الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
[inistère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي – تبسة
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معـــــــهد المـــــناجم
Institut des Mines
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géo-technologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : **Génie minier**

Option : **Exploitation minière**

Etat et étude des conditions d'exploitation des Gisements aurifères de Tirek et Amesmessa dans la wilaya de Tamanrasset

Par

Etudiant: Felli Omar El Farouk

Devant le jury :

Mr. Derbal ChemsEdine	**Président**	**MCB**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Mr. Debbouz Mokhtar	**Encadreur**	**MAA**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Mr. Nouioua Ismail	**Examinateur**	**Pr**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**

Année universitaire 2024/202

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la force et la patience nécessaires à l'accomplissement de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à mon encadrant, Monsieur **Mr DEBBOUZ. Mokhtar** ,pour sa disponibilité, sa bienveillance, ses conseils judicieux et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Son expertise et ses orientations précieuses ont été une source d'inspiration et de motivation.

Qu'ils nos soient aussi permis de remercier **Dr. Derbal Chemseddine**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance, et Professeur **Nouioua Ismail** qui m'a fait l'honneur de juger ce mémoire.

Je voudrais, en particulier, leurs exprimer ma reconnaissance pour leurs contributions et leurs conseils judicieux.

Je remercie également l'ensemble des enseignants et personnels du **Département d'Exploitation et Géo-Technologie.** pour la qualité de la formation qu'ils m'ont offerte, ainsi que pour leur soutien pédagogique et moral au fil des années.

Mes remerciements les plus respectueux vont également à l'équipe technique de ENOR spécialement

Bagui Mokhtar et Mr Guasmi Abdelmalek et Mr Amine Sahteli

pour leur accueil chaleureux, leur assistance sur le terrain, et les riches échanges qui ont enrichi mon expérience pratique.

Mais plus que tout, je tiens à adresser une pensée profondément émue et un hommage du cœur à mes parents. À vous, mes chers parents, qui avez toujours cru en moi, qui m'avez soutenu dans les moments de doute, encouragé dans les moments d'effort, et offert, sans compter, votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre présence rassurante. Ce mémoire est le fruit de vos prières, de votre patience et de votre dévouement. Je vous dois tout. Que Dieu vous protège et vous comble de bonheur.

Enfin, un grand merci à tous mes amis et collègues pour leur soutien, leur aide et leur précieuse compagnie durant ce parcours universitaire.

Résumé

Ce mémoire présente une étude approfondie sur les conditions géologiques, géotechniques et économiques d'exploitation des gisements aurifères de Tirek et Amesmessa, situés dans la wilaya de Tamanrasset, au sud de l'Algérie. Ces gisements, considérés parmi les plus importants du pays, sont exploités principalement par l'entreprise nationale ENOR. L'étude aborde l'historique des travaux miniers, la géologie régionale et locale, les caractéristiques structurales des zones minéralisées, ainsi que les méthodes d'exploitation utilisées, notamment l'exploitation à ciel ouvert et souterraine. Une attention particulière est accordée aux ressources minérales, à la modélisation des veines aurifères, aux contraintes géotechniques, ainsi qu'à l'impact environnemental. Le travail s'appuie sur des données de terrain, des rapports techniques et des études de faisabilité pour proposer une évaluation réaliste du potentiel minier des deux gisements.

Mots-clés : Gisement aurifère, Tirek, Amesmessa, ENOR, exploitation minière, Hoggar, géologie, géotechnique.

Abstract

This thesis presents a comprehensive study of the geological, geotechnical, and economic conditions surrounding the exploitation of the Tirek and Amesmessa gold deposits, located in the Tamanrasset province in southern Algeria. These deposits, among the country's most significant, are mainly operated by the national company ENOR. The study explores the mining history, regional and local geology, structural characteristics of the mineralized zones, and the applied extraction methods, including open-pit and underground mining. Special attention is given to mineral resource estimation, ore vein modeling, geotechnical constraints, and environmental considerations. The work is based on field data, technical reports, and feasibility studies to provide a realistic assessment of the mining potential of both deposits.

Keywords: Gold deposit, Tirek, Amesmessa, ENOR, mining exploitation, Hoggar, geology, geotechnics.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

1. Antiquité : Les premières exploitations aurifères 1

2. Moyen Âge et Renaissance 1

3. Époque moderne : la ruée vers l'or 1

4. XXe siècle : L'industrialisation de l'extraction 1

5. XXIe siècle : Une exploitation plus diversifiée 2

Aperçu sur les gisements aurifères en Algérie 2

1-prèsentation de l'ENOR 3

Chapitre 01: 5

HISTORIQUE D'EXPLOITATION DU GISEMENT ET LA GEOLOGIE 6

❖ **1- Historique d'exploitation du gisement :** 6

Situation Géographique 6

❖ **Contexte géologique** 7

Minéralisations aurifères du Hoggar 16

Géologie locale 18

➢ **Le District aurifère Tirek – Amesmessa** 18

GEOTECHNIQUE 35

Topographie de tirek et amesmessa 39

Chapitre 02 56

Les travaux de prospections 56

Généralité : 56

1 Les travaux géophysiques : 56

2 Les travaux géochimiques : 56

3 Les tranchés : 58

4 Sondage : 58

5 L'échantillonnage : 61

Chapitre 03: 68

LES TRAVAUX D'EXPLOITATION 68

Généralité : 68

Méthode d'exploitation actuelle du gisement d'or d'Amesmessa et tirek 73

1/Régime de travail 75

2/Ouverture de gisement : 75
3/Le choix du mode d'ouverture 75
4/Méthode d'exploitation : 82
5/Paramètre de la méthode d'exploitation : 82
6/Travaux de forage et de tir : 85
7/Exigences technologiques des travaux de forage et de tir : 86
10/ Chargement et Transport : 100
Exploitation par chambres-magasins des gisement aurifère Tirek-Amesmessa 114
L'activité d'exploitation artisanale de l'or 120
1. Introduction 120
2. Cadre légal et organisationnel 120
3. Statistiques et productivité régionale 120
4. Données comparatives 121
5. Contraintes et défis rencontrés 121
6. Recommandations 121
Conclusion 124
Chapitre 04 124
Traitement de minerai 125
❖ **-Préparation mécanique des roches:** 125
1-Concassage : 125
❖ **-Broyage :** 128
❖ **Le traitement du minerai :** 130
❖ **Fusion :** 138
BIOMINING 142
Chapitre 05 146
Sécurité Et Environnement 146
1.Caractéristiques des effluents issus de la flottation 149
2. Stratégies de traitement des eaux usées 150
2.1. Neutralisation chimique 150
2.2. Floculation et décantation 150
2.3. Filtration avancée 150

2.4. Recirculation des eaux traitées 151
3. Gestion des boues résiduelles 151
4. Réduction à la source des impacts 151
5. Adaptation aux conditions climatiques de Tamanrasset 151
6. Exemple de procédé de traitement 151
7. Conclusion et recommandations 152
Conclusion et recommandation 153

Liste des figures

- Fig .1: Situation géographique du gisement aurifère d'Amesmessa
- Fig.2: Contexte géodynamique et structural du Hoggar
- Fig.3: Subdivision classique du Hoggar
- Fig. 4: Carte géologique simplifiée du bouclier Touareg et des régions adjacentes
- Fig.5: Les différents terranes du Hoggar
- Fig. 6 : Relation entre les terranes Panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier Targui
- Fig.7: Carte géologique localisant les gîtes aurifères de la région Tirek- Amesmessa
- Fig. 8: Carte géologique du gisement d'Amesmessa
- Fig.9: Coupe géologique de la Zone filonienne 9
- Fig.10 : filon de quartz
- Figure 11 : Plan d'ensemble des données de l'échantillon fourni
- Figure 12 : Plan de l'échantillon de données ; Tirek Nord
- Figure 13 : Plan des veines 2 et 3, Tirek
- Figure 14: Vue 3D des veines 2 et 3, Tirek
- Figure 15 : Vue en plan du filon 14, Tirek
- Figure 16 : Vue 3D de la veine 14, Tirek
- Figure 17 : Vue en plan du filon 15, Tirek
- Figure 18 : Vue 3D de la veine 15, Tirek
- Figure 19 : Plan d'ensemble de l'échantillon de données fourni
- Figure 20 : Vue en plan des veines 8, 9, 9_1, 9_2, et 9_3, Amesmessa
- Figure 21 : Vue 3D en direction des veines 8, 9, 9_1, 9_2, et 9_3, Amesmessa
- Figure 22 : Courbe qualité-tonnage, Tirek
- Fig.23 : Les travaux géochimiques (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO , 2011)
- Fig.24: Un tranché (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO , 2011
- Fig.25 : Les étapes de sondage (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO, 2011
- Fig.26 : L'échantillonnage par saignés (par Kourim Abd Elkader, 2010)
- Fig. 27 : L'échantillonnage par cutting
- Fig.28 : Opération de concassage
- Fig.29 : opération de quartage
- Fig.30 : opération de broyage
- fig.31 : préparation thermique
- Fig.32: Appareil d'analyse
- Fig.33 : Vue et coupe de la tranchée d'accès
- Fig.34 : Schéma du creusement de la tranchée d'accès (A-A)

- Fig .35 : la forme finale de la mine à ciel ouvert de gisement d'or Amesmessa filon 8
- et 9 en plan (fait par ENOR 2016)
- Fig.36 : Paramètres recommandés conception des murs : murs Est et du Sud (par ENOR)
- Fig.37 : Paramètres recommandés conception des murs : murs Ouest et du Nord (par ENOR)
- Fig.38 : Le schéma de la plateforme de travail
- Fig.39 : Foreuse Tamrock (PINTRA 1500)
- Fig.40 : Pelle hydraulique (CAT 365CLME)
- Fig.41 : Camion (CAT 735)
- Fig.42 : Schéma technologique de mise à terril par bulldozer et camion en coupe
- Fig.43: Schéma de concassage de minerai d'or
- Fig.44: Concasseur a mâchoire
- Fig.45:Concasseur a cône5
- Fig.46 : Broyeur à boulet
- Fig.47 : arrosage du tas en goute à goute.
- Fig.48 : Bassin de récupération.
- Fig.49 : Colonnes de Charbon
- Fig.50: Raffinerie.
- Fig.51 : fusion
- Fig.52 : Lingot de l'or

Liste des tableaux

- Tableau .1: Les différents terranes du Hoggar
- Tableau 2 :de ressources totales du gisement (ORGM, 01 Octobre 1993)
- Tableau 3 de ressources des filons 9 et 8 (ORGM, 01 Octobre 1993)
- Tableau 4 de ressources des filons 9 et 8 (RSG GLOBAL, 30 Juin 2005)
- Tableau 5 : Estimation des ressources minérales de Tirek, ressources totales in situ (WAI, novembre 2012)
- Tableau 6 : Estimation des ressources minérales de Tirek, ressources totales
- diluées (WAI, novembre 2012)
- Tableau 7 : Ventilation détaillée des ressources des modèles de ressources diluées
- Tableau 8: Tableau des tonnages par grade
- Tableau 9 : Recommandations géotechniques pour la conception des pentes de puits
- Tableau 10 : Résumé de la base de données de l'échantillon
- Tableau 11 : Dimensions et orientations générales des zones
- TABLEAU 12 : la forabilité
- Tableau 13 : le choix de type de forage
- Tableau 14 : la tirabilité des roches
- Tableau 15 :Caractéristiques des explosifs de ONEX
- Tableau 16 : Paramètres des travaux de forage et de tir
- Tableau 17 : le choix de capacitéé du godet d'après la durté de la roche
- Tableau 18 : Caractéristiques techniques des pelles
- Tableau 19 :b-les caractéristiques techniques du camion

INTRODUCTION GENERALE

L'extraction de l'or remonte à la préhistoire et a évolué au fil des siècles avec l'amélioration des techniques minières. Voici un aperçu historique des principaux développements dans l'exploitation des gisements aurifères à travers le monde :

1. Antiquité : Les premières exploitations aurifères

- **Égypte ancienne (vers 3000 av. J.-C.)** : L'or était extrait du désert nubien et utilisé pour fabriquer des bijoux et des objets rituels. Les Égyptiens utilisaient des outils rudimentaires et le lavage de l'or dans les rivières.
- **Mésopotamie et Inde (vers 2500 av. J.-C.)** : Des gisements étaient exploités avec des techniques similaires.
- **Empire romain (Ier siècle av. J.-C.)** : Les Romains développèrent des méthodes plus sophistiquées, notamment le creusement de galeries et l'usage de l'hydraulique pour extraire l'or des montagnes, comme en Espagne (Las Médulas).

2. Moyen Âge et Renaissance

- L'exploitation minière se poursuit principalement en Europe et en Afrique du Nord, avec des techniques encore limitées.
- **Empire du Mali (XIIIe-XVe siècles)** : L'or de l'Afrique de l'Ouest (Mali, Ghana, Soudan) alimente le commerce transsaharien et les routes commerciales méditerranéennes.
- **Explorations portugaises (XVe siècle)** : Les Européens commencent à exploiter l'or africain et à le transporter vers l'Europe.

3. Époque moderne : la ruée vers l'or

- **Ruée vers l'or du Brésil (1690-1750)** : Le Brésil devient le plus grand producteur d'or du XVIIIe siècle.
- **Ruée vers l'or en Californie (1848-1855)** : L'une des plus célèbres ruées, qui attire des centaines de milliers de prospecteurs.
- **Ruées vers l'or en Australie (1850s)** et **en Afrique du Sud (1886, découverte du gisement du Witwatersrand)** : Ces découvertes transforment les économies locales et mondiales.

4. XXe siècle : L'industrialisation de l'extraction

- **Méthodes modernes** : Introduction de l'extraction chimique avec le cyanure et le mercure, ainsi que l'exploitation minière à ciel ouvert.
- **Domination de l'Afrique du Sud** : Le pays devient le premier producteur mondial d'or jusque dans les années 1970.

- **Développement au Canada et aux États-Unis** : Exploitation intensive en Alaska et au Nevada.

5. XXIe siècle : Une exploitation plus diversifiée

- De nouveaux pays émergent comme grands producteurs d'or : **Chine, Russie, Australie, États-Unis et Canada**.
- **Enjeux environnementaux** : L'orpaillage illégal, la pollution par le mercure et la déforestation sont des défis majeurs.
- **Recyclage et nouvelles méthodes d'extraction** : Développement du recyclage de l'or et d'alternatives écologiques pour réduire l'impact environnemental.

L'exploitation aurifère continue de jouer un rôle clé dans l'économie mondiale, bien que les préoccupations environnementales et sociales poussent à des méthodes plus responsables.

Aperçu sur les gisements aurifères en Algérie

L'Algérie possède d'importantes ressources en or, principalement situées dans le sud du pays. L'exploitation aurifère y est encore limitée par rapport à son potentiel, mais le gouvernement algérien cherche à dynamiser le secteur minier.

1. Principaux gisements aurifères en Algérie

Les principaux gisements d'or en Algérie se trouvent principalement dans le Hoggar, une région montagneuse située dans le Sahara :

- **Tirek et Amesmessa** :
  - Situés dans la région de Tamanrasset, ces gisements sont parmi les plus importants du pays.
  - Exploités par l'entreprise ENOR (Entreprise nationale de l'or).
  - L'extraction repose sur des méthodes à ciel ouvert et souterraines.
- **D'autres gisements potentiels** :
  - Des indices aurifères ont été repérés dans plusieurs autres régions du Hoggar, notamment à In Ouzzal, Tan Chaffao et Abassi.
  - La région de Djebel Aouam dans le nord du pays montre aussi des traces d'or associées à d'autres minerais.

2. Histoire de l'extraction de l'or en Algérie

- **Période antique et coloniale** : L'or en Algérie était exploité à petite échelle depuis l'Antiquité, notamment par les Phéniciens et les Romains. Pendant la colonisation française, des explorations minières ont été menées, mais sans exploitation industrielle.

- **Période post-indépendance** : L'Algérie a commencé à investir dans l'exploitation aurifère après son indépendance en 1962. L'exploitation industrielle a réellement démarré dans les années 2000 avec le projet de Tirek-Amesmessa.

3. Situation actuelle et perspectives

- **Production modeste** : L'Algérie produit actuellement une quantité relativement faible d'or par rapport à son potentiel, en raison du manque d'investissements et d'infrastructures adaptées.
- **Stratégie de développement** : Le gouvernement encourage de plus en plus les investissements étrangers et locaux pour dynamiser le secteur.
- **Orpaillage artisanal** : Ces dernières années, de nombreuses activités artisanales illégales ont vu le jour, surtout dans le sud du pays, ce qui pose des défis en matière de régulation et de protection de l'environnement.

4. Enjeux et défis

- **Investissements et technologies** : L'exploitation aurifère nécessite des équipements modernes et des technologies avancées pour être rentable.
- **Protection de l'environnement** : La gestion des impacts environnementaux et l'exploitation durable sont des priorités.
- **Encadrement de l'orpaillage** : Une réglementation plus stricte est nécessaire pour encadrer les activités artisanales et éviter les impacts négatifs sur l'environnement et la santé publique.

L'Algérie dispose d'un potentiel aurifère considérable qui pourrait être mieux exploité avec des investissements accrus et une modernisation du secteur minier.

- ❖ Les travaux de recherche au Hoggar ont abouti à la découverte de nombreuses minéralisations à intérêt économique. Elles sont représentées essentiellement par l'Or, l'Uranium, l'Etain et le Tungstène.

A l'heure actuelle, la mine d'Amesmessa représente l'unique gisement aurifère en exploitation en Algérie. Son exploitation est faite par l'ENOR (entreprise d'état).D'autres organismes privés gèrent l'exploitation de l'or.

1-prèsentation de l'ENOR

1-1 Qui est ENOR ?

La découverte des gisements d'or dans la région du Hoggar remonte à la décennie 1970 quand la SONAREM avait découvert les gisements de Tirek et d'Amesmessa en 1971 et 1978.

1-2 Activités de l'ENOR

L'objet social de L'ENOR est la recherche, et l'exploitation des gisements aurifères sur le territoire national ainsi que la mise sur pied de toute entreprise et activité connexe susceptible de faciliter la réalisation et le développement de l'exploitation de tels gisements.

Mis à part son activité principale qu'est l'exploitation des mines d'or, ENOR se doit d'écouler sa production en procédant à toutes les opérations de transformation de ces produits et leur commercialisation en Algérie et à l'étranger.

Dans cette optique, ENOR cède son produit par adjudication dont la mise à prix est établie selon la bourse de londrès, les frais afférents aux opérations de transports, assurances, affinage à l'extérieur du pays ainsi que les différentes commissions relatives à la commercialisation du produit feront partie du prix final qui fixera la mise à prix.
ENOR a réalisé la première opération d'exportation définitive de l'or de l'Algérie, en effet une quantité importante de la production sera cédée à l'étranger et vendue sur la place de Londres

1-3 :Stratégie de ENOR

Dans l'esprit de l'accord de partenariat entre ENOR et GMA, et sur la base d'une approche d'exploitation des ressources minières équilibrée entre le court et le long terme, le premier souci de ENOR est d'assurer à ses actionnaires une croissance soutenue , à cet effet L'ENOR tiens à instaurer une stratégie de développement dont les fondements sont :

- La stratégie à court et moyen terme doit imbriquée dans celle à long terme :
- Le rythme d'exploitation de nos réserves doit être équilibré avec le niveau de nos réserves/ressources
- L'extraction des réserves / ressources à ciel ouvert ne doit pas se faire au détriment des réserves/ressources souterraines.
- Le principe de l'amélioration de nos résultats financiers sur le court terme ne doit pas se faire au détriment des résultats à long terme.
- S'assurer en permanence d'un budget minimum pour l'exploration
- Développer et étendre nos capacités de production
- Produire au moindre coût

- Mesurer et améliorer nos performances de manière continue
- Augmenter nos réserves/ressources aurifères
- Chercher de nouvelles opportunités et se diversifier
- Intégration harmonieuse de notre entreprise dans l'environnement minier.

Les objectifs de ENOR :

- Augmentation de la valeur pour les actionnaires
- Le développement de la région de Tirek-Amesmessa
- Concrétisation d'un partenariat multiculturel harmonieux et effectif
- Opérer la compagnie sur de saines bases financières de croissance et de profit
- Attirer et retenir les employés compétents et motivés, leur offrir des opportunités de carrière.
- Formation continue de nos employés.

A travers ces objectifs, l'Enor aspire à devenir :

- Leader dans le développement de l'industrie minière aurifère en Algérie
- Leader dans la commercialisation de l'or algérien
- Entreprise prospère et engagée dans le développement de l'industrie minière en Algérie.

Chapitre 01:

HISTORIQUE D'EXPLOITATION DU GISEMENT ET LA GEOLOGIE

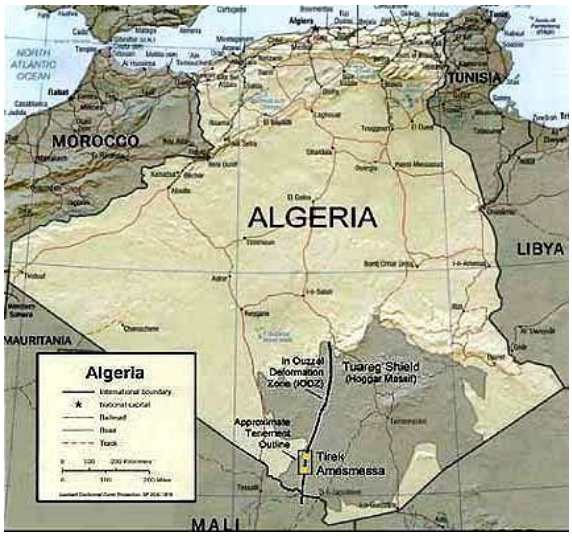
❖ 1- Historique d'exploitation du gisement :

- Mise en évidence des gisements Tirek et Amesmessa et de plusieurs autres indices aurifères.
- 1978-1982 : Exploration et évaluation des ressources des gisements Tirek et Amesmessa.
- 1969-1978 : Prospection des minéralisations aurifères dans la région de la faille Est-Ouzzalienne. 1985-1993 : Etude détaillée et évaluation des ressources du gisement Amesmessa.
- Fin 1992 : Création de l'ENOR pour l'exploitation gisements Tirek et Amesmessa.
- 1991-93 et 2001 : Réalisation des études de faisabilité pour l'exploitation gisements Tirek et Amesmessa.
- Juin 2001 : Début de production de l'or dans le gisement de Tirek.
- 2003-2005 : Etude de faisabilité pour l'exploitation des deux gisements Tirek et Amesmessa avec partenaire étranger sur la base de 52% pour (GMA) er 48% pour (SONATRACH).
- 2008 : Début de production de l'or dans le gisement d'Amesmessa dans le cadre du nouveau projet de partenariat.
- 2013 : Départ du partenaire étranger et nationalisation de l'ENOR (100% SONATRACH).
- 2014 : ENOR 100% filiale de MANAL (Manajim Aljazaier)

Situation Géographique

La wilaya de Tamanrasset est situé dans l'extrême Sud de l'Algérie, elle recouvre une superficie de (556000 km^2), elle est limitée par la wilaya de Ghardaïa et Ouargla au Nord, Illizi à l'Est, Adrar à l'Ouest et au Sud par les Républiques du Niger et du Mali.

Le gisement aurifère d'Amesmessa est situé dans l'extrême sud Algérien, dans la partie sud-ouest du massif du l'Ahggar (Hoggar), à (400 km) au Sud-Ouest de la ville de Tamanrasset près de la frontière du Mali. Les coordonnées de son centre sont de (2°29') de longitude Est et (20°59') de latitude Nord. Le relief de région du gisement et de ses environs est représenté par plateau désertique faiblement accidenté. Les altitudes maximales atteignent rarement (550 □ 600 m), les dénivelés relatives varient de (5 □10 m) à (30 □ 50 m).



❖ **Fig .1: Situation géographique du gisement aurifère d'Amesmessa [1]**

❖ **Contexte géologique**

Géologie et structure du Hoggar

L'Afrique est constituée de cratons et de zones mobiles. Le bouclier Targui est l'une de ses zones mobiles. Il est formé par le Hoggar (Algérie) au centre qui se prolonge au Sud-Ouest par l'Adrar des Iforas (Mali) et au Sud-Est par l'Aïr (Niger). Il est coincé entre le craton Ouest africain à l'Ouest et le métacraton saharien (*SMC* : Saharan Meta Craton) à l'Est (Fig. .2).

Le Hoggar représente un bouclier cristallin façonné surtout par l'orogénèse panafricaine. Il affleure en forme de boutonnière au milieu d'une couverture sédimentaire paléo-mésozoïque formée de grès cambro-ordoviciens des Tassilis. Leur érosion est arrivée à la fin du Jurassique suite à une phase distensive liée à l'ouverture de l'Atlantique mais aussi suite à un bombement lithosphérique à grand rayon de courbure. Ce bombement est accompagné d'une activité volcanique tholéitique à alcaline, de type *"point chaud"* et d'âge cénozoïque à quaternaire récent (Girod, 1976 ; Ait-Hamou, 2000)**.**

Sa structuration actuelle a été procédée durant le cycle orogénique panafricain (750-525Ma), qui se termine par la formation de suites post-orogéniques d'affinité alcaline. Ce sont les

granites "Taourirt" qui se mettent en place le long de *shear zones* en régimes de transpression- transtension, plus ou moins contemporains de la pénéplanation et du développement de bassins molassiques intracontinentaux contrôlés par les failles (Bonin et *al,* 1998).

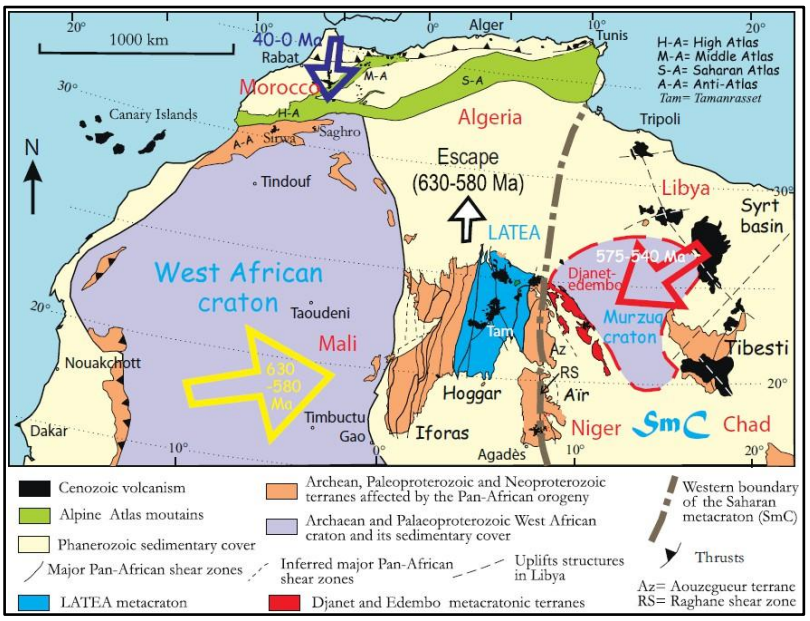


Fig.2: Contexte géodynamique et structural du Hoggar (Liégeois et al. 2012)[2]

Dans sa structure d'ensemble, connue depuis les travaux de (Lelubre, 1952), le Hoggar est caractérisée par de grands cisaillements N-S d'échelle continentale, les accidents (4°50' et 8°30') séparent en trois grands domaines qui sont de l'Ouest vers l'Est : le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental (Bertrand et Caby, 1978).

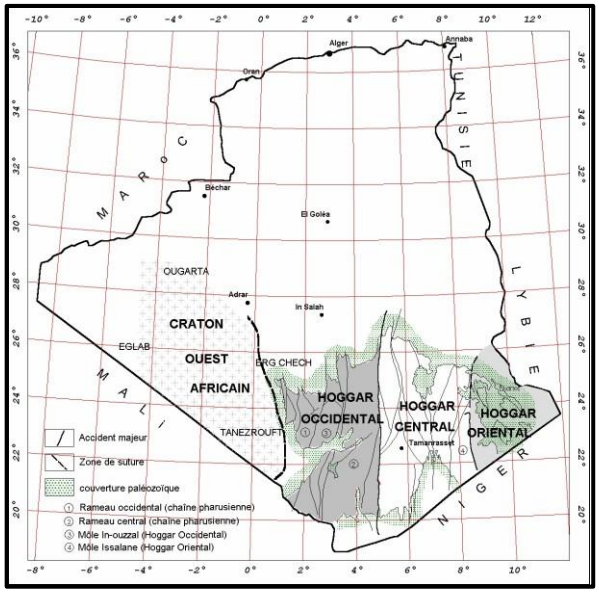


Fig.3: Subdivision classique du Hoggar (Caby *et al*., 1981)[2]

Le massif du Hoggar a connu une évolution orogénique liée à la collision continentale entre le craton Ouest Africain et la zone mobile Targuie. Un cycle de Wilson initié autour de (800 Ma) s'est terminé il y a (600 Ma) par la formation d'un orogène de collision (Bertrand et Caby, 1978 ; Black *et al*., 1979 ; Caby *et al*., 1981). Les plis d'axe N-S et les grands cisaillements ayant fonctionné en surface de charriage ou en décrochements en sont les résultats les plus évidents dans le Hoggar. La (Fig. IV.4) montre, en plus des grands linéaments, la répartition sommaire des différentes formations géologiques du Hoggar.

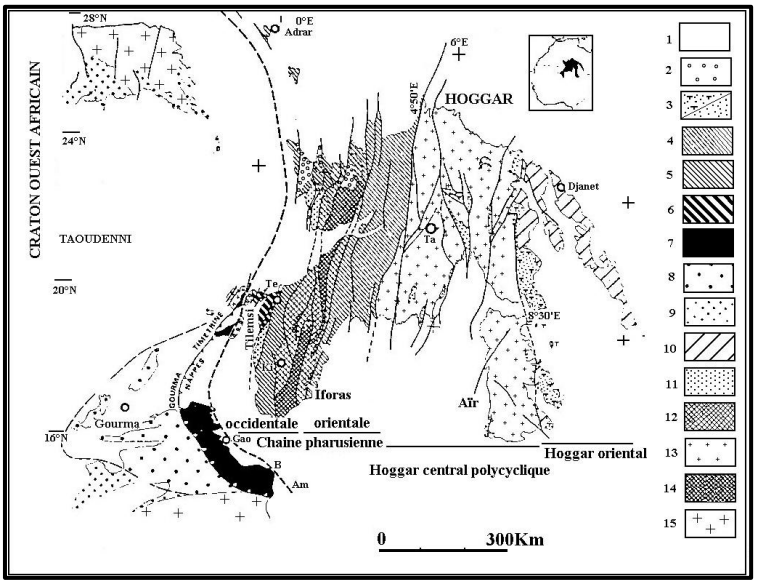


Fig. 4: Carte géologique simplifiée du bouclier Touareg et des régions adjacentes (Modifiée par Caby *et al*., 1981 et Boulier, 1991).[5]

1- Couverture paléozoïque et mésozoïque. 2- « Série pourprée » molassique ou Nigritien. 3- Ceintures schisteuses volcanodétritiques 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 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 Pan- Africain. 13- Gneiss pré panafricains réactivés. 14- Granulites éburnéennes faiblement réactivées dans la chaîne pharusienne. 15- Dorsales Reguibat et Leo.

Les résultats obtenus ces dernières années ainsi que la difficulté à établir des corrélations entre les différentes régions ont amené les auteurs à revoir le modèle géodynamique et à introduire la notion de « terranes » (Black *et al*., 1994). Ces auteurs ont montré que le bouclier Touareg était constitué de (23 terranes) déplacés ou charriés, pendant l'orogenèse panafricaine, le long de grandes zones de cisaillement ou « *megashear zones* » (Fig.5).

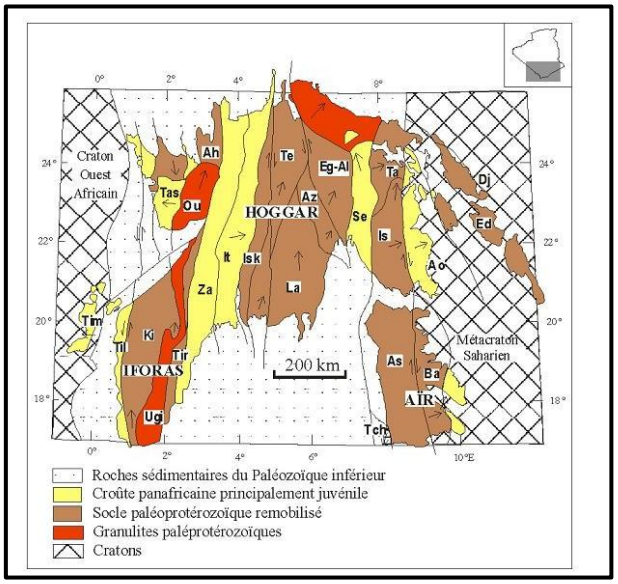


Fig.5: Les différents terranes du Hoggar (Black *et al*., 1994)[3]

Le Hoggar occidental: (la chaîne pharusienne)

Situé à l'Ouest de l'accident (4°50'), le Hoggar occidental (domaine de la chaine pharusienne) est un vaste domaine où l'orogenèse pharusienne est la plus complète. Il est constitué de matériaux peu métamorphisés. Il est divisé en deux rameaux (le rameaux occidental et le rameaux oriental) séparés par les unités granulitiques de l'In Ouzzal et des Iforas interprétées comme représentant des nappes de socle (Bouiller, 1991). A l'exception de ces unités, la plus grande partie de la chaîne est constituée de formations du Protérozoïque moyen et supérieur (Caby, 1970).

Le Hoggar occidental est constitué des terranes suivants (Fig. IV.5): Iskel (Isk) ; In Teideni (It) ; Tin Zaoutène (Za) ; Tirek (Tir) ; Ahnet (Ah) ; In Ouzzel (Ou) ; Tassendjanet (Tas) ; Kidal (Ki) ; Tilemsi (Ti) ; Timetrine (Tim).

Le domaine du Hoggar occidental et interprète comme étant un cycle de Wilson complet avec les diffèrent stades (ouverture, fermeture et collision). Il débute à (800 Ma) et s'achève à (600 Ma) (Bertrand *et al*., 1978 ; Caby, 1981). Ce domaine est subdivisé en trois héritages:

Le rameau occidental

Constitué d'un socle ancien divisé en deux unités majeures:

- **L'unité granulitique:** représentée par l'In ouzzal et les Iforas (Boulier *et al*.,1991);
- **L'unité non granulitique:** correspond au socle du Tassendjanet (N-O du Hoggar).

Le mole In Ouzzal

Le môle d'In ouzzal est considéré comme une croûte archéenne métamorphisée à l'Eburnéen (2000 Ma) en contexte de cisaillement dans le faciès granulitique. Il est constitué de matériaux d'âges archéens et protérozoïque inférieur. D'après (Fourcade et Javoy, 1985), il serait probable que ces deux âges représentent les phases métamorphiques de haute et bases pression.

Le Rameau oriental

Ont distingué deux cycles volcano-sédimentaires injectés chacun de plutonites: Le pharusien I et Le pharusien II, séparés par la « discordance intrapharusienne » (Bertrand *et al*., 1966), dont le tracé se suit assez bien depuis Tin-Rehroh au Sud jusqu'au Nord d'Asekrem où elle rejoint l'accident des (4°50').

Le pharusien I

Constitue de méta sédiments, au sein des quels sont inter stratifiées des roches volcaniques (Chikaoui, 1981).Ces formations sont métamorphisées dans les faciès « schistes verts ».

Le pharusien II

Composée par une série flyshoide essentiellement greso-pélitique surmontée dans certaines régions par des laves andésitiques et rhyolitiques à affinité calco-alcaline.

Le Hoggar central polycyclique

En effet, toute la partie centrale de l'Ahaggar est d'âge Suggarien, l'histoire des terrains intérieurs au Suggarien et très mal connue ou absente et impossible à déterminer sur le terrain (Maurice Lellubre, 1961).

Les formations les plus anciennes reconnues indiquent une origine sédimentaire connue sous le

nom de série de l'Archechoum.
Le Suggarien était à l'origine d'une vaste fosse de sédimentation où se déposaient surtout des sédiments silico-alumineux, plus rarement calcaires ou franchement détritiques. Il semblerait que cette fosse se soit réduite à des sillons à sédimentation plus franchement calcaire et détritique. Cette sédimentation semble s'être accompagnée de mouvements de la direction subméridienne apparait déjà dans l'allongement des sillons les moins anciens.
Le Hoggar central polycyclique à une structure complexe hétérogène, il est limité à l'Est et à l'Ouest par les accidents décrochant dénommés respectivement 8°30 et 4°50 ; se prolonge vers le Sud par l'Air (Niger).
Dans le cadre du modèle de (Black et al., 1994), le Hoggar central est constitué de l'amalgamation de cinq terranes: Laouni, Azrou-n-fad, Egéré-Aleksod et Serouanout.
Cet ensemble comprend un socle d'âge éburnéen constitué essentiellement de migmatite, gneiss rubanés associés à des ortho gneiss Oeillés et des formations méta sédimentaires accompagnées par un métamorphisme de haut grade.
Il a été subdivisé en trois zones dont les limites ne coïncidentes pas systématiquement avec les grands accidents et les grands décrochements mylonitiques, ce sont d'Ouest en Est:
La zone de Tefedest Atakor
Elle est limitée à l'Ouest par l'accident (4°50) et à l'Est par celui d'Amguide-Arefsa. Elle comprend la chaîne granitique de la Tefedest et la pénéplaine gneissique de l'Archechoum, s'étendant au Sud du massif volcanique de l'Atakor. Deux ensembles litho stratigraphiques sont définis:

- Un complexe gneissique de l'Archechoum, caractérisé par une discordance entre le groupe de gneiss quartzo-feldspathiques et un groupe de métasédiments (Bertrand et al., 1986). Ce complexe est d'âge Panafricain.
- Un groupe volcano-sédimentaire, dont l'extension restreinte a caractérisé la «série de Déhine » pour laquelle un âge Protérozoïque moyen est avancé.

La zone Egerée-Arefsa
Elle est constituée par:

- La série de l'Archechoum; qui est essentiellement gneissique, comprenant des gneiss rubanés datés de (3200 Ma), des gneiss Oeillés datés de (2050 Ma), et des métas sédiments (Bertrand et Lasserre, 1972).
- La série de l'Aleksod; formée de méta sédiments et d'amphibolites. Dans une de ces zones,

(Sautter, 1985) a mis en évidence des lentilles d'éclogites.

La zone d'Oumelalen-Tamasint

Cette zone est composée par des gneiss, des quartzites et des micaschistes, elle regroupe trois séries:

- La série rouge, formée de gneiss rubanés et quelques intercalations de marbres et de quartzites, elle est datée à (3477±90 Ma) (Bertrand et al., 1968);
- La série des Gour Oumellalen, discordante sur la première, elle contient divers gneiss à biotite et des faciès granulitiques d'âge voisin de 2000 Ma (Bertrand et al., 1968);
- La série Toukmatine, formée d'un ensemble de micaschistes à micas et à grenat.

