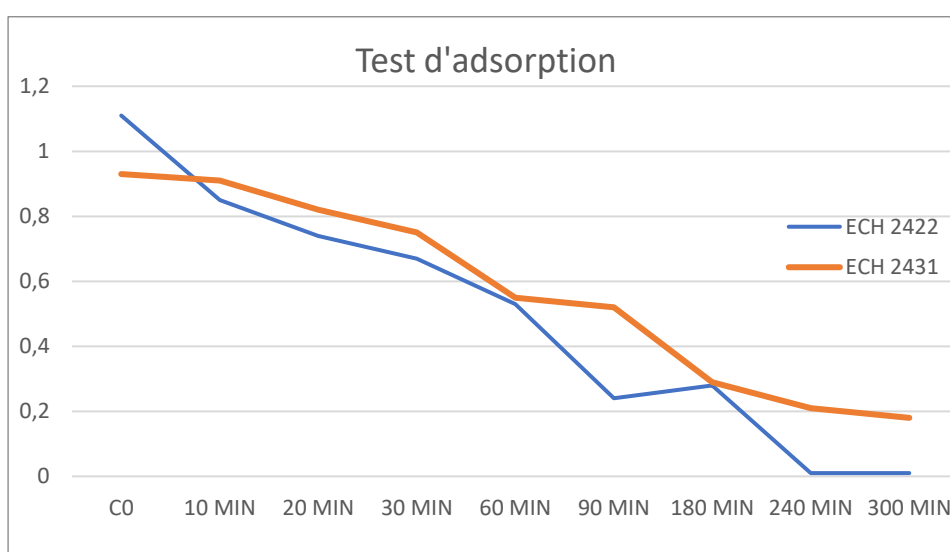
## Chapitre V : Résultats et discussions



**Figure V.7.** Taux d'évolutions du taux d'adsorption d'ECH 081 et ECH 082 en fonction du temps de séjours.

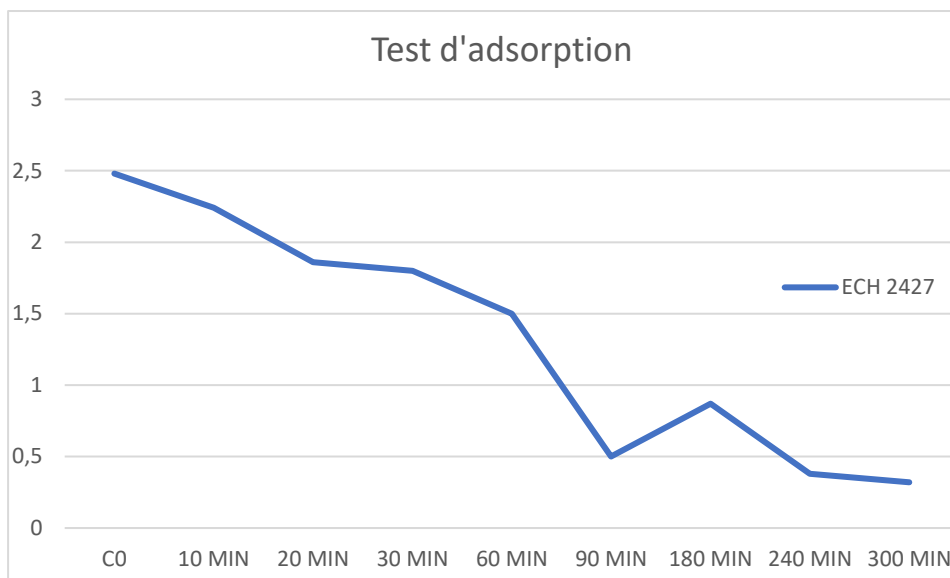
- Pour le filon n°8 ECH 0803 la teneur avant l'ajout de charbon actif était de 65 ppm a 0min (Après 12 h de lixiviation), après l'ajout de charbon actif et à partir de là elle a commencé à diminuer jusqu'à 30,02 ppm après 300 min.
- Pour les échantillons 0801 et 0802 la teneur en or diminue progressivement durant le séjour du test d'adsorption.

### b. Indices de Tin Erit et indice de In Tedeïni

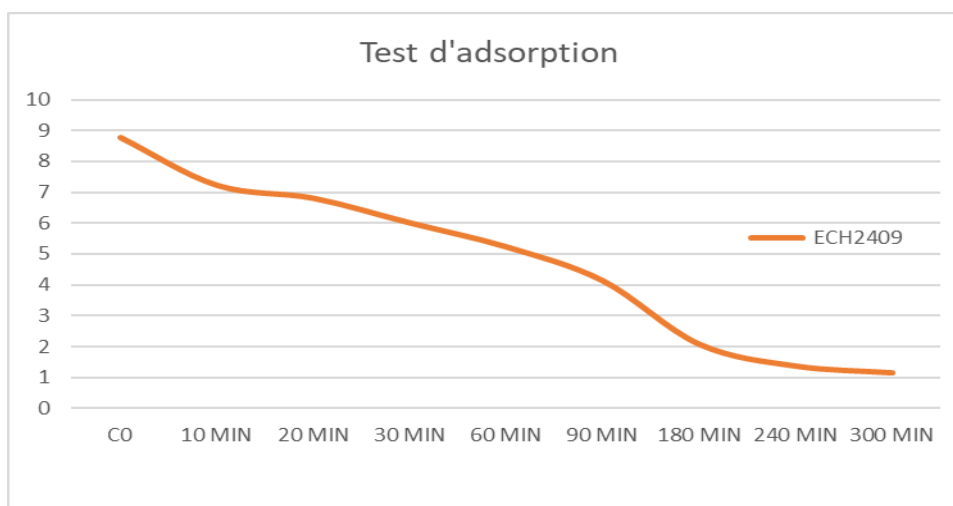


**Figure V.8.** Taux d'évolutions du taux d'adsorption d'ECH 2422 et ECH 2431 en fonction du temps de séjours.

## Chapitre V : Résultats et discussions



**Figure V.9.** Évolutions du taux d'adsorption ECH 2427 en fonction du temps de séjours.



**Figure V.10.** Évolutions du taux d'absorption d'ECH 2409 et en fonction du temps de séjours.

- 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.
- L'adsorption des anion  $\text{CN}^-$ ,  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  par le charbon actif s'accompagne d'une démunissions de la teneur en or 'en fonction de temps ce qui est montré sur les figures (Figure V.8, Figure V.9 et Figure V.10).

## Chapitre V : Résultats et discussions

### 2.3 Teneur de charbon actif après adsorption

**Tableau V.1.** Résultats des teneurs du charbon actif après adsorption des échantillon d'Amesmesssa.

Echantillon	ECH0801	ECH0802	ECH0803
Teneur g/T	872	1574	27 400

**Tableau V.2.** Résultats des teneurs du charbon actif après adsorption des échantillons des indices.

Echantillon	ECH2409	ECH2422	ECH2431	ECH2427
Teneur g/T	3179,31	796	476	1860

- Pour la teneur du charbon actif récupéré pour tous les échantillons augmente par rapport à la teneur initiale.
- L'augmentation de la teneur du charbon actif après 720min du test d'absorption et bouteilles roulantes est expliqué par le phénomène d'absorption de l'or qui est extrait par le cyanure puis adsorbé par le charbon actif, les résultats des tableaux V.2., V.3.
- Le charbon joue un rôle d'un absorbant en portant l'or.

### 2.4 Résultats de test de densité :

**Tableau V.3.** Résultats du test de densité – Amesmesssa

	Volume	Poids de la roche	Densité = poids/volume
Echantillon 0803	50 mml	130g	$130/(50 \cdot 10^{-3})=2,6/1000=0,0026$
Echantillon 0802	65 mml	149.5g	$149,5/(65 \cdot 10^{-3})=2,3/1000=0,0023$

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

**Tableau V.4.** Résultats du test de densité – Indices.

	Volume	Poids de la roche	Densité = poids/volume
Echantillon 2409	70 mml	153g	$153 / (70 \cdot 10^{-3})$ $= 2,18 / 1000 = 0,00218$

- Le minerai d'Amesmesssa est plus dense que le minerai exploité de la part des micro-entreprise (artisanal).

### **3. Résultats de test de décantation :**

**Tableau V.5.** Résultats des tests de décantation naturelle du Filon n° 08.

Distance (mm)	Décantation naturelle		
	Ech 01 Filon 08	Ech 02 Filon 08	Ech 03 Filon 08
	Temps (min)	Temps (min)	Temps (min)
5	5,11	2,22	2,03
10	8,42	3,46	4,26
15	9,23	4,59	5,30
20	10,14	6,19	6,35

**Tableau V.6.** Résultats des tests de décantation forcée du Filon n° 08.

Distance (mm)	Décantation forcée		
	Ech 01 Filon 08	Ech 02 Filon 08	Ech 03 Filon 08
	Temps (min)	Temps (min)	Temps (min)
5	1,23	1,32	1,03
10	2,21	2,13	1,21
15	4,09	3,06	2,09
20	6,22	5,01	2,36

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

**Tableau V.7.** Résultats des tests de décantation naturelles des régions In Allarene & Tin Erit.

Distance (mm)	Décantation naturelle	
	In Allarene (Ech 2409)	Tin Erit (Ech 2427)
	Temps (min)	Temps (min)
5	1,42	4,27
10	4,43	9,31
15	7,44	17,57
20	11,51	24,20

**Tableau V.8.** Résultats des tests de décantation forcée des régions In Allarene & Tin Erit.

Distance (mm)	Décantation forcée	
	In Allarene (Ech 2409)	Tin Erit (Ech 2427)
	Temps (min)	Temps (min)
5	1,30	3,07
10	3,49	6,24
15	6,31	11,13
20	9,15	17,02

**Tableau V.9.** Résultats des tests de décantations naturelle de la région In Tedeïni.

Distance (mm)	Décantation naturelle	
	Ech 2431	Ech 2422
	Temps (min)	Temps (min)
5	5,18	4,10
10	9,12	7,56
15	13,10	12,04
20	22,01	18,13

## Chapitre V : Résultats et discussions

**Tableau V.10.** Résultats des tests de Décantations forcée de la région d'In Tedeïni.

Distance (mm)	Décantation forcée	
	Ech 2431	Ech 2422
	Temps (min)	Temps (min)
5	3,01	2,13
10	7,25	6,12
15	9,03	10,28
20		14,11

- L'échantillon du filon 8 a montré la décantation la plus rapide, La pulpe s'est sédimentée en un temps record, En revanche, le reste des échantillons ont montré une sédimentation plus lente, le minerai d'Amesmesssa montre les meilleurs résultats.
- L'ajout d'un flocculant a ralenti la sédimentation au début. Cependant, après un certain temps, le flocculant a facilité la décantation.
- La décantation forcée s'est avérée plus rapide que la décantation naturelle.
- L'ajout de flocculant améliore le rendement du filtre. Il facilite la décantation en réduisant les forces de répulsion entre les particules lourdes de la pulpe.

### 4. Etude comparative :

**Minerai du filon n° 8 d'Amesmesssa :** est le plus rentable avec :

- Teneur en Or initiale très élevée de 65 ppm ;
- 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 30,03ppm
- Augmentation du taux de récupération de l'Or par charbon actif ;
- Une composition élémentaire apparition de plomb ;
- Filtration très rapide de quelque second seulement.

**Minerai de d'In Allarene :** ayant une rentabilité moyenne avec :

- Teneur en Or initiale de 8,79 ppm ;
- Une bonne libération de l'or par cyanuration en fonction du temps ;
- Teneur en Or finale de 1,15 ppm ;

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

- Le taux de récupération de l'or par charbon actif est de la teneur initiale ;
- Filtration lente.

**Minerai d'In Tedeïni et de Tin Erit** : ayant à une rentabilité très faible avec :

- Dissolution d'Or dans la lixiviation et son taux de récupération sont faibles ;
- Filtration lente en fonction de temps ;
- C'est un minerai pauvre ;
- La libération par le cyanure est bonne avec un taux de récupération qui s'augmente en fonction de temps.

### **5. Conclusion**

D'après l'interprétation des résultats obtenus des différents tests réalisés au niveau du laboratoire d'analyse chimique d'Amesmess, nous constatant que les échantillons du filons 08 de la mine d'Amesmess présentent les meilleurs résultats principalement à leur réaction durant cette simulation.

Les échantillons des régions étudiées qui présentent les teneurs les plus élevées sont, Echantillon n° 0803 du Filon 08 d'Amesmess est d'une bonne rentabilité avec une teneur de 65 ppm et l'échantillon n° 2409 de la région d'In Allarene est d'une rentabilité moyenne avec une teneur de 8,79 ppm, néanmoins, les échantillons n°0801 n°0802 issues de la surface du Filon n° 08 qui sont d'une faible teneur en or variante entre 1 ppm et 4 ppm, ces derniers ont une faible rentabilité.

Tandis que, les échantillons exploités artisanalement et référenciés selon les permis miniers comme-suit n° 2427 de la région de Tin Erit ne dépasse pas les 3 ppm, n° 2422-n°2431 dont les teneurs sont négligeables d'une valeur qui ne dépasse pas les 1 ppm.

---

*Conclusion  
Générale*

---

## *Conclusion Générale*

### **Conclusion générale**

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, une étude sur l'industrie minière de l'or a été menée. L'objectif était de faire un aperçu sur les différentes activités et opérations qui constituent le processus de traitement de l'or en Algérie.

Deux différents types de minerais ont été étudiés dans ce projet. Le premier est le minerai de la mine d'Amesmessas qu'il extrait par une exploitation à ciel ouvert, tandis que le deuxième est un minerai hôte extrait par la méthode artisanale.

D'après les simulations et les différents tests réalisés, on peut conclure que le minerai d'Amesmessas présente le comportement le plus efficace et le taux de récupération le plus élevé, où le rendement est optimal. Cela peut être expliqué par les différents processus géologiques et par leur composition minéralogique, comme la présence de certains minéraux facilitant la séparation des particules d'or (Au) nécessaires de la gangue.

Ainsi, la récupération optimale et l'efficacité du traitement du minerai d'Amesmessas sont attribuées à sa composition minéralogique distincte et aux conditions géologiques favorables qui prédominent dans cette région.

---

*Références  
Bibliographiques*

---

## *Références Bibliographiques*

- [1] : Gold mineralisation in the west Hoggar shear zone, Algeria, Juin, 1995.
- [2] : Merah Mohamed Reda, El garoui Mohamed Kamel Eddine, Mémoire fin d'études, Etude pétrographique et géochimique de quelques roches métamorphiques et magmatiques des régions d'Ahnet-Tin Zaouatine et Tassendjanet (Hoggar occidental- Algérie), Novembre 2020.
- [3] : J-P Liégeois, Une nouvelle carte géologique synthétique du bouclier touareg : un aperçu de ses structure globale et évolution géologique, Janvier 2019.
- [4] : Djamel Eddine AISSA, Mohamed TALBI, Abdelhakim LAZOUNI, Mokrane KESRAOUI et Sarnia NEDJARI, LES MINERALISATIONS AURIFERES DU HOGGAR (SUD ALGERIEN) ET LEURS RELATIONS AVEC LES ZONES DE CISAILLEMENTS LITHOSPHERIQUES, 2002.
- [5] : Mallem Nail, Zemmouri Hamza, Mémoire de fin d'études, études des carbonatites et syénites de la région d'Amesmesssa (Hoggar Occidental), 2021.
- [6] : Bagui Mokhtar, mémoire « CONTRIBUTION A L'ETUDE DES FILONS AURIFERES D'AMESMESSA (HOGGAR OCCIDENTAL), 2015 ».
- [7] : Faten Bechiri-Benmerzoug et Abla Azzouni-Sekkal, « Le complexe annulaire panafricain du Tin Erit : un exemple d'évolution subsolvus – hypersolvus d'une suite granitique, Janvier 2001 ».
- [8] : Abdelkader Semiani, « Métallogénie de la zone de cisaillement aurifère est-ouzzalienne : Structure, pétrologie et géochimie des gisements d'or de Tirek Amesmesssa (Hoggar occidental, Algérie), 1995 » Thèse doctorat de l'université de Rennes I.
- [9] : Mohamed TALBI, Abderrahmane BENDAOU, Jean-Robert KIENAST et Khadidja OUZEGANE, « le massif ultrabasique d'in allarene in Ouzzal sud-Hoggar occidental : étude pétrographique et minéralogique, 2007 ».
- [10] : ENOR News, Bulletin d'ENOR 001, Avril 2008.
- [11] : Davidov YU, Oysiannikov I : Rapport sur la prospection-Evaluation de la zone Aurifère d'Amesmesssa (1976/1979).
- [12] : Pozdiankov, Rapport de fin des travaux sur l'évaluation du gisement d'Amesmesssa avec récapitulatif des réserves. Volume 1 Office national de la Recherche Géologique et Minière O.R.G.M Division Sud, p 4-8, 25-28, 35 -36. (01/10/1993).

## *Références Bibliographiques*

- [13] : Sifaoui D, Guemama M, Contrôle géologique, exploitation à ciel ouvert - ENOR Spa, (novembre 2007).
- [14] : John N. Gyedu Géologie minière : La supervision d'exploitation minière « projet de la mine d'or Amesmessa ».
- [15] : Mr. Baaloul Bedjad Mr. Bencherif Sadek, Mémoire fin d'étude « Définition et calcul de la teneur de coupure de la mine d'or d'Amesmessa, Tamanrasset, 2015 »
- [16] : Jessica Egan, « effet de la granulométrie sur la cyanuration de l'Or », 2007.
- [17] : Rapport interne de l'entreprise nationale de l'exploitation des mines d'Or « ENOR » la lixiviation en tas en niveau de la mine d'Amesmessa, 2003.
- [18] : ORGM, N., 1993 Rapport de fin des travaux sur l'évaluation du gisement d'Amesmessa avec récapitulatif des réserves. Rapport inédit, O.R.G.M.
- [19] : Rapport interne de l'Entreprise Nationale de l'Exploitation des Mines d'Or (ENOR), Le traitement du minerai aurifère d'Amesmessa, (2003).
- [20] : J. LIBAUDE et MONIZOT, Le traitement des minerais d'or, industrie minérale, les techniques, BRGM, France (1984).
- [21] : D. W. KAPPES, Precious Metal Heap Leach Design and Practice, Cassiday & Associates, Reno, Nevada.
- [22] : Rapports inédits de l'ENOR.
- [23] : Cours biochimie clinique A4-DV-ISV El Khroub- 2021/2022).
- [24] : Polycopié du cours Génie Industriel Alimentaire, NABET Nacim 2017-2018, par (Blazy et Jdid, 1991).
- [25] : Rapports inédits de l'ENOR.

---

# ***ANNEXES***

---

## Annexes

**Annexe I :** Coordonnées UTM Nord Du Sahara des indices étudiées.

**Tableau I.2.** Coordonnées UTM Nord Du Sahara zone (31) D'In Allarene.

Point	X(m)	Y(m)
1	441 000	2 369 000
2	441 200	2 369 800
3	441 200	2 369 600
4	441 100	2 369 600
5	441 100	2 369 500
6	441 000	2 369 500
7	441 000	2 369 300
8	440 900	2 369 300
9	440 900	2 369 200
10	440 800	2 369 200
11	440 800	2 369 400
12	440 900	2 369 400
13	440 900	2 369 600
14	441 000	2 369 600
Superficie	10 Ha	

**Tableau I.23.** Coordonnées UTM Nord Du Sahara zone (31) D'Tin Erit.

Point	X(m)	Y(m)
1	631 100	2 578 600
2	631 900	2 578 600
3	631 900	2 578 000
4	631 100	2 578 000
Superficie	48 Ha	

**Tableau I.3.** Coordonnées UTM Nord Du Sahara zone (31) D'in Tedeïni.

Point	X(m)	Y(m)
1	525 500	2 240 300

2	525 300	2 240 300
3	525 300	2 240 000
4	525 500	2 240 000
Superficie	6 Ha	

## Annexe II : Matériel utilisé, Fusion, Coupellation.

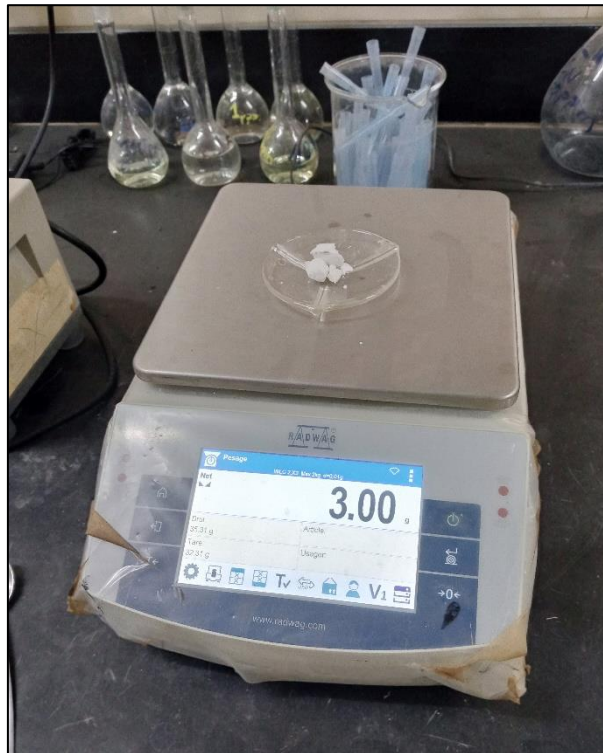
### Matériel utilisé



Annexe II.1. Bouteilles roulantes (Bottel roll).



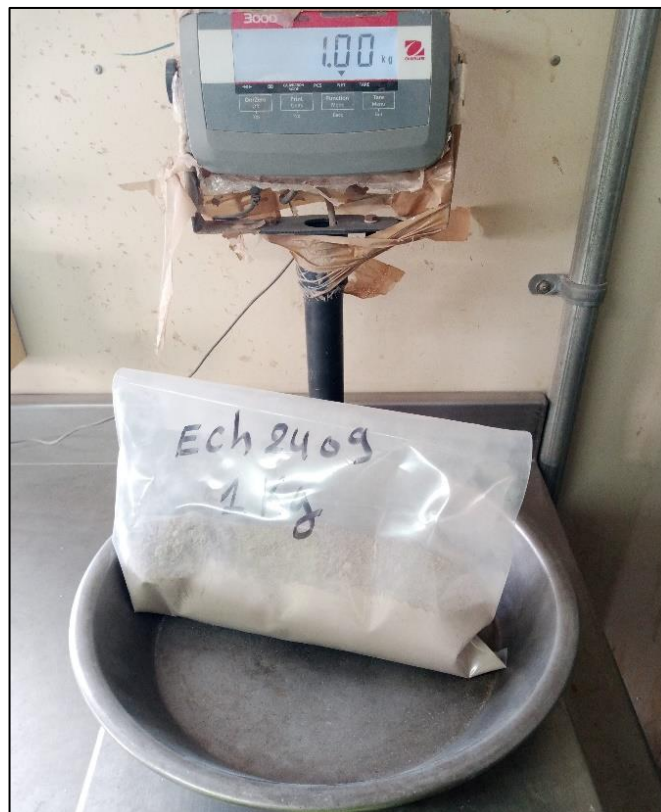
Annexe II.2. Eau distillée.



Annexe II.3. Balance électrique



**Annexe II.4.** Le cyanure de sodium (NaCN).



**Annexe II.5.** 1kg de minerai (broyage fin).



**Annexe II.6.** Presse Bottel roll.



**Annexe II.7.** Pulpe récupérée après le test.



**Annexe II.8.** Pulpe récupérée dans l'étuve.

### **Fusion**



**Annexe II.9.** Prélèvement de solide.



**Annexe II.10.** Creusets en porcelaines.



**Annexe II.11.** Fondant.



**Annexe II.12.** Creusets dans le four préchauffé à 1050°C.



**Annexe II.13.** Versement dans un moule en acier.



**Annexe II.14.** Scorie brisée.



**Annexe II.15.** Bouton de plomb aplati.

**Coupeilation**



**Annexe II.16.** Coupelle de magnésite



**Annexe II.17.** Perle Ag-Au.

**Annexe III :** Tableaux des résultats des tests de Lixiviation et Adsorption.

**Annexe III.1. Résultats des tests de lixiviation des échantillons d'Amesmesssa et des indices d'In Tedeïni, Tin Erit & In Allarene.**

**Tableau III.1.** Résultats des tests de lixiviation des échantillons d'Amesmesssa.

Temps	ECH FLN 0801	ECH FLN 0802	ECH 0803
10 MIN	0,99	3,29	14,94
20 MIN	1	3,59	25,54
30 MIN	1,18	3,67	35,38
60 MIN	1,24	3,9	54,27
90 MIN	1,63	3,93	57,03
180 MIN	2,51	4,01	65,8
240 MIN	1,68	3,53	65,68
300 MIN	1,99	3,83	65,33
720 MIN	1,77	3,89	64,76

**Tableau III.2.** Résultats des tests de lixiviation d'indice d'In Tedeïni, Tin Erit & In Allarene.

Temps	ECH 2422	ECH 2431	ECH 2427	ECH 2409
10 MIN	0,008	0,13	0,65	4,43
20 MIN	0,04	0,13	0,19	5,85
30 MIN	0,09	0,12	0,28	6,14
60 MIN	0,23	0,13	0,5	9,03
90 MIN	0,32	0,15	0,65	9,65
180 MIN	0,6	0,16	0,61	11,38
240 MIN	0,72	0,19	0,69	9,2
300 MIN	1,61	1,31	0,61	9,1
720 MIN	1,22	0,6	0,87	7,76

**Annexe III.2.** Résultats des tests d'adsorption des échantillons d'Amesmesssa des indices d'In Tedeïni, Tin Erit & In Allarene.

**Tableau III.3.** Résultats des tests d'adsorption des échantillons d'Amesmesssa.

Temps	ECH FLN 0801	ECH FLN 0802	ECH 0803
C0	1,57	4,41	65,3
10 MIN	1,44	3,77	65,8
20 MIN	1,22	3,64	58,51
30 MIN	0,99	3,33	62,48
60 MIN	1,07	2,71	55,18
90 MIN	0,77	2,2	51,42
180 MIN	0,35	1,03	33,4
240 MIN	0,22	0,64	30,07
300 MIN	0,1	0,39	30,02

**Tableau III.4.** Résultats des tests d'adsorption d'indice d'In Tedeïni, Tin Erit & In Allarene

Temps	ECH 2422	ECH 2431	ECH 2427	ECH 2409
C0	0,11	0,93	2,48	8,79
10 MIN	0,35	0,91	2,24	7,24
20 MIN	0,1	0,82	1,86	6,82
30 MIN	0,078	0,75	1,8	6,02
60 MIN	0,081	0,55	1,5	5,24
900 MIN	0,035	0,52	0,5	4,14
180 MIN	0,003	0,29	1,23	2,08
240MIN	0,01	0,21	0,38	1,37
300 MIN	0,01	0,18	0,32	1,15

#### Annexe IV : Définitions

**Or :** Du nom latin « aurum » l'or est un élément chimique de symbole Au et de numéro atomique 79. C'est un métal précieux de couleur jaune brillant, également utilisé dans la bijouterie et la joaillerie en raison de sa beauté et de sa rareté, connu pour sa ductilité et ne peut pas être atteint par les effets néfastes de la corrosion, il ne se corrode pas facilement au contact de l'oxygène de l'air ou d'autres agents chimiques courants (résiste à l'oxydation).

**Gisement (Gîte) :** Ce terme peut comprendre deux définitions, la première est économique la seconde est géologique (géochimique).

Définition économique : un gisement peut être métallifère ou non, avec une concentration de minerai suffisante pour permettre une exploitation rentable.

Définition géologique : Le gisement se caractérise des concentrations d'éléments métalliques.

**Minerai :** Est un seul ou plusieurs minéraux associés qui contiennent des éléments susceptibles d'être exploitables industriellement, selon des conditions (Teneur en éléments métalliques, mode d'extraction...) et il existe des minerais métalliques et non métalliques.

**Gangue :** La gangue désigne les minéraux non métalliques qui accompagnent les minéraux métalliques dans un minerai. Par exemple, dans un minerai plombo-zincifère associé à des roches carbonatées, on peut trouver des minéraux tels que la galène, la sphalérite, la pyrite, la

marcassite, ainsi que du quartz, de la dolomite, de la calcite et de la fluorine, qui forment la gangue.

**Corps minéralisé (ore body) :** Un minerai renfermé dans une masse rocheuse il peut être métallique ou non métallique.

**Anomalie :** En géochimie, géophysique, et en magnétisme... le terme "anomalie" indique une déviation par rapport à la normale dans l'environnement. Cela fait référence à une concentration chimique inhabituelle par rapport à la teneur moyenne de la croûte terrestre.

**Minéralisation :** Se réfère à l'existence de minéraux inhabituels par rapports aux roches encaissantes.

**Mine :** C'est un gisement dont l'exploitation est économique et peut être à ciel ouvert ou souterraine, où on a reconnu les teneurs, le tonnage et la valeur commerciale du minerai.

**Indice :** Est une anomalie à suivre au cours d'une prospection, et qui est probable de donner un résultat positif.

**Cyanure :** est un composé chimique qui se présente sous la forme de différents ions comme le cyanure d'hydrogène (HCN) ou le cyanure de sodium (NaCN).

**Charbon actif :** Le charbon actif est un matériau poreux dérivé de matières carbonées comme la coque de noix de coco, le bois ou le charbon de bois, utilisé principalement pour son pouvoir d'adsorption.

**Lixiviation :** La lixiviation est un processus chimique par lequel des substances solubles sont extraites d'un solide, d'un matériau ou d'une substance en suspension à l'aide d'un solvant liquide.

**Adsorption :** L'adsorption est un processus physico-chimique par lequel des particules ou des molécules d'une substance (appelée adsorbât) sont retenues à la surface d'un matériau solide (appelé adsorbant). Cette adhérence se produit sans que les particules adsorbées ne pénètrent dans la structure interne de l'adsorbant.

**Creusets en porcelaines :** Les creusets en porcelaine sont des récipients de forme conique ou cylindrique, fabriqués à partir de porcelaine ou de céramique réfractaire. Ils sont utilisés dans divers processus industriels, notamment dans la métallurgie, la chimie et la recherche scientifique, sont appréciés pour leur résistance élevée aux températures élevées et aux

réactions chimiques, ainsi que pour leur inertie vis-à-vis des substances fondues ou des réactifs agressifs. Ils sont couramment utilisés pour la fusion.

**Coupelle de magnésite :** Une coupelle de magnésite est un récipient en magnésite, un matériau résistant à la chaleur et chimiquement inerte, utilisé dans les processus de laboratoire et industriels, Elle est fabriquée à partir de magnésite, un minéral naturel composé principalement de carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ).

**SAA :** La spectrométrie d'adsorption atomique (SAA) est une technique analytique utilisée en chimie et en sciences de l'environnement pour détecter et quantifier la présence d'éléments métalliques dans des échantillons. Elle repose sur la mesure de l'absorption de la lumière par des atomes métalliques dans un échantillon, après leur vaporisation et atomisation dans une flamme ou une source de lumière.