



Université Abderrahmane Mira - Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master

Option : Exploitation des Mines

Présenté par

Santos Junior Fernando

Khellas Nassiba

Thème

*Etude et analyse des conditions d'exploitation du
gisement de baryte de Koudiat Safia (W. Médéa)*

Soutenu le : 19/09/2024 devant le jury composé de :

Président	Dr LARACHI Nassim	MCB	U.A.M.Bejaia
Examineur	Dr MAZARI Messaoud	MCB	U.A.M.Bejaia
Encadreur	Dr AYADEN Brahim	MCB	U.A.M.Bejaia
Co-encadreur	Dr DJEZAIR Omar	MCB	U.A.M.Bejaia

Promotion : 2023-2024

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude profonde à Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce mémoire et réaliser nos objectifs.

On désire adresser, un grand merci pour :

- ❖ *Notre encadreur Mr. AYADEN Brahim pour avoir accepté de nous encadrer, pour son aide précieuse, ses remarques pertinentes, sa patience, sa disponibilité, et surtout ses conseils judicieux ;*
- ❖ *Tous les enseignements de département de Génie Minier, et notre respect au président de jurys et membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail ;*
- ❖ *Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères.*

Par : Santos junior Fernando et

Khellas Nassiba

Dédicace

- ❖ *Je dédie ce modeste travail en première lieu à mes chers parents qui ont sacrifié toute leur vie pour faire de moi ce que je suis en ce moment.*
- ❖ *A ma chère grand-mère Helena Cá qui nous a quittés que son âme repose en paix*
 - ❖ *A mes frères*
 - ❖ *A toute ma famille*
 - ❖ *A tous mes ami(e)s*
- ❖ *A tous mes collègues de classe sans oublier mon binôme Khellas Nassiba*
- ❖ *A tous les membres de département et la promotion de génie minier.*

Santos Junior Fernando

Dédicace

Grace à Allah qui ma aider de terminer mon travaille je remercie ma mère et mes sœurs

❖ Dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive ;

❖ A mon père décédé j'aurais aimé que vous soyez avec moi et que vous me souteniez ;

❖ A mes chers copines Chirez Monira et Milissa Sabrina pour vos soutenir mes chers collègues amine, Anis ,Rahim Yacine et bien sûr sans oublier mon binôme Santos Junior Fernando.

Khellas Nassiba

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

cycle minier

I.1. Introduction	3
I.2. Différentes étapes d'un cycle minier.....	3
I.2.1. Géologie et exploration minière :	4
I.2.1.1. Cibles potentielles pour l'exploration	5
I.2.1.2. Méthodes d'exploration	5
I.2.2. Exploitation minière :	6
I.2.2.1. Exploitation à ciel ouvert.....	7
I.2.3. Traitement des minerais.....	9
I.2.4. Gestion conventionnelle des rejets miniers	9
I.2.5. Fermeture de la mine et réhabilitation du site minier	10
I.3. Les conditions d'exploitation d'un gisement	11
I.4. Validation et mis en production	12
I.4.1. Rapport d'exploitation.....	12
I.4.2. Le développement.....	12
I.5. Conclusion.....	15

Chapitre II

Présentation de gisement de Koudiat Safia

II.1. Introduction	16
II.2. Propriétés fondamentales de la Barytine.....	16
II.3. Production mondiale de la baryte	17
II.4. La consommation de la baryte.....	18
II.4.1. Au niveau national	18
II.4.2. Au niveau mondial	18
II.5. Les réserves de la baryte	18
II.5.1. Les réserves de la baryte au niveau national.....	18
II.5.2. Les réserves de la baryte au niveau mondiale.....	19
II.6. Gisement de baryte de Koudiat Safia	19
II.6.1. Localisation du site	19