Le Hoggar oriental

C'est le secteur le moins étudié du Hoggar, Il comporte trois domaines structuraux séparés par des grands accidents verticaux:

La chaîne Tiririnienne ou la zone occidentale

Elle s'étend le long du cisaillement majeur, l'accident (8°30), est constituée de dépôts détritiques molassiques (arkose et conglomérats) découlant vraisemblablement du remaniement des formations du substratum oriental (zone pré-Teririne de Djanet-Tafassasset). Cette série est de structure subhorizontale. Son âge serait antérieur à (580 Ma) (Ducrot et Lancelot, 1976). Elle est formée de trois séries volcano-sédimentaires et terrigènes:

- La série de plate forme, essentiellement composée de micaschistes avec alternance de niveaux de pélites, de conglomérats, de marbres et de quartzites;
- La série volcanique, constituée de basaltes, d'andésites, de rhyodacites et rhyolites porphyrique;
- La série de Tiririne, essentiellement sédimentaires et discordante, formée de deux groupes superposés: série inferieure composées de conglomérats et d'arénites gréseuses à la base et surmontés par une alternance rythmique de caractère turbiditique de grès et pélites, et localement de calcaires et dolomies à stromatolites; et la série supérieur (série Arokame) constitué de conglomérats et poudingues avec des niveaux de grés et arkoses.

Le bloc de Tafassasset-Djanet

C'est la zone orientale; Elle est caractérisée par un grand nombre de batholites calco-alcalins syn à tardi-tectoniques, intrusifs dans une séquence méta sédimentaires de faible métamorphisme d'âge encore inconnu.

La zone centrale

Correspond à une ceinture d'orientation NW-SE, composée essentiellement de batholithe de granitoïdes très mylonitisés.

Les trois zones du Hoggar oriental citées précédemment sont représentées par les différents terranes suivants: Barghot (Ba) ; Aouzegueur (Ao) ; Edembo (Ed) ; Djanet (Dj) (Fig. II.3).

Tableau .1: Les différents terranes du Hoggar

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

Minéralisations aurifères du Hoggar

Selon (Bagui, 2015). Les principaux gisements et indices aurifères du Hoggar sont localisés dans ou à proximité de zones de cisaillement lithosphériques N-S (ORGM: Ferkous, 1995 ; Semiani, 1995) qui ont commencé à jouer à la fin de l'orogenèse panafricaine; dont le principal rôle a été de favoriser la mise en place de roches magmatiques plus particulièrement la circulation de fluides de différentes origines ayant permis le transport et le dépôt de l'or (Aissa *et al*., 2002).

Lors des mouvements tardifs de ces cisaillements (580-520 Ma), les minéralisations aurifères sont mises en place durant la transition entre un régime compressif (responsable de la structuration du Hoggar) et un régime distensif (à l'origine de la mise en place des molasses et des intrusions granitiques tardi à post tectoniques) (Semiani *et al*., 2004).

La minéralisation est portée par les filons de quartz encaissés dans les *shear zones* et dans des intrusions dioritiques à granodioritiques. Des zones filoniennes aurifères et leur cortège d'altérations hydrothermales sont surtout rencontrées dans les ensembles volcano-sédimentaires d'âge Néoprotérozoïque.

Quatre provinces aurifères sont reconnues dans le Hoggar (Fig .6):

La province Tiririnienne du Hoggar oriental

Coïncide avec le terrane d'Aouzegueur. Les minéralisations aurifères sont portées par des filons de quartz peu sulfurés encaissés dans des formations volcano-sédimentaires du Protérozoïque et dans les gabbros, diorites et granites Panafricains. Il apparait que les teneurs en or dépendent beaucoup de la nature et de l'âge des terrains encaissants les corps minéralisés. En effet quand les filons sont encaissés dans les formations volcano-sédimentaires d'âge Protérozoïque les teneurs en or sont les plus élevées. Dans les gabbros, les diorites et les granites Panafricains elles sont moyennes, alors que les teneurs les plus basses voire nulles sont rencontrées dans les filons encaissés les séries d'âge Paléozoïque ou plus récent (Aissa *et al*., 2002 [03]).

Les gîtes importants sont les gisements de Tiririne, Timouletine - Hanane et l'indice Tin-Zakri ; tous situés à l'Est de l'accident (8°30').

La province du Hoggar central

Elle coïncide avec le terrane de Laouni, qui renferme le gisement d'In Abbegui, dans lequel la minéralisation est représentée par un système de filons de quartz à tourmaline encaissés essentiellement dans un massif de gabbros (Aissa *et al*., 2002 [03]). Les bassins volcano-sédimentaires d'âge Néoprotérozoïque (ex. Tin Ezzararine, Aouiker) renferment aussi des filons, filonnets et veinules de quartz aurifères.

La province pharusienne du Hoggar occidental

Elle concorde avec le terrane d'Iskel et correspond à la province de Timgaouine – Tin-Felki – Tesnou. Les minéralisations aurifères de type filonien jalonnent les décrochements ductiles 4°50', 4°13' et leurs satellites. Les filons de quartz aurifères sont encaissés dans les granites et les granodiorites et parfois même dans les amphibolites du Protérozoïque (Aissa *et al*., 2002 [03]). Les gîtes les plus promoteurs sont du sud au nord : Haddok, Tekouyate, Isselfane et Seldrar.

La province Ouzzalienne du Hoggar occidental

Elle comprend le district aurifère localisé dans la zone de contact entre le Terrane d'In Ouzzal à l'Ouest et le terrane de Tirek à l'Est. Ici les zones filoniennes aurifères sont localisées dans un couloir ultramylonitique le long de l'accident tectonique (2°30') (ou *Shear Zone* Est-Ouzzalienne). C'est une zone aurifère qui englobe deux gisements (Tirek et Amesmessa) et une dizaine d'autre indices prometteurs.

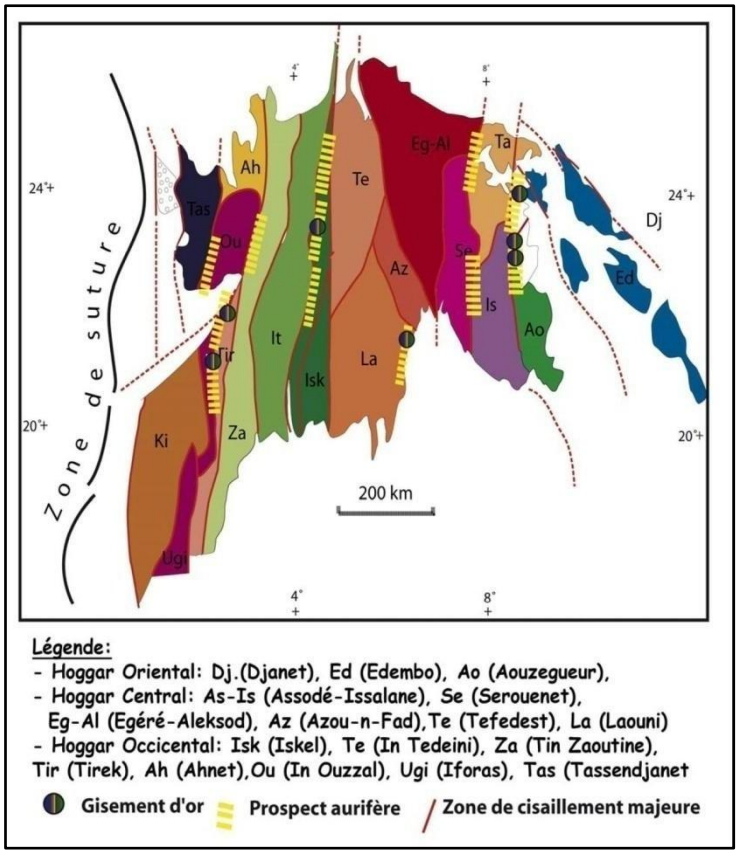


Fig. 6 : Relation entre les terranes Panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier Targui (Hoggar). (Semiani *et al*., 2004 [3])

Géologie locale

➢ Le District aurifère Tirek – Amesmessa

Selon (Aissa *et al*., 2002 [03]), le district aurifère Tirek – Amesmessa est localisé dans la bordure Est du terrane de Tirek (Fig. 5, 6, et 7), qui renferme deux principaux gisements de classe mondiale et de nombreux indices aurifères jalonnant le couloir mylonitique de la *Shear Zone* Est-Ouzzallienne qui sépare le terrane de Tirek du terrane d'In Ouzzal (Fig. 7) (Bagui, 2015).

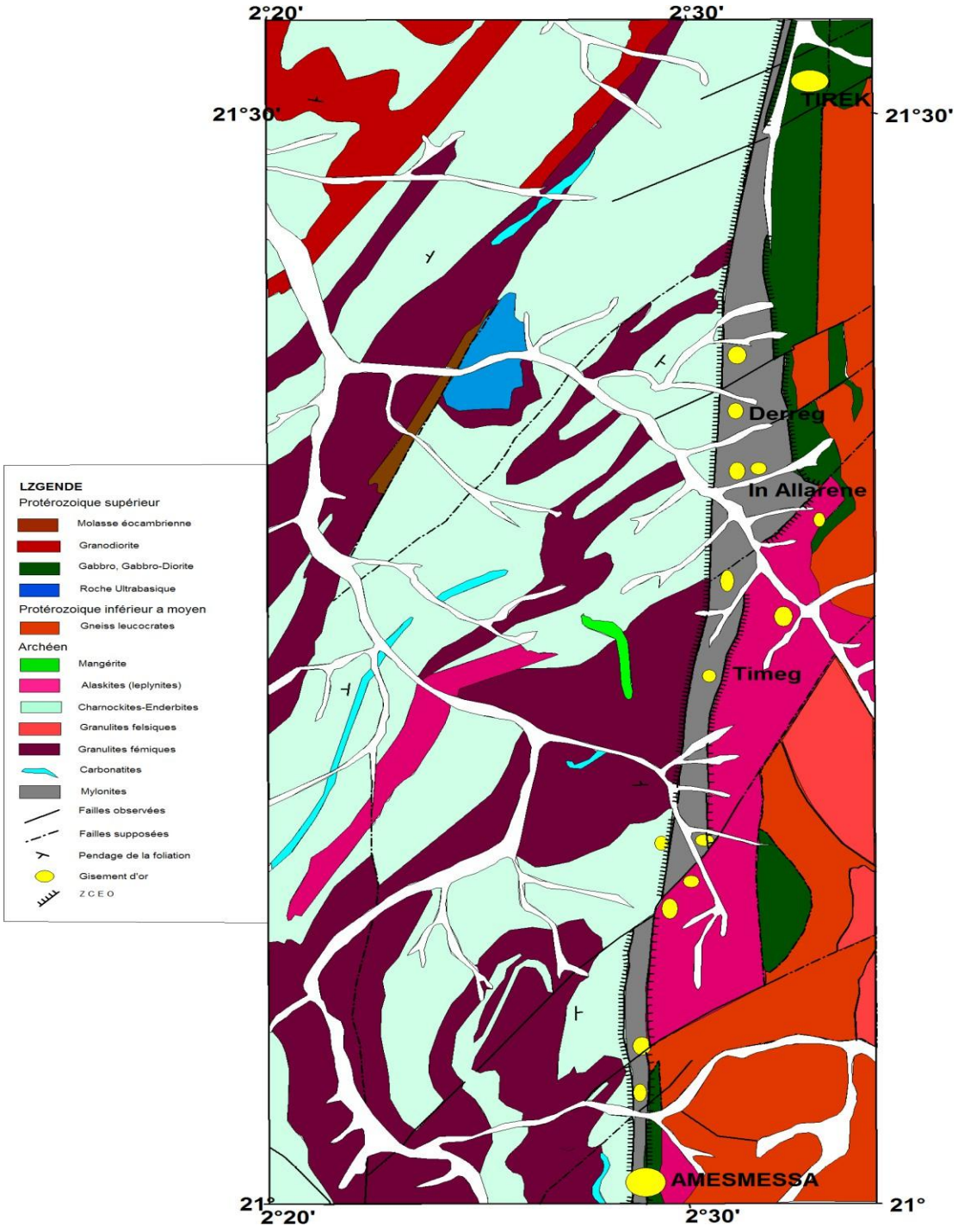


Fig.7: Carte géologique localisant les gîtes aurifères de la région Tirek- Amesmessa (ENOR, 1999 [4])

Le Gisement de Tirek

Le gisement de Tirek comprend trois familles de filons de quartz aurifères (Semiani, 1995 ; Ferkous et Leblanc, 1995):

- Les filons de quartz N-S encaissés dans des ultramylonites d'origines diverses (minéralisation ou filons type Amesmessa) ;
- Les filons et lentilles de quartz N-S situées sur les bordures ultramylonitisées du massif de gabbro de Tirek ;
- Les filons et lentilles NE-S W (N10-N65) situés dans des ultramylonites satellites et encaissés également dans des gabbros.

Dans ces deux derniers types, la minéralisation est en majorité portée par des lentilles de quartz de forme sigmoïde.

L'or natif accompagne, mais tardivement, le stade à sulfures constitué par pyrite, chalcopyrite, sphalérite, et très rare galène**.**

Le quartz s'est déposé en trois phases principales : un quartz massif précoce, stérile; un quartz blanc drusique; un quartz «tardif» microcristallin accompagnant l'or natif et les sulfures. Ce quartz tardif cimente souvent les fragments bréchifiés des quartz précédents; et peut lui-même être parfois bréchifié (Marignac *et al*., 1996 ; Aissa *et al*., 2002 [03]).

Géologie de la région de Tirek (Hoggar, Algérie)

La région de **Tirek**, située dans le **massif du Hoggar**, présente une géologie complexe dominée par des formations précambriennes et des structures tectoniques majeures. Elle est caractérisée par des formations métamorphiques et magmatiques associées à des minéralisations aurifères.

1. Contexte Géologique Général

La région de Tirek appartient à la **chaîne panafricaine du Hoggar**, qui fait partie du **Craton Ouest-Africain**. Elle est dominée par des terrains précambriens, affectés par plusieurs cycles tectono-métamorphiques, notamment :

- **Le socle archéen** (≥2,5 Ga) : Formé de gneiss, migmatites et amphibolites.
- **Le Protérozoïque inférieur et moyen** : Représenté par des formations volcano-sédimentaires et des plutons granitoïdes.
- **Le cycle panafricain (~600-700 Ma)** : Responsable de l’orogenèse principale et de la

mise en place de nombreux plutons granitiques et structures de cisaillement.

2. Structures et Déformations

- La région est dominée par un **système de cisaillement lithosphérique majeur**, orienté **N-S à NNE-SSW**.
- Ce système est lié à un **décrochement dextre tardi-panafricain**, qui contrôle la disposition des minéralisations aurifères.
- Les roches encaissantes présentent un **fort métamorphisme mylonitique**, favorisant la concentration des fluides hydrothermaux riches en or.

3. Lithologie et Minéralisations

Types de roches rencontrées

1. **Roches métamorphiques**
    - Gneiss et amphibolites d'âge archéen et protérozoïque.
    - Mylonites et ultramylonites formées par la déformation intense.
2. **Roches magmatiques**
    - Granitoïdes panafricains (600-700 Ma).
    - Intrusions mafiques et ultramafiques locales.
3. **Filons aurifères**
    - Principalement quartzites aurifères encaissés dans les mylonites.
    - Trois types de filons :
        - **N-S à N50°** : Les plus riches en or.
        - **NE-SW** : Moins abondants mais localement minéralisés.
        - **E-W** : Tardifs et peu minéralisés.

4. Genèse de la Minéralisation Aurifère

- **Type de dépôt** : **Or orogénique**, lié aux circulations de fluides hydrothermaux dans les zones de cisaillement.

- **Métallogenèse** : L'or est précipité à partir de fluides riches en soufre, silice et CO_2 sous l'effet de la décompression et des réactions avec les roches encaissantes.
- **Altérations associées** :
    - Silicification et carbonatation.
    - Séricitisation et chloritisation dans les zones de faille.

5. Potentiel Minier et Perspectives

- **Tirek est un des principaux gisements aurifères d'Algérie**, avec des teneurs variant entre **5 et 18 g/t d'or**.
- L'exploitation se fait principalement par **minage souterrain et à ciel ouvert**.
- De nouvelles études géologiques et géophysiques sont en cours pour identifier d'autres zones minéralisées dans la région.

Le Gisement d'Amesmessa

Par différence avec le cas du gisement de Tirek, à Amesmessa, les filons N-S dominent largement sur les NE-SW, alors que les E-W demeurent assez rares. Ici les dykes de rhyolites constituent la majeure partie du protolithe des ultramylonites. La galène (à micro-inclusions de minéraux de bismuth) est ici prédominante sur la sphalérite qui se raréfie. Ici aussi, c'est le quartz microcristallin tardif (en ciment de brèche) qui porte l'essentiel de la minéralisation (Aissa *et al*., 2002 [03])**.**

Géologie du gisement d'Amesmessa

Le gisement d'Amesmessa est localisé dans la *Shear Zone* Est Ouzzalienne (SZEO) séparant les deux unités majeures de la région (Fig. 9).

Dans le périmètre du gisement d'Amesmessa et dans sa partie Ouest affleurent les roches du môle In-Ouzzal d'âge Archéen remobilisées au Paléoprotérozoïque (Fig. 9). Elles sont représentées par des méta-gabbros, gabbros, gabbro-diorites, amphibolites et des pyroxénites. Elles sont granitisées à différent degré. Les granito-gneiss jouissent également d'une large extension. On y note aussi des intercalations et des secteurs de marbre à olivine- spinelle et grenat avec des quartzites de couleur bleuâtre.

La partie orientale du gisement d'Amesmessa est occupée par les roches du Paléoprotérozoïque. Elles sont représentées essentiellement par des gneiss leucocrates et des granito-gneiss au milieu desquels apparaissent rarement de minces interlits d'amphibolites et

des quartzites, recoupés par des gabbros, des diorites et des granodiorites.

La partie centrale du gisement représente la zone d'influence de la faille majeure In Ouzzal Est (SZEO). Elle est matérialisée par une bande mylonitique large jusqu'à 1.5km, injectée par de très nombreux filons de quartz, échelonnés en direction N-S (Fig. IV.9). Ce couloir mylonitique renferme fréquemment des lentilles de gabbros foliés. Le degré de broyage augment de l'Est vers l'Ouest, où les mylonites passent à des ultramylonites. À l'Est le contact avec les roches du Paléoprotérozoïque est progressif et graduel. Alors que le contact Ouest avec les roches du môle granitique d'In Ouzzal est très net. Il est souvent marqué par des zones de broyage.

Le protolithe des mylonites peut être constitué aussi bien par les granulites basiques qu'acides. La direction de la schistosité est subméridienne avec un angle de pendage de (70-85° W).

Les roches intrusives sont peut exposées dans les limites du gisement. Dans le bloc Archéen les roches basiques et ultra basiques forment de petits massifs en forme de demi-lune. A l'Est, les gabbro-diorites constituent des dykes subméridiens puissants de (200-300 m) et longs jusqu'à (2-3 km). On rencontre aussi des dykes de rhyolite, de felsites de diorite-porphyre, de gabbro-diorites et de diabase, ainsi que les dykes de composition granitique.

La *Shear Zone* Est Ouzzalienne (SZEO) est l'élément tectonique et structural majeur qui contrôle la mise en place de toute la minéralisation aurifère de la région. C'est une shear zone subméridienne 2°30' qui a joué en décrochement dextre et qui se suit sur plusieurs centaines de kilomètres. Cette faille est accompagnée de fractures parallèles et diagonales.

Les fractures parallèles à l'accident majeur encaissent les filons et les zones filoniennes de quartz aurifère. Les zones de mylonitisation et de broyage intense favorisent le développement des bérisites (ou metasomatites). Les fractures les plus tardives sont de direction NW, NE et EW.

Les fractures NE sont les plus récentes, elles recoupent et décrochent toutes les formations géologiques de la région. Leur pendage est sub-vertical. En effet ces dernières semblent être disposées en coulisses et jouent un rôle important dans la localisation des zones minéralisées déplacées.

Les fractures E-O, représentées par les filons de quartz E-O sont les plus tardives. Ils ont été

datés à (577 Ma) (Ferkous et Monié, 2002).

Ces filons affleurent au sein des mylonites et sont constitués de quartz blanc limpide à laiteux très pauvres en or. Ils ne sont pas déformés et montrent des structures rubanées comprenant des bandes de quartz en dents de peigne perpendiculaires à la direction des filons et des bandes de quartz géodiques (Bagui, 2015).



Fig. 8: Carte géologique du gisement d'Amesmessa (ORGM: Pozdniakov, 1993 [9])

Gitologie du gisement d'Amesmessa

La minéralisation aurifère du district minier Tirek - Amesmessa est de type or orogénique, encaissée dans le couloir ultra-mylonitique de la Shear Zone Est Ouzzalienne. Le gisement d'Amesmessa présente le gîte montrant la plus grande réserve aurifère du Hoggar. A la déférence avec d'autres gisements au Hoggar, la minéralisation à Amesmessa se caractérise par le développement des zones d'altérations hydrothermales autour des filons de quartz (Bagui, 2015).

Étude Gîtologique de la Mine de Tirek

Lithologie

- Roches métamorphiques : Gneiss, amphibolites, mylonites.
- Roches magmatiques : Granitoïdes panafricains, intrusions mafiques et ultramafiques.
- Filons de quartz aurifères encaissés dans les mylonites et les ultramylonites.

Minéralisation Aurifère

- Or libre et en inclusion dans les sulfures (pyrite, arsénopyrite).
- Altérations hydrothermales : Silicification, carbonatation, chloritisation.
- Les filons aurifères sont principalement orientés **N-S à N50°**, et représentent les structures les plus riches.

Description des zones filoniennes aurifères

Le gisement d'Amesmessa est constitué de plusieurs zones filoniennes aurifères qui se succèdent et se relaient selon la direction N-S sur (13 Km) (Fig.3). Ces zones minéralisées sont localisées exclusivement dans la bande ultra-mylonitique à l'Ouest de la shear zone aurifère.

Une zone filonienne est formée par un ou plusieurs filons (ou lentilles) de quartz discontinus, boudinés et lenticulaires, qui sont disposés en relais et qui coulissent horizontalement et verticalement (Fig. 3 et 4). Généralement, c'est un filon principal accompagné par d'autres petits filons, lentilles et veinules parallèles, parfois obliques. L'ensemble est encaissé dans une enveloppe de roche d'altération hydrothermale, dont la largeur varie d'une zone à une autre et elle change aussi le long de la même zone.

Les zones minéralisées sont globalement parallèles à la direction de la foliation des ultramylonites. Elles sont à l'instar de la Shear Zone Est Ouzzalienne sinusoïdales, avec des changements brusques dans la direction (flexions et virgations), mais leur orientation globale est subméridienne (N5-10° à N15°), avec des variations dans certaines parties.

L'étendue des zones minéralisées importantes dépasse les 1500m, tandis que la largeur atteint par endroit 30m (ex. ZF 9).

Les roches d'altération hydrothermale appelées aussi bérisites constituent une enveloppe encaissante pour les filons de quartz aurifères. Elles se prolongent sur plusieurs dizaines de

mètres au-delà de leurs terminaisons et tracent la continuité des zones minéralisées lorsque les filons s'estompent.

Les zones filoniennes minéralisées sont réparties sur trois secteurs : Nord, Central et Sud. Le secteur Central (ZF 7, 8 et 9) (Fig. 9), est le plus important et le mieux étudié (tranchées, sondages et galerie d'exploration souterraine). Il renferme environ 75% des ressources minérales connues du dépôt d'Amesmessa. Dans la ZF 9 (Fig. 9) la minéralisation a été intercepté à une profondeur de -440m, où la teneur est de 34.7g/t d'or pour une puissance de (1.13 m) (Fig. 10). Les zones filoniennes 9 et 8 sont actuellement le site des importantes exploitations (Bagui, 2015).

Les corps minéralisés ont une morphologie complexe ils sont représentés par des séries de filons disposés en échelons (*stockwerk*), dont le pendage varie entre (55° □ 60°) à (75° □ 85°) Ouest.

A Amesmessa, ce n'est pas seulement le quartz qui est aurifère, mais aussi les roches encaissantes représentées par des mylonites qui ont subi un intense processus hydrothermal caractérisé par l'association : quartz, carbonates, chlorite, albite, pyrite et séricite. La puissance de ces zones altérées et aurifère peut atteindre (10 m).

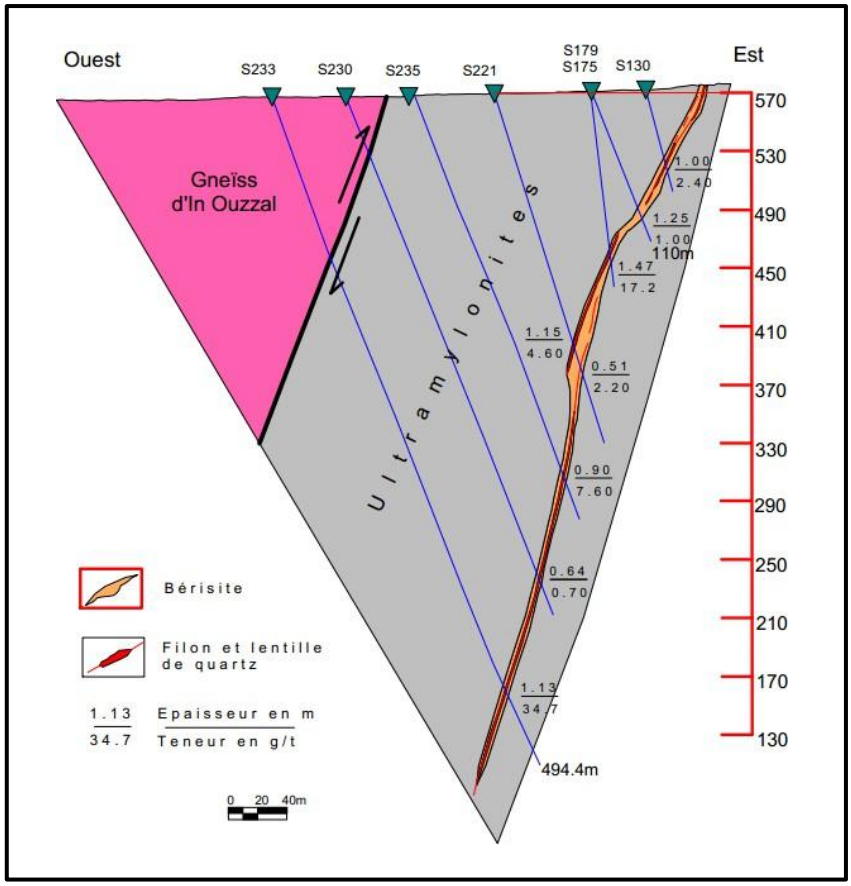


Fig.9: Coupe géologique de la Zone filonienne 9 (Bagui, 2015 [6])

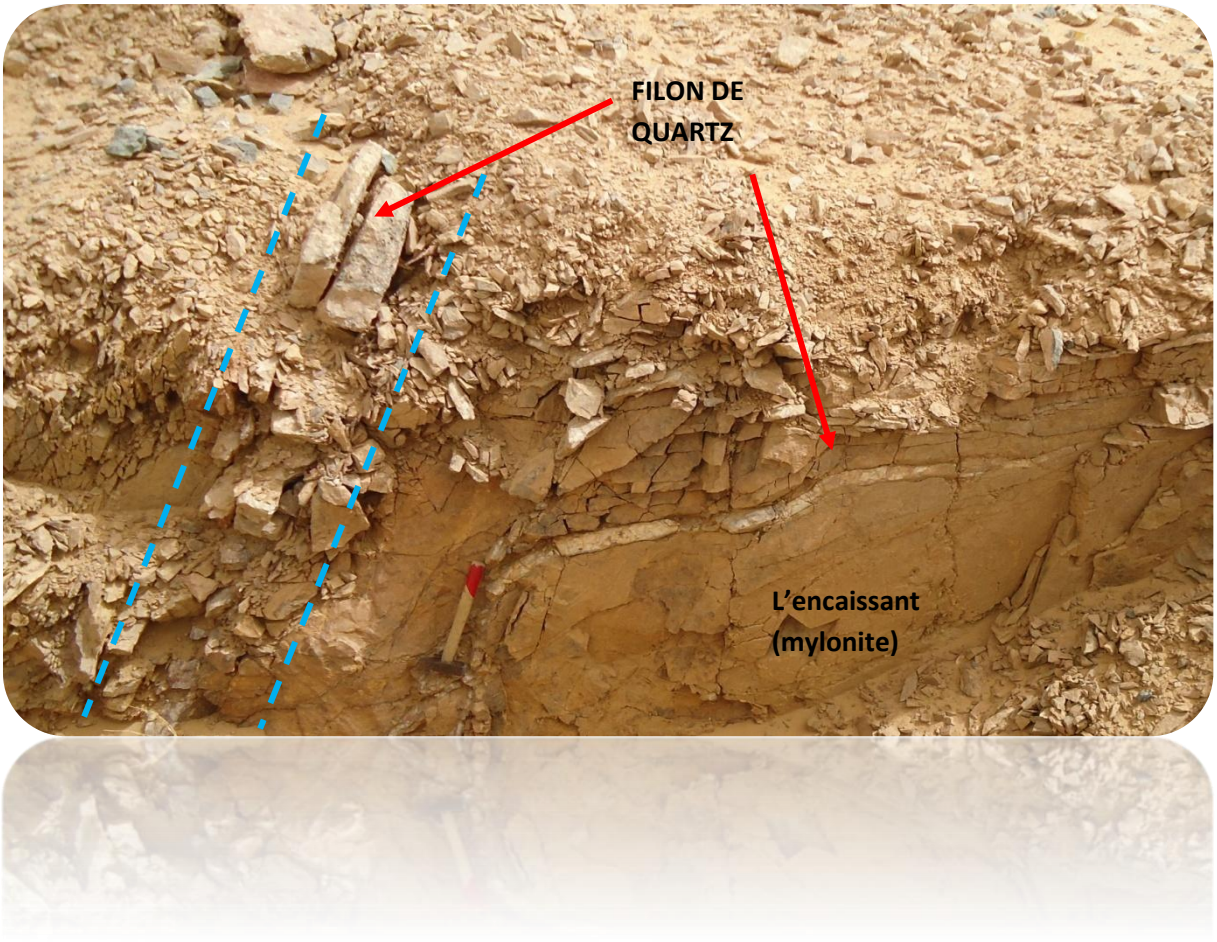


Fig.10 : filon de quartz

Condition hydrogéologiques du gisement d'Amesmessa

Les conditions hydrogéologiques sur le gisement d'Amesmessa sont très favorables pour l'exploitation soit à ciel ouvert, soit en souterrain. Dans la région il n'y a pas de cours d'eau permanent; les points d'eau les plus proches sont localisés au pied des Tassilis de Timissaou, situé à (100 □120) Km au N.E du gisement et Tassili de Tirek (à 50 Km au N.E). Les débits de ces deux sources ne dépassent pas (0,15 l/sec). Le gisement est drainé par l'Oued Amesmessa et ses affluents, dont l'épaisseur des alluvions ne dépassent pas (5□10) m, qui coulent rarement étant donné les faibles précipitations (5mm environ par an). Enfin ne pas oublier comme il a été dit plus que le relief est faiblement accidenté, tout cela ne permet pas la formation de réserves d'eaux dans les alluvions de l'oued Amesmessa.

Ces faits excluent la présence d'eau, du moins en quantité importante, dans les alluvions dans les zones d'altération du socle métamorphique. De ce fait, dans le gisement

d'Amesmessa on ne peut avoir qu'un seul type d'eaux souterraines, localisées dans les failles qui permet jouer le rôle de réservoir. Au cours des travaux miniers, les observations hydrogéologiques sont très limitées.

La profondeur du niveau aquifère, à partir de la surface, dans les sondages à niveau instable varié de (20□30) m. Dans les sondages à niveau stable, elle est à (40□ 45) m. Ces faits montrent la faible liaison hydrodynamique entre les fissures.

Dans la zone de la faille d'In-Ouzzal, on a observé des fuites d'eau dans les sondages qui ont avaient traversé des zones tectoniques.

Ces données montrent que les roches encaissantes ont de faibles propriétés de filtration et ainsi l'exploitation peut se faire sans venues d'eau même à de grandes profondeurs.

Estimation des ressources :

Les ressources estimées par l'**ORGM** (1993) des blocs géologiques en utilisant la méthode des polygones sont classés en catégories géologiques C1 et C2 selon la classification russe.

Tableau 2 :de ressources totales du gisement (ORGM, 01 Octobre 1993)[9] :

Catégories géologiques	**Tonnage Minerai en T**	**Teneur (g/t)**	**Onces**
Probables (C1)	1 392 900	18.6	832 959
Possibles (C2)	1 025 700	17.1	563 907
Total	2 418 600	18.0	1 399 675

Tableau 3 de ressources des filons 9 et 8 (ORGM, 01 Octobre 1993) [9]:

Filon	C1			C2			C1+C2		
	Mille tonne	Au g/t	Mille onces	Mille tonne	Au g/t	Mille onces	Mille tonne	Au g/t	Mille onces
8	191.8	11	72.8	78.8	8	20.3	270.6	10.7	93.0
9	718	20.8	480.2	501.6	18.9	304.8	1219.6	20.0	784.9
Total	909.8	18.9	552.9	580.4	17.4	1490.2	1490.2	18.3	878.0

L'ENOR a fait par l'intermédiaire du **RSG GLOBAL** une étude de faisabilité pour l'exploitation des filons 9 et 8du gisement d'Amesmessa. **RSG GLOBAL** a fait une modélisation géologique et une estimation des ressources sur la base des méthodes géostatistiques du moment.

Tableau 4 de ressources des filons 9 et 8 (RSG GLOBAL, 30 Juin 2005)[4] :

Filon	Certaines (Measured)			Probables (Indicated)			Possibles (Inferred)			Total		
	Mille tonne	Au g/t	Mille onces	Mille tonne	Au g/t	Mille onces	Mille tonne	Au g/t	Mille onces	Mille tonne	Au g/t	Mille onces
8				237	6.9	52	238	3.5	27	475	5.2	79
9	100	19.1	62	706	12.8	291	572	9.9	182	1379	12.1	534
Total	100	19.1	62	943	11.3	343	810	8.0	209	1854	10.3	614

À Tirek, il existe encore de nombreuses zones minéralisées qui n'ont pas été couvertes par les interprétations des veines 2, 3, 14 ou 15. Ces zones représentent une opportunité de ressources et de réserves supérieures à celles qui sont actuellement évaluées, en particulier en ce qui concerne l'exploitation à ciel ouvert.

Des tableaux d'évaluation ont été préparés pour les résumés des ressources - in situ ainsi que pour les modèles dilués, présentés dans les tableaux 6.13 et 6.14. Une ventilation plus détaillée des ressources des modèles de ressources diluées est présentée dans le tableau 6.15. Le tableau 6.16 et la figure 6.9 présentent la teneur en tonnes de l'ensemble des ressources indiquées.

Tableau 5 : Estimation des ressources minérales de Tirek, ressources totales in situ (WAI, novembre 2012)

Zone	Veine	*Indiqué*			*Inféré*			Total		
		Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)	Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)	Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)
Tirek	**2**	113	19.6	71	54	15.4	27	167	18.2	98
Tirek	**3**	115	9.2	34	34	5.5	6	149	8.3	40
Tirek	14	105	19.5	66	121	19.4	75	225	19.4	141
Tirek	**15**	45	21.3	31	27	19.2	16	72	20.6	47
Tirek	**Total**	**378**	**16.6**	**202**	**235**	**16.4**	**124**	**613**	**16.5**	**326**

Note

Minerai>0,5

. Coupures appliquées :

1,5g/t au-dessus de 305mRL

3g/t au-dessous de 305mRL

Tableau 6 : Estimation des ressources minérales de Tirek, ressources totales diluées (WAI, novembre 2012)

Zone	Veine	*Indiqué*			*Inféré*			Total		
		Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)	Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)	Tonnes (kt)	Au (g/t)	Au (koz)
Tirek	**2**	223	9.77	70	101	8.08	26	324	9.24	96
Tirek	**3**	154	6.84	34	41	4.44	6	195	6.33	40
Tirek	**14**	189	10.7	65	206	11.2	74	395	11.0	140
Tirek	**15**	116	8.2	31	60	8.4	16	177	8.3	47
Tirek	**Total**	**683**	**9.11**	**200**	**408**	**9.36**	**123**	**1,090**	**9.20**	**323**

Note

Minerai>0,5

. Coupures appliquées :

1,5g/t au-dessus de 305mRL

3g/t au-dessous de 305mRL

. Dilution appliquée :

HW 20cm ; FW 30cm ; Largeur minimale 150cm

Tableau 7 : Ventilation détaillée des ressources des modèles de ressources diluées

Zone	Veine	Zone	*Indiqué*			*Inféré*			Total		
			Tonnes	**Au**	**Au**	**Tonnes**	**Au**	**Au**	**Tonnes**	**Au**	**Au**
			kt	**g/t**	**koz**	**kt**	**g/t**	**koz**	**kt**	**g/t**	**koz**
Tirek	**2**		223	9.77	70	101	8.08	26	324	9.24	96
Tirek	**3**		154	6.84	34	41	4.44	6	195	6.33	40
Tirek	14	**1**	42	11.09	15	48	12.33	19	90	11.75	34
Tirek	14	**2**	0	13.52	0	0		0	0	13.52	0
Tirek	14	**3**	2	3.10	0	1	4.79	0	2	3.56	0
Tirek	14	**4**	146	10.71	50	157	10.94	55	303	10.83	105
Tirek	15	**1**	28	6.53	6	15	5.90	3	43	6.31	9
Tirek	15	**2**	55	9.65	17	17	12.13	7	72	10.24	24
Tirek	15	**3**	25	8.70	7	18	10.02	6	43	9.26	13
Tirek	15	**4**	8	3.14	1	10	2.63	1	18	2.87	2
Total			**683**	**9.11**	**200**	**408**	**9.36**	**123**	**1,090**	**9.20**	**323**

Note

. Coupures appliquées :

1,5g/t au-dessus de 305mRL 3g/t au-dessous de 305mRL

. Dilution appliquée :

HW 20cm ; FW 30cm ; Largeur minimale 150cm

1. Les ressources minérales ne sont pas des réserves tant qu'elles n'ont pas démontré leur viabilité économique sur la base d'une étude de faisabilité ou de préfaisabilité.
2. Les ressources minérales sont déclarées en tenant compte des réserves.
3. L'Au contenu représente le métal contenu estimé dans le sol et n'a pas été ajusté pour la récupération métallurgique.
4. Les ressources minérales indiquées dans les tableaux ci-dessus ne sont pas classées conformément aux lignes directrices du code

JORC (2004).

5. Toute différence mineure dans les chiffres est due aux arrondis.

Tableau 8: Tableau des tonnages par grade			
Au Cut-Off	**Tonnes**	**Au**	**Au**
g/t	**kt**	**g/t**	**koz**
0	680	9.12	199
1	680	9.12	199
2	648	9.49	198
3	583	10.26	192
4	518	11.12	185
5	457	12.01	176
6	384	13.25	163
7	333	14.28	153
8	289	15.30	142
9	252	16.33	132
10	219	17.35	122
Note **. Les résultats présentés sont les résultats combinés de Tirek 2, 3, 14 et 15.** **. Dilution appliquée :** **HW 20cm ; FW 30cm ; Largeur minimale 150cm**			

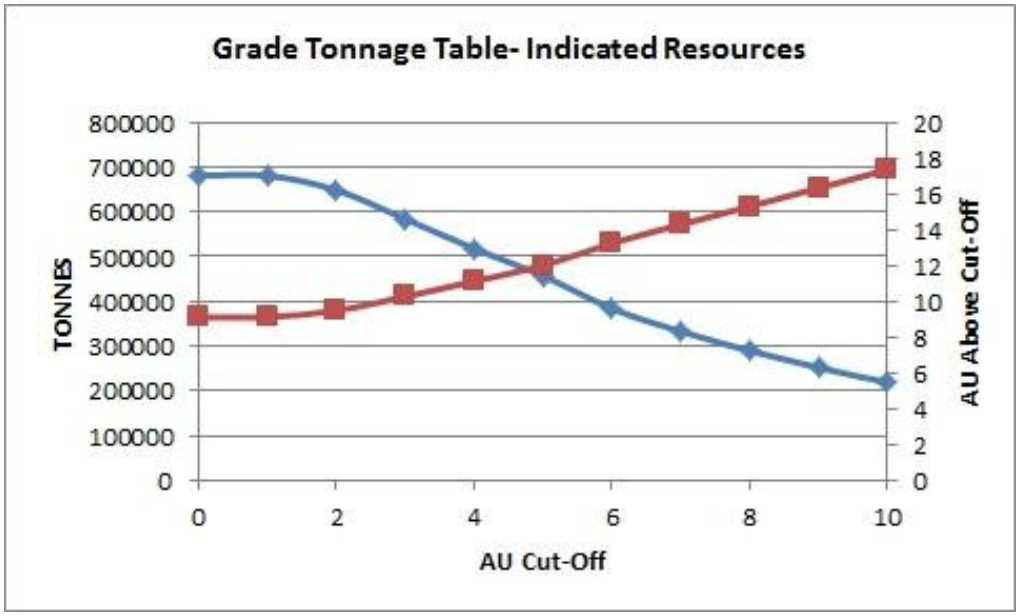


Figure 11 : Courbe qualité-tonnage, Tirek

GEOTECHNIQUE

Les conditions du sol ont été évaluées en 2005 par Peter O'Bryan & Associates en ce qui concerne l'exploitation à ciel ouvert à Amesmessa et Tirek, sur la base des observations des développements existants (puits à ciel ouvert et galeries souterraines) faites lors d'une visite du site en août 2004. Une cartographie sélective des défauts a été entreprise et les données ont été combinées avec celles contenues dans les diagraphies géotechniques préparées par les géologues de l'ENOR.

Bien qu'il existe des variations locales, les conditions sont largement similaires à Tirek et à Amesmessa en termes de style de minéralisation, de roche hôte et de cadre structurel au sein de la même zone de cisaillement orientée nord-sud. Les tissus de cisaillement ont été recuits et la substance de la roche est compétente. Seules des occurrences mineures d'eau souterraine ont été recoupées et la zone est effectivement asismique.

L'altération est peu profonde, variant d'un maximum d'environ 10 m à Amesmessa à 15-20 m à Tirek. En dessous de ce niveau, les roches sont fraîches et résistantes à très résistantes,

comme l'ont confirmé les tests UCS effectués sur les carottes de forage des deux sites. Aucun essai spécifique de résistance au cisaillement des défauts n'a été entrepris, mais l'observation de leurs caractéristiques (forme et rugosité) indique des angles de frottement modérés à élevés d'environ 30º à 35º.

La qualité de la masse rocheuse a été jugée bonne, à l'exception de zones de faille/cisaillement étroites et planes qui sont de qualité médiocre à moyenne. Les données sont insuffisantes pour permettre une caractérisation des propriétés de la masse rocheuse à l'échelle du site : il semble que les conditions soient globalement homogènes, à l'exception de la présence locale d'ensembles étroits de défauts, qui semblent être discrets et subparallèles au tissu de cisaillement régional. Par conséquent, une division géométrique simple en un domaine de roche altérée supérieure et des domaines de paroi suspendue, de paroi de pied et de paroi d'extrémité nord et sud a été adoptée à des fins d'analyse et de conception.

Une rupture par cisaillement rotationnel est possible dans le domaine altéré, mais de tels événements susceptibles d'être à petite échelle et facilement gérables. L'analyse de la stabilité cinématique à l'aide des orientations des défauts dérivées des diagraphies géotechniques indique ce qui suit :

- Un glissement est possible, principalement sur les parois est, sud-est et sud, mais il est plus probable qu'il se produise à l'échelle d'une batée ou d'un banc. De telles ruptures ont été observées sur le mur est de la veine 2 de la fosse Tirek, sur une longueur de 20 m. Des ruptures similaires pourraient compromettre l'accès à la fosse. Des ruptures similaires pourraient compromettre l'accès à la fosse, c'est pourquoi les rampes devraient être situées du côté ouest (mur suspendu) ;
- Une rupture par basculement est moins probable, mais pourrait se produire localement ; et
- Un effondrement de la masse rocheuse est possible dans le niveau supérieur altéré, mais il serait contenu par la berme supérieure. De telles ruptures sont peu probables dans les pentes inférieures, bien que des éboulements localisés puissent se produire dans les zones de fractures intenses.

Les paramètres préliminaires de conception des parois sont résumés dans le tableau 9

Tableau 9 : Recommandations géotechniques pour la conception des pentes de puits

Dépôt	Domaine	Paramètres	Recommandation	Commentaires
Amesmessa	Murs E & S	Hauteur du visage	20m	Face supérieure 10m
		Angle de la face	60-65°	50° à 10m
		Largeur de la berme	7m	5m au sommet
		Inter-rampes angle	47°/51°	Steepen >90m
		Pente générale	49°	
	Murs W & N	Hauteur du visage	20m	Face supérieure 10m
		Angle de la face	65-75°	50° à 10m
		Largeur de la berme	7m	5m au sommet
		Inter-rampes angle	51°/58°	Steepen >90m
		Pente générale	50°	Rampe incluse
Tirek	Murs E & S	Hauteur du visage	20m	Top face 10 m
		Angle de la face	60-65°	50° à 10 m
		Largeur de la berme	7m	5m au sommet
		Inter-rampes angle	47°/51°	Steepen >90 m
		Pente générale	49°	
	Murs W & N	Hauteur du visage	20m	Face supérieure 10m
		Angle de la face	65-75°	50° à 10m
		Largeur de la berme	7m	5m au sommet
		Inter-rampes angle	51°/58°	Steepen 90m
		Pente générale	48°	Rampe incluse

Les critères de conception de la fosse étaient liés aux exigences de stabilité à moyen terme (trois à quatre ans) et aux ajustements qui peuvent être nécessaires si une stabilité à plus long terme est requise pour l'accès souterrain.
Le rapport géotechnique souligne que les paramètres recommandés ne sont pas conservateurs et que des pratiques minières prudentes sont nécessaires pour maintenir la stabilité des parois. En particulier, il est recommandé de procéder à une cartographie géotechnique et à une surveillance des pentes, surtout au début du développement des étapes intermédiaires de la fosse, afin que les plans de la fosse finale puissent être révisés si nécessaire. Il n'est pas prévu de recourir de manière générale à un renforcement artificiel, mais un renforcement de la roche pourrait s'avérer nécessaire au niveau local.

Des pratiques de dynamitage prudentes seront nécessaires pour maintenir l'intégrité des parois de la limite finale de la fosse. Il sera nécessaire de procéder à des tirs de délimitation et/ou à des tirs de pré-fendage, et il faudra également veiller à ce que les tirs de production n'endommagent pas les parois. Il est fortement recommandé de procéder à des tirs d'essai sur des parois non limitées afin de mettre au point des pratiques de forage et de dynamitage optimales.
En ce qui concerne l'exploitation souterraine, il a été conclu que le développement des pentes et des traverses ainsi que l'avancement sur le minerai devraient être relativement simples. On suppose que l'abattage se fera de haut en bas, en retrait de trou, sans remblai, ce qui devrait être viable étant donné bonne qualité de la masse rocheuse. Cependant, l'instabilité des parois latérales du gradin, contrôlée par la structure, est possible sous la forme d'un glissement et d'un basculement. Le recul jusqu'à une tranchée d'accès centrale est considéré comme viable jusqu'à une profondeur modérée (environ 300 m), en dessous de laquelle l'accumulation de contraintes dans les piliers centraux peut conduire à des conditions d'exploitation difficiles, nécessitant un changement de stratégie d'exploitation

Condition hydrogéologiques du gisement d'Amesmessa

Les conditions hydrogéologiques sur le gisement d'Amesmessa sont très favorables pour l'exploitation soit à ciel ouvert, soit en souterrain. Dans la région il n'y a pas de cours d'eau permanent; les points d'eau les plus proches sont localisés au pied des Tassilis de Timissaou, situé à (100 □120) Km au N.E du gisement et Tassili de Tirek (à 50 Km au N.E). Les débits de ces deux sources ne dépassent pas (0,15 l/sec). Le gisement est drainé par l'Oued Amesmessa et ses affluents, dont l'épaisseur des alluvions ne dépassent pas (5□10) m, qui coulent rarement étant donné les faibles précipitations (5mm environ par an). Enfin ne pas oublier comme il a été dit plus que le relief est faiblement accidenté, tout cela ne permet pas la formation de réserves d'eaux dans les alluvions de l'oued Amesmessa.

Ces faits excluent la présence d'eau, du moins en quantité importante, dans les alluvions dans les zones d'altération du socle métamorphique. De ce fait, dans le gisement d'Amesmessa on ne peut avoir qu'un seul type d'eaux souterraines, localisées dans les failles qui permet jouer le rôle de réservoir. Au cours des travaux miniers, les observations hydrogéologiques sont très limitées.

La profondeur du niveau aquifère, à partir de la surface, dans les sondages à niveau instable varié de (20□30) m. Dans les sondages à niveau stable, elle est à (40□ 45) m. Ces faits montrent la faible liaison hydrodynamique entre les fissures.

Dans la zone de la faille d'In-Ouzzal, on a observé des fuites d'eau dans les sondages qui ont avaient traversé des zones tectoniques.

Ces données montrent que les roches encaissantes ont de faibles propriétés de filtration et ainsi l'exploitation peut se faire sans venues d'eau même à de grandes profondeurs.

Topographie de tirek et amesmessa

. La topographie de ces zones influence directement les conditions d'accès, les choix d'exploration et les méthodes d'exploitation minière.

- Ces deux gisements sont localisés dans une région désertique, isolée, et difficile d'accès, avec des pistes souvent sablonneuses ou rocheuses.

2. Caractéristiques topographiques :

- Le relief est globalement accidenté, marqué par des collines, des plateaux, des crêtes rocheuses, et des vallées étroites.
- L'altitude moyenne varie entre 800 et 1 100 mètres.
- Le terrain est principalement constitué de formations granitiques, métamorphiques (gneiss, schistes) et volcaniques anciennes.
- Présence fréquente de fractures, failles et zones de cisaillement, caractéristiques d'un socle ancien soumis à de nombreuses déformations tectoniques.

3. Sols et couverture végétale :

- Les sols sont très pauvres, souvent recouverts de graviers, de roches affleurantes, ou de sable.
- La végétation est quasi inexistante, limitée à quelques plantes sahariennes adaptées à la sécheresse.

4. Hydrographie et érosion :

- Les oueds (cours d'eau temporaires) sont secs la majeure partie de l'année mais peuvent provoquer des crues rapides et localisées lors des rares précipitations.
- L'érosion est essentiellement d'origine mécanique (vent, variations thermiques importantes), sculptant les roches et façonnant les reliefs.

5. Implications minières :

- La topographie complexe et l'isolement géographique rendent l'installation d'infrastructures (routes, campements, usines) plus difficile.
- L'exploitation minière doit s'adapter à la nature du terrain, avec des méthodes souterraines dans les zones instables ou profondes comme à Amessmessa.

1.tirek

Les cartes topographiques des principaux filons (2, 3, 14 et 15) ont été fournies par le client sous la forme d'une série de fichiers dwg :

- Cre II-12_II-13 & III au 31déc2006a.dwg ;
- Cre XIII_au 31-12-2006a.dwg ; et
- Cre F-XIV & F-XV au 31-déc-06a.dwg.

Exemple de base de données

Les données relatives aux trous de forage ont été fournies par client en format Excel dans le fichier .xls suivant :

- Master_Gma_DB_TRK.xlsx

La base de données Tirek contient un total d'environ 49 516 m forage (474 trous de forage) et

de 3 841 échantillons tranchées de surface et/ou de canaux souterrains, pour un total de 5 522 m.

Un résumé de la base de données complète des échantillons fournis est présenté dans la figure 6.1 et seules les données des veines 2 et 3 et 14 et 15 ont été prises en considération pour l'estimation des ressources (figure 11).

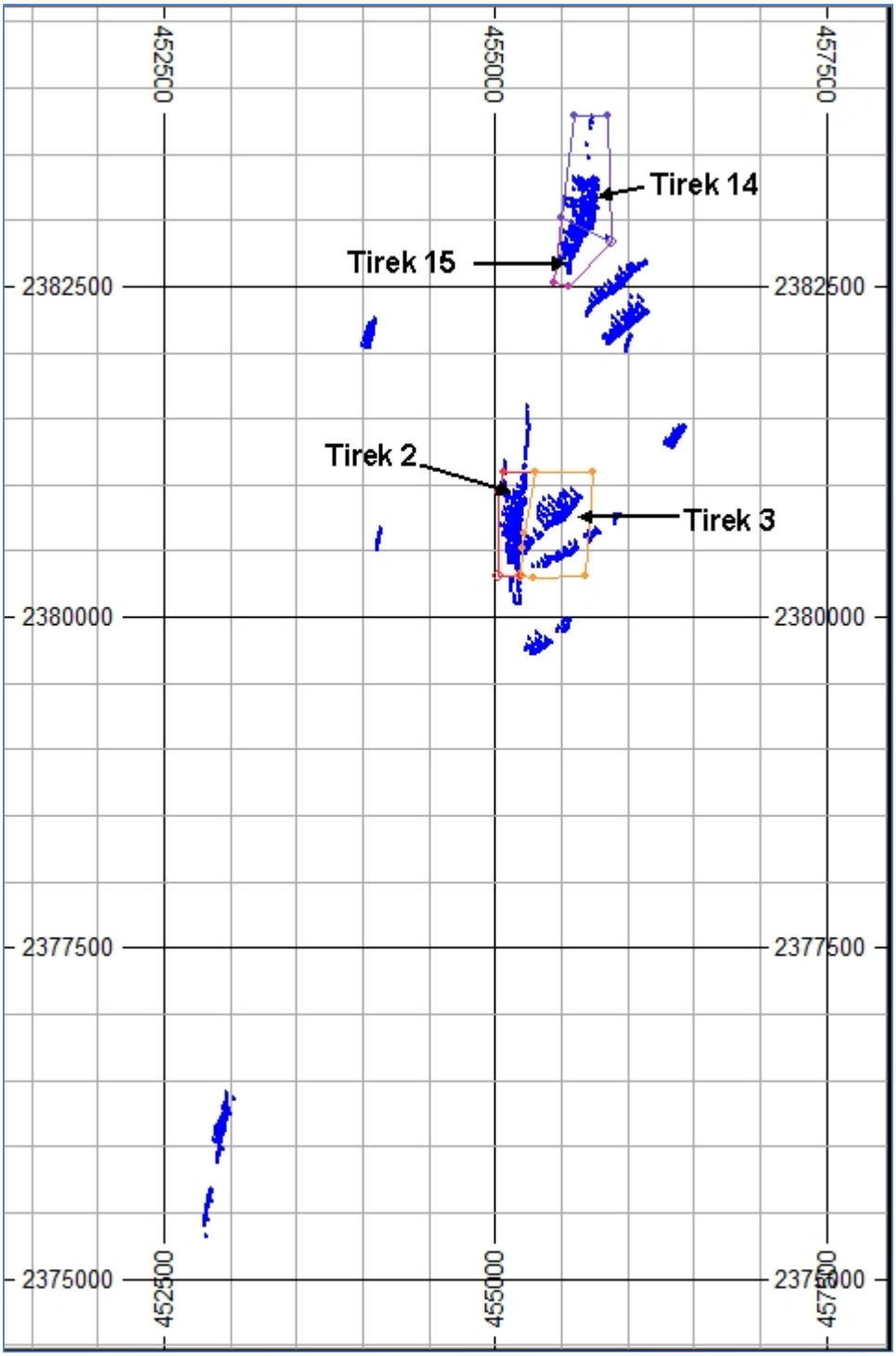


Figure 11 : Plan d'ensemble des données de l'échantillon fourni

[6]

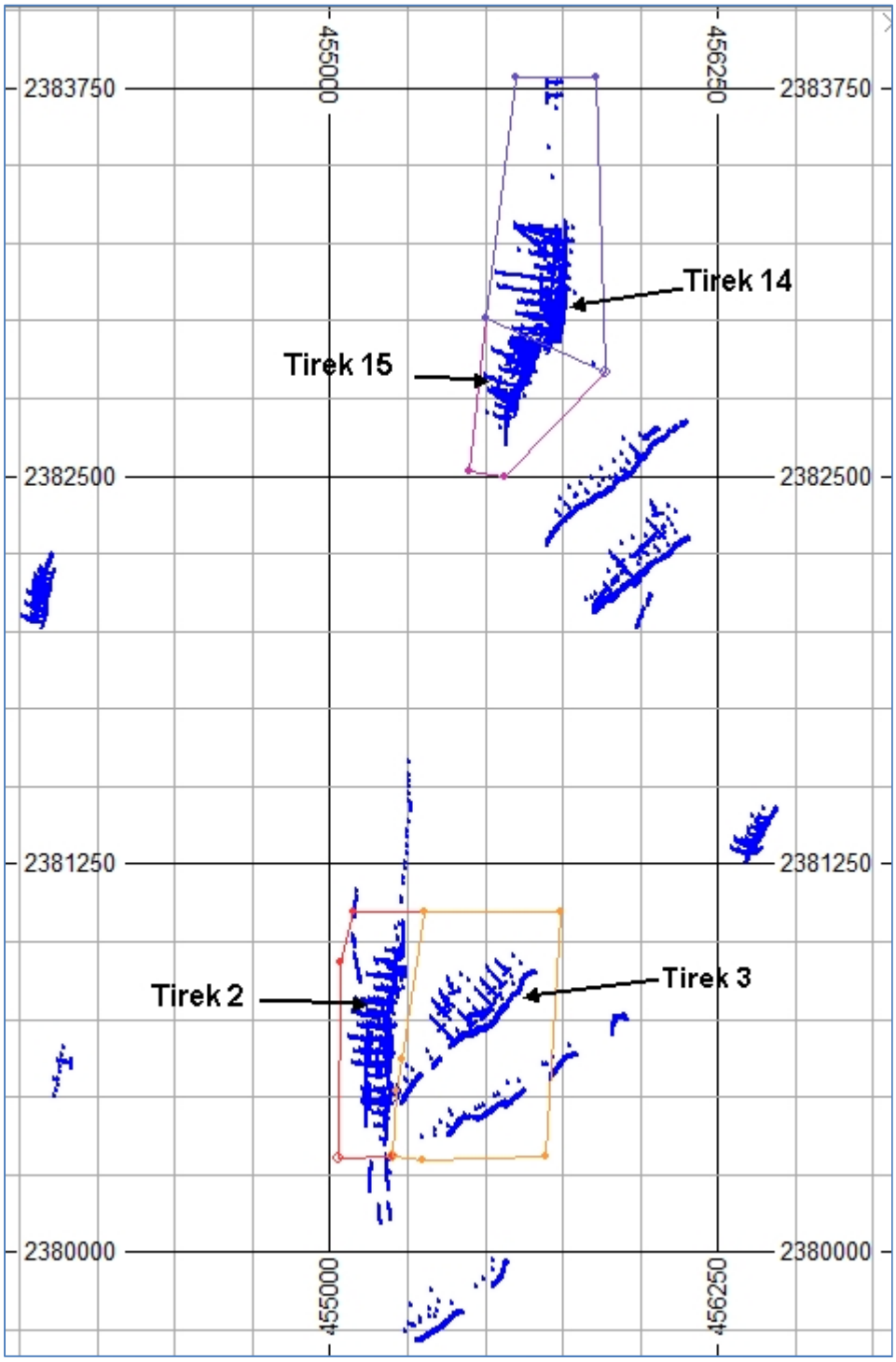


Figure 12 : Plan de l'échantillon de données ; Tirek Nord[6]

Interprétation et traitement des données de l'échantillon

Comme pour l'évaluation précédente des ressources du RSG, les principales zones de veines modélisées étaient les zones 2, 3, 14 et 15, comme le montrent les plans de la figure 11 et de la figure 12. Dans chacune de ces zones, les échantillons associés à la zone du filon principal ont été identifiés. Pour les zones 14 et 15,

Il existe plusieurs zones et elles ont donc été subdivisées en zones distinctes. Les plans et les vues 3D de toutes ces zones, avec les zones internes correspondantes, sont présentés dans les figures 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 et 6.8. Les surfaces triangulées représentées dans ces plans et ces vues 3D sont le MNT central créé pour chaque filon et chaque zone. Un résumé des dimensions et orientations générales des zones est présenté dans le tableau 6.1.

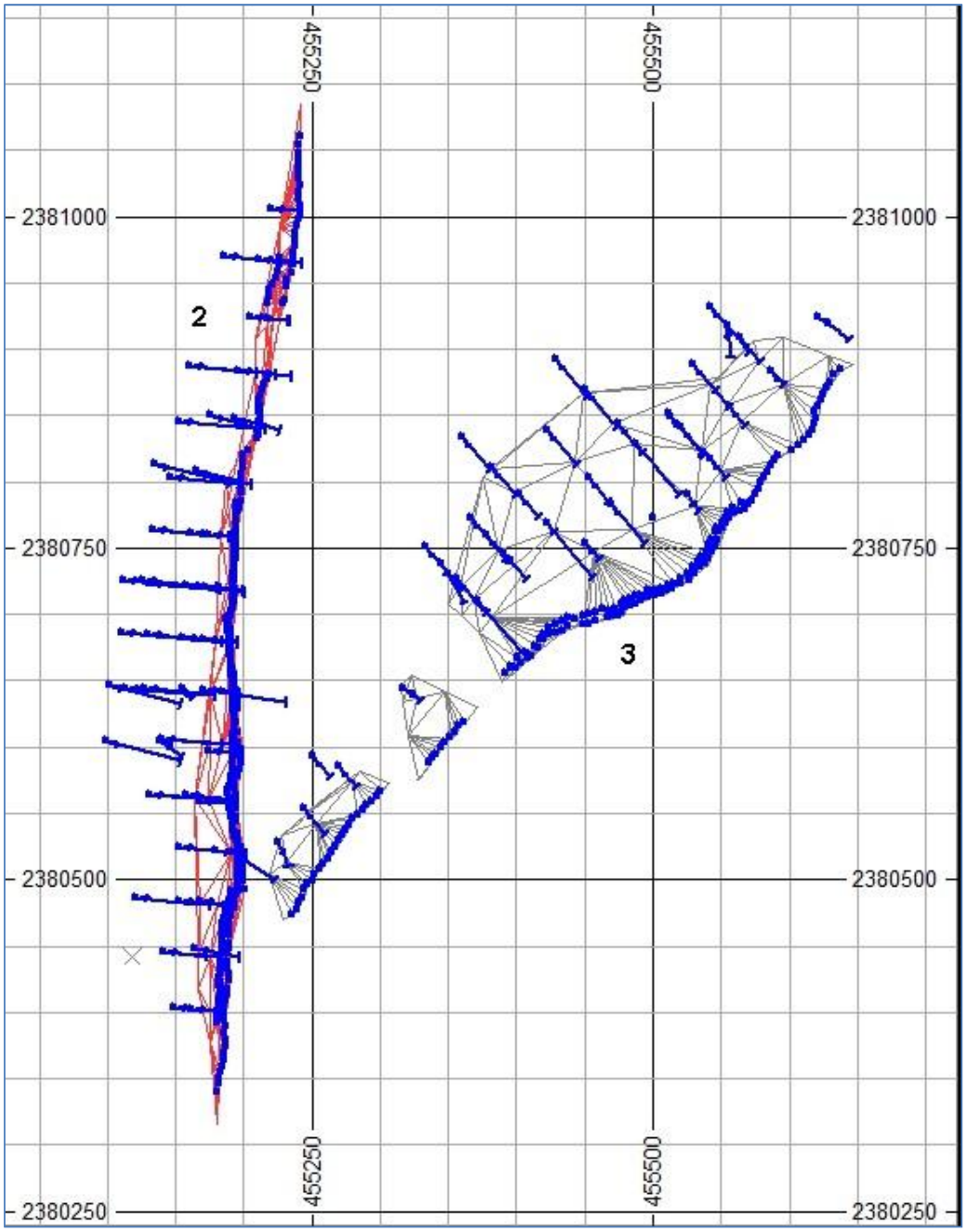


Figure 13 : Plan des veines 2 et 3, TireK [6]

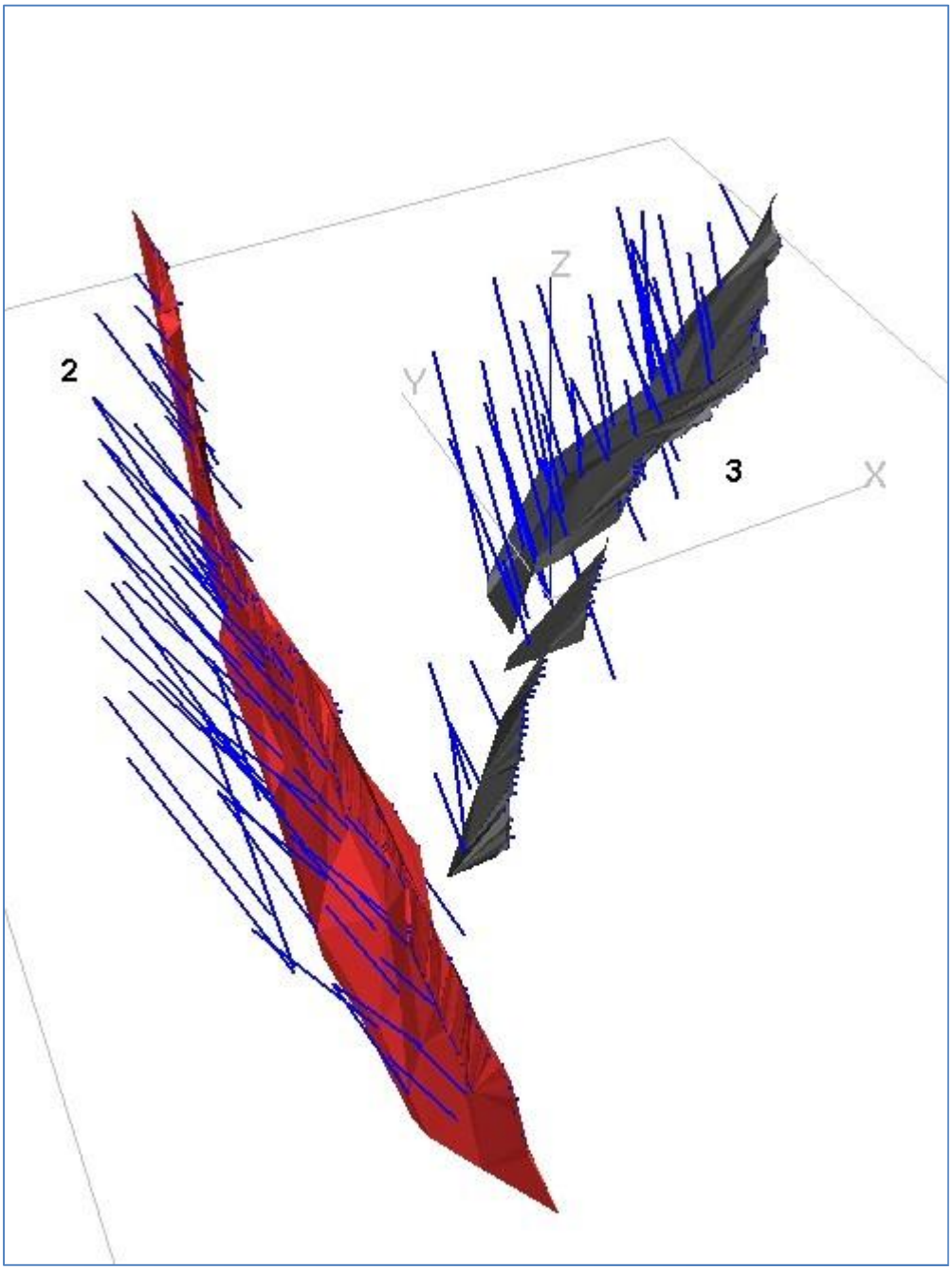


Figure 14: Vue 3D des veines 2 et 3, Tirek

[6]

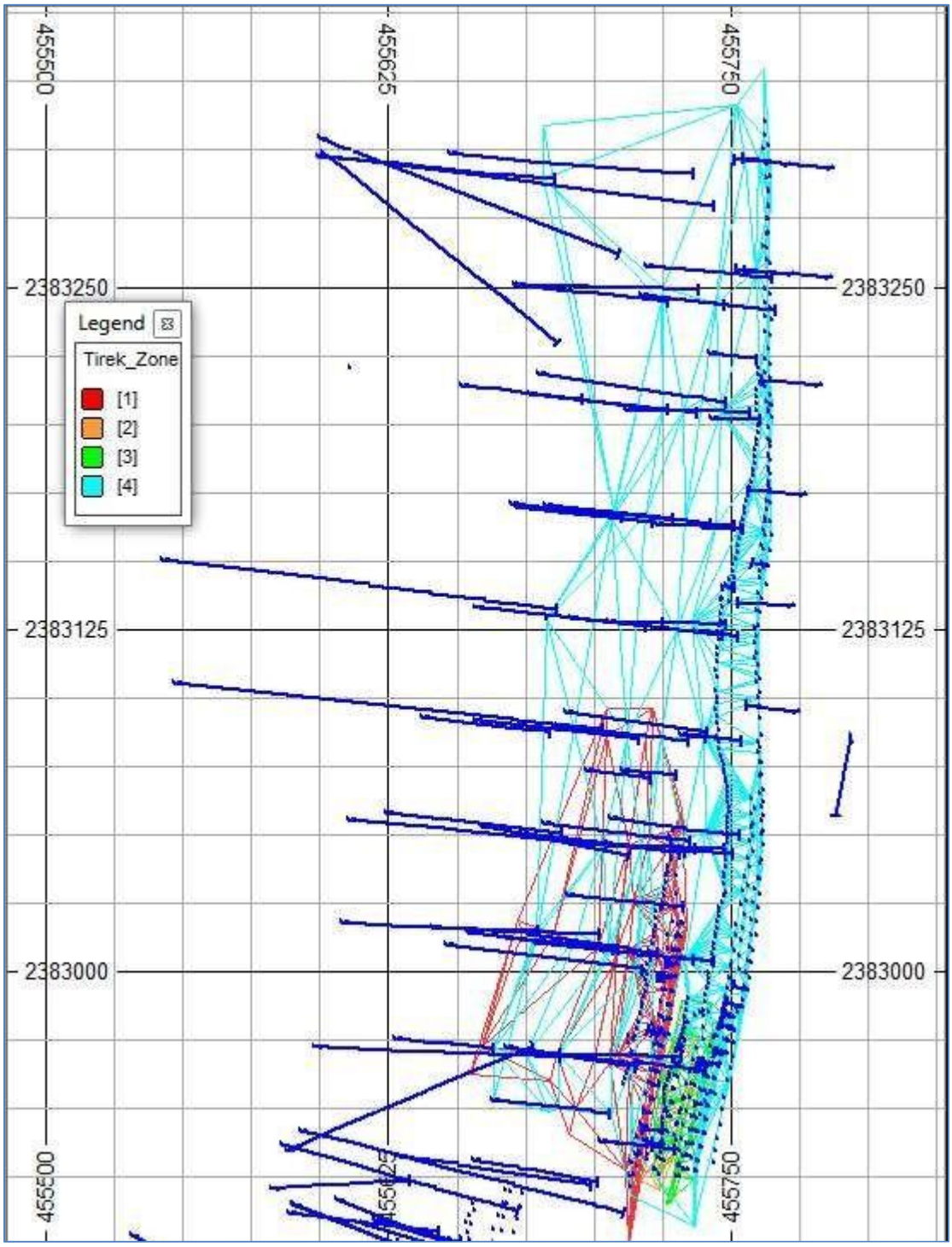


Figure 15 : Vue en plan du filon 14, Tirek

[6]

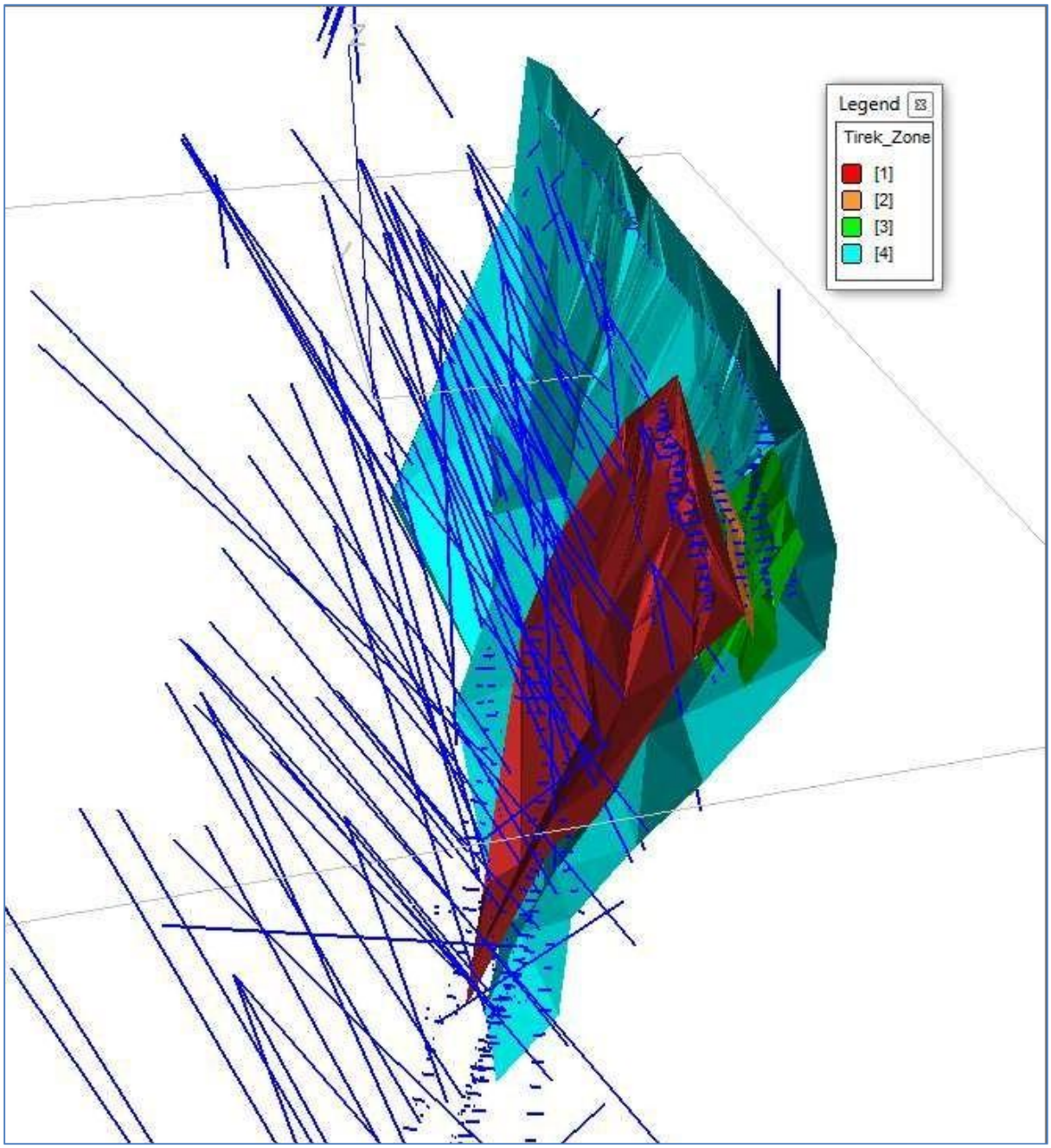


Figure 16 : Vue 3D de la veine 14, Tirek

[6]

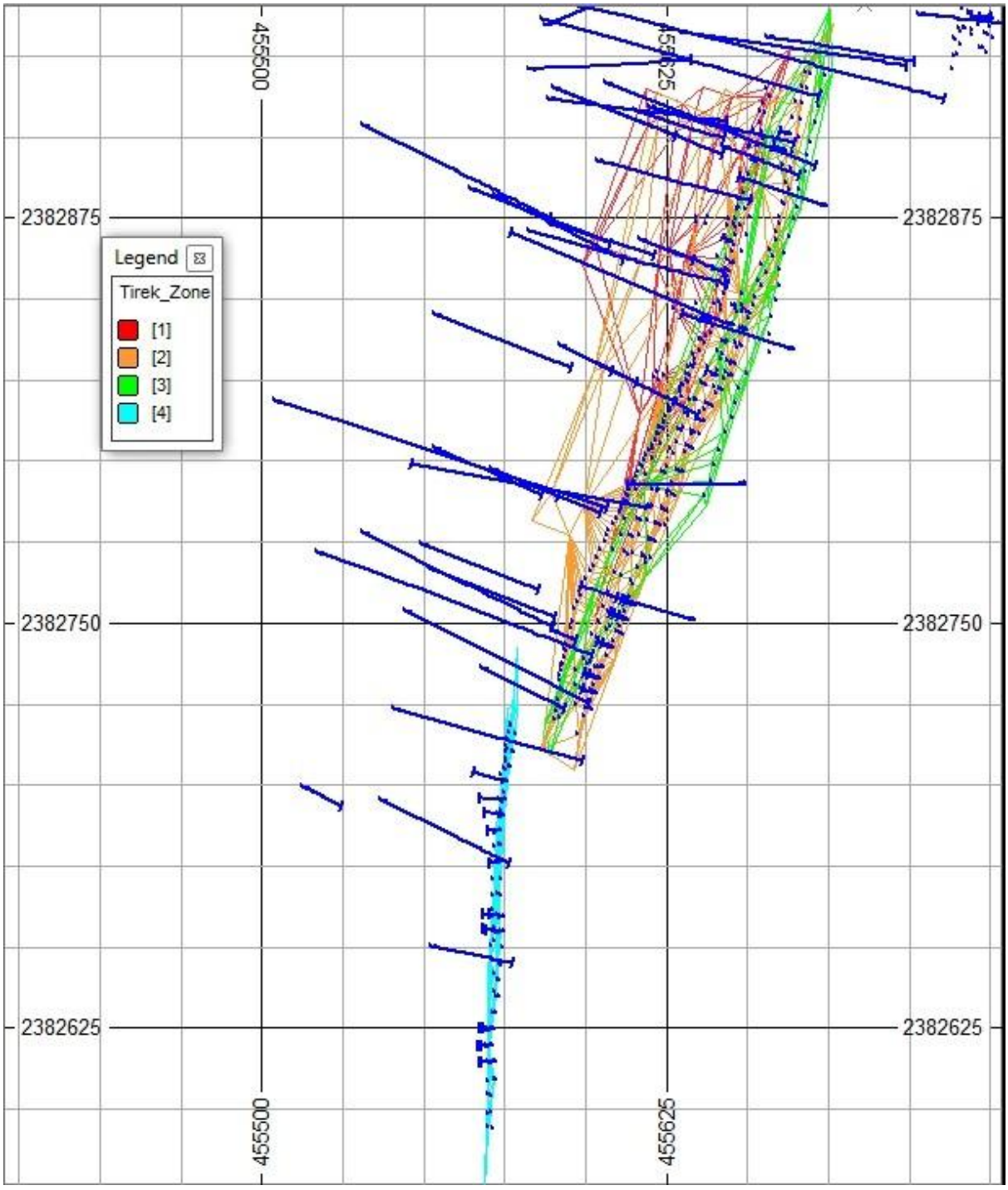


Figure 17 : Vue en plan du filon 15, Tirek

[6]

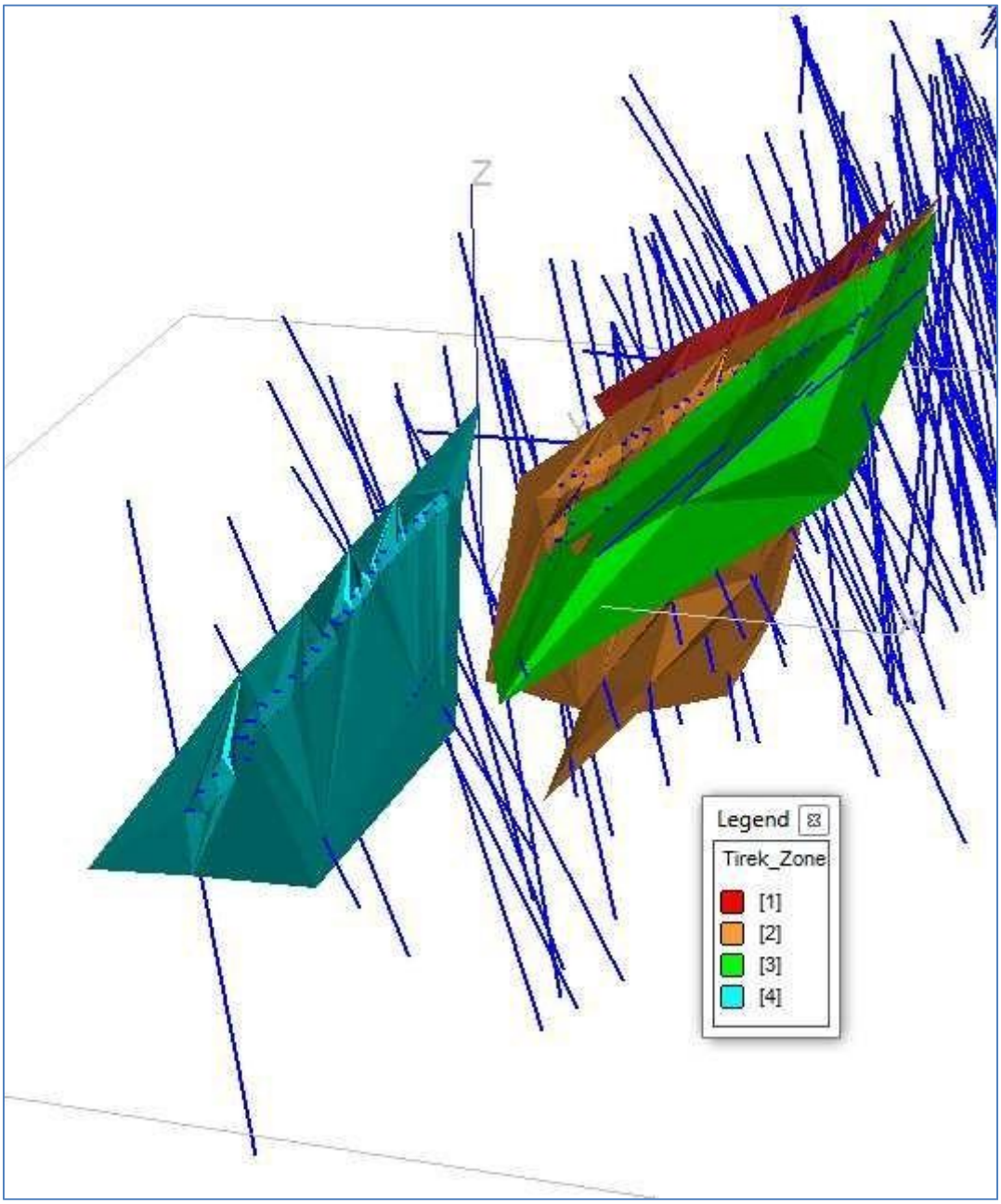


Figure 18 : Vue 3D de la veine 15, Tirek[6]

Les cartes topographiques de 'Amesmessa ont été fournies par le client sous la forme d'une série de fichiers dwg :

- Ams Plan Global Pits_31-07-2012D_Survey.dxf ; et
- Lvé initial_F.8 & F.9 au 30-09-12.dxf.

Exemple de base de données

La base de données Amesmessa contient un total d'environ 61 831 m forage (723 forages) et de 5 543 échantillons tranchées de surface ou de canaux souterrains.

Les données des trous de forage ont été fournies par client en format Excel.

- Master_Gma_DB_AMS.xlsx

Un résumé de la base de données complète des échantillons fournis est présenté dans le tableau10 et dans la figure 19.

Tableau 10 : Résumé de la base de données de l'échantillon

Type d'échantillon	Traces	Longueur (m)	Échantillons	Moyenne Longueur/Trace
Tranchées de surface ou canaux U/G	1,372	5,436	5543	3.96
Trous de forage	723	56,395	7564	78
Total	**2,095**	**61,831**	**13107**	**-**

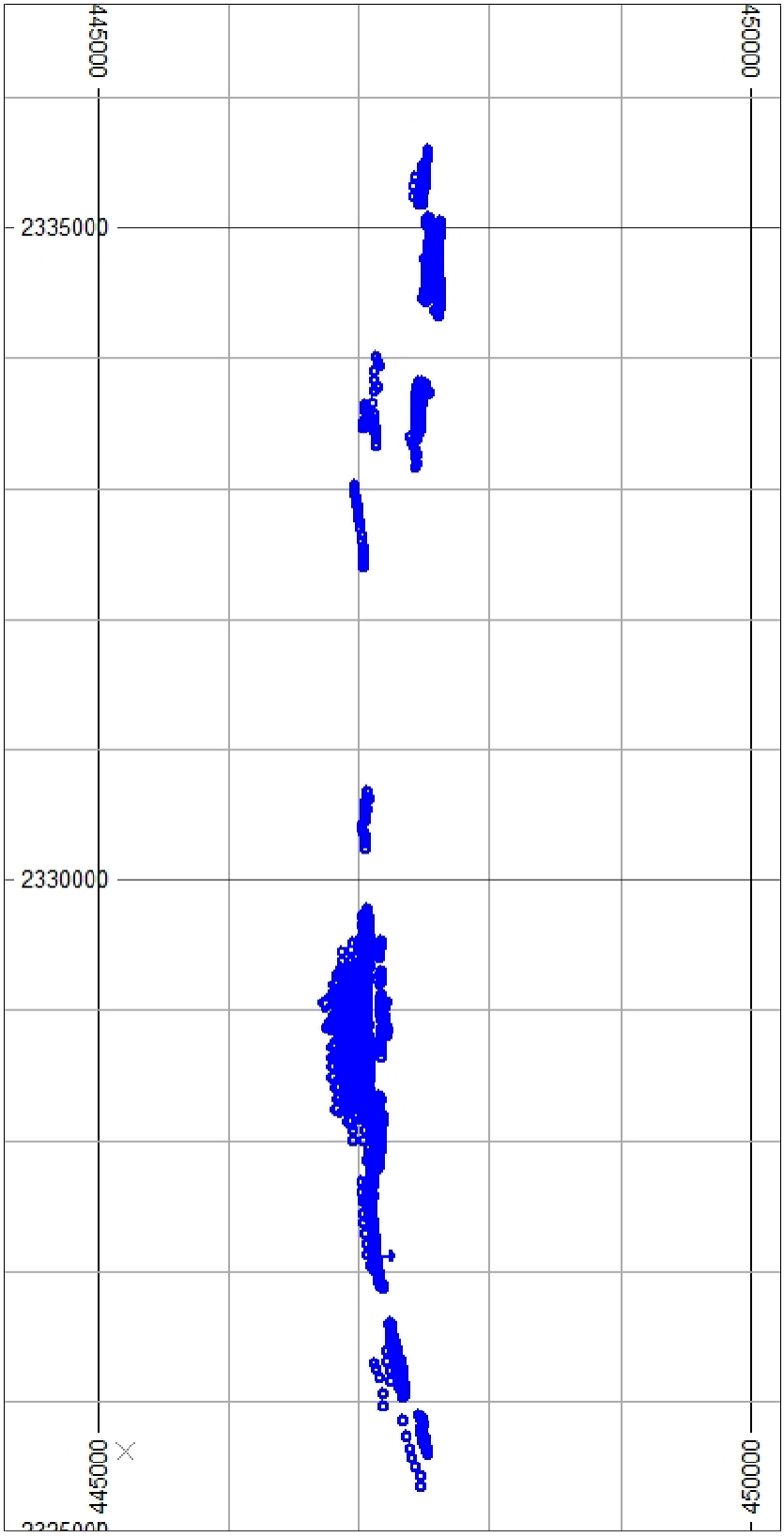


Figure 19 : Plan d'ensemble de l'échantillon de données fourni

Interprétation et traitement des données de l'échantillon

Comme pour l'évaluation précédente des ressources RSG, les principales zones de veines modélisées étaient 8, 9, 9_1, 9_2 et 9_3. Dans chacune de ces zones, les échantillons associés à la zone du filon principal ont été identifiés par la génération de modèles filaires simples en utilisant une coupure de modélisation de 0,5 g/t Au. Les plans et les vues 3D de toutes ces zones, avec les zones internes correspondantes, sont présentés dans les figures 20 et 21. Les surfaces triangulées figurant sur ces plans et vues 3D sont les interprétations filaires simples utilisées pour sélectionner les échantillons dans chacune d'entre elles. Un résumé des dimensions et des orientations générales des zones est présenté dans le tableau 11

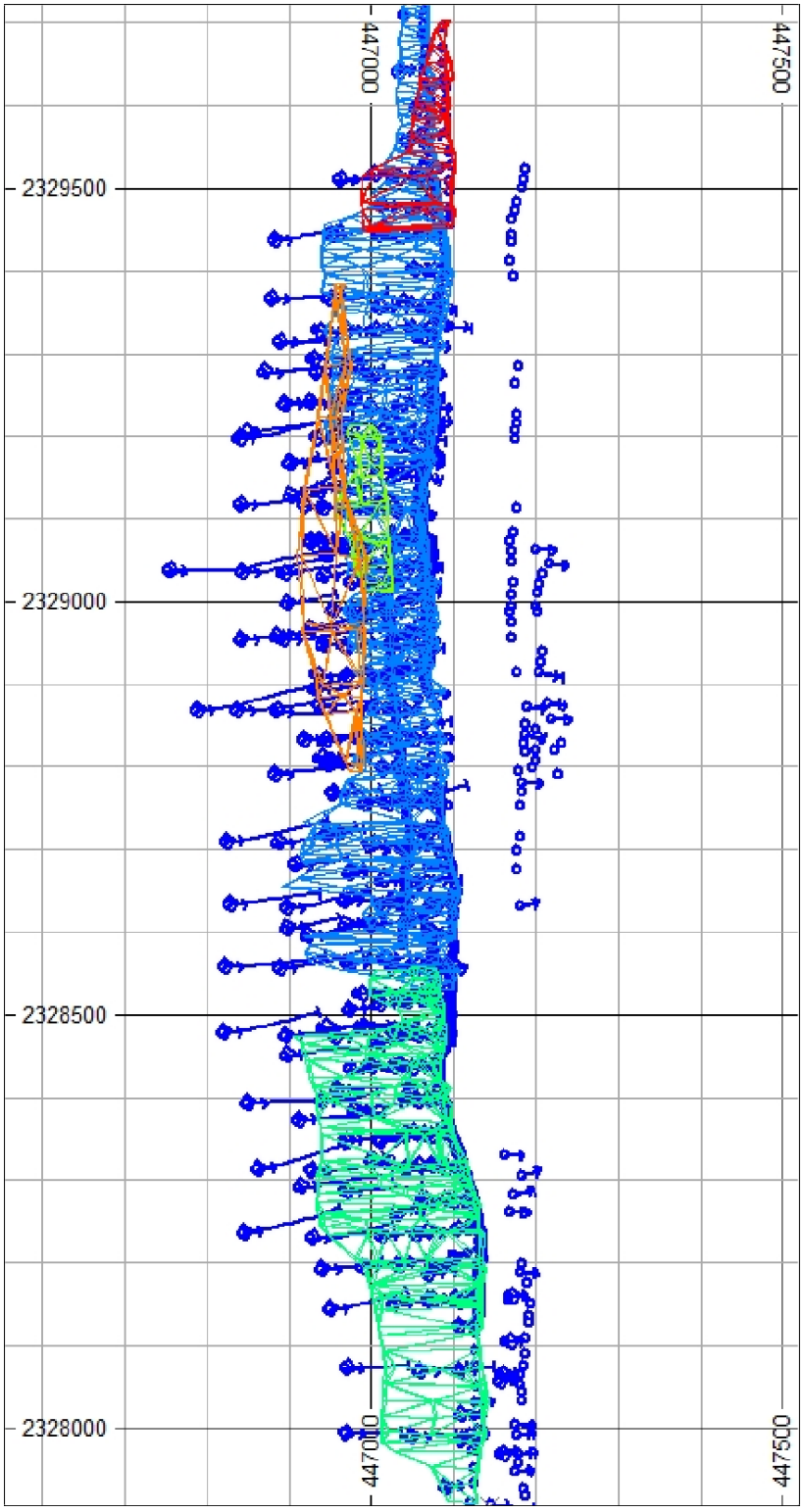


Figure 20 : Vue en plan des veines 8, 9, 9_1, 9_2, et 9_3, Amesmessa[6]

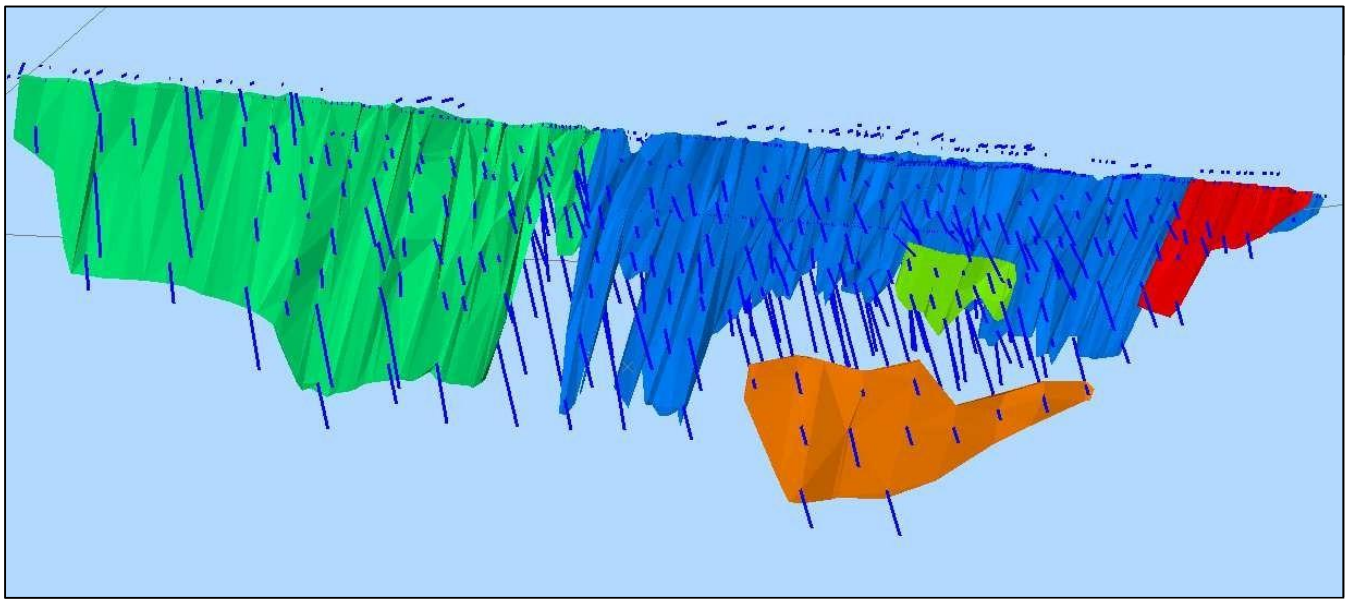


Figure 21 : Vue 3D en direction des veines 8, 9, 9_1, 9_2, et 9_3, Amesmessa

Tableau 11 : Dimensions et orientations générales des zones

Zone	Zone	Trempette Direction	Trempette	Grève Longueur m	Profondeur maximale m
2		275	80	780	230
3		315	50	600	200
14	1	285	75	200	210
14	2	110	70	70	25
14	3	285	75	80	60
14	4	285	75	430	260
15	1	290	70	190	160
15	2	290	70	250	180
15	3	290	70	250	90
15	4	275	85	180	80

En conclusion, la topographie de Tirek et Amessmessa est typique des régions sahariennes du Hoggar : montagneuse, rocheuse, aride et fortement influencée par l'histoire géologique ancienne du socle africain. Ces caractéristiques exigent une planification rigoureuse pour toute opération minière.

Chapitre 02

Les travaux de prospections

Généralité :

Nous entendons par travaux de prospections tout type de travaux visant a mieux comprendre la mise en place de la minéralisation, et a délimiter le gisement. Après avoir consulté le plus de documents possible sur la zone d'intérêt (étude des cartes géologiques, topographiques, les images satellites et photos aériennes, ainsi que les anciennes études réalisés sur cette région, afin de permettre de délimiter et préciser la zone d'exploration), un certains nombre de travaux sont entrepris.

1 Les travaux géophysiques :

Les méthodes de prospections et explorations géophysiques sont toujours les premières utilisées car elles sont non seulement les moins onéreuses, mais aussi les plus à même d'orienter efficacement la suite de l'exploration. Elles permettent non seulement de déterminer la nature des couches profondes, mais aussi de connaître et précisé la disposition et la forme du corps minéralisé en profondeur. La méthode géophysique utilisée est choisie selon les informations recherchées. Nous pouvons citer : la diagraphie, la gravimétrie, la résistivité électriques, la conductivité électrique, la sismique réflexion et réfraction, le magnétisme, etc.

2 Les travaux géochimiques :

Les méthodes géochimiques consistent à mesurer systématiquement la teneur en un ou plusieurs éléments en traces des roches, des sols, et des sédiments. Le but de ces mesures est non seulement la mise en évidence d'anomalie géochimique, c'est-à-dire de concentration anormale en certains éléments, mais aussi la détermination de la source de ces éléments traces.

Après avoir délimité la zone d'exploration grâce aux travaux géophysiques, nous la subdiviserons selon une maille d'échantillonnage de 200m de distance entre les profiles et de 25m entre les points de prélèvement des échantillons.

Lors de l'échantillonnage il y a quelques procédures à suivre :

-on doit localiser géographiquement le point de d'échantillonnage
- l'échantillon doit être pris à une profondeur de 25 – 30 Cm.
- en cas de Bad rock (roche mère) l'échantillonnage ne sera pas effectué.
-les échantillons pris sont d'une granulométrie $\leq 70\ \mu$ (après tamisage).
-après chaque opération de tamisage, le tamis doit être nettoyé.
-le poids de l'échantillon destiné à l'analyse est de 50g (en réalité le poids du sachet est entre 70 –80g car en cas de perte il ne sera jamais $\leq$ 50g).
-le sac de l'échantillon doit être bien fermé pour éviter toutes sortes de contamination.









Fig.12: Les_travaux_géochimiques (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO , 2011)… [3]

3 Les tranchés :

Les tranchées sont des excavations pratiquées dans le sol permettant de déterminer la morphologie, l'azimut, le pendage, la direction et la puissance du corps minéralisé. Elles sont toujours réalisées perpendiculairement à la direction du filon à l'aide d'une pelle mécanique. Elles sont caractérisées par quelques mètres de longueur pour 1 à 2m de profondeur. La distance moyenne entre deux tranchées successives est de 20m.

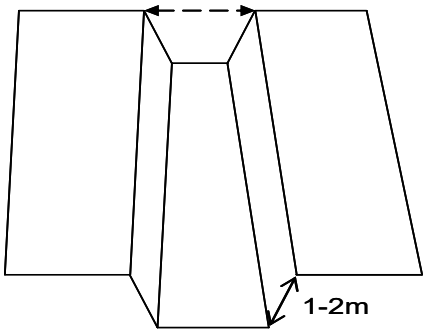




Fig.13: Un tranché (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO , 2011)…[4]

4 Sondage :

Le but du sondage est l'étude et la délimitation du corps corps minéralisé en profondeur. Il est réalisé selon une maille sur des profils perpendiculaire à la direction du corps minéralisé. Il s'agit de sondages destructifs en circulation inverse, pouvant atteindre une profondeur de 400-500m selon une maille primaire de 80X80, suivi de d'autres forage d'une maille plus resserrer 40X40. Chaque sondage est caractérisé par les coordonnées de sont point d'implantation, son azimut et son inclinaison.



Installation de la sondeuse



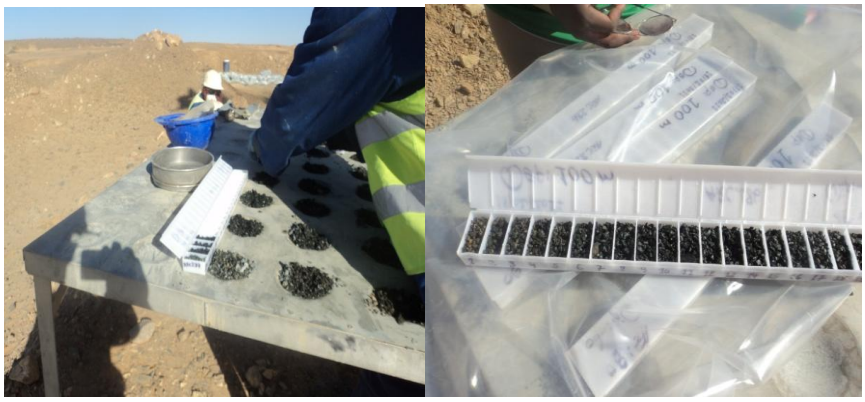
Forage



Échantillonnage



Description lithologique



Prélèvement d'échantillons

Fig.14 : Les étapes de sondage (par SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO, 2011)…[8]

5 L'échantillonnage :

L'échantillonnage est une opération très importante et très délicate. En effet, l'échantillon prélève doit être homogène et représentatif du milieu d'où il provient, afin que l'on en tire le maximum d'informations juste. Pour cela on emploi un moyen appelé le quartage.

Il y a deux types d'échantillonnage :

a- **par saignés :** c'est des petits fossés de largeur de10 cm, de profondeur de 5 cm et de longueur variables, cette étape a comme but de délimiter le filon ou la zone minéralisée en surface, en prenant des échantillons pour les analyses.



Fig 15 : L'échantillonnage par saignés (par Kourim Abd Elkader, 2010)… [6]

b- par cutting : cette opération consiste à foré des trous de 5m de profondeur (au moyen) qui sont utilisés pour l'étude de la zone minéralisée en profondeur (les produits de forage sont échantillonnés et analysées), ainsi que pour les travaux du tir. Cette étape est réalisée à l'aide d'une foreuse spécial.

L'analyse en laboratoire :

a- Réception de l'échantillon :

Les échantillons sont réceptionnés au niveau du laboratoire par le responsable de ce dernier ; la conformité du lot d'échantillons se fait par les bons de commande; une copie des ces bons signés par le responsable du laboratoire est remise à la structure géologie pour archever.

Laboratoire d'analyse reçoit trois types d'échantillons:

-les cutting et échantillons prélevés des tranchées



Échantillons prélevés à partir des colonnes de charbon



Échantillons de la solution cyanurée



Fig. 16 : L'échantillonnage par cutting

b- Préparation mécanique :

♦- Préparation mécanique: consiste à transformer l'échantillon prise du terrain en une poudre d'une granulométrie inférieur à 75µ destinée à l'étude, cette opération comporte:

- **Concassage (à mâchoire):**

pour réduire la taille de l'échantillon initiale à 4-6mm



Fig.17 : Opération de concassage

- **Division (Quartage) :**

Permet d'obtenir un échantillon homogène et représentative ainsi que diminué le volume de l'échantillon initial.



Fig.18 : opération de quartage

- **Broyage**:

Réalisé à l'aide d'un broyeur, il fournisse des fractions d'une granulométrie inférieur à 75µ , destiné à l'étude dans lequel l'or est libre de 80%.



Fig.19 : opération de broyage

c- Préparation thermique :

- Fusion (voie sèche).

- Coupellation.





***<u>Fusion (voie sèche)</u>*:**

Consiste à transformer l'échantillon (poudre, charbon) à une masse solide composé du verre et de plomb.

a- Utiliser un moule en céramique :

Pour mélanger l'échantillon (Poudre 30g, Charbon 3g), au mélange fondu constitué de:

- Oxyde de plomb

(Qui collecte tout les métaux existe dans l'échantillon).

- Borax + Farine spécial pour les fours de fusion.

- Nitrate de sodium (pour augmenter la température).

- Silicate (pour: -transformer la poudre du plomb en masse solide

-former le borosilicate (verre).



b- Ajouter le nitrate d'argent.

c- Mettre le mélange dans un four à 1050°-1100°

pendant 1heur.

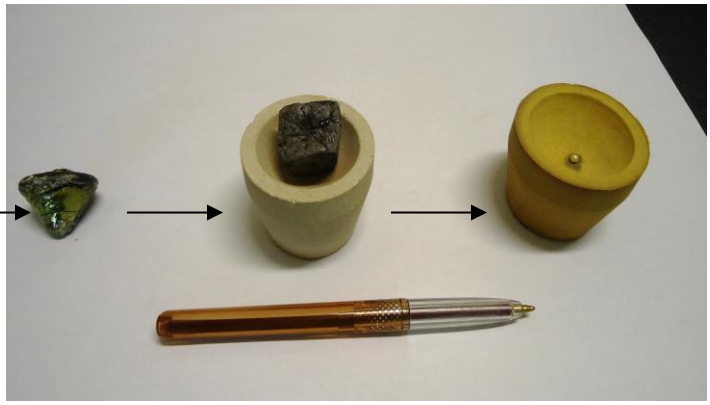


Les étapes de fusion

Coupellation **:** réalisé comme suit :

- ressortir l'échantillon fondu du four et le verser dans un moule métallique spécial.
- recueillez l'échantillon solide composé de deux parties (verre + masse de plomb).
- casser et jeter la partie en verre, et aplatir l'autre partie en plomb.
- introduire la coupelle qui contient la masse de plomb aplat dans un four à 950° pendant 45-60 minutes.
- récupérer à la fin la coupelle qui contient seulement une *perle* composée d'argent et d'Or, après l'absorption de tous les autres éléments.





- Attaque Chimique (Digestion).

- Analyse Spectrométrique**.**

***<u>Attaque Chimique (Digestion)</u>*:**

Consiste à traité la perle résulte de l'étape précédent, son but est l'élimination de l'argent pour donner une solution

Contient seulement de l'Or :

- Introduire la perle dans un tub d'expérience.
- Ajouter (3 ml) de NHO_3 pour enlever l'argent (Ag).
- Après 20minutes, ajouter (3ml) d'acide chlorhydrique concentrer de 100%.
- Après 20minutes, ajouter (4ml) d'eau au volume d'eau régale précédent pour atteindre un volume de (10ml).

***<u>Analyse Spectrométrique</u>* :**

C'est la détermination de la teneure d'Or existe dans la solution, on se basant sur des *étalons* dont la teneur d'Or est déjà connu.



Fig.21: Appareil d'analyse

Chapitre 03:

LES TRAVAUX D'EXPLOITATION

Généralité :

Les techniques d'exploitation des gisements aurifères à l'échelle mondiale

L'exploitation de l'or dans le monde repose sur diverses techniques adaptées aux caractéristiques géologiques des gisements. Les principales méthodes utilisées sont les suivantes :

1. Les différentes techniques d'exploitation minière

L'exploitation minière de l'or peut être classée en deux grandes catégories :

a) Exploitation à ciel ouvert

Utilisée lorsque les gisements sont proches de la surface et que l'extraction peut être réalisée à grande échelle.

- **Mines à ciel ouvert** : Extraction de grandes quantités de minerai en retirant la roche sus-jacente avec des explosifs et du matériel lourd (pelles mécaniques, camions).
- **Exploitation hydraulique** : Utilisation de l'eau sous pression pour désagréger les sédiments aurifères (technique peu utilisée aujourd'hui en raison de son impact environnemental).

Exemples :

- Mine de Muruntau (Ouzbékistan), la plus grande mine d'or à ciel ouvert du monde.
- Mine de Boddington (Australie).

b) Exploitation souterraine

Utilisée pour les gisements profonds ou filoniens, nécessitant des infrastructures complexes.

- **Méthode des chambres et piliers** : Extraction du minerai en laissant des piliers de roche pour soutenir les galeries.
- **Méthode du foudroyage** : Effondrement contrôlé de la roche pour récupérer le minerai.
- **Forage long trou (long-hole stoping)** : Explosifs placés dans de longs trous de forage pour extraire le minerai.

Exemples :

- Mine de Mponeng (Afrique du Sud), la mine d'or la plus profonde du monde (>4 km).
- Mine de Kirkland Lake (Canada).

c) Exploitation alluvionnaire

Cette méthode concerne les gisements aurifères situés dans les rivières et cours d'eau.

- **Dragage** : Utilisation de barges pour aspirer les sédiments riches en or.
- **Tamisage et lavage** : Séparation de l'or par gravité (bassins, rampes de lavage).

Exemples :

- Exploitations artisanales en Amazonie, Afrique de l'Ouest et Sibérie.

2. Quel serait le mode d'exploitation approprié ?

Le choix de la technique d'exploitation dépend de plusieurs facteurs :

- **Profondeur du gisement** :
    - Peu profond → exploitation à ciel ouvert.
    - Profond → exploitation souterraine.
- **Type de roche** :
    - Roches dures → forages et dynamitage nécessaires.

    - Sédiments meubles → exploitation alluvionnaire.
- **Teneur en or** :
    - Haute teneur → méthodes souterraines.
    - Faible teneur → mines à ciel ouvert pour rentabilité accrue.
- **Impact environnemental et coûts** :
    - L'exploitation artisanale et la cyanuration nécessitent un contrôle strict des déchets.
    - La biolixiviation et les techniques modernes réduisent l'impact écologique.

3. Les méthodes de traitement des minerais d'or

Une fois le minerai extrait, plusieurs méthodes permettent de récupérer l'or :

a) Gravimétrie

- Séparation par densité à l'aide de tables à secousses, jigs ou centrifugeuses.
- Appropriée pour l'or grossier (>50 microns).

b) Cyanuration (méthode la plus courante)

- Dissolution de l'or avec une solution de cyanure, puis récupération par adsorption sur charbon actif ou précipitation au zinc (Merrill-Crowe).
- Très efficace pour les minerais à faible teneur.
- Exemple : Mines en Amérique du Nord et Australie.

c) Lixiviation en tas (Heap Leaching)

- Pulvérisation d'une solution cyanurée sur des tas de minerai concassé.
- Faible coût, mais longue durée d'extraction.
- Utilisée en Amérique du Sud et en Afrique.

d) Flottation

- Séparation des particules aurifères des autres minéraux grâce à des agents moussants.

- Utilisée pour les minerais sulfurés.

e) Biolixiviation

- Utilisation de bactéries pour dissoudre les minerais sulfurés contenant de l'or.
- Procédé écologique en développement.

L'exploitation de l'or varie selon les caractéristiques du gisement et les contraintes économiques et environnementales. Les mines à ciel ouvert dominent la production mondiale, tandis que les exploitations souterraines restent nécessaires pour les gisements profonds. Côté traitement, la cyanuration reste la méthode la plus efficace, bien que des alternatives plus écologiques émergent.

Synthèse des aspects techniques des gisements proposés à l'étude

1. Gisement d'Amesmessa

- **Localisation** : Sud de l'Algérie, dans le massif du Hoggar.
- **Type de gisement** : Or filonien en roche dure.
- **Mode d'exploitation** :
    - Exploitation principalement à ciel ouvert, avec possibilité d'exploitation souterraine pour les zones plus profondes.
    - Utilisation d'explosifs pour extraire le minerai.
- **Méthodes de traitement du minerai** :
    - Cyanuration pour récupérer l'or des minerais à faible teneur.
    - Traitement gravimétrique pour séparer l'or libre des gangues rocheuses.

2. Gisement de Tirek

- **Localisation** : Situé à proximité d'Amesmessa, dans la même région aurifère du Hoggar.
- **Type de gisement** :
    - Gisement filonien d'or, avec une teneur variable.
    - Présence d'or sous forme libre et associé à des minéraux sulfurés.
- **Mode d'exploitation** :

    - Exploitation initialement à ciel ouvert.
    - Possibilité d'exploitation souterraine si les réserves en profondeur sont confirmées.
- **Traitement du minerai** :
    - Flottation pour les minerais sulfurés.
    - Cyanuration pour extraire l'or contenu dans les roches.

3. Périmètre du permis d'exploitation minière

- **Statut juridique** : Permis d'exploitation accordé dans le cadre d'une concession minière octroyée par l'État algérien.
- **Objectifs** :
    - Augmenter la production d'or par optimisation des méthodes d'extraction.
    - Assurer une exploitation durable tout en respectant les normes environnementales.

4. Concession et superficie

- **Superficie** :
    - La concession regroupe plusieurs permis couvrant une vaste zone aurifère.
    - Étendue permettant l'exploitation à ciel ouvert et la prospection de nouvelles ressources en profondeur.
- **Gestion et exploitation** :
    - Exploitée par des entreprises minières spécialisées.
    - Surveillance géologique pour identifier d'autres zones exploitables.

Les gisements d'Amesmessa et de Tirek présentent un fort potentiel aurifère avec une exploitation combinant des techniques à ciel ouvert et souterraines. Le traitement du minerai repose sur la cyanuration et la flottation, selon la nature du minerai extrait. La concession couvre une zone stratégique pour la production aurifère en Algérie, avec un cadre réglementaire strict pour assurer une exploitation rentable et durable.

Méthode d'exploitation actuelle du gisement d'or d'Amesmessa et tirek

❖ -Traitement des données et détermination des blocs d'exploitation :

A la suite de la réception des données des analyses du laboratoire, on procède au traitement de tous les types de données, en vue de délimiter les blocs exploitables et de calculer leurs réserves.

❖ Calcul des réserves :

Paramètres utilisés pour les calculs des réserves :

Les paramètres utilisés sont déduits soit des études de faisabilité, soit des résultats de l'exploration soit des essais pratiques sur Site définis et améliorés au fur et à mesure de la disponibilité de donnés réelle de l'exploitation et du traitement.

Les calculs sont fait par un logiciel spécialisé « MineSight ». Ou bien « SURPAC »

A la fin des calculs, nous devrons avoir un plan composé pour chaque niveau d'exploitation, sur lequel figureront toutes les données requises pour l'exploitation minière, à savoir : les numéros et les limites des blocs, ainsi que le tonnage et la teneur du minerai dans chaque bloc.

Lors du suivi de l'opération de l'abattage du minerai le géologue sera menu nécessairement de ce plan.

❖ Définition du type du minerai :

Tout d'abord, il est faut faire la distinction entre minerai « économique » et minerai « marginal » Cut off. Lorsque la teneur du minerai exploitable (teneur Mine) ne répond pas à la teneur exigée pour l'alimentation de l'usine de traitement (d'Amesmessa) ou le heap Leach (lixiviation en tas), des Cut off grades progressives sont appliquées pour obtenir la teneur exigée.

- Les blocs de teneur supérieur au Cut off grade (T>1.0g/t) détermine le minerai économique.
- Les blocs de teneur inférieur au Cut off grade (0.5<T<1.0g/t) détermine le minerai marginal.

Le minerai économique est divisé en plusieurs catégories afin de procéder par la suite à son homogénéisation pour obtenir les teneurs exigées par le procès :

- **Catégories du minerai économique :**

1. Minerai High Grade : HG >8g/t.
2. Minerai Heap 2 Leach : HL de 4 à 8 g/t.
3. Minerai Heap l Leach : HL de 1 à 4 g/t.

- **Minerai marginal** :

Minerai marginal : MG de 0.5 à 1 g/t.

Suivi et supervision de l'exploitation minière :

Une fois les données traitées et les paramètres des blocs (limites, tonnage, teneur, etc.) définis les topographes vont implanter sur terrain les limites des blocs d'exploitation sur la base des coordonnées prédéfinies par « MineSight ».

Les travaux de l'exploitation minière se font par tranchée de 5m, mais avec nivaux de 2.5m. Ils se déroulent en deux principales étapes : l'ouverture de la carrière et l'abattage du minerai.

L'ouverture de la carrière consiste au dégagement de la masse des roches stériles se trouvant à l'ouest de la zone minéralisée (le pendage des structures géologiques est vers l'ouest). Durant cette étape la présence du géologue n'est pas nécessaire.

Une fois l'ouverture de la carrière est réalisée, le géologue menu du plan des blocs d'exploitation dirige et supervise en collaboration avec les responsables de la mine l'opération de l'abattage du minerai. Le minerai abattu est expédié séparément en fonction de ces catégories au « Pad room ». C'est le lieu de stockage du minerai, auprès de la station de concassage, où on procèdera à son homogénéisation.

Le géologue maintiendrait une fiche de suivi quotidien d'abattage dans laquelle figurera son nom, la date, le numéro du filon (carrière), le numéro du bloc, la teneur et la catégorie du minerai abattu et le nombre de camions chargés.

Cette fiche survirera pour le suivi et les conciliations des tonnages et teneurs entre la mine et le procès.

1/Régime de travail

Le régime de travail de la carrière d'Amesmessa est présenté comme suit :

* Deux postes de 11heures durant tous les jours calendaires.

*Deux équipes travaillent par alternance un cycle de (il s'agit des conducteurs des équipements de chargement et de transport).

*Deux postes de 11 heures par jour pour les autres catégories de travailleurs (les sondeurs, les mineurs, les maintenanciers, etc.

Pour cela :

- Nombre de jours ouvrables par année : 365 jours.

- Nombre de jours ouvrables par semaine : 7 jours.

- Nombre de postes par jour : 2 postes.

- Nombre d'heures de travail par poste : 11 heures

2/Ouverture de gisement :

L'ouverture d'un gisement a pour but de réaliser l'accès aux moyens de transport à partir de la surface jusqu'aux niveaux de travail, elle consiste à creuser des tranchées dites tranchées d'accès et des tranchées de découpages qui prépare les niveaux d'exploitation et permettent de réaliser un front initiales pour les travaux d'extraction

3/Le choix du mode d'ouverture

Lors de l'exploitation des gisements à ciel ouvert, il est nécessaire de choisir le mode d'ouverture rationnel qui répond aux conditions les plus efficaces de l'exploitation.

Dans le cas de gisement d'Amesmessa par exemple les filons 8&9 sont installés deux tranchées d'accès principales et autre retranchées temporaire.

Généralement l'ouverture d'un gisement exploitable à ciel ouvert dépend des facteurs dont les principaux sont : les facteurs géologiques, miniers et économiques.

Les facteurs géologiques

- ❖ relief de terrain.
- ❖ forme et dimensions du gisement.
- ❖ puissance, profondeur et pendage de gîte.

Les facteurs technico-miniers :

- ❖ productivité de la carrière.
- ❖ durée de service de la carrière.
- ❖ moyen de mécanisation et sécurité de travail.

Les facteurs économiques :

- ❖ dépenses capitales de la construction de la carrière.
- ❖ Rendement.
- ❖ Etude de faisabilité.

Le relief de la surface du sol est un facteur de départ pour le choix de la méthode d'ouverture et la méthode d'exploitation la position du gisement à relief plateure de celui-ci détermine :

- ✓ La forme du contour de la mine.
- ✓ Les dimensions du champ de la mine.

Le creusement de la tranchée d'accès lors du relief plateure s'effectue généralement du haut vers le bas.

Le choix du schéma d'ouverture doit assurer :

- Le fonctionnement des engins au régime favorable.
- L'exploitation du gisement la plus rentable.
- La production planifiée.
- La sécurité du travail

II.1.3 la tranchée d'accès

Le creusement de la tranchée d'accès pour les conditions des roches d'Amesmessa est assure par les travaux de forage et de tir.

Suivant le relief on doit assurer I ‘ouverture de la carrière par les trous verticaux et incline a l'aide de foreuse TAMROCK (PINTRA 1500)

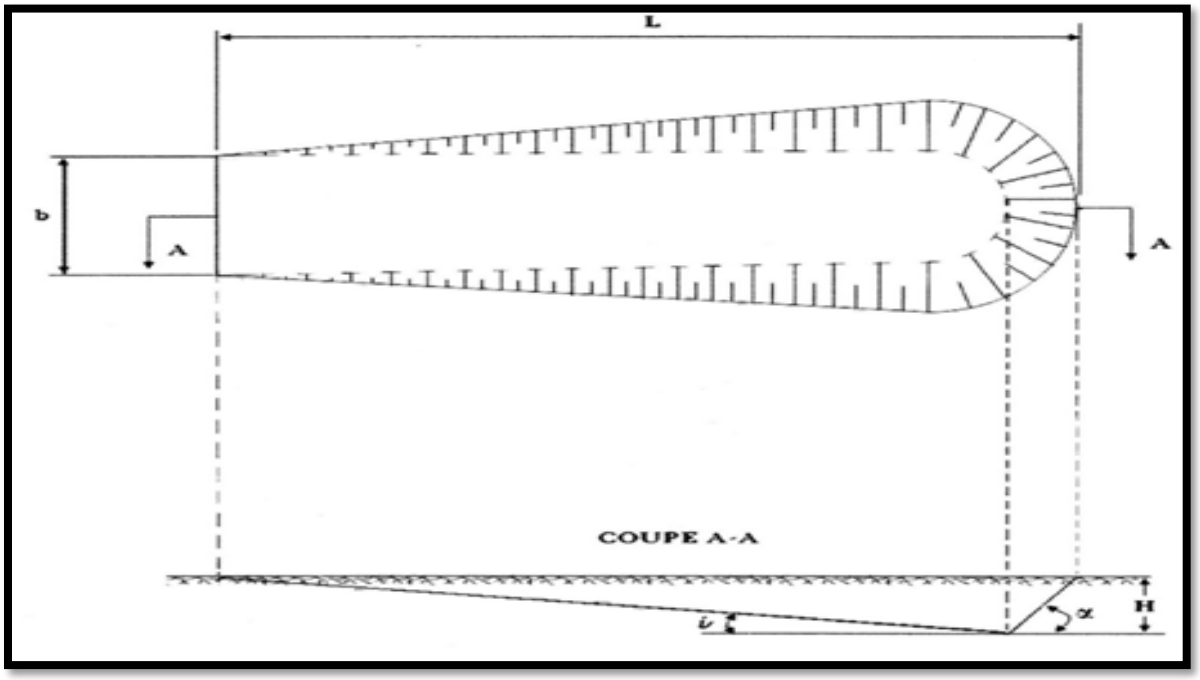


Fig.22 : Vue et coupe de la tranchée d'accès …[7]

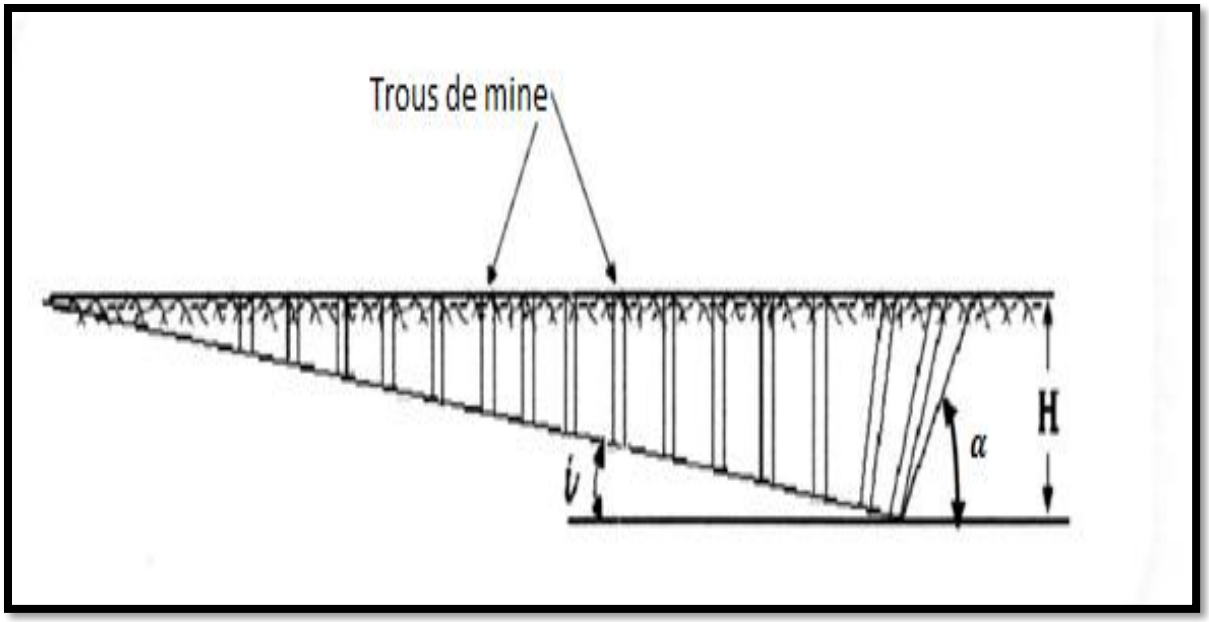


Fig.23 : Schéma du creusement de la tranchée d'accès (A-A)…[8]

Tableau : angle des talus de la tranchée

Tranchées	d'après la dureté			
	2÷4	5÷9	10÷14	15÷20
De découpage	60°	65°	70°	80°
D'accès	60°	70°	75°	85°

II.1.3.1Angle des talus de la tranchée d'accès :

Les angles des talus de la tranchée d'accès de gisement d'Amesmessa dépendent des propriétés mécano-physiques des roches et la profondeur de celles-ci, la valeur approximative pour la dureté de la roche entre (5 -9) est α=70°

II.1.3.2 Le volume de la tranchée d'accès (v)

Le volume de tranchée est détermine par la formule suivante:

$V = \frac{H^2}{i}\left(\frac{b}{2} + \frac{H}{3tan\alpha}\right)$ m^3 …… (1)

Où :

H : profondeur de la tranchée d'accès = 10 m

a : Angle de talus de la tranchée = 70°

i: Inclinaison de la tranchée %

$i = \frac{H}{L} . 100\%$ ……. (2)

Où :

L : langueur de la tranchée pratiquement, dans le cas de gisement d'Amesmessa (filon8&9) On à L= 95 m.

Donc :

$i = \frac{10}{95} . 100 = 10,52\%$

i=10 %

Alors :

$V = \frac{10^2}{0,10}\left(\frac{12}{2} + \frac{10}{3tan70}\right) = 8727.85\ m^3$

V= 7213.23 m^3

II.1.4 tranchée de découpage

L'emplacement de la tranchée de découpage dans les limites du champ de la mine d'Amesmessa dépend de la position du gîte, de la production de la mine et du relief

Le volume est déterminé par :

$Vt = H(b + Hctg\alpha) * l$ m^3……(3)

H: hauteur du gradin, H=5 m

b : largeur de la tranchée de découpage, b=12 m

α : angle du talus du bord de la tranchée de découpage α=70°

L : longueur de la tranchée de découpage, m (cette longueur coïncide avec celle de la mine)

L=95 m

$Vt= 5(12+ 5\ ctg70)\ .95 \quad m^3$

$Vt=6190\ m^3$

Volume total: $V_{total}=Vt \times Ng$…… (4)

Ng: number des gradin

$V_{total}=6190\times3=\boxed{30950\ m^3}$

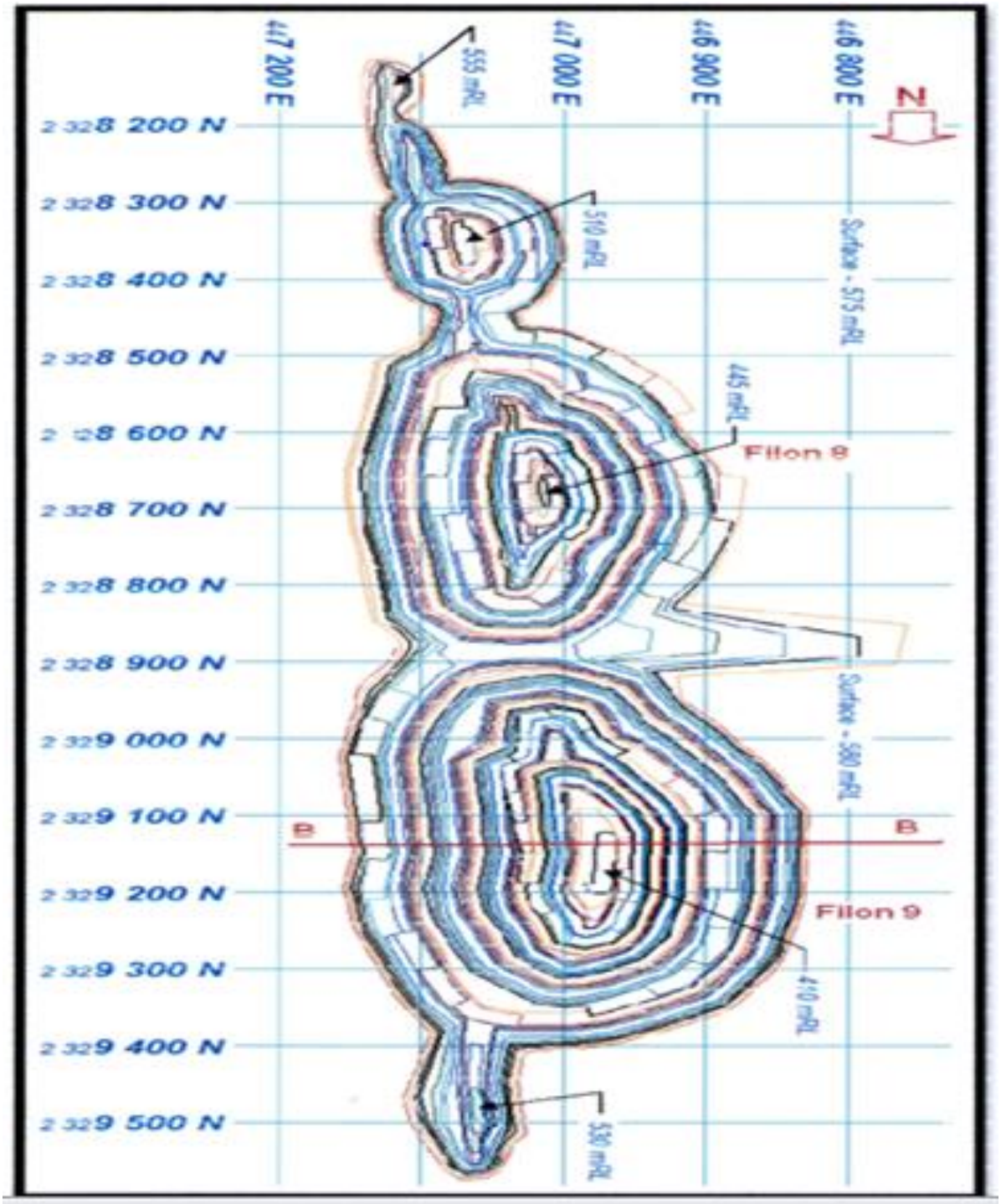


Fig .24 : la forme finale de la mine à ciel ouvert de gisement d'or Amesmessa filon 8 et 9 en plan (fait par ENOR 2016)…[9]

4/Méthode d'exploitation :

Une méthode d'exploitation est une succession de réalisation des travaux de creusement et d'exploitation du minerai dans un ordre bien déterminé , en autre terme un système d'exploitation caractérisé par le développement dans l'espace et le temps des travaux préparation , de découverture , et d'exploitation .

Dans la carrière d'Amesmessa la méthode d'exploitation appliquée est avec transport par camions et terril extérieur.

La pratique d'exploitation dans les conditions du gisement d'Amesmessa est de haut en bas, les travaux d'extraction sont caractérisés par un avancement du chantier et des fronts du travail dans le temps et dans l'espace.

5/Paramètre de la méthode d'exploitation :

D'appré lévaluation préliminaire géotechnique de zone Amesmessa fosses à ciel ouvert qui à effectué par Peter O'Bryan et associates àl'année 2005(Aoùt) on à :

Préliminaires ouvertes paramétres de conception de murs à ciel ouvert

Les paramétres suivants de conception de mur peuvent étre utilisées pour l'évaluation préliminaire exploitation miniére à ciel ouvert pour la mines à ciel ouvert Amesmessa :

Est et murs sud :

Foce feight	≤ 10m pàte supérieure ne –modifié pour correspobdre à la topographie	
	≤ 20m pour tous les banes restants	
Foce angle	50°	surface d'angle de foce à ~ 10m (la plus haut berme)
	60°	10m à 90m profondeur
	65°	90m à 130m profondeur
Berme largeur	5m	à 10m (nominal) profondeur
	7m	à 20m des intervalles
	(30m ,50m ,70m , profondeurs et cetera)	

Entre la rampe-angle ~ 47°entre berme en haut et en 90m profondeur

~ 51° entre 90m et 130m profondeur

Angle de la pente ouerall ~ 48,9° à 130m la hauteur de pente(à l'exclusion des rampes)

Ces paramétres sont illustrés par la figure suivant :

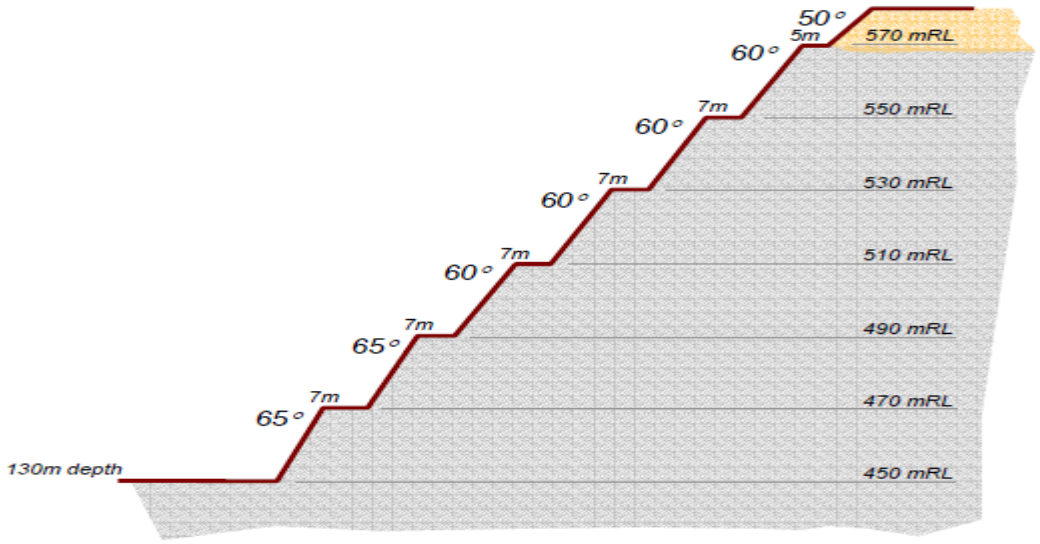


Fig.25 : Paramètres recommandés conception des murs : murs Est et du Sud (par ENOR)…[10]

Murs ouest et du nord :

Foce feight ≤ 10m pàte supérieure ne –modifié pour correspobdre à la topographie

≤ 20m pour tous les banes restants

Foce angle 50° surface d'angle de foce à ~ 10m (la plus haut berme)

65° 10m à 90m profondeur

75° 90m à 130m profondeur

Berme largeur 5m à 10m (nominal) profondeur

7m à 20m des intervalles

(30m ,50m ,70m , profondeurs et cetera)

Entre la rampe-angle ~ 51°entre berme en haut et en 90m profondeur

	~ 58° entre 90m et 130m profondeur	
Angle de la pente ouerall rampes)	~ 53,4°	à 130m la hauteur de pente(à l'exclusion des
	~ 48,2°	avec 1× 20m passe la rampe large

Ces paramétres sont illustrés par la figure suivant :

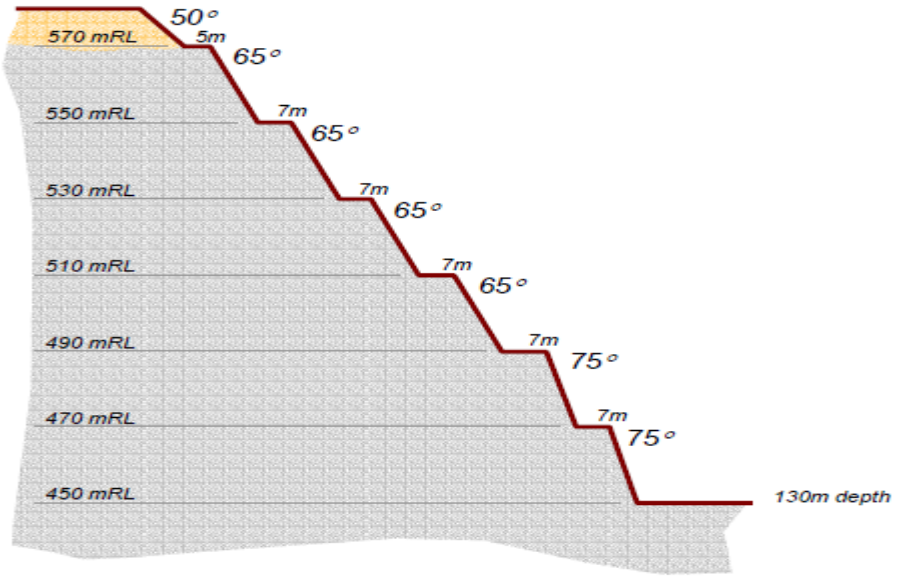


Fig.26 : Paramètres recommandés conception des murs : murs Ouest et du Nord (par ENOR)…[11]

Remarque : pour les gradins de 20m la berme de sécurité est 7m, Et pour les gradins de 15m la berme de sécurité est 5m.

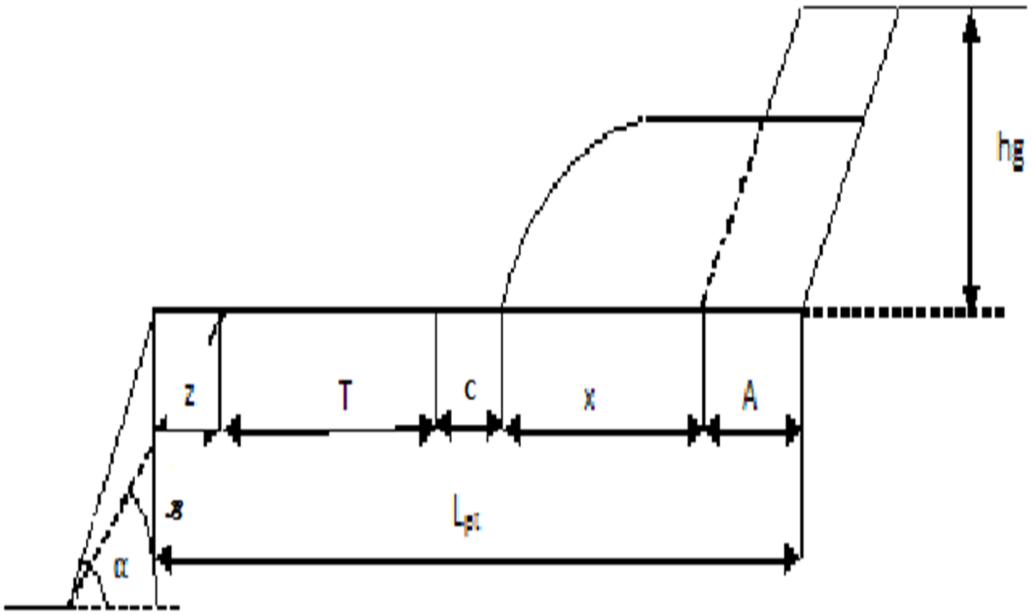


Fig.27 : Le schéma de la plateforme de travail…[12]

- *Hg* : Hauteur du gradin (m) ;
- $A + X$: largeur du tas (m) ;
- *C* : Distance de sécurité (m) ;
- *T* : Largeur de la voie de transport (m) ;
- *Z* : Largeur du prisme d'éboulement (m).
- Lpt : Largeur de la plate-forme de travail.

6/Travaux de forage et de tir :

La préparation des roches à l'extraction renferme la destruction du massif rocheux jusqu'à l'obtention des morceaux de dimensions nécessaires et admissibles pour la rentabilité de tous les complexes d'extraction et de transport.

La préparation des roches à l'extraction peut être effectuée en utilisant deux méthodes :

* L’émottage mécanique des roches (ripage).

* L’abattage des roches à l’explosif.

Vu la dureté de la roche (f = 7), à la carrière d’Amesmessa on applique la méthode de préparation des roches par des travaux de forage et de tir qui est la plus répandue parmi les autres méthodes connues.

Les engins de forage utilisés à la carrière d’Amesmessa est de type : Foreuse Tamrock (PINTRA 1500) ont le mode de forage, roto- percutant.



Fig.28 : Foreuse Tamrock (PINTRA 1500)

7/Exigences technologiques des travaux de forage et de tir :

La fragmentation des roches par l’explosif est très répandue dans les mines à ciel ouvert et c’est une méthode principale pour la préparation des roches dures.

La qualité de la préparation à une influence importante sur les indices techniques et économiques des processus technologiques et sur les indices principaux de travail des entreprises miniers.

Les travaux de forage et de tir en carrières doivent assurer :

- Degré nécessaire et régularité de la fragmentation des roches ;
- Etat normal du pied du gradin, c'est-à-dire une surface plate sans rebords ;
- Formation du tas de la masse minière explosée avec forme et dimensions nécessaires ;
- Volume nécessaire de la masse minière explosée pour le travail régulier des engins de

Chargement ;

- Action sismique minimale pour les installations au jour et l'environnement ;
- Dépense minimale et grande sécurité du travail.

a)-Choix de mode de forage :

-choix du mode de forage et du type de sondeuse :

1-L'indice de forabilité des roches :

La forabilité des roches est caractérisée par les efforts de compression et de cisaillement définie par l'indice de forabilité

$$I_f=0.007(б_c+б_{ci}) +0.7\ \gamma \ldots\ldots\ldots(5)$$

$$Б_c=700\ Kg\ f\ /cm^2$$

$$Б_{ci}=233,33\ Kg\ f\ /cm^2$$

$$\gamma=2,\ 65\ t/m^3$$

$$I_f=0,007(700+233,33) +0,7\times2,7$$

$$I_f=8,38$$

TABLEAU 10 : la forabilité

Degré de forabilité	I_f	Classes	Catégories
Forabilité très facile	≤5	I	1, 2,3 ,4 ,5
Forabilité facile	5.1÷10	II	6, 7, 8, 9,10
Forabilité moyenne	10.1÷15	III	11, 12, 13, 14,15
Forabilité difficile	15.1÷20	IV	16, 17, 18, 19,20
Forabilité très difficile	20.1÷25	V	21, 22, 23, 24,25

Il s'agit d'un gisement à forabilité facile (classes II)

On choisit le type de forage en fonction de la forabilité d'après :

Tableau 11 : le choix de type de forage

Type de sondeuses	Diamètre du trou [m]	I_f
Sondeuses à molette	160 190-243 243-262	5-10 7-12 8-14
Sondeuses à avis	125 160	1-3 1-6
Sondeuses Roto percutant	105-125 185 200	6-15 10-25 10-25
Sondeuses thermique	180-400	12-25

D'après les indices de dureté et de formabilité on choisit la sondeuse à molette

D_t=105 mm ; L_t=06 m ; angle d'inclinaison des trous : α=90°

2-Calcul de la Vitesse de forage:

$V_f = \frac{35.pax.\eta}{If.Dt}$, m /h……(6)

Pax : pressions axial sur l'outil, tf

Diamètre du trou	105mm
Direction de forage	Vertical
Vitesse de rotation	30÷300 tr / min
Angle de forage	60°÷90°
Prestions axiale	17.3 t.f
Vitesse de rotation (n)	50 tr / min

η : vitesse de forage de l'outil, trous/mn

D_t : diamètre du trépan , cm

I_f : l'indice de forabilité

T_p=11h

$V_f=\frac{35\times17,3\times1,2}{8,38\times0,105}$

V_f=825,77 m/h

- **b) Calcul du rendement de la sondeuse et nombre des sondeuses :**

1-Déterminations du rendement de la sondeuse :

$R_s=\frac{tp.Ku}{\left(\frac{1}{Vf}\right)+Taux}$, m /p……(7)

t_p : durée d'un poste, h

K_u : coefficient d'utilisation (K_u=0 ,7÷0,8)

V_f : vitesse de forage, m /p

T_{aux} : temps auxiliaire pour forer un mètre de trou (t_{aux}=0,03÷0,09 h/m)

$R_s=\frac{11\times0,8}{\left(\frac{1}{9083,53}\right)+0,09}$, R_s=97,65m/p

2-Nombre de sondeuses :

$N_s=\frac{Qm\times Kr}{Rp\times Np\times Nj\times Vm\times\gamma}$……..(8)

Q_m : production annuelle, t /an

K_r : coefficient de réserve (K_r=1,2÷1,25)

R_p : rendement de la sondeuse par poste, m/an

N_p : nombre de poste par jour N_P=2

N_j : nombre des jours par an N_J=365 j/an

γ : masse volumique t/m^3

V_m: volume de la roche abattue par un mètre de trou, m^3/m

$V_m=\frac{Vtr}{Ltr}=\frac{49,928}{6}$

V_m= 8,30 m^3/m

V_{tr}=a.w.H_g

V_{tr}=3,16× 3,16 ×5

V_{tr}=49,928 m^3

$N_s = \frac{2{,}5.10^6.1{,}25}{97{,}65\times2\times365\times8{,}30\times2{,}65}$, N_s= 1,99 N_s= 2

8/L'explosif utilisé:

1- Consommation spécifique de projet :

$Q_p=q_{et}\times K_{ex}\times K_f\times K_d\times k_r\times k_{sd}$, g/m^3 ……(9)

q_{et} : Consommation spécifique étalon de l'explosif , g/m^3

$q_{et}=0.02(\sigma_c+\sigma_t+\sigma_{ci})+2\gamma$ $q_{et}=(0{,}02\times1003{,}33)+(2\times2{,}65)$ q_{et}=25,36g/m^3

Tableau 12 : la tirabilité des roches

Degré de tirabilité des roches	$q_{ét}$ g/Cm^3	Classes	Catégories
Tirabilité très facile	≤10	I	1, 2,3 ,4 ,5
Tirabilité moyenne	10.1÷20	II	6, 7, 8, 9,10
Tirabilité difficile	20.1÷30	III	11, 12, 13, 14,15
Tirabilité très difficile	30.1÷40	IV	16, 17, 18, 19,20
Tirabilité exclusivement difficile	40.1÷50	V	21, 22, 23, 24,25

k_{ex} : coefficient tenant compte de la conversion de l'explosif étalon à celiu utilisé à la mine.

$K_{ex}=A_{et}/A_u$ =1,11

k_f : coefficient tenant compte de l'influence de la fissuration du massif.

k_f =1,2 I_m+0,2

I_m : dimension moyenne du bloc dans le massif I_m=1m

K_f=1,2(1) +0,2

K_f=1,4

k_d : coefficient tenant compte du degré de la fragmentation demandée

$k_d = 0,5/d_m$

$d_m = 175(E)^{3/2}$

$k_d = 1,51$

k_c : coefficient tenant compte du degré de concentration de la charge (forme de la charge dans le massif)

Tirabilité	D=100m	D=200m	D=300m
Facile	K_c=0,95÷1,0	K_C=1	K_C=1,05÷1,1
Moyenne	K_C=0,85÷0,9	K_C=1	K_C=1,2÷1,25
Difficile	K_C=0,7÷0,8	K_C=1	K_C=1,35÷1,4

K_r : coefficient qui tient compte l'influence du volume.

$K_r = (15/h)^{3/2}$ si h≤15m h=5m

$K_r = (h/15)^{3/2}$ si h>15m

$K_v = \sqrt{\frac{15}{hg}}$

$k_v = \sqrt{\frac{15}{5}}$

K_v=1,73

K_{sd} : coefficient qui tient compte du nombre de surfaces dégagées K_{sd}=6

Nombre de surfaces	k_{sd}
06	1
05	2
04	4
03	6
02	8
01	10

$Q_p = 25,36 \times 1,11 \times 1,4 \times 1,51 \times 1,73 \times 6$

$Q_P = 617,69$ g/m^3

$Q_P = 0,617$ kg/m^3

2- Calcul des paramètres de forage et de tir :

Le diamètre du trou détermine les principaux paramètres des travaux de forage et de tir et le type de la sondeuse. Dans les mines modernes, on applique le diamètre du trou de(100÷300)mm.

2.1/Résistance au pied du gradin :

Pour les trous verticaux :

$$W=[(0,56p^2+4.m.q.h.p.L_t)^{1/2}-0,75p]/\ 2m.q.h,\quad m\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

Où :

p : charge métrique du trou, kg/m

$p=\pi/4\ D^2\Delta$

$p= [(3,14)/4\times 0,105^2\times 988]$

$p= 8,55$ kg/m

Δ : densité de l'explosif, kg/m^3

$$\Delta =\frac{10\times1330+90\times950}{100}$$

$\Delta= 988$

-q : consommation spécifique de l'explosif, kg/m^3

Résistance à la compression kgf/m^2	1500÷2000	1000÷1500	800÷1000	600÷800	200÷300	200
Consommation spécifique kg/m^3	1,2÷1,5	1,0÷1,1	0,7÷0,8	0,4÷0,6	0,2÷0,3	0,15

$W=[(0,56\times8,55^2+4\times1\times0,617\times5\times8,55\times6)^{1/2}-0,75\times8,55]/2\times1\times0,617\times5$

W=3,16 m

La verification:

$W_s=h_g$ (cotgα-cotgβ) +c

α : Angle moyen des talus des gradins, (α=75 °)

β : Angle d'inclinaison du trou ; (β =90°)

c: selon la sécurité technique, c=2m

W_s=5(cotg82) +2

W_s =2,70m

W≥W_S donc la relation est vérifiée

2.2/ Distance entre deux trous « a » de la méme rangée :

a= m×w, m…….(11)

a=1×3,16

a=3,16 m

2.**3/ Distance entre deux rangées « b » :**

b=a pour une maille carrée.

b=0,85a pour une en quinconce.

b=2,68m

2.4/Profondeur du trou :

$P_t=h_g+I_{ex}$, m……..(12)

I_{ex}= (5÷10) Dt, m

I_{ex}=8×0,105

I_{ex}=0,84 m

P_t=5+ (8×0,105)

P_t=5,84 m

2.5/ Quantité d'explosif dans un trou : « Q »

Q=q×h×w×a, kg……..(13)

Q=0,617×5×3,16×3,16

Q=30,80 kg/m^3

2.6/ longueur de charge d'explosif :

L_{CH}=Q/p =30,80/8,55……(14)

L_{ch}=3 ,6 m

2.7/ longueur de bourrage :

$L_b=L_T-L_{ch}$……..(15)

L_b=5,84-3,6

L_b=2,24 m

Vérification :

0.7W≤L_b≤W

(0,7)3,16≤2,4≤3,16

2,2≤2,24≤3,16

2.8/ longueur de vide :

L_{vide}= (0,17÷0,35) ltot……(16)

L_{vide}=0,17× 5

L_{vide}=1,02 m

2.9/ nombre de trous dans un bloc « N_{tr} » :

$N_{tr}=\frac{Qp}{Vtr\ \gamma}$ $\frac{trou}{an}$……(17)

V_{tr}=a× h ×w

V_{tr}=3,16✕5✕3,16

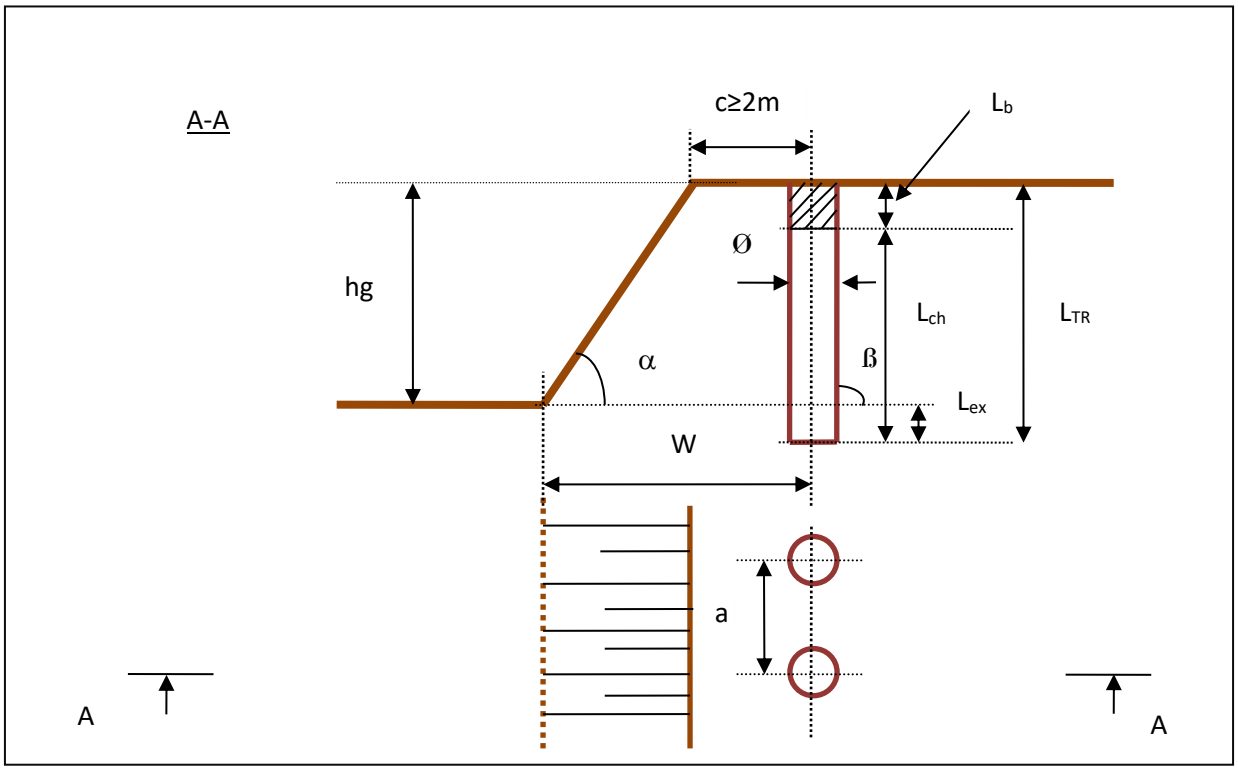
V_{tr}=49 ,928

$N_{tr}=\frac{2500000}{2,65\times49,928}$

N_{tr}=18895,13 trous/an

N_{tr}=51,76 trous/jour

Schéma de tir :



Echelle (1\200)

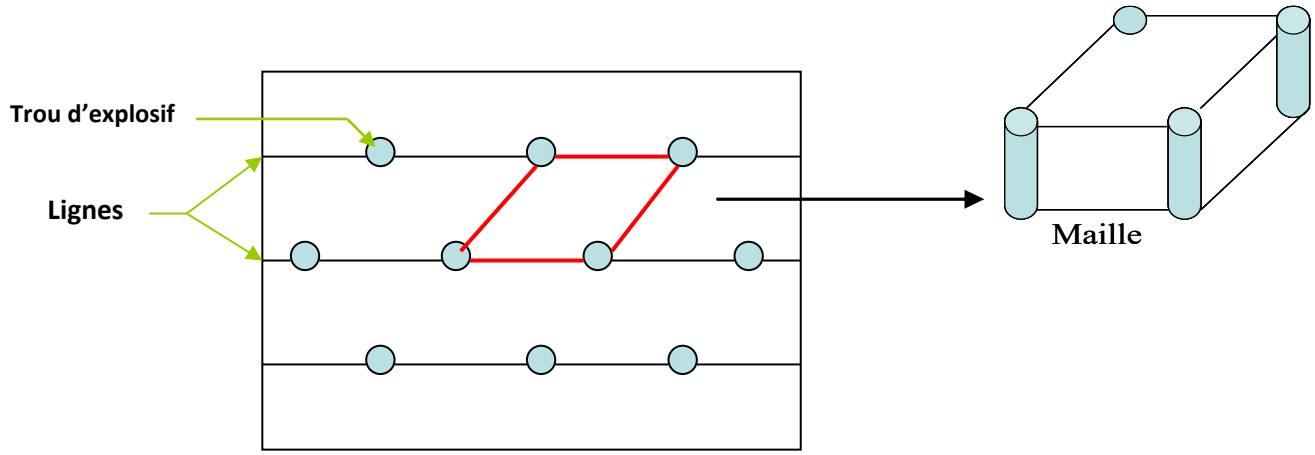
La disposition des trous sur le gradin peut être à une seule rangée, plusieurs rangées, radiales,....

Les principaux paramètres de l'emplacement des trous dans le gradin

- résistance au pied du gradin **W**
- distance entre deux trous **a**
- la longueur du trou **Ltr**
- longueur charge d'explosif **Lch**
- hauteur du gradin **hg**
- diamètre du trou **Ø**
- longueur de bourrage **Lb**
- longueur d'excès de forage **Lex**
- distance de sécurité entre le centre de trou et l'arête supérieure du gradin **C≥2m**
- angle inclinaison du trou **β**
- angle du talus du gradin **α**

Les démarches à suivre pour réaliser le tir :

► Le schéma de la maille du tir;



Le choix de l'explosif dépend généralement des propriétés physiques et mécaniques des roches, et principalement de la tirabilité. Chaque explosif est caractérisé par sa densité, sa sensibilité, sa brisance, sa vitesse de détonation et sa capacité de travail. Dans la carrière d'Amesmessa les explosifs utilisés pour la fragmentation des roches sont les suivants :

- Charge principale Anfomil (NH4NO3) en vrac;
- Charge d'amorçage Marmanite III en cartouches ;
- Cordeau détonant (10g/m) ;
- Détonateurs électriques.

9/Répartition de la quantité d'explosif par trou :

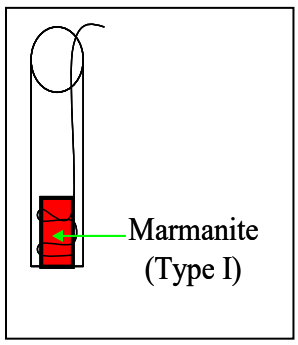
Comme deux types d'explosifs sont utilisés lors de l'abattage des roches à la carrière d'Amesmessa on doit tenir compte du pourcentage de l'explosif principal (Anfomil 50%) et celui d'amorçage (Marmanite 3 50%).

Tableau 13 :Caractéristiques des explosifs de ONEX :

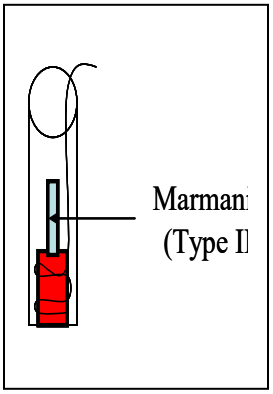
Parameters	Marmanite			Anfo	Unites
	1	2	3		
Densité d'encartouchage	0.95	0.98	1.33	0.95	g/cm^3
Résistance à l'eau	Moy				
Vitesse de detonation	4000	4100	6500	3000	m/s
Coefficient d'utilisation pratique	1.28	1.27	1.18	1.15	%
Diameter de la cartouche	50	65	80	vrac	Mm
Longueur de la cartouche	610	750	500	/	Mm
Poids de la cartouche	1250	2500	2500	/	G
Puissance sur mortier balistique	83	82	80	78	%
Coefficient de sefl excitation	5	2	2	/	Cm
Ecrasement selon method KAST	3.25	2.90	2.30	/	Mm
Sensibilité au choc	1.50	1.50	2	2	Kgm

► Remplir les trous de forassions par les explosifs;

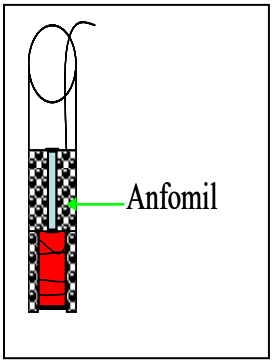
● Introduire le premier sachet de Marmanite (Type I) dans le trou à l'aide d'un cordeau.



● Introduire un deuxième sachet de Marmanite (Type II) par une chute libre.



● Remplir le vide entre les explosifs et la roche hôte par l'Anfomil.



● Fermer le trou et faire le bourrage à l'aide du gravier.

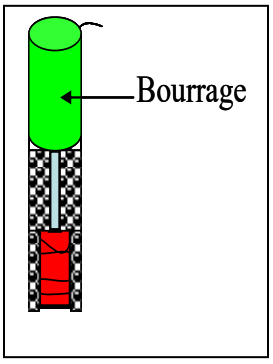
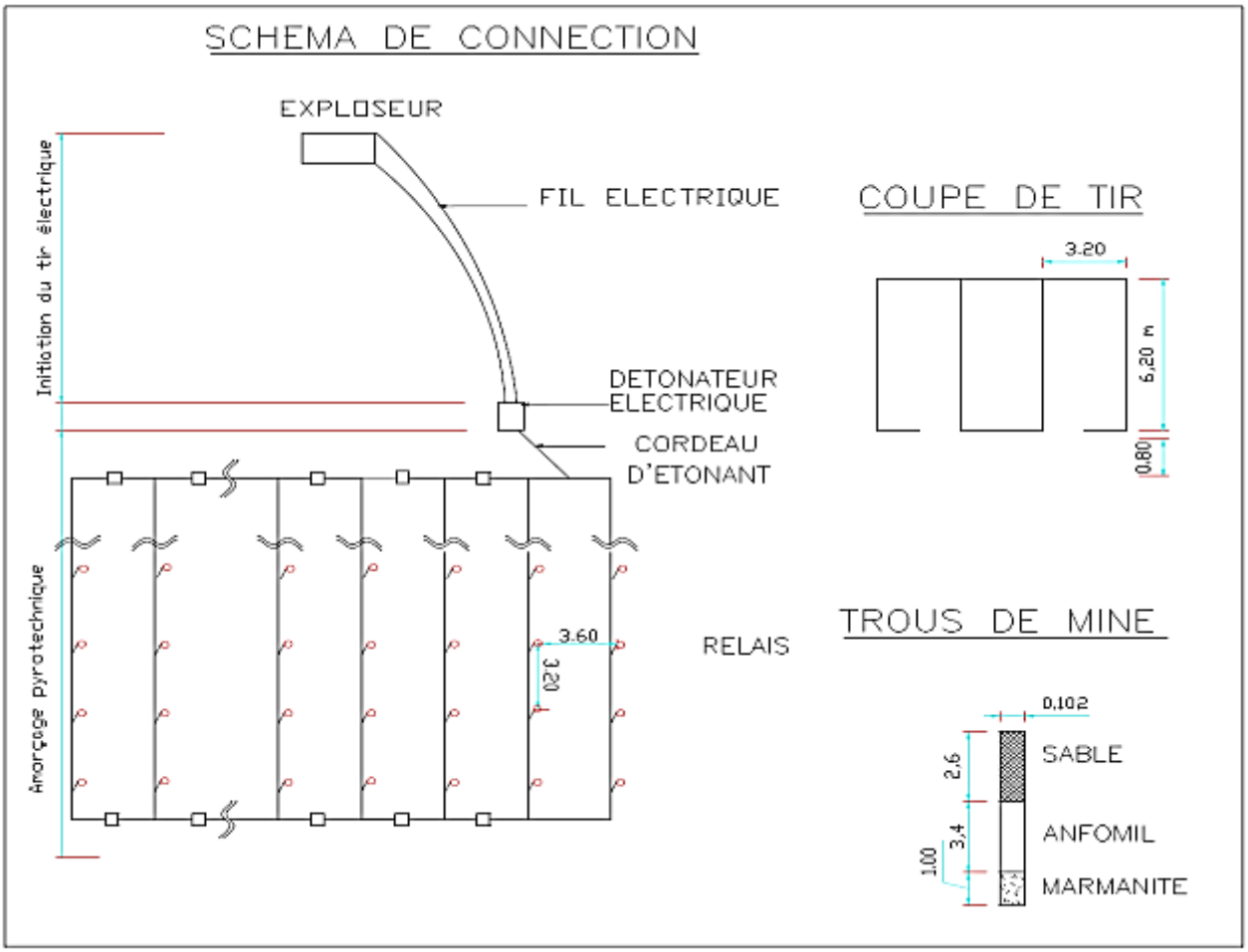


Tableau 14 : Paramètres des travaux de forage et de tir

N°	Paramètres	Désignations	Unités	Valeurs
01	Hauteur gradin	H_g	m	5
02	profondeur du trou	l_{tr}	m	6
03	Diamètre du trou	D_{tr}	mm	105
04	Consommation spécifique projet d'explosif	q_{exp}	Kg/m^3	0,4
05	Ligne de résistance au pied du gradin	W	m	3.2
06	Distance entre les trous d'une même rangée	a	m	4
07	Distance entre deux rangées de trous	b	m	3.2
08	Longueur sous forage	l_{sf}	m	1
09	Quantité d'explosif par trou	Q_{esp}	Kg/trou	25.6
10	Longueur du bourrage	l_{tb}	m	2.6
11	Longueur de la charge d'explosif	l_{ch}	m	3.4
12	Volume des roches abattues par trous	v_{ab}	m^3	64
13	Quantité d'explosif par volée	$Q_{exp/vol}$	Kg	*15257.6*
14	Quantité Anfomil par volée	Q_{anf}	Kg	*12206.08*
15	Quantité Marmanite III par volée	Q_{mar}	kg	*61030.4*



10/ Chargement et Transport :

1/ Chargement :

Description des engins de chargement existant au niveau de la carrière d'Amesmessa :

A la carrière d'Amesmessa, il existe quater pelle hydraulique rétro ses sur chenilles: deux pelle hydraulique "CAT 365CLME'' et une" CAT 350LME, CAT M322D'' et deux chargeuses sur pneus "CAT 980H'', Pendant notre stage, nous sommes intéressé à la CAT 365CLME car elle est beaucoup utilisée et tombe rarement en panne.



Fig.29 : Pelle hydraulique (CAT 365CLME)

Actuellement à la carrière d'Amesmessa, le chargement se fait principalement par les quatre pelles hydrauliques ses sur chenillé.

a-Calcul du rendement de l'excavateur :(rendement d'exploitation par poste) :

$Q_{ex}=\frac{3600EKr\ Ku}{tc\ kf}$tp, m^3/p……(18)

K_r : coefficient de remplissage.

K_f : coefficient de foisonnement.

Durée d'un cycle, s :

Tableau 15 : le choix de capacitéé du godet d'après la durté de la roche

Dureté de la roche	Capacité du godet, m^3				
	1	3	4	4,6	6÷8
3÷7	30	31	31,4	36	36,8
8÷14	31,4	33	33,4	37	38,7
14÷20	32,8	34,5	34,9	39,5	40,4

On choisit les excavateurs d'après la capacité de godet :

$E=\frac{Qex.tc.Kf}{3600Kr.Ku.tp}$, m^3……..(19)

$Q_{ex}=\frac{2,5\times10^6}{365}$

Q_{ex}=6849,31 t/j

$Q_{ex}=\frac{6849,31}{2,65}$ =2584,64 m^3/j

Q_{ex}=1292,32 m^3/p

b- Rendement de la machine de chargement :

$E=\frac{2584,64\times tc\times Kf}{3600\times Kr\times Ku\times tp}$……(20)

$E=\frac{2584,64\times 31.4\times 1,25}{3600\times 0,95\times 0,7\times 11}$

E=3,85m^3

H_g=1,5.H_{cr} H_g=1,5×3,33

H_g=4,99 m

Tableau 16 : Caractéristiques techniques des pelles :

Dureté de la roche	K_f dans le godet	K_f dans la benne	K_r du godet	$k_{excavation}$
0.6-0.8	1.15	1.1	1.05	0.91
1-2	1.25	1.2	1.05	0.84
3-7	1.35	1.25	0.95	0.7
8-14	1.5	1.35	0.9	0.6
15-20	1.6	1.5	0.9	0.56

c-Calcul de nombre des machines mécanique pour assurer la production :

$N_{ex}=\frac{Qp/\gamma}{Qex/an}$ $k_{rés}$ ……..(21) $k_{rés}$=1,1÷1,2

Q_p : production annuelle de la mine.

$Q_{ex/an}$:production annuelle de l'excavateur.

$Q_{ex/an}$= Q_{ex}×N_p×N_j

$N_{ex}=\frac{2,5.10^6/2,65}{1292,32}$ ×1,2

N_{ex}=1,2

N_{ex}=2 excavateurs

NB : Les deux chargeuses existent pour le chargement de minerai qui stocker dans les filons longs.

2/Transport :

Actuellement le transport par camion est le plus répandu vu la simplicité de construction des engins, la manœuvrabilité, la possibilité de surmonter la pente élevée allant jusqu'à 10%, la simplicité d'organisation de travail caractérisent fort bien le mode de transport par camion.

A la carrière d'Amesmessa le transport de la masse minière est assuré par deuze (12) camions (tombereau articulé) distribué sur les filons de la zone d'Amesmessa opérationnels sur (14) tombereau articulé Caterpillar 735 E. plus de sa quatre (4) camion mercedèce pour transporte le minerai qui stocke dans les filons long.



Fig.30 : Camion (CAT 735)

a)-choix de type du camion :

Le type de camion est déterminé sur la base de plusieurs facteurs :

-la production annuelle de la carrière

-les propriétés des roches

-les engins de chargement utilisé

distance de transport (km)	1÷2	3÷4	5÷6	7÷8
Rapport V_b/E	5.2	6.2	7.8	9.6

D'après le rapport V_b/E on peut choisir le type du camion,

On à : longueur de transport L=0,5 km

Capacité du godet E= 4 m^3

Alors : $V_b/E=5,2$

$V_b=E*5.2$

$V_b=4*5.2$

$V_b= 20,8\ m^3$

Selon la valeur de capacité de la benne du camion $V_b=20,8\ m^3$

Tableau 17 :b-les caractéristiques techniques du camion :

Paramètre	Catterpillare
Capacité de charge (t)	35
Capacité de la benne (m^3)	19
Puissance (ch)	400
Rayon de braquage (m)	10
Poids totale charge (t)	29,760
Poids totale vide (t)	61,512
Longueur du camion (m)	8,12
Largeur du camion (m)	3 ,79
Hauteur du camion (m)	3,8

c-Rendement d'un camion :

R_c : N.G (t/p)……..(22)

N : nombre de cycles réellement effectués par un camion

G : capacité d'un camion , m^3

$N=\frac{t.Ku}{tc}$

t : durée d'un poste, h

k_u : coefficient d'utilisation pratique du camion

t_c : durée d'un cycle du camion, mn

$t_c=t_{ch}+t_m+60L/V_1+60L/V_2+t_d$

t_{ch} : temps de chargement du camion, mn

t_m : temps de manœuvre, 2÷3mn

L : distance de transport , km

V_1 : vitesse à charge, km/h

V_2 : vitesse à vide, km/h

$V_1=1/3\ V_{max}$, $V_2=1/2\ V_{max}$

t_d : durée de déchargemet du camion,

t_c =0,7÷1,0 mn

$t_{ch}=t_{ex}.m$ =2,13 mn

t_{ex} : durée d'un cycle de l'excavation

m : nombre de godets de l'excavateur pour le chargement d'un camion

$m=\frac{G.Kf}{E.Kr.\gamma}$

G : capacité de godet

K_f : coefficient de foisonnement

K_r : coefficient de remplissage

γ : masse volumique du minerai (t/m^3)

t_c=8,87 mn =0,147 h

N=(11×0,8)/0,147=59,86

R_C=59,86×56,16=3361,73 t/p

d- le nombre de camion pour un excavateur :

$N_c=\frac{t}{tch+tp}$…….(23)

t_p : temps de pause de l'excavateur en attendant le chargement, mn t_p=2mn

t :temps de parcours d'un camion , mn

$t = t_{ch} + t_t(v + ch) + t_m + t_{déch}$

t_{ch} : durée de chargement, $t_{ch} = 2,20$ mn

t_t : durée de transport

$t_t = 60 (l/v_{ch} + l/v_v)$

l : la distance de transport au jour : 0,5 km (pour le steril)

v_{ch} : vitesse à charge (10 – 15 km/h)

v_v : vitesse à vide (30 –35 km/h)

$t_t = 60 (0,5/10 + 0,5/30)$

$t_t = 4$ mn

t_m : durée de manœuvre $t_m = 1,05$ mn

$t_{déch}$: durée de déchargement $t_{déch} = 1,62$ mn

$t = 2,20 + 4 + 1,05 + 1,62$

$t = 8,87$ mn

$N_c=8,87/ (2,2+2)$, $N_c=2,01$, $N_c = 3$ camions

e-Nombre de camions total :

$N_{ct}=N_c / (0,7 – 0,8)$…….(24)

$N_{ct}= 2,25$

$N_{ct} = 3$ camions

11/La mise à terril et le Stock de minerai :

La mise à terril :

L'extension des terrils dans le cas de la carrière d'Amesmessa est progressée par la méthode périphérique qui consiste à faire déplacer les fronts des déblais en plan de la manière suivante :

Sur le toit du terril primaire constitue préalablement, les moyens de transport déversent les matériaux le long de l'arrêt supérieur à une petite distance de celle-ci. En suite un bulldozer pousse ces matériaux vers le bord, et de cette façon de terril s'étend suivant une ou deux

directions. Le déversement direct des matériaux sur le talus des bords du terril par camions ne pas conseillé pour manque de sécurité.

Les fronts de terrils peuvent s'étendre par déplacement en panneau.

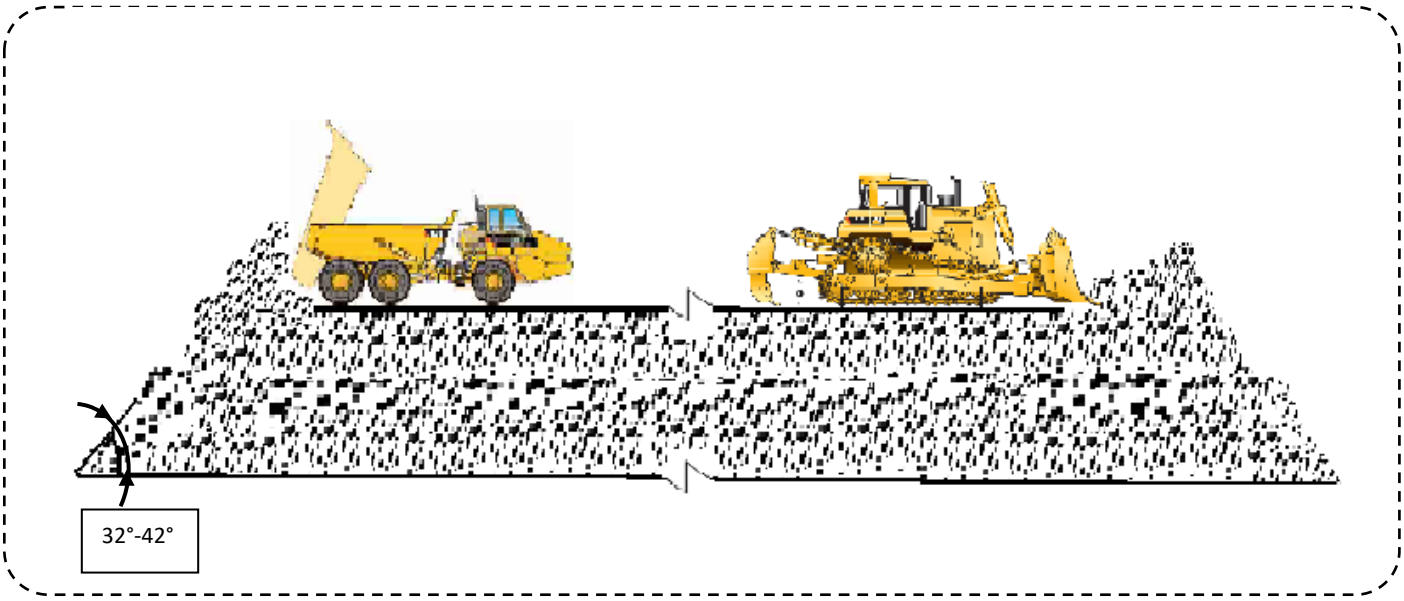


Fig.31 : Schéma technologique de mise à terril par bulldozer et camion en coupe…[13]

Le stock de minerai :

Les matières premières provenant des exploitations minières font l'objet d'une restriction de la part des consommateurs tenant des technologies souvent très exigeantes.

La morphologie des corps minéralisés est complexe, et de différentes teneur pour se la dans le cas de carrière d'Amesmessa il y a cinq type de stock de minerai classifié d'après la valeur de teneur, ces derniers sont représentés par :

- Stock de minerai de teneur supérieur à 8 g/t (High grade ore) ;
- Stock de minerai de teneur Confiné entre 4 et 8 g/t (Heap Leach 00+4) ;
- Stock de minerai de teneur Confiné entre 2et 4 g/t (Heap Leach 000+2) ;
- Stock de minerai de teneur Confiné entre 1 et 2 g/t (Heap Leach 000+1) ;

- Stock de minerai de teneur inférieur à 1 g/t et supérieur à 0,5 g/t (Marginal) ;

Le minerai transférer de niveau de la carrière jusqu'à Place de la situation de stock qui près de la station de concassage par les moyen de transport.

LES méthodes d’exploitation

Chambre magasin

Introduction :

Une exploitation minière combinée à ciel ouvert et souterraine est une méthode d'extraction où le minerai est extrait à la fois à la surface (ECO exploitation à ciel ouvert) et en profondeur (ESO exploitation souterraine).

Elle est utilisée lorsqu'une mine possède des zones accessibles à la surface mais également des zones plus profondes nécessitant une extraction souterraine.

L'exploitation à ciel ouvert est privilégiée si le gisement est proche de la surface et que le mort-terrain est relativement mince, tandis que l'exploitation souterraine est utilisée pour les zones plus profondes ou lorsque les matériaux sont structurellement inadaptés à la à la carrière à ciel ouvert.ECO.

L'exploitation minière combinée consiste à utiliser plusieurs techniques d'extraction sur une même mine, souvent une combinaison de exploitation souterraine et exploitation en surface, ou à combiner différentes techniques d'extraction souterraine.

Cette approche vise à optimiser l'extraction, la rentabilité et la sécurité, en tenant compte des caractéristiques spécifiques du gisement.

1. Principe de fonctionnement

- La méthode repose sur un abattage progressif du minerai en remontant le pendage du gisement, c’est-à-dire du bas vers le haut.
- Environ 60 % du minerai est laissé dans la chambre. Il sert à soutenir le toit et les parois (épontes) de la mine.
- Le surplus (environ 40 %) dû au foisonnement est extrait progressivement pour dégager un espace de travail suffisant (environ 2 mètres entre le minerai en place et celui emmagasiné).
- Une fois la chambre entièrement abattue, tout le minerai est soutiré à travers des trémies reliées aux galeries de base.
- Ce mode d’exploitation garantit une certaine sécurité pour les travailleurs, qui évoluent sur une surface stable (le minerai abattu).

2. Conditions d’application

- Pendage du filon : supérieur à 50°, idéalement entre 60° et 90°.
- Forme du gisement : filon régulier, de préférence étroit ou modérément épais.
- Caractéristiques du minerai : Solide, Non oxydable, Non inflammable, Non collant ni compactable.
- Roches encaissantes : stables et résistantes, sans fractures majeures.
- Épaisseur du filon : supérieure à 1 mètre.
- Teneur : modérée à élevée, justifiant une extraction sélective.

3. Travaux préparatoires

- Galeries de roulage au pied du gisement pour assurer le transport du minerai.
- Creusement de cheminées (ou monteries) pour la circulation du personnel, la ventilation et le soutirage.
- Installation de trémies sous les chambres pour la récupération du minerai.
- Niches pour relier les cheminées aux chambres.
- Coupe horizontale du bloc et creusement d’entonnoirs pour canaliser le minerai vers les trémies.

4. Phases d’exploitation

- Abattage du minerai : réalisé par gradins inversés, avec foration montante ou horizontale.
- Stockage du minerai : une grande partie reste dans la chambre.
- Soutirage partiel : pour maintenir une hauteur de travail suffisante.
- Soutirage final : après la fin du cycle d’abattage, tout le minerai est évacué.

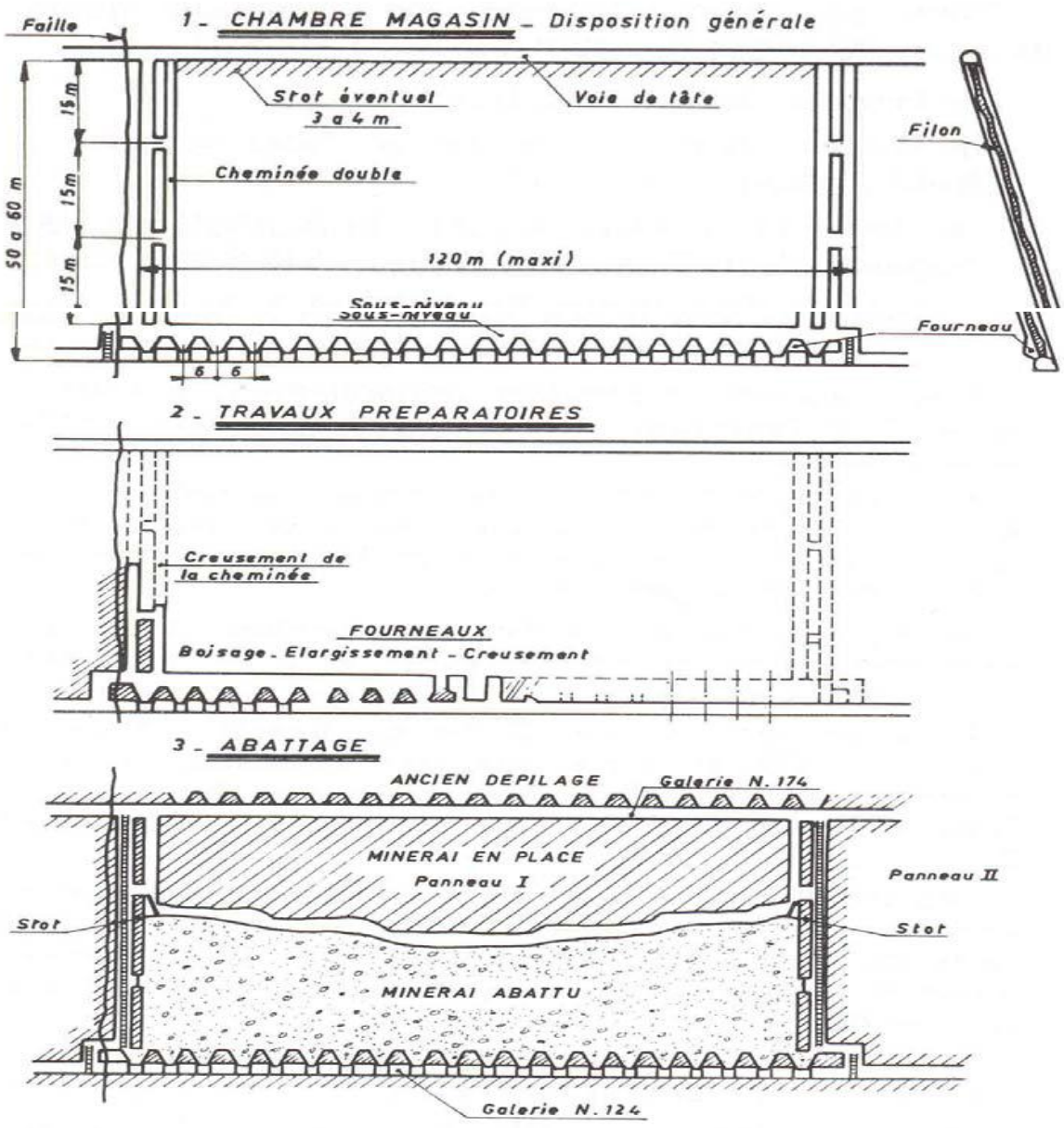
5. Avantages de la méthode

- Bonne récupération du minerai (75 à 100 %).
- Faible dilution, grâce à une exploitation sélective.
- Soutènement naturel : le minerai abattu soutient les parois.
- Coûts d’installation réduits, comparé à d’autres méthodes plus mécanisées.
- Adaptabilité à la géométrie complexe des filons.

6. Inconvénients de la méthode

- Immobilisation du minerai : pendant l'exploitation, une grande quantité de minerai reste stockée.
- Méthode peu mécanisable : conditions de travail difficiles, travail manuel prédominant.
- Risque de blocage du minerai dans les trémies.
- Ventilation difficile dans les chambres encombrées.
- Risque d'oxydation du minerai s'il reste trop longtemps en place.

Chambre magasin, préparatoire, abattage



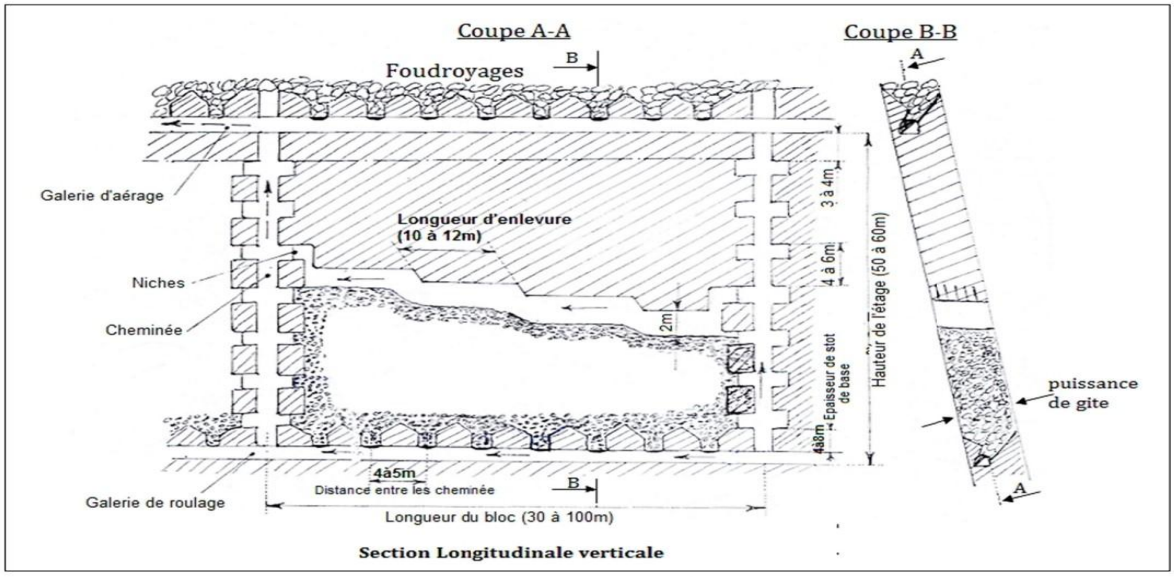


Fig.1. Schéma de la méthode d'exploitation par chambres magasins (gisement de puissance moyenne)

Schéma de la méthode d'exploitation par chambres magasins (gisement de puissance moyenne)

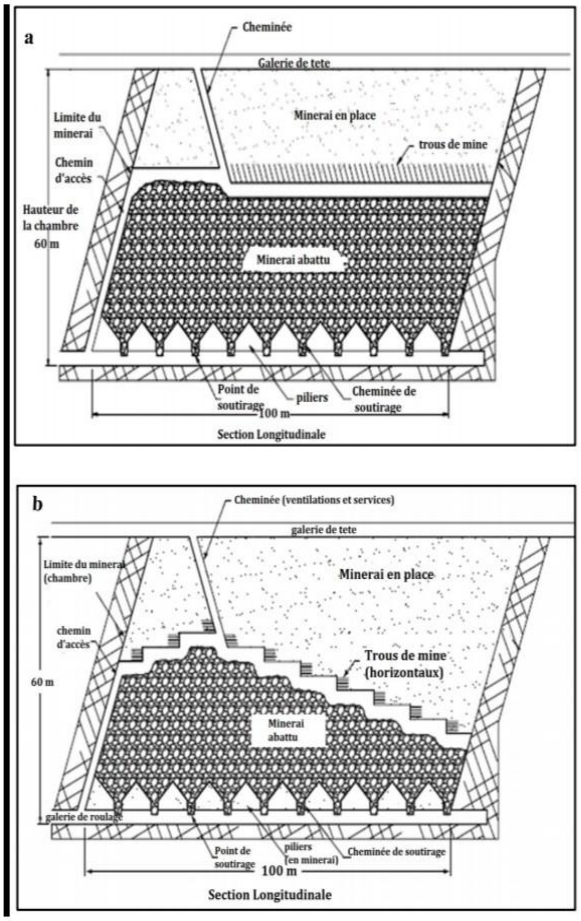


Fig.4. Méthode d'exploitation par chambre magasin (a- gradin unique, b- gradins renversé)

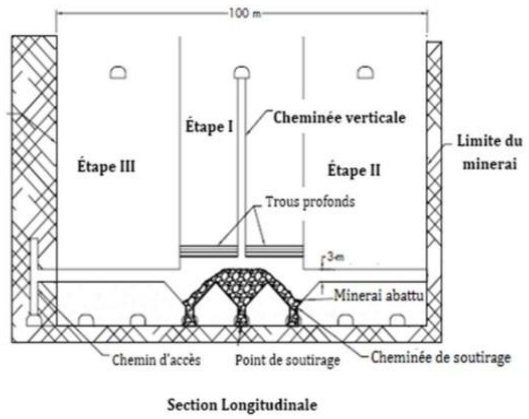


Fig.5. Méthode d'exploitation par chambre magasin (Gisement très puissants)

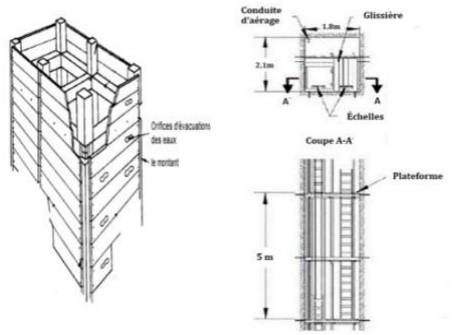


Fig.6. Schéma de soutènement d'une cheminée à deux compartiments par boisage

**Jack Haptonstall, Mining Consultant, Pincock Allen & Holt, Lakewood, Colorado, USA, (SME, 2011)*

Fig.4. Méthode d'exploitation par chambre magasin (a- gradin unique, b- gradins renversé)

Fig.5. Méthode d'exploitation par chambre magasin (Gisement très puissants)

Fig.6. Schéma de soutènement d'une cheminée à deux compartiments par boisage

Exploitation par chambres-magasins des gisement aurifère Tirek-Amesmessa

La méthode d'exploitation par chambres et magasin en détail :

1. **1. Création des chambres:**

   On creuse des chambres de différentes tailles, en fonction de la géologie du site et des besoins d'exploitation.

2. **2. Abattage du minerai:**

   Le minerai est abattu à l'intérieur des chambres, mais une partie est laissée en place pour soutenir le toit et les parois.

3. **3. Extraction du minerai abattu:**

   Après un certain temps, le minerai abattu est extrait pour créer un espace de travail sûr et pour permettre la progression de l'exploitation.

4. **4. Ré-abattage et extraction:**
   Ce cycle d'abattage, de stockage (temporaire), et d'extraction se répète jusqu'à ce que la chambre soit complètement exploitée.
   Avantages de la méthode chambres et magasin :

- **Sûreté:**

  Le minerai abattu en place sert de support naturel, ce qui améliore la stabilité de la mine et réduit le risque d'effondrement.

- **Efficacité:**

  La méthode permet une extraction plus rapide et plus efficace du minerai par rapport à d'autres techniques.

- **Adaptabilité:**
  La méthode peut être adaptée à différents types de gisements et de conditions géologiques.
  Applications :

- **Gisements de métaux:**

  Cette méthode est souvent utilisée pour l'extraction de métaux comme le fer, le cuivre, l'or, l'argent, etc.

- **Gisements de roches dures:**
  Elle convient bien aux gisements de roches dures, où le minerai est relativement compact et difficile à extraire.

Remarque :

L’exploitation de cette mine s’est effectuée Jusqu’à présent à travers l’extraction des ressources se trouvant en surface.

La production de ces dernières années est de 100 à 200 kilogrammes d’or par an.

Or, l'essentiel des ressources en or de ce gisement est à 400 mètres sous terre. Donc, il faudrait une mine souterraine pour exploiter ces ressources.

On estime à 1 tonne d'or métal par an la production qui pourrait être tirée à partir des ressources minières du gisement d'Amesmessa »

- L'objectif fondamental d'une exploitation minière est le plus bas coût final à l'unité de métal produit, qui soit compatible avec les contraintes physiques, techniques et légales auxquelles seront soumis le gisement et l'exploitation envisagée.

- Les orientations fondamentales se présenteront dès les premières étapes de la planification d'une exploitation.

- Les méthodes d'exploitation minière sont analysées en fonction des caractéristiques des gisements et en fonction des caractéristiques techniques et économiques de chaque méthode, en vue d'améliorer le rendement métal et la rentabilité par la réduction de la dilution et des pertes à l'exploitation minière et à l'extraction minéralurgique.

L'exploitation en profondeur des deux gisements est une phase qui nécessite la mobilisation d'importants moyens matériels, humains et technologiques, visant le développement des deux gisements d'une réserve de plus de 2,5 millions de tonnes.

L'aptitude à mener des projets de l'industrie manufacturière dans ce domaine de manière durable, en s'appuyant sur la protection de l'environnement, la formation et le transfert de technologie.

On doit insister sur l'impératif de renforcer l'activité recherche/exploration et le développement de l'industrie de transformation.

Une manière de valoriser les richesses minières du pays, notamment dans le domaine de l'exploitation aurifère, qui se fait actuellement d'une manière artisanale

CIEL OUVERT

Chaque fois qu'elle est rendue possible par la proximité du gisement par rapport à la surface du sol, l'exploitation à ciel ouvert est préférée à l'exploitation souterraine.

L'exploitation à ciel ouvert se fait en carrière, le minerai exploité par tranches horizontales et varie selon les dimensions de l'équipement utilisé et les caractéristiques du gisement. Le plus souvent on utilise le transport par camions.

Le démarrage d'une exploitation à ciel ouvert requiert des investissements moindres que ceux requis pour la mise en marche d'une exploitation souterraine, lorsqu'un gisement se situe près de la surface du sol.

Cependant, la poursuite d'une exploitation à ciel ouvert à plus grande profondeur demande des investissements importants pour les décapages du stérile et une planification méthodique.
La méthode d'exploitation à ciel ouvert offre des conditions avantageuses.

EXPLOITATION SOUTERRAINE

L'évolution actuelle vise à l'utilisation de méthodes plus mécanisées, de procédures simplifiées. Dans chaque cas, il faut pondérer l'économie de coûts contre la dilution, les pertes, la baisse de teneur et le tonnage accru à traiter à l'usine.

Les principales méthodes d'exploitation souterraines suivantes seront analysées:
méthodes à chambres ouvertes,
- méthode chambres et piliers,
- méthode des longs trous,

méthodes à chambres remblayées:
- méthode chambres-magasins,
- méthode à déblais et remblais,
- méthode AVOCA,

méthodes à effondrement:
- soutirage par foudroyage ou par bloc foudroyé.

IV.3.2.2. Le Gisement de Tirek

Le gisement de Tirek comprend trois familles de filons de quartz aurifères (Semiani, 1995 [122]; Ferkous et Leblanc, 1995 [58]):
les filons de quartz N-S
les filons et lentilles de quartz N-S
les filons et lentilles NE-S W (N10-N65)

IV.3.2.3. Le Gisement d'Amesmessa

Par différence avec le cas du gisement de Tirek, à Amesmessa, les filons N-S dominent largement sur les NE-SW, alors que les E-W demeurent assez rares.
Le gisement d'Amesmessa est constitué de plusieurs zones filoniennes aurifères qui se succèdent et se relaient selon la direction N-S sur (13 Km)

Conditions minières et chaine technologique de production

Les corps minéralisés du gisement d'Amesmessa sont représentés soit par des filons de quartz à faible épaisseur (0,2 m à 2,00 m), rarement jusqu'à (3,0 m), soit une épaisseur moyenne de (1,66 m) et un fort pendage.

Les contacts des corps minéralisés sont très tectonisés.

Ces roches sont parfois recoupées par des fissures diagonales. La stabilité des roches du toit et du mur est très bonne.
Les minerais et les roches encaissantes sont faiblement humides.
Le coefficient de foisonnement est de l'ordre de (1,6).

Actuellement la mine d'Amesmessa est exploitée par le mode à ciel ouvert avec une hauteur du gradin de (6 m), en utilisant la méthode des travaux de forage et de tir pour la préparation des roches à l'extraction.
Le chargement et transport des roches abattues est assuré à l'aide d'un excavateur à chenille de type Caterpillar (6 m3) de capacité, avec une flotte de trois camions de type Caterpillar aussi (30 t) de capacité.

CONSIDÉRATIONS TECHNICO-ÉCONOMIQUES
Portant sur l'étude géologique, les travaux de prospection et d'extraction de l'or des gisements TIREK et AMESMESSA en Algérie. Moscou, 2012 vertex

RESUME DE LA PROPOSITION DE VERTEX POUR LE DEVELOPPEMENT DU PROJET AMESMESSA – TIREK.vertex
Projet Amesmessa – Tirek
Etudes Technico-économiques

II.4 Les filons de quartz aurifère d'Amesmessa

Il existe quatre familles de filons de quartz aurifère : Les filons N-S de l'ultra mylonite et des granulites du bloc In Ozal.

Situés du côté Ouest dans les ultra mylonites comme à Amesmessa déformés ductile ment et partiellement boudinés .ils ont une longueur d'ordre décamétrique et une épaisseur moyenne inférieure à 0,5 m.

Ces filons marqués par la présence des structures de déformation ductile, ductile-fragile et enfin fragile qui rappellent beaucoup celles des filons économiques d'Amesmessa.

La minéralisation comprend une association de : galène, pyrite et or sont présents dans des fractures et cavités tardives du quartz.

II.5 Les roches encaissantes

On peut distinguer deux types de roches encaissantes : Des mylonites de granulites qui représentent un ancien matériel archéen⎪ favorable aux minéralisations aurifères.

Des roches gabbro diurétique qui peuvent être également une source pour⎪ l'or. II.6 La géologie du gisement

Le gisement Amesmessa est localisé dans la zone de cisaillement (shear zone) séparant les deux unités majeures de la région. Encaissé dans le couloir des mylonites à ultra mylonites qui forment une bande large de 2 à 3 km.

Ces mylonites contrôlent la mise en place de petits massifs de gabbros. Au niveau du gisement Amesmessa, 50 zones filoniennes ont été mises en évidence dont 36 ont fait l'objet de travaux d'exploration détaillée. Le gisement est subdivisé en trois parties :

Nord, Centrale et Sud.

L'extension nord –sud du gisement est de 13 Km.

Zones Filons de Quartz majeures

Du sud 1, 3 et 4,

Central 7, 8, 9, 10 et 11

Du nord 12, 13, 15, 16, 17, 18, 31, 32, 33, 34, 35 et 36,,,

La partie Centrale est la plus intéressante et la mieux étudiée.

Elle contient environ 75% des réserves connus. Ses zones filoniennes particulièrement 8&9 et 7 constituent à l'heure actuelle les principales carrières de l'exploitation minière.

Mode d'ouverture

Le gisement d'or Amesmessa est composé de plusieurs filons aurifères, de longueurs variables de 200m à 1500m.

Ces filons affleurent sur un sol a relief plat, peu accidentée, ils ont une direction subméridienne et un pendage de 60° à 85° vers l'ouest.

L'exploitation se fait à ciel ouvert, du haut vers le bas, avec transport par camion ; avec des tranchés d'accès internes et externes.

La méthode d'exploitation est dite excavation globale en fosse emboîtée avec transport. Le coefficient de découverture est de 15%.

L’exploitation de cette mine s’est effectuée Jusqu’à présent à travers l’extraction des ressources se trouvant en surface.

La production de ces dernières années est de 100 à 200 kilogrammes d’or par an.

Or, l’essentiel des ressources en or de ce gisement est à 400 mètres sous terre. Donc, il faudrait une mine souterraine pour exploiter ces ressources.

On estime à 1 tonne d’or métal par an la production qui pourrait être tirée à partir des ressources minières du gisement d’Amesmessa »

Conclusion

La méthode d’exploitation par chambres-magasins est particulièrement adaptée aux gisements filoniens à fort pendage, comme celui d’Amesmessa. Malgré ses contraintes techniques, elle offre une bonne récupération du minerai et une dilution réduite, tout en s’adaptant bien à des contextes géologiques complexes.

L’activité d’exploitation artisanale de l’or

1. Introduction

L'exploitation artisanale de l'or dans le sud algérien, notamment dans les wilayas de Tamanrasset et Djanet, est devenue un pilier important de l'économie locale. Cette activité, soutenue par les autorités nationales, permet aux populations locales de bénéficier des ressources minières tout en générant des revenus et en créant des emplois. Depuis 2021, l’État a mis en place un cadre réglementaire favorisant la structuration et la professionnalisation de cette activité.

2. Cadre légal et organisationnel

Le cadre réglementaire est défini par le Ministère de l'Énergie et des Mines. Il permet à des micro-entreprises, souvent constituées de jeunes entrepreneurs, d’exercer légalement l’activité d’orpaillage dans des zones autorisées. Chaque entreprise est tenue de suivre une formation technique, de s’enregistrer officiellement et de déposer l’or extrait à l’Entreprise Nationale de l’Or (ENOR), garantissant ainsi la traçabilité et la sécurité des opérations.

3. Statistiques et productivité régionale

3.1 Wilaya de Tamanrasset

• Nombre de micro-entreprises autorisées : 89
• Production totale depuis juin 2021 : 128 kg d’or pur
• Productivité mensuelle moyenne : 3.5 kg
• Nombre estimé d’emplois créés : 350
• Présence de gisements accessibles avec potentiel d’industrialisation.

3.2 Wilaya de Djanet

• Nombre de micro-entreprises régularisées : 103
• Encadrement technique : 5 ingénieurs de l’ANAM
• Productivité mensuelle moyenne : 1.75 kg
• Nombre estimé d’emplois créés : 400
• Sessions de formation et sensibilisation à la sécurité et à l’environnement.

4. Données comparatives

Tableau 1 : Production mensuelle moyenne (en kg)

Région	Production (kg/mois)
Tamanrasset	3.5
Djanet	1.75

Tableau 2 : Emplois créés par région

Région	Nombre d'emplois
Tamanrasset	350
Djanet	400

5. Contraintes et défis rencontrés

• Accès difficile à certaines zones minières en raison du relief ou de l'insécurité.

• Moyens techniques limités pour extraire efficacement les minéralisations profondes.

• Activités parallèles non déclarées compliquant le contrôle de la production.

• Impacts environnementaux négatifs : pollution des sols, absence de réhabilitation.

• Difficultés logistiques : carburant, pièces de rechange, transport du matériel.

6. Recommandations

• Former continuellement les artisans aux bonnes pratiques minières.

• Fournir un soutien matériel (matériel léger, détecteurs, équipements de sécurité).

• Créer des coopératives locales pour mutualiser les ressources et les revenus.

• Renforcer la surveillance de l'activité par des inspections régulières.

• Encourager la recherche géologique par les universités locales en partenariat avec les institutions nationales.

Comparaison entre la productivité de l'ENOR et des micro-entreprises artisanales de l'or

1. Capacité de production annuelle

L'ENOR bénéficie de moyens industriels avancés qui lui permettent d'extraire entre 300 et 500 kg d'or par an, avec un taux de récupération très élevé. En revanche, les micro-entreprises artisanales n'ont accès qu'à des moyens rudimentaires, ce qui limite leur production et engendre une importante perte de métal précieux dans les résidus.

Critère	ENOR (industriel)	Micro-entreprises artisanales
Production annuelle moyenne	300 à 500 kg/an	10 à 50 kg/an par groupe
Taux de récupération de l'or	85 – 90 %	30 – 50 %

2. Méthodes de travail

Les méthodes utilisées par l'ENOR incluent le forage, le dynamitage, et des procédés de traitement chimique contrôlés. Cela garantit une exploitation plus efficace et conforme aux normes de sécurité. À l'opposé, les artisans travaillent généralement manuellement, souvent sans équipement de protection, ce qui augmente les risques d'accidents et d'atteinte à la santé.

Critère	ENOR	Artisanales
Type d'exploitation	Souterraine/à ciel ouvert, mécanisée	Alluvionnaire ou semi-souterraine manuelle
Moyens techniques	Forage, dynamitage, concassage, traitement chimique	Pelles, pioches, moulins artisanaux, mercure
Niveau de sécurité	Normes industrielles	Faible, souvent sans équipements de protection

3. Rendement par ouvrier

Chaque ouvrier dans l'industrie extractive moderne produit en moyenne plusieurs centaines de grammes à quelques kilogrammes d'or par mois. Ce chiffre est largement supérieur à celui observé chez les travailleurs artisanaux, dont la productivité est fortement limitée par les moyens et le manque de formation.

Critère	ENOR	Micro-entreprises artisanales
Productivité moyenne par travailleur	0.5 à 2 kg/mois	50 à 200 g/mois

4. Coût de production et rentabilité

Bien que les coûts d'exploitation de l'ENOR soient élevés, la rentabilité est assurée sur le long terme grâce à une gestion professionnelle et un rendement stable. Les artisans, en revanche, dégagent parfois des bénéfices rapides, mais leur activité est soumise à de fortes variations et reste économiquement fragile.

Critère	ENOR	Micro-entreprises artisanales
Coût de production	Élevé (machines, salaires, logistique)	Faible (main-d'œuvre bon marché, outils simples)
Rentabilité nette	Moyenne à élevée (long terme)	Élevée à court terme (mais instable)

5. Impact environnemental et social

L'ENOR respecte les normes environnementales grâce à un encadrement légal. Les sites artisanaux causent souvent de graves pollutions, notamment à cause de l'usage du mercure. Cependant, l'artisanat crée un grand nombre d'emplois dans les zones reculées, bien qu'ils soient souvent précaires et non régulés.

Critère	ENOR	Micro-entreprises artisanales
Impact environnemental	Contrôlé, suivi par réglementation	Élevé (utilisation du mercure, déforestation)
Emplois créés	Plusieurs centaines par site	Des milliers (mais emplois précaires)

Conclusion

ENOR est plus performante en termes de productivité par travailleur et de récupération d'or, grâce à la technologie et la mécanisation. Les micro-entreprises artisanales sont plus nombreuses, emploient plus de main-d'œuvre, mais produisent moins par unité. En termes économiques, l'artisanat aurifère contribue fortement localement, malgré sa faible productivité globale, mais au prix de risques sanitaires et environnementaux élevés.

Chapitre 04

Traitement de minerai

- **-Préparation mécanique des roches:**

1-Concassage :

Le concassage constitue la première étape de la comminution. Son objectif n'est pas la libération des minéraux, mais simplement la réduction de dimension afin de faciliter la manipulation ultérieure du minerai. Il est normalement fait à sec en deux ou trois étapes. L'alimentation provient de la mine et a une dimension pouvant aller jusqu'à 600mm.

1-a- Concassage primaires :

les matériaux grossiers sont cassés par action mécanique directe.la roche se casse entre la fermeture de deux mâchoires verticales. On cherche à obtenir des matériaux allant de 0 à 15O mm.

1-b- Concassage secondaire et tertiaires :

les matériaux trop gros sont cassée par une action mécanique souvent indirecte utilisant l'attrition .Les broyeurs coniques verticaux giratoires sont courants. On cherche à obtenir des tailles entre 20à et 50 mm Dans le secondaire et entre 6 et 8 mm au tertiaire.

2-Criblage :

2-.a : Criblage Primaire :

à l'issue de concassage primaire les matériaux sont envoyés par des convoyeurs à bande sur une série de grilles vibrantes. La taille la taille des mailles des grilles permet de trier le minerai. Ceux suffisamment petit passent vers le tertiaire, les grosses partent vers le concassage secondaire.

2-b : Criblage secondaire :

Même principe que précédemment, mais les matériaux trop gros repassent dans le concassage tertiaire. Les plus petits partent soit vers le stock du minerai destiné au broyage fin ou bien vers la lixiviation en tas.

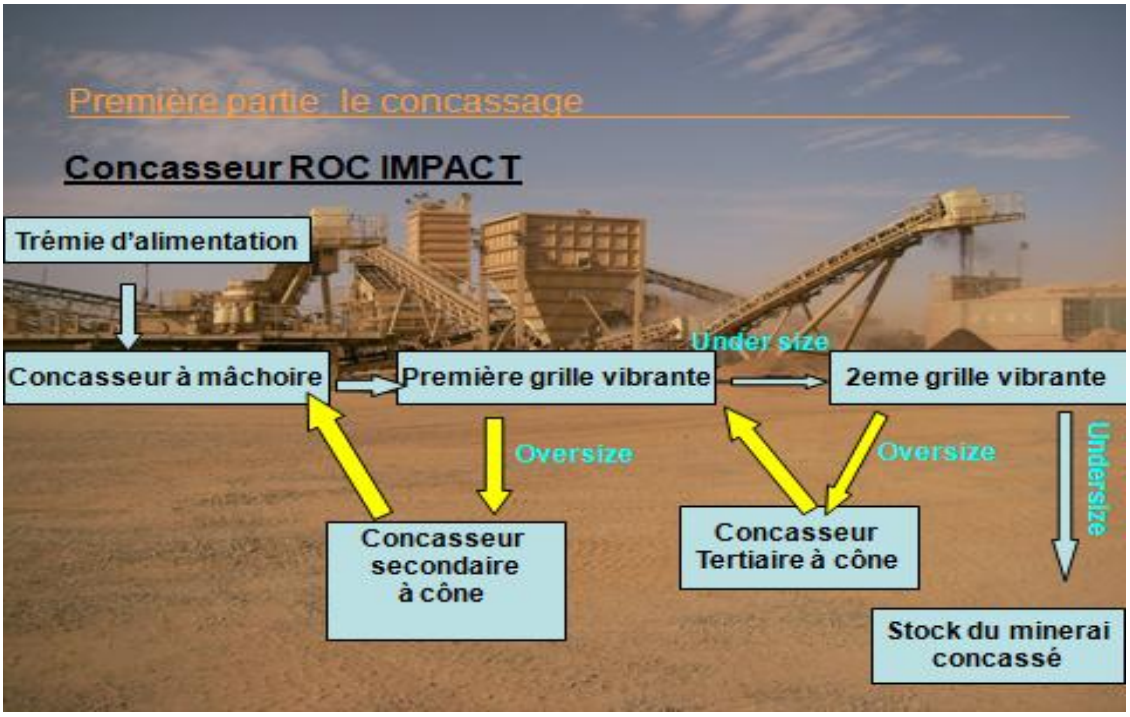


Fig.32: Schéma de concassage de minerai d'or

❖ **-Définitions :**

1- Concasseurs à mâchoires :

Ils consistent en deux plaques de métal placées en angle (aigu), l'une fixe et l'autre pouvant pivoter autour d'un point d'ancrage, lui permettant d'exécuter un mouvement de va-et-vient. Le matériel alimenté entre les mâchoires est alternativement écrasé et relâché par leur mouvement de va-et-vient, jusqu'à ce qu'il sorte par l'extrémité inférieure (plus étroite). Dépendant du type de pivotement de la mâchoire libre, on trouve trois modèles de concasseurs. Dans le concasseur Blake, le pivot est à l'entrée (surface d'alimentation fixe), ce qui permet une ouverture de décharge variable (moins de problèmes d'engorgement ou "bourrage").

Le concasseur Doge pivote sur la décharge ce qui donne une surface d'alimentation variable mais une ouverture de décharge fixe (meilleur contrôle de la dimension de produit final). Finalement, le concasseur universel pivote sur un point intermédiaire ce qui donne une surface d'alimentation et une ouverture de décharge variable



Fig.33: Concasseur a mâchoire

2- Concasseurs giratoires :

Ils sont principalement utilisés en concassage secondaire et tertiaire. Ils consistent en un axe comportant un élément de broyage conique, appelé manteau, cône ou noix (head) suspendu par son extrême supérieur, le croisillon (spider), à l'intérieur d'une chambre conique inversée, le bol, cuve ou concave (bowl). L'extrémité inférieure de l'axe du manteau est relié à un système motrice chargé de lui imprimer un mouvement de rotation excentrique à l'intérieur du concave. Le déplacement maximal se produit à la décharge ce qui diminue les possibilités d'engorge-ment. L'écartement maximal à l'extrême de décharge s'appelle "réglage". Un concasseur giratoire peut être considéré comme l'équivalente de plusieurs mâchoires distribuées parallèlement autour d'un axe central, et en conséquence son opération (décharge) n'est pas cyclique comme dans le cas des concasseurs à mâchoires. On peut donc obtenir une plus grande capacité avec ce type de concasseurs. Les particules ayant une dimension inférieure au réglage du concasseur sont normalement enlevées (scalped) de l'alimentation afin d'éviter le bourrage de l'appareil et en conséquence une perte de capacité.



Fig.34:Concasseur a cône5

3- Le processus de tamisage (Crible) :

Un tamis ou crible consiste essentiellement en une surface plate dans laquelle on retrouve des trous d'une certaine dimension. Ces trous peuvent être de forme circulaire, carrée, rectangulaire ou des rainures. La surface est normalement supportée dans ses extrêmes par un cadre rigide sur lequel on applique une force de vibration visant à favoriser le passage des particules à travers les trous. Les surfaces de criblage sont normalement inclinées afin de faciliter le transport du matériel à tamiser, qui est alimenté sur l'extrême supérieur du tamis. La force de gravité et les vibrations appliquées sur la surface font en sorte que le matériel "voyage" sur celle-ci vers l'extrémité inférieure de la surface. Lors du parcours, les particules plus petites que la dimension des orifices auront l'occasion de passer à travers de ceux-ci tandis que les plus grossières continueront leur parcours jusqu'à la décharge à l'extrême inférieur.

- **-Broyage :**

Le broyage est la dernière étape du processus de comminution. Il est accompli par un mécanisme combiné d'abrasion, d'attrition et d'impact soit en milieu sec ou humide (pulpe).Celle utilisé à la mine d'Amesmessa est le broyage humide.

Les particules sont réduites d'une dimension entre 6 et 8 mm jusqu'à 75 µm dans des tambours cylindriques d'acier appelés broyeurs (mills) qui tournent, dans la plupart des cas,

autour de leur axe longitudinal. La fragmentation résulte de l'action (impact sur les particules) d'une charge broyante libre de se déplacer à l'intérieur du broyeur. La charge broyante peut être composée de boulets ou barres en acier, de roches dures ou du minerai même. Le broyeur utilisé à Amesmessa c'est un broyeur à boulet.

1- Description des broyeurs :

Les broyeurs consistent essentiellement en un tambour cylindrique, appelé virole ou carcasse (shell) (figure ci-dessus à droite), recouvert intérieurement avec un revêtement protecteur (liners) qui sert en même temps à hisser (lifters) les corps broyants. Le tambour est supporté de façon à ce qu'il puisse tourner autour de son axe longitudinal, sur des tourillons vides (hollow trunnions) attachés aux extrémités de la carcasse (shell ends).

La carcasse est faite en tôles d'acier soudées. Elle comporte des trous pour les boulons nécessaires pour retenir le revêtement et peut aussi être munie de trous d'inspection (man hole). Les extrémités de la carcasse comportent des brides soudées pour attacher

Les extrêmes des tourillons. Autour de ces derniers, se trouvent les roulements (bearings) qui permettront au broyeur de tourner librement et le système d'engrenages (gear) qui le connecte au système moteur (drive).

L'alimentation entre au broyeur par un extrême tandis que le produit peut sortir par l'autre extrême (sortie périphérique ou axiale) ou par des sorties centrales (placées à la moitié du broyeur). Le dia mètre du broyeur détermine la pression qui sera exercée par la charge sur les particules. En général, plus l'alimentation est grossière, plus grand devra être le broyeur.

La longueur complétera alors la détermination du volume et, en conséquence, la capacité du broyeur. Normalement, les broyeurs sont actionnés par un moteur synchrone par l'intermédiaire d'un système de pignon et crémaillère .Il existe aussi des broyeurs actionnés par un moteur "sans engrenages", où le rotor du moteur est construit sur la carcasse même et le stator placé autour d'elle. Évidemment, le moteur est à vitesse variable, ce qui est un grand avantage pour la commande automatique du broyeur. Ces broyeurs sont de plus en plus utilisés dans les usines dernièrement construites.



Fig.35 : Broyeur à boulet

❖ **La séparation par hydrocyclone :**

La séparation par hydrocyclone dépend de la vitesse de sédimentation relative des différentes particules, c'est-à-dire que la classification dépend non seulement de la dimension mais aussi de la masse volumique des particules.les particules fines seront envoyé vers l'épaississeur puis vers la cyanuration dans les cuves. Et les particules lourdes et grosses seront traitées par gravité. Le circuit est fermé par des tamis qui renvoi les particules qui sont pas bien broyées vers le broyeur.

1- Epaississent :

Cette opération sert à récupérer l'eau qui à été utilisé dans le broyage et le réutiliser de nouveau. On obtient dans la sousverse une pulpe de 50 % solide qui va vers la lixiviation.

❖ **Le traitement du minerai :**

A l'ENOR il y a trois méthodes pour traiter le minerai ; une station pour le minerai pauvre et une autre pour le minerai riche (High Grade)

1Traitement de minerai riche (High grade) par lixiviation dans les cuves (CIP) :

Le traitement mécanique de la roche et de mènerai riche. il passe par un concasseur primaire a mâchoires associé a un concasseur secondaire a cône. à La fin de cette étape on obtient un minerai de taille inferieur 8 mm.

Ensuite le minerai subit un broyage humide, c'est-à-dire qu'il passe par un pulvérisateur dont associe l'action avec un ajout d'eau et la choux ou le ciment pour augmenter le pH (procédure faite pour éviter le dégagement de l'acide cyanhydrique, afin d'obtenir un minerai sous forme de pulpe ayant une granulométrie réduite jusqu'à 75µ.

Ultérieurement la pulpe de minerai est soumise à l'action d'un hydro-cyclone qui sépare les particules fines des particules grossières. Après cette étape, il permet aussi, grâce aux effets conjugues de la gravité et plus tard du magnétisme, de récupérer les pépites d'or présente dans les particules grossières de la pulpe du minerai.



Ensuite la pulpe fine du minerai passe par l'épaississeur, qui est un bassin de décantation afin qu'on puisse recycler une partie de l'eau qu'elle contient (avant l'épaississeur elle était constituée a 75-80% d'eau, et après environ 50%).

Ensuite la pulpe passe par un ingénieux circuit de cinq cuves de lixiviations contenants des solutions cyanurée et des colonnes de charbons actifs, ainsi qu'un tamis vibreur. Grace au principe du passage à contrecourant, le charbon actif absorbe l'or qui est libéré de la pulpe de minerai par les solutions cyanurées. Ensuite le charbon enrichi en or est récupéré au niveau du tamis vibreur et envoyer vers la raffinerie pour traitement complémentaire, tandis que la pulpe elle est envoyée vers le « heap leach », afin de récupérer les faibles quantités d'or qu'elle contient encore.







2- Traitement de minerai riche par gravité :

Lorsque l'or est libre dans le minerai et se présente sous forme de particules assez grosses (> 75 µm), ces méthodes sont particulièrement simples et efficaces en raison de la masse volumique très Élevée du métal, et ont été utilisées dès l'antiquité sous leurs formes archaïques : batées et slicés (couloirs de lavage en bois). Elles sont encore utilisées artisanalement par les orpailleurs et restent, sous leurs formes évoluées, largement utilisées lorsque les gisements s'y prêtent, ce qui est notamment le cas pour les gisements alluvionnaires (placers). Les appareils et dispositifs sont semblables à ceux décrits pour la concentration des minerais d'étain (article Métallurgie et recyclage de l'étain [M 2 314] dans ce traité). Peu coûteuses en investissements et en frais d'exploitation, elles permettent, dans des

conditions favorables (gisements alluvionnaires), d'exploiter des gisements à très faible teneur, de l'ordre de 1 g/m3.Une laverie classique de ce type comporte essentiellement, après, si nécessaire, une préparation mécanique adaptée au minerai concerné (telle que concassage ou broyage pour libérer les particules métalliques, débourbage pour séparer les particules très fines), des appareils de criblage (tamis vibrants) visant à classer les produits en deux ou trois fractions granulométriques qui alimentent chacune les appareils de classification, généralement des bacs à piston ou jigs adaptés et réglés en fonction de la taille des grains de cette tranche granulométrique. Le coefficient de concentration est très élevé et peut dépasser 1 000.Dans le cas de gisements alluvionnaires, l'ensemble de l'installation peut être monté sur la drague d'extraction des alluvions et livre directement un concentré métallique riche.

Pour la mine d'or d'Amesmessa et de Tirek la section gravité et liée directement à l'installation de traitement de cyanuration après broyage.

Après la séparation par hydro-cyclone les particules lourdes de la sous verse (l'under flow)vont vers le traitement par gravité. Elle passe par un crible qui sépare les particules supérieures à 1mm. Ces particules seront renvoyées au broyeur pour être broyé une deuxième fois .Les particules inferieures à 1 mm passent par le concentrateur knilson, là où on obtient le pré concentré de l'or après une séparation par centrifugation. Ensuite le pré concentré passe dans la table de secousse pour une autre séparation et purification avant la fusion.

3-Traitement du minerai pauvre par lixiviation en tas (heap leach) :

- **La lixiviation en tas :**

Cette procédure est pour le minerai pauvre avec un taux de récupération de 50% pour un temps de séjour de 120 jours.

On construit la base du tas à l'aide d'un revêtement de deux couches d'argile bien compactées étanches superposées en dessous d'une géo-membrane en polyéthylène d'une épaisseur de 1.5 mm (pour assurer l'imperméabilité), après à l'aide de La distribution de la solution de cyanure les grains d'or vont dissoudre et ce système répandue au sommet du tas par un système d'arrosage qui s'opère goutte à goutte.

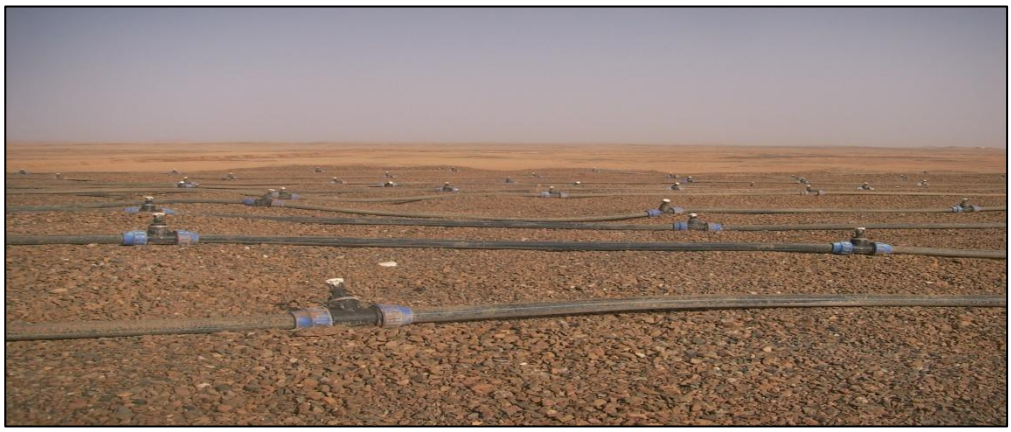


Fig.36 : arrosage du tas en goute à goute.

Pour drainer la solution enrichie en or au fond de l'aire de lixiviation, une couche drainante de gravier est aménagée, intégrée de tubes perforés. Ce système permet la collecte du lixiviation.



Fig.37 : Bassin de récupération.

- **Colonnes de charbon (CIC) :**

Après 120 jours, la solution cyanurée enrichie en or est récupérée à la base du tas ensuite évacuée par pipelines vers le puits de récupération. De là, la solution est pompée vers 5 colonnes d'adsorption, où l'on ajoute du charbon actif pour adsorber le complexe auro-cyanuré.



Fig.38 : Colonnes de Charbon.

Le déplacement de la solution cyanurée et le charbon en contre-courant est analogue à celui décrit dans les CIL (carbon in leach).

- **Raffinerie de l'or :**

Le charbon chargé issus soit des colonnes de lixiviation ou des colonnes de charbon est transporté de la station de traitement vers l'usine au moyen d'une citerne. A l'aide d'une pompe on injecte le charbon avec de l'eau à haute pression vers une colonne de lavage en PVC d'une capacité de 2 tonnes.

On ajoute une solution de 200L d'acide chlorhydrique HCl qui monte d'en bas et qui passe à travers les filtres qui retiennent le charbon pour éliminer les impuretés.



Fig.39: Raffinerie.

Le charbon lavé neutralisé alimente une colonne d'élution d'inox où une solution est injectée afin de favoriser la désorption de l'or à partir du charbon actif.

La solution injectée est préparée dans une citerne remplie d'eau, + 1% de cyanure, + 1% de la soude caustique (NaOH). Cette solution est chauffée à une température de 140°C par des échangeurs de chaleur.

L'électrolyse est la dernière étape du processus d'extraction de l'or. La solution aurifère passe dans une cellule d'électrolyse qui opère généralement sous une tension et avec un courant continu. Elle contient des cathodes, des anodes et des lames métalliques en alliage. Les cations Au^{+} sont attirés par les cathodes où ils vont capter les électrons (e^{-}) donnant ainsi le métal d'or Au.

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 de l'or.

❖ **Fusion :**

On récupère la bourbe de l'or de l'électrolyse et après filtration, on la mis dans four de séchage à 25 C°. Après le séchage on mélange la bourbe avec quatre produit chimique (borax 50%, Carbonate de sodium 25% et la silice 25%).on mélange le tout et on le met dans un four de fusion à 1200 C°.

Après 03 heures de fusion on coule le mélange dans des moules .l'or, puisque il est lourd, reste au fond du premier moule et les scories passe vers les autres moules.



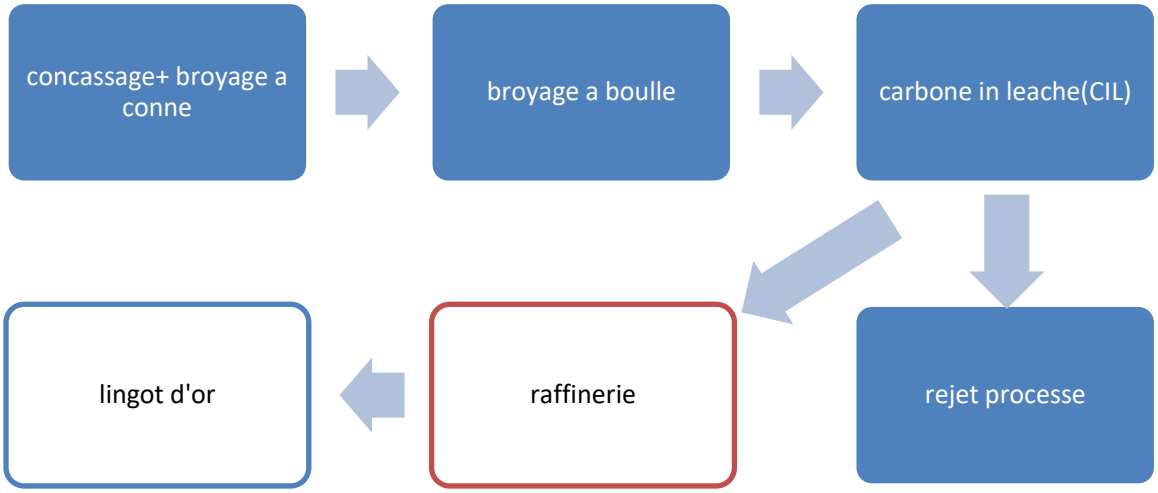
Fig.40 : fusion

A la fin on récupère le lingot de l'or du premier moule et on prend un échantillon pour analyse au laboratoire.

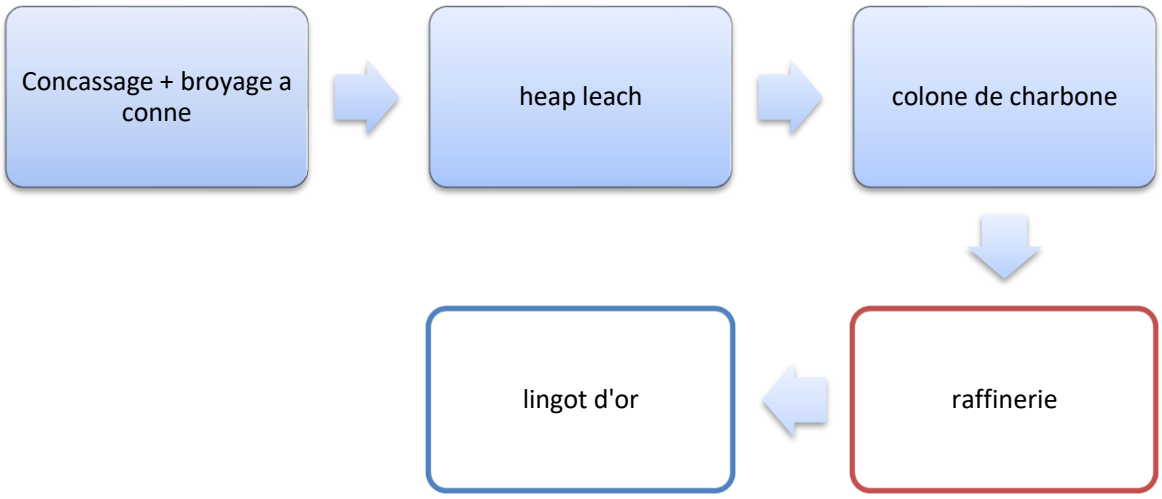
Remarque :

La récupération des minerais a la station de TRK est presque 95%.

La récupération de minerai a la station de AMS (heap leach) est ≤ 70%.



Les étapes de la réalisation des minerais a la station de TIRK



Les étapes de la réalisation des minerais a la station de AMS



Fig.41 : Lingot de l'or

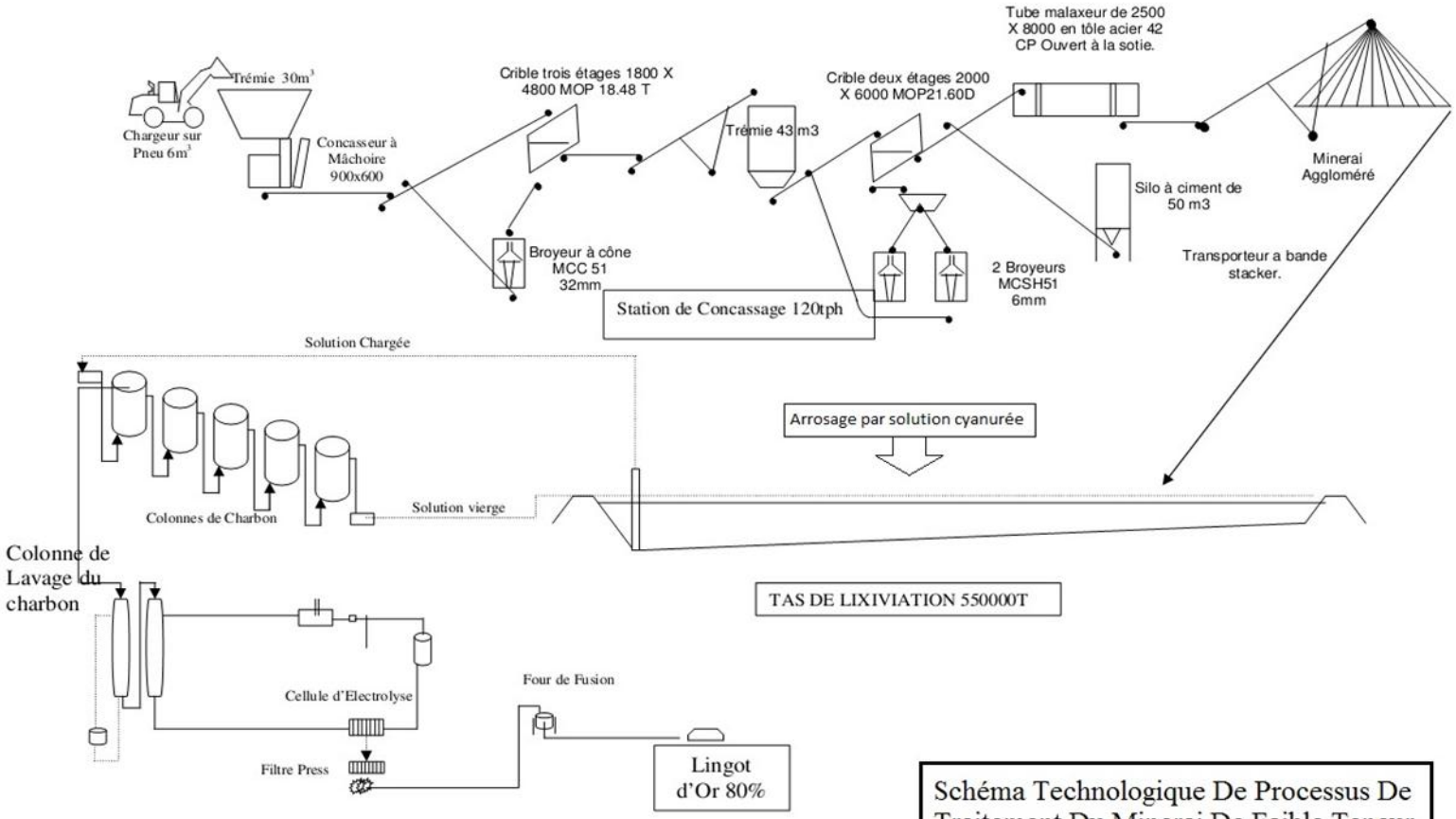


Schéma Technologique De Processus De Traitement Du Minerai De Faible Teneur.

BIOMINING

INTRODUCTION

La biolixiviation : une technique d'extraction des métaux à l'aide de micro-organismes

La biolixiviation est une technique d'extraction des métaux à partir de minerais ou d'autres matériaux solides en utilisant des micro-organismes tels que les bactéries, les champignons ou les plantes. Elle présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles d'extraction, notamment sur le plan environnemental, économique et de l'efficacité. Elle peut également être utilisée pour dépolluer des sites contaminés par des métaux ou d'autres composés toxiques. Parmi les principales applications de la biolixiviation, on peut citer : la bioleaching, la phytomine et la biosorption.

La biolixiviation représente un domaine prometteur de la biotechnologie, capable de contribuer au développement durable de l'industrie minière et de la transformation des minerais. Elle peut aussi aider à réduire l'impact environnemental des activités minières et à améliorer la qualité de vie des populations vivant à proximité des sites miniers.

La biolixiviation de l'or consiste à utiliser des micro-organismes pour extraire l'or des minerais ou d'autres matériaux. Ce procédé biotechnologique permet de récupérer l'or à partir de minerais pauvres ou réfractaires, difficiles à traiter par des méthodes conventionnelles. Deux techniques principales sont utilisées : la bioleaching et la biooxydation.

Ce procédé présente de nombreux avantages : il est plus respectueux de l'environnement, plus rentable et plus efficace. Il permet également de dépolluer les sites contaminés par des métaux ou des substances toxiques. Toutefois, la biolixiviation de l'or présente certains défis et limitations, comme une lenteur relative, la nécessité de conditions environnementales spécifiques, et la production de solutions acides riches en métaux qui doivent être correctement gérées.

Cette étude propose d'appliquer la biolixiviation au site aurifère algérien d'Amesmessa.

La région d'Amesmessa, en Algérie, est réputée pour ses importants gisements aurifères, traditionnellement exploités par des méthodes minières conventionnelles. Bien que ces méthodes aient permis d'extraire des ressources précieuses, elles posent souvent des problèmes environnementaux et

sociaux. Cet article propose l'utilisation de la biolixiviation comme alternative durable et respectueuse de l'environnement pour l'extraction de l'or à Amesmessa.

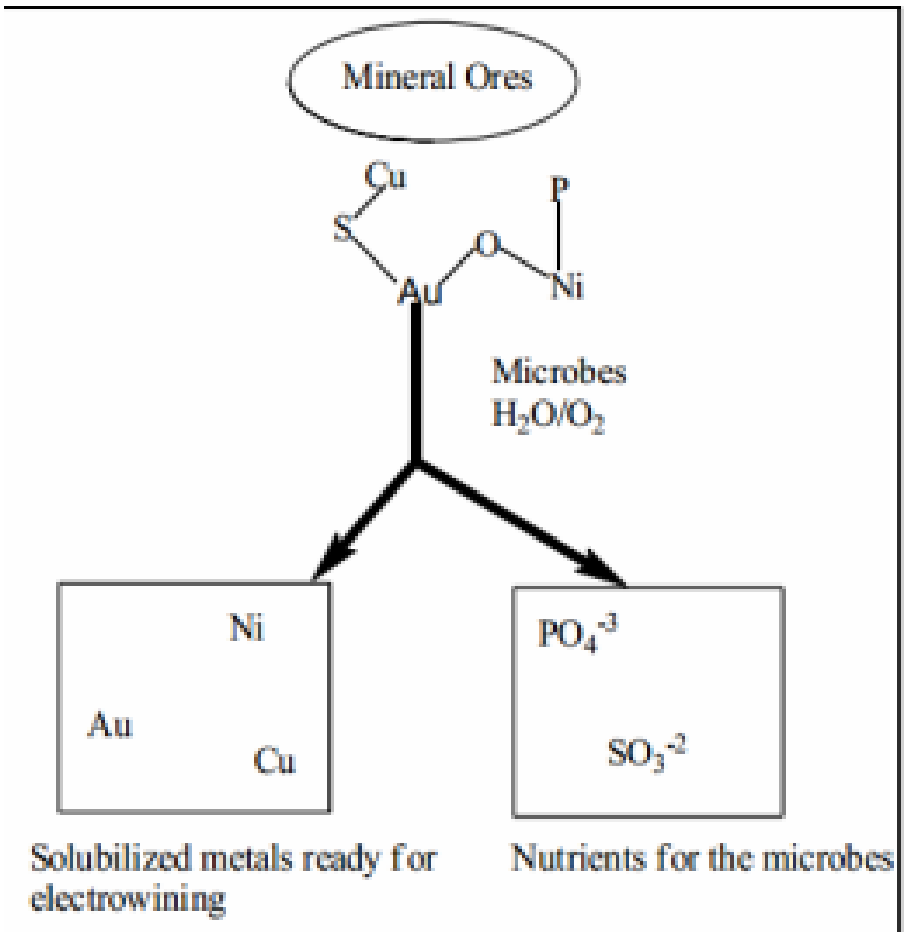
L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel de la biolixiviation dans le contexte du gisement aurifère d'Amesmessa, en mettant en lumière ses avantages, ses défis, et les étapes nécessaires à sa mise en œuvre réussie.

Methodology

La biolixiviation repose sur deux processus fondamentaux :

Bioleaching (Lixiviation biologique) : des micro-organismes spécifiques, souvent des bactéries acidophiles, sont introduits dans le minerai. Ces bactéries oxydent les minéraux sulfurés, libérant ainsi les ions métalliques de la matrice solide. Le métal devient ainsi plus facilement récupérable.

Bioprécipitation : une fois les ions métalliques libérés, ils peuvent être précipités sélectivement à l'aide d'autres micro-organismes ou d'agents chimiques, permettant ainsi l'isolement du métal recherché.



Facteurs influençant la réussite du processus :

- Sélection des micro-organismes : il est essentiel de choisir des bactéries capables de survivre à des températures élevées, à des concentrations acides et métalliques importantes.

- Surface spécifique : le taux d'oxydation dépend de la granulométrie du minerai.

- pH : l'activité des bactéries acidophiles est optimale dans une plage de pH bien définie.

- Température : les bactéries utilisées sont soit mésophiles, soit thermophiles.

- Aération : étant aérobies, ces bactéries nécessitent un apport important en oxygène.

Étapes du processus de biolixiviation de l'or :

1. Sélection microbienne : choix de bactéries ou archées capables de solubiliser l'or.

2. Biooxydation : transformation des minéraux sulfurés contenant de l'or en sulfates métalliques solubles.

3. Lixiviation : libération de l'or sous forme de complexe soluble.

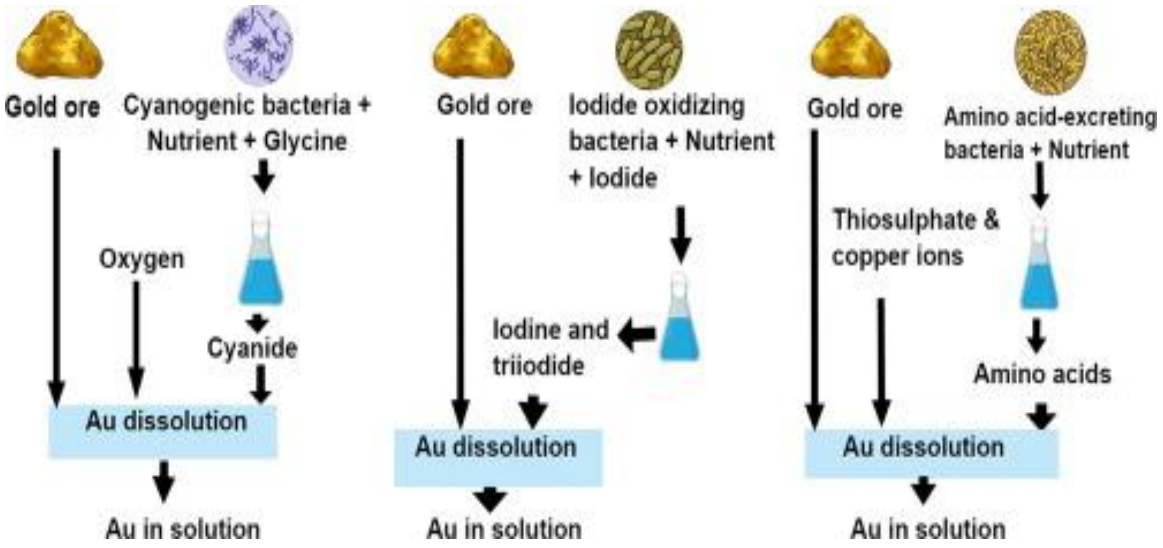
4. Adsorption et récupération : récupération de l'or par adsorption sur du charbon actif, suivi de procédés comme l'élution ou l'électroextraction.

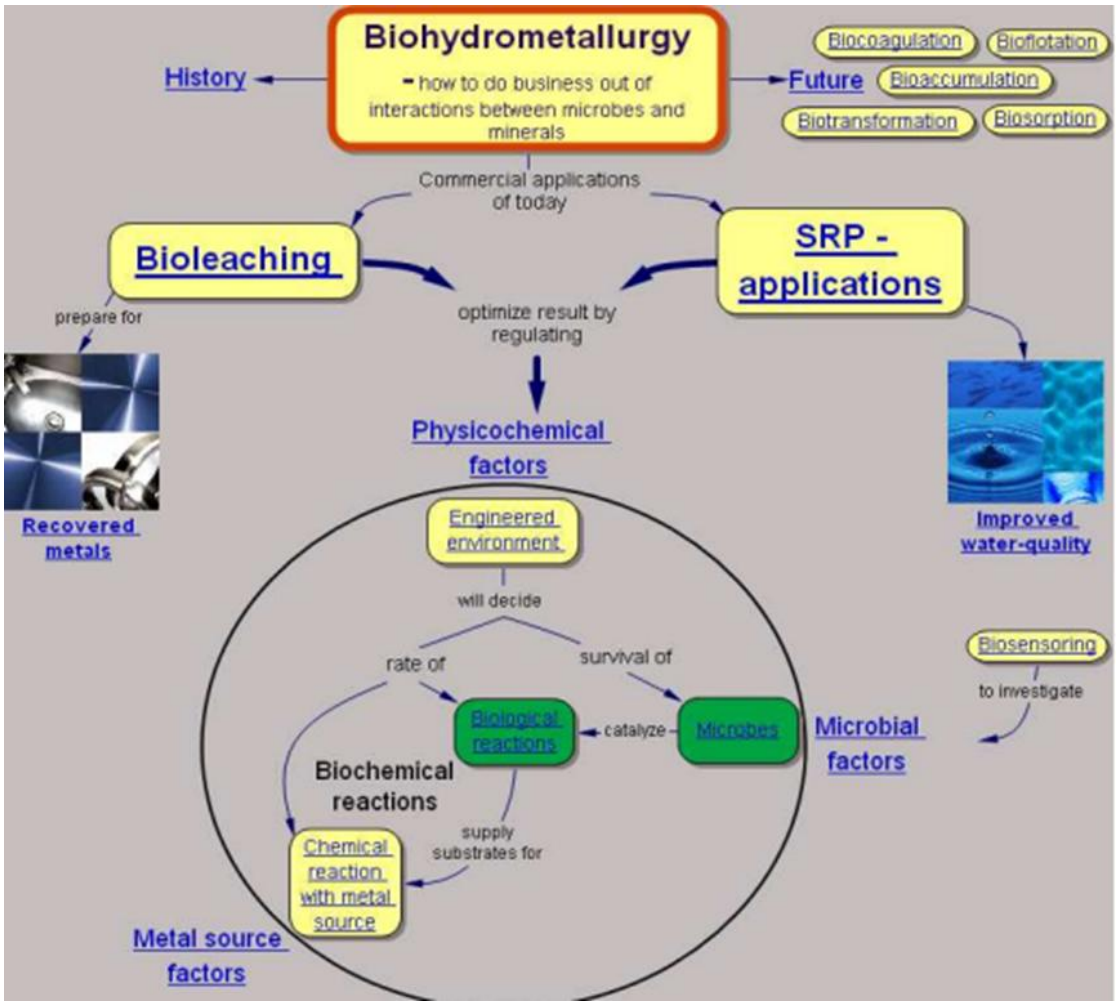
5. Contrôle du processus : gestion des paramètres critiques tels que le pH, la température et les nutriments pour optimiser l'activité microbienne.

6. Considérations environnementales : réduction de l'utilisation de produits chimiques nocifs comme le cyanure et traitement de minerais pauvres.

7. Industrialisation : passage des essais de laboratoire à une production industrielle économiquement viable.

8. Recherche continue : innovation constante pour améliorer le rendement et l'efficacité du processus.


Gold ore
Cyanogenic bacteria + Nutrient + Glycine
Oxygen
Cyanide
Au dissolution
Au in solution
Gold ore
Iodide oxidizing bacteria + Nutrient + Iodide
Iodine and triiodide
Au dissolution
Au in solution
Gold ore
Amino acid-excreting bacteria + Nutrient
Thiosulphate & copper ions
Amino acids
Au dissolution
Au in solution


Biohydrometallurgy
- how to do business out of interactions between microbes and minerals
History
Future
Biocoagulation
Bioflotation
Bioaccumulation
Biotransformation
Biosorption
Commercial applications of today
Bioleaching
SRP - applications
prepare for
optimize result by regulating
Recovered metals
Physicochemical factors
Improved water-quality
Engineered environment
will decide
rate of
survival of
Biosensoring
to investigate
Biological reactions
catalyze
Microbes
Microbial factors
Biochemical reactions
supply substrates for
Chemical reaction with metal source
Metal source factors

Conclusion

En conclusion, la biolixiviation se présente comme une alternative prometteuse et respectueuse de l'environnement pour l'extraction de l'or dans la région d'Amesmessa. Sa mise en œuvre nécessite une stratégie globale incluant des études de faisabilité, l'implication des communautés locales et des plans de gestion environnementale. Cette méthode novatrice permettrait non seulement de valoriser le potentiel économique du gisement d'Amesmessa, mais aussi de contribuer à un avenir minier plus durable et éthique, en accord avec les objectifs mondiaux d'une exploitation responsable des ressources.

Chapitre 05

Sécurité Et Environnement

Impacte Environnementales :

I. Introduction :

L'exploitation minière n'est jamais dénuer d'impact que ce soit sur l'environnement, faune et flore ou sur les populations humaine le tout est de savoir gérer et minimiser ces impacte afin de s'approcher le plusse possible d'une industrie écoresponsable.

Une Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) a été préparée par ENV Australie et revue par ORGM (Office de la Recherche Géologique et Minière) en collaboration avec l'ENOR. Cette Etude inclue une évaluation des impacts potentiels du projet sur l'environnement social, biologique et physique. L'EIE se base sur les impacts biologiques, archéologiques et sociaux préparés et présentés par des spécialistes Algériens.

Le projet d'Amesmessa est implanté dans un environnement complètement désertique sur une région à soubassement rocheux, loin de la nappe d'eau localisée à plus de 90km au nord (bassin de Tanezrouft). La végétation sur le site d'implantation du projet est très rare, principalement les Oueds.

La pollution peut prendre plusieurs aspects, voici quelque exemple de pollution et nuisance :

- Nuisance visuelle
- Nuisance sonore et vibration
- contamination de l'eau
- contamination du sole
- contamination de l'aire

II. Les nuisances sonores et les vibrations :

Dans la mines d'Amesmessa et Tirek les nuisances sonore et les vibrations sont dus a la circulation des véhicule, et machine d'exploitation, ou tire et ou fonctionnement des générateurs électriques ou encor à la station de concassage et de broyage, cependant cela ne représente pas un risque car les nivaux sont soit trop faible pour induire des problèmes de santé soit les sources sont trop éloigner de la zone d'habitation du personnelle.

Donc on conclut qu'il n'existe pas de risque en ce qui est des nuisances sonores.

III. Contamination de l'eau :

La mine d'Amesmessa et Tirek à été implanté dans un environnement désertique dans une région à soubassement rocheux, loin de la nappe d'eau localisée à plus de 90km au nord (bassin de Tanezrouft). Le tas de lixiviation repose sur une doble couche de géo-membrane en PEHD et d'argile imperméable qui a pour but d'éviter l'infiltration de la solution cyanurée dans le sous sol, bien sur le risque zéro n'existe jamais mes cette double protection minimise grandement les risque.

IV. contamination du sole :

Le déversement accidentel et les évacuations non contrôlées, de la solution cyanuré ou encore le déversement des huiles de moteur des engins peuvent causer une contamination du sol mais un bon suivie des protocoles de sécurité et un personnelle qualifier sufi a enrailler ces menace.

V. contamination de l'aire :

Dans La mine d'Amesmessa et Tirek les poussières représente un risque potentiel pour la santé des travailleurs, Elle provienne surtout des travaux de tir, de la circulation des engins et du concassage du minerai elle peut être la cause de plusieurs maladies professionnelles telles que la silicose car le minerai contient du quartz, les émissions mineures en oxydes de nitrates provenant des tirs et les émissions des gaz d'échappements peuvent aussi avoir un impact potentiel sur la santé des travailleurs, des populations Touaregs et la faune de la région.

La plus part des engins d'exploitation sont équiper pour le travaille en milieux riche en particule mes sur certain de ces engin le système est en pane depuis des années ce qui représente sans doute un risque sur la santé du personnelle qui opère sur ces engin.

VI. Risque sur la Faune et la Flore :

L'impact potentiel de la mine d'Amesmessa et Tirek sur la faune et la flore locale est surtout lier à la perte de l'habitat et des espaces de reproduction pour les animaux, la chasse par les mineurs, les déplacements limités des animaux suite à la construction de la conduite d'eau a partir de Tanezrouft. L'étude faunique a révélé l'existence d'une multitude de chauve-souris vivant sur les parois de la mine d'Amesmessa et Tirek

VII. Patrimoine archéologiques :

Un recensement archéologique a été fait par l'OPNA (Office du Parc National de l'Ahhagar). Ce travail a fait identifier beaucoup de sites archéologiques de la région. Ceci était prévisible, étant donné que la région était habitée dans un passé récent.
Le résultat de ce recensement montre que la construction de la conduite d'eau n'as aucun impact sur les vestiges archéologiques, du moment qu'aucun site n'est répertorié dans la zone du tracé. Les activités minières (extraction, mise à terril,…) ainsi que le trafic des engins peuvent potentiellement perturber les vestiges archéologiques qui ont été identifiés dans la zone d'extraction.

L'exploitation de l'or dans des régions sensibles comme Tamanrasset impose une gestion rigoureuse des impacts environnementaux, notamment ceux issus du traitement du minerai par flottation. Ce procédé, bien que performant, génère des effluents liquides contenant des métaux lourds et des réactifs chimiques potentiellement toxiques. Ce chapitre présente les mesures à adopter pour le traitement des eaux usées et la protection de l'environnement.

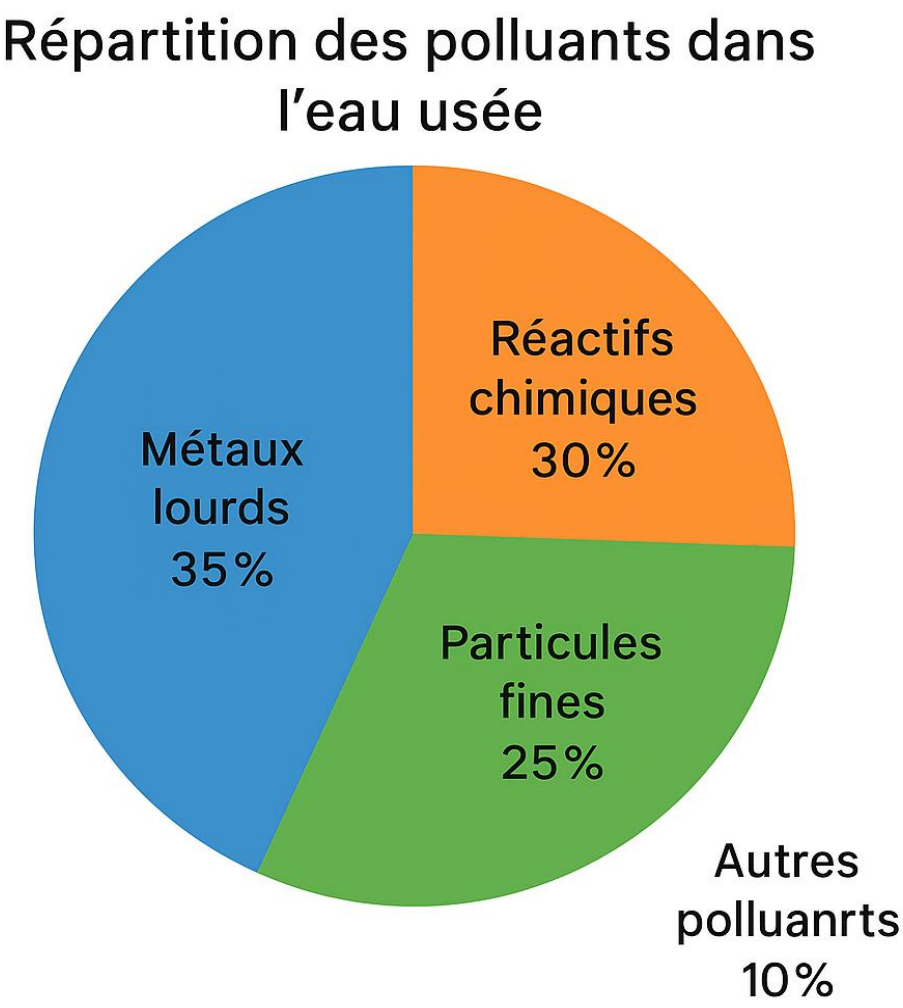
Mesures environnementales et gestion des effluents dans le traitement de l'or par flottation

1.Caractéristiques des effluents issus de la flottation

Les effluents générés par la flottation contiennent une combinaison de métaux lourds (cuivre, zinc, plomb), de réactifs (xanthates, sulfates, agents moussants) et de particules fines en suspension. Ces eaux peuvent présenter un pH acide et une forte charge en matières dissoutes, ce qui nécessite un traitement spécifique.

Principaux contaminants dans les effluents de flottation ;

Contaminant	Origine	Effets environnementaux
Cuivre (Cu)	Minéralisation du minerai	Toxicité aquatique, bioaccumulation
Zinc (Zn)	Minéraux sulfurés	Effet nocif sur la faune aquatique
Xanthates	Réactif de flottation	Effets sur la flore microbienne
Agents moussants	Stabilisation de la mousse	Pollution organique
Matières en suspension	Particules de minerai	Turbidité élevée des eaux



2. Stratégies de traitement des eaux usées

2.1. Neutralisation chimique

La neutralisation vise à ajuster le pH des effluents. L'ajout de chaux permet la précipitation des métaux sous forme d'hydroxydes insolubles. Ce traitement est souvent la première étape d'une chaîne de purification.

2.2. Floculation et décantation

Des floculants polymériques sont introduits pour agglomérer les particules fines. La décantation permet de séparer les solides des eaux clarifiées dans un bassin spécialisé.

2.3. Filtration avancée

Les eaux clarifiées peuvent être filtrées à travers des lits de sable ou des filtres à charbon actif pour éliminer les résidus de réactifs organiques ou les contaminants dissous restants.

2.4. Recirculation des eaux traitées

Après traitement, une grande partie des eaux peut être réutilisée dans le circuit de flottation, ce qui réduit la consommation totale d'eau et limite les rejets dans l'environnement.

: Étapes de traitement et équipements associés

Étape	Équipement utilisé	Objectif principal
Neutralisation	Réacteur de neutralisation (chaux)	Ajustement du pH et précipitation des métaux
Floculation	Mélangeur avec ajout de polymères	Agglomération des particules fines
Décantation	Bassin de décantation	Séparation solide/liquide
Filtration	Filtres à sable et charbon actif	Élimination des résidus restants
Recirculation	Réservoir de stockage	Réutilisation de l'eau traitée

3. Gestion des boues résiduelles

Les boues extraites après traitement doivent être épaissies puis déshydratées. Elles sont ensuite stockées dans des bassins étanches doublés de géomembranes. Un suivi régulier est nécessaire pour éviter toute fuite ou infiltration dans le sol.

4. Réduction à la source des impacts

L'utilisation de réactifs biodégradables ou à faible toxicité est fortement recommandée. L'optimisation des dosages et la récupération partielle des réactifs permettent également de minimiser la pollution générée.

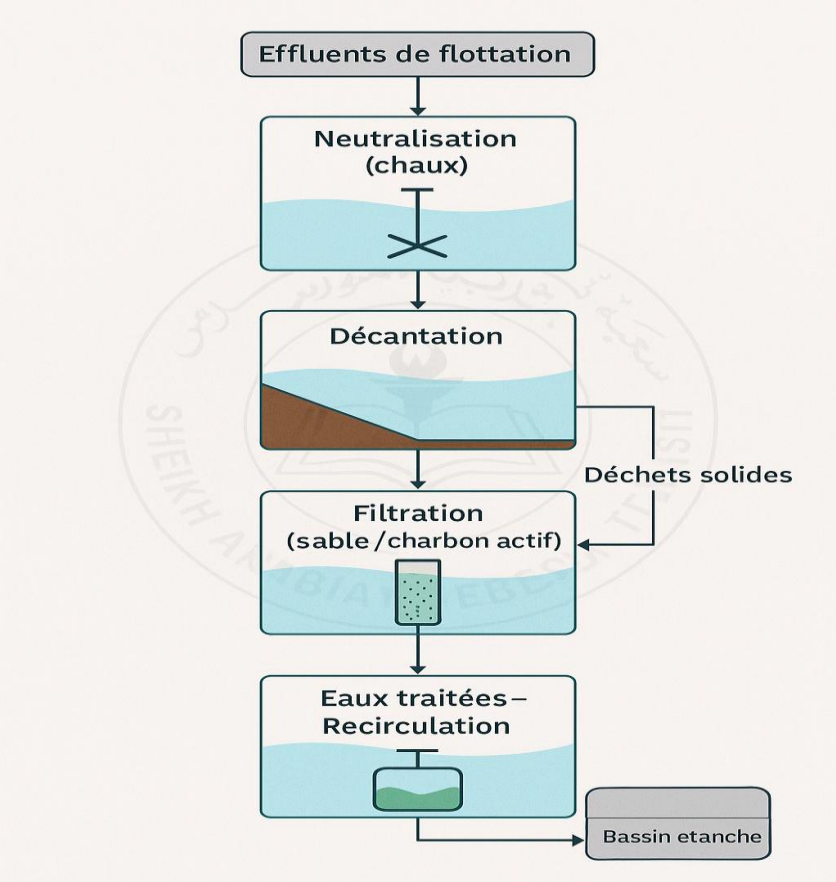
5. Adaptation aux conditions climatiques de Tamanrasset

Le climat aride impose des mesures de protection contre l'évaporation excessive des bassins. L'étanchéité doit être renforcée et la compacité des installations maximisée pour limiter l'empreinte environnementale.

6. Exemple de procédé de traitement

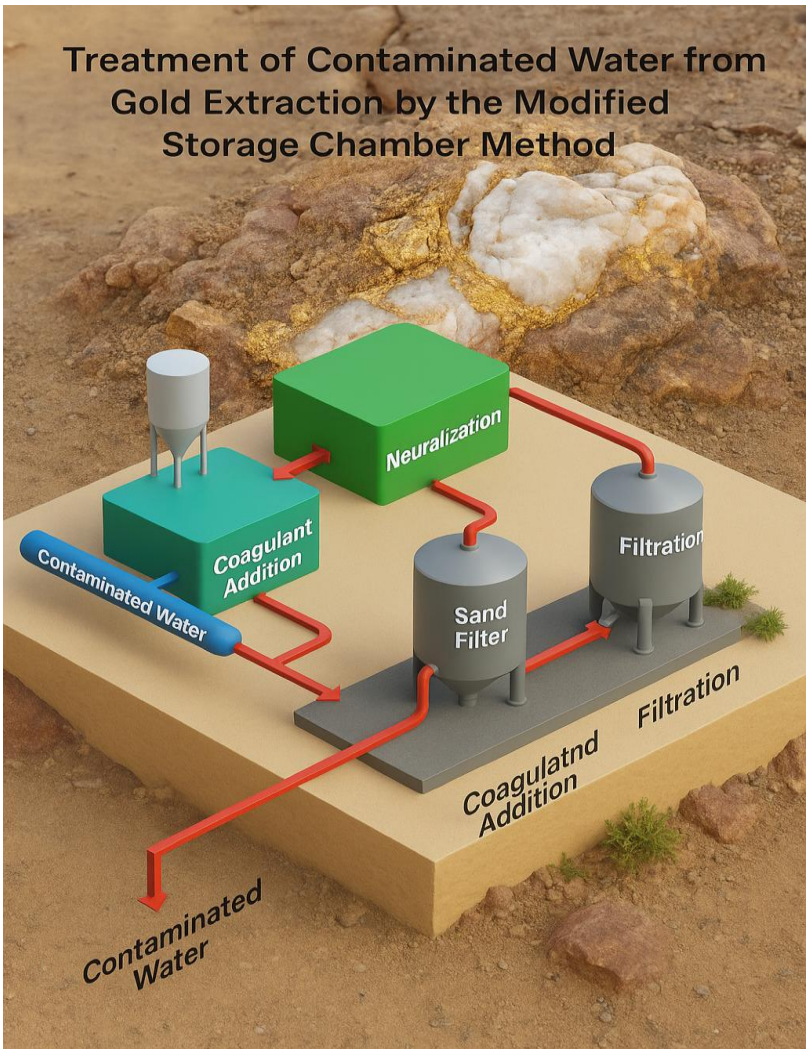
Voici un schéma simplifié du traitement des eaux usées dans une unité de flottation :

Schéma du procédé de traitement des eaux usées dans une unité de flottation :



7. Conclusion et recommandations

La mise en œuvre de systèmes de traitement efficaces et adaptés aux conditions climatiques locales est essentielle pour garantir la durabilité de l'exploitation aurifère à Tamanrasset. Un contrôle régulier, une optimisation des réactifs et une gestion rigoureuse des boues permettront de limiter les impacts environnementaux.



Conclusion et recommandation

L'exploitation minière du gisement se fait par de succession des étapes distincte, dont chaque étape est réalisée par un service dépendant les uns aux autres (géologie, mine, laboratoire, Procès …)

En générale le gisement d'Amesmessa est très compliquée, ils sont constituées par de minces filons ou représentés par des zone minéralisées des moyennes importances avec une longueur de quelques cm, et donc la puissance des corps minéralisées est probablement est réduit. D'où la difficulté lors de l'abattage et ce pour suive les autres étapes, et enfin l'exploitation il va y avoir des problèmes sur le terrain et d'autres technique et gestionnaires, qui vont empêcher la production d'or.

La fondation est actuellement à la recherche d'un partenaire très expérimenté dans le domaine des mines précisément dans le domaine de l'exploitation souterrain afin de recycler la roue de l'activité de l'institution. Ils ont déjà atteint les limites de l'exploitation à ciel ouvert et maintenant l'entreprise mène des études afin de recueillir suffisamment d'information pour déterminer la manière ésotériques dont les travaux seront réalisés.

L'ancien associe australien a suggéré avant de mettre fin à son partenariat que le processus d'extraction souterrain se fasse a la manière d'un chambre magasin

Actuellement, le processus de recherche d'un partenaire expérimenté et compétent, ainsi que le processus d'étude du domaine afin de déterminer la façon dont les travaux seront réalisés, demeurent la principale préoccupation des dirigeants de l'ENOR

D'après la présentation de l'étude et l'état d'exploitation des gisements aurifères d'Amesmessa et de Tirek, nous pouvons avancer ce qui suit :

Dans le premier palier de l'exploitation des deux gisements, l'application de la méthode d'exploitation à ciel ouvert est recommandée vue, la morphologie du des filons qui affleurent en surface et cela nécessite la méthode à ciel ouvert ECO.

Cette méthode est applicable actuellement à une profondeur de plus de 100 mètres, au-delà de cette profondeur, la largeur de la plate forme inférieure est très réduite et cela ne permet pas l'approfondissement plus.

Avec cette plate forme réduite, l'utilisation des équipements performants est à revoir.

-l'élargissement des bords inexploitables ne présente pas des avantages car le temps de préparation des nouveaux contours des carrières est très important.

-Envisager avec la profondeur des filons d'or qui atteigne plus de 400 mètres avec une inclinaison forte, nous pouvons recommander ce qui suit :

Une méthode d’exploitation souterraine qui répond aux critères des deux gisements (techniquement, économiquement et organisationnelle ment).

Choisir une méthode d’exploitation adéquate pour les gisements aurifères filoniens.

Une présentation de la méthode d’exploitation souterraine par chambre magasin est utile et répond aux conditions minières des gisements et de la région.

Une présentation des schémas de traitement détaillé ainsi que la partie impacts sur l’environnement.

En recommandations

Mettre à la disposition des candidats chercheurs dans le domaine, les données nécessaires à l’élaboration et aux traitements des problèmes d’actualité.

Détenir une technologie et un savoir-faire avérés dans le développement et l’exploitation des mines d’or ainsi que dans le traitement du minerai aurifère et la récupération de l’or métal .

Les annexes

Fiche Technique du Projet de la Mine de Tirek

Localisation

La mine de Tirek est située dans la wilaya de Tamanrasset, au sud de l'Algérie, dans le massif du Hoggar.

Historique

Le gisement d'or de Tirek a été découvert au début des années 1970, et le développement de la mine a commencé en octobre 1998.

Géologie

Le gisement de Tirek est localisé le long d'une grande zone de cisaillement lithosphérique orientée nord-sud, séparant le bloc archéen d'In Ouzzal à l'ouest d'un bloc protérozoïque à l'est. Cette zone de cisaillement majeure, un décrochement dextre tardi-panafricain, est constituée de protomylonites, mylonites et ultramylonites.

On distingue trois types de filons dans le gisement :

- **Filons NE-SW** : moins abondants, mais renfermant le plus de minéralisations aurifères.
- **Filons N-S** : les plus dominants et riches en or.
- **Filons E-W** : les plus tardifs, non déformés et très pauvres en or.

Les filons prédominants et les plus riches sont orientés N-S à N 50°, encaissés dans des roches mafiques, ultramafiques ou granitiques, et localement dans les ultramylonites dérivées des roches archéennes.

Ressources et Réserves

Les réserves de la mine de Tirek sont estimées à 730 000 tonnes de minerai, avec une teneur moyenne de 18 grammes d'or par tonne, soit environ 13,14 tonnes d'or.

Exploitation

La mine de Tirek est exploitée par l'Entreprise Nationale d'Exploitation des Mines d'Or (ENOR). Elle a débuté sa production en juillet 2001, constituant ainsi la première industrie minière aurifère en Algérie, avec une capacité de production avoisinant 60 kg de doré par mois. Les lingots d'or bruts produits sont d'environ 22 carats.

Partenariats et Développements

En 2002, l'ENOR a conclu un partenariat stratégique avec la firme australienne Gold Mining of Algeria (GMA), ce qui a permis d'augmenter le capital social de l'entreprise et de se concentrer sur son développement. En avril 2006, des actions détenues par d'autres actionnaires ont été cédées à SONATRACH SPP, donnant à l'entreprise une plus grande réactivité et rapidité dans la prise de décisions.

Ressources Humaines

Les effectifs de l'ENOR avoisinent les 600 employés, dont 90 % sont concentrés dans la wilaya de Tamanrasset, répartis entre les sites de Tirek et Amesmessa. L'entreprise considère ses

ressources humaines comme la composante clé de sa performance et de sa productivité, et met en œuvre des programmes de recrutement et de formation pour renforcer ses équipes.

La mine de Tirek représente une composante essentielle du secteur minier aurifère en Algérie, contribuant au développement économique de la région du Hoggar et à la valorisation des ressources naturelles du pays.

Fiche Technique du Projet de la Mine d'Amesmessa

Localisation

- La mine d'Amesmessa est située dans la wilaya de Tamanrasset, au sud de l'Algérie, dans le massif du Hoggar.
- Coordonnées approximatives : 22° 47′ N, 4° 35′ E.
- Elle se trouve à environ 60 km au sud de la mine de Tirek.

Historique

- Découverte dans les années 1970.
- Développement et exploitation initiés dans les années 2000.
- Production industrielle d'or commencée en janvier 2008.

Exploitation et Gestion

- Exploitée par **l'Entreprise Nationale d'Exploitation des Mines d'Or (ENOR)**.
- Exploitation à ciel ouvert et souterraine.
- Usine de traitement du minerai par **cyanuration** et procédé **CIL (Carbon-In-Leach)**.

Réserves et Ressources

- Réserves estimées à **2,5 millions de tonnes de minerai**.
- Teneur moyenne en or : **18 g/t** (grammes par tonne).
- Production potentielle : plusieurs tonnes d'or sur la durée de vie de la mine.

Infrastructure et Équipements

- **Base vie** capable d'accueillir environ 280 employés.
- **Groupe électrogène** pour assurer la production d'énergie.
- **Équipements de concassage, broyage et lixiviation** pour le traitement du minerai.

Enjeux Environnementaux

- Située dans une zone désertique, loin des nappes phréatiques, minimisant le risque de contamination des ressources en eau.
- Traitement des résidus miniers et gestion des déchets selon les normes environnementales.

Partenariats et Investissements

- Partenariats avec des entreprises internationales pour le développement et l'optimisation de l'exploitation.
- Modernisation et augmentation de la capacité de production en cours.

La mine d'Amesmessa joue un rôle clé dans le développement de l'industrie aurifère algérienne et contribue à la valorisation des ressources minières du pays.

Roches de quartz







Roche de plomb

Roches de quartz riche en cuivre





Roches de quartz bien cristallise











Références bibliographiques

- [1]1US Dept of State Geographer 2010 – Google
- [2] internet
- [3] rapport de stage de SAAD Warda et MOUISSI MOUMBOLO, 2011
- [4] rapport de stage de Kourim Abd El kader, 2010
- [5] les données de l'ENOR
- [6] thèse de doctorat de nefis mouloud Etude d'un modèle de mesure de la fragmentation par le tir
- [7] rapport de Mark Owen Le projet aurifère d'Amesmessa et Tirek, Algérie Décembre 2012
- [8] mémoire de magister de bagui mokhtar Contribution à l'étude des filons aurifères d'Amesmessa (Hoggar Occidental)
- [9] Aharony A., Levi A., Englman R., and Jaeger Z., 1986. "Percolation Model Calculations of Fragment Properties," in Fragmentation, Form and Flow in Fractured Media, ed., R. Englman and Z. Jaeger
- [10] Les donner de ORGM