II.6.2. Géologie régionale.....	21
II.6.2.1. Lithostratigraphie.....	22
II.6.2.2. Magmatisme	23
II.6.2.3. Tectonique.....	24
II.6.3. Géologie du gisement.....	24
II.6.3.1 Stratigraphie	24
II.6.3.2 Structure du gisement	26
II.6.3.3. Morphologie de gisement	28
II.6.3.4 Genèse du gisement.....	29
II.6.3.5. Caractéristiques chimiques du minerai de Koudiat Safia	30
II.6.3.6. Étude minéralogique	31
II.7. Analyse sur le site	32
II.7.1. Analyse semi-quantitative sur l'échantillon.....	32
II.7.2. Analyse chimique.....	32
II.7.2. Analyse physique.....	33
II.8. Conclusion.....	33

Chapitre III

Étude d'exploitation de Koudiat Safia

III.1. Introduction	34
III.2. Objectifs de production	34
III.2.1. Minerais tout-venant.....	34
III.3. Organisation de l'exploitation.....	35
III.3.1. Méthode d'exploitation	35
III.3.2. Rapport de découverte.....	35
III.3.3. Organisation du travail.....	36
III.3.4. Travaux d'ouverture de la carrière	37
III.3.5. Organisation de l'abattage	37
III.3.5.1. Fragmentation des roches.....	38
III.3.5.2. Géométrie du front de taille	39
III.3.5.3. Le diamètre et la profondeur des trous de mine.....	39
III.3.5.4. La maille des trous des mines.....	40
III.3.5.5. Choix des explosifs et consommation	41
III.3.5.6. Composition des charges en (kg)	43
III.3.5.7. Capacité et organisation de foration	43
III.3.5.8. Organisation du chargement et du tir à l'explosif	44

III.4. Organisation de chargement et de roulage	45
III.4.1. Calcul des besoins de chargement	45
III.4.2. Capacité de transport	46
III.4.3. Organisation du chargement et du roulage	46
III.3.1. Inconvénient	46
III.5. Planning d'exploitation.....	48
III.6. Besoins en personnel	49
III.6.1. Abattage, travaux préparatoires, terrassements	49
III.6.2. Chargement et roulage.....	50
III.6.3. Maintenance de chantier	50
III.6.4. Sécurité	50
III.7. Transport et entreposage des explosifs.....	50
III.8. Mesures de réhabilitation du site après la fermeture de la mine.....	51
III.9. Conclusion.....	51

Chapitre IV

Étude technico-économique et environnemental de projet minier

IV.1. Introduction	52
IV.2. Évaluation d'un projet minier	52
IV.2.1. Évaluation économique préliminaire (conceptuelle)	52
IV.2.2. Étude préliminaire de faisabilité	53
IV.2.3. Étude de faisabilité.....	53
IV.3. Caractéristiques économiques et aléas affectant les projets miniers	54
IV.4. Les phases du projet minier	55
IV.5. Étude économique de gisement de Koudiat Safia	57
IV.5.1. Estimation des investissements	57
IV.5.2. Infrastructure logistique	57
IV.5.3. Equipements et matériels de production.....	58
IV.5.4. Véhicule utilitaire	58
IV.5.5. Coûts d'exploitation.....	58
IV.5.5.1. Frais personnel.....	58
IV.5.5.2. Consommables.....	59
IV.5.5.3. Frais divers de gestion	59
IV.5.5.4. Amortissement.....	59
IV.5.5.5. Récapitulation des charges d'exploitation.....	60
IV.5.5.6. Prix de revient de l'extraction en carrière.....	60

IV.6. Etude d'impact sur l'environnement.....	60
IV.7. Types d'impact	61
IV.7.1. La qualité de L'impact.....	61
IV.7.2. Portée de l'impact	62
IV.7.3. Durée de l'impact.....	62
IV.8. Méthode d'évaluation des impacts sur l'environnement.....	63
a) L'impact de l'exploitation d'une carrière sur l'environnement	63
b) Impacts socio-économiques	64
c) Impacts sur les ressources en eau (impacts hydrogéologiques)	64
d) Impacts hydrologiques	64
e) Impacts biologiques (la faune et la flore).....	65
f) Impacts sur l'atmosphère	65
g) Impacts sur le paysage	66
h) Impact sur les infrastructures.....	66
i) Impact des bruits et vibrations.....	66
IV.9. Conclusion.....	66
Conclusion générale	67

Liste des figures

Fig. I.1. Étapes d'un cycle de développement minéral.....	4
Figure I.2. Schéma d'exploitation par fosse.....	8
Fig.II.1. Production mondiale de baryte	17
Fig.II.2. Situation du gisement de Koudiat Safia (image de Google earth).	20
Fig.II.3. Situation géographique du gisement de Koudiat Safia (extrait de la carte topographique au 1/50 000 de Berrouaghia (N° 110).	20
Fig.II.4. Carte géologique de Berrouaghia Médéa.	21
Fg.III.1. Schéma de planning d'exploitation de première variante.	48
Fig.III.2. Schéma de planning d'exploitation de deuxième variante.....	49
Fig.IV.1. Les principales phases d'un projet minier.	57

Liste des tableaux

Tableau.II.1. Les propriétés fondamentales de la Barytine.....	16
Tableau.II.2. La consommation mondial de la baryte en 2017.....	18
Tableau.II.3. Les réserves mondiales de la baryte en 2019.	19
Tableau.II.4. Coordonnées du périmètre de gisement de Koudit Safia	19
Tableau.II.5. L'analyse semi-quantitative.....	32
Tableau.II.6. L'analyse chimique prélevée.....	32
Tableau.III.1. La maille de trous des mines.....	41
Tableau.III.2. Composition des charges en (kg).....	43
Tableau.III.3. Capacité et organisation de foration.....	43
Tableau.III.4. La capacité des pelles étant en rapport avec celle de leur godet.....	45
Tableau.III.5. Besoins en personnel.....	49
Tableau.III.6. Abattage, travaux préparatoires, terrassements.....	49
Tableau.III.7. Chargement et roulage.	50
Tableau.III.8. Maintenance de chantier.	50
Tableau.III.9. sécurité.	50
Tableau.IV.1. Infrastructure logistique.....	57
Tableau.IV.2. Equipements et matériels de production.....	58
Tableau.IV.3. Véhicule utilitaire	58
Tableau.IV.4. Frais personnel.....	58
Tableau.IV.5. Consommables.....	59
Tableau.IV.6. Explosifs et substances explosives	59
Tableau.IV.7. Les hypothèses d'amortissement.	59
Tableau.IV.8. Les amortissements annuels.....	60
Tableau.IV.9. Récapitulation des charges d'exploitation.....	60

Liste d'abréviations

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CAPEX : Capital Expéditeur

D.G.S.N : Direction Générale de la Sûreté Nationale

DMA : Drainage Minier Acide

EIE : Etude D'impact sur Environnementale

ENOF : Entreprise Nationale des produits miniers Non-Ferreux et des substances utiles

MCO: Mine à Ciel Ouvert

US: United State

USGS: United States Geological Survey

Ba: Barytine

S: Sulfate

O: Oxygene

Pb: Plomb

DA : Dinar Algerian

g : Gramme

mm : Millimètre

m : Mètre

m³ : Mètre cube

Mn : Minute

Mt : Million tonne

Kg : Kilogramme

Km : Kilomètre

T : tonne

µm : Micro mètre

β: Teneur

γ: Rendement

Introduction générale

Introduction générale

La barytine est un minéral composé de sulfate de baryum (BaSO_4) qui a trouvé une large utilisation dans l'industrie depuis le milieu du siècle dernier. Aujourd'hui elle est utilisée principalement par l'industrie chimique elle sert particulièrement dans la fabrication des dérivés de baryum, tels les carbonates, chlorures, oxydes, hydroxydes, peroxydes, nitrates et sulfates de baryum ; métallurgique, l'oxyde de baryum permet d'améliorer le rendement du four électrique. Le chlorure de baryum est utilisé comme durcisseur d'acier et de fondant de soudure.

La barytine se caractérise par une densité élevée qui varie de 4,2 à 4,6 ; une dureté faible, de 2,5 à 3,5 selon l'échelle de Mohs ; un point de fusion élevé ($1\ 580\ ^\circ\text{C}$), une neutralité chimique, grâce à ses propriétés particulières, elle est utilisée comme charge minérale dans une grande variété de produits dont les peintures, le papier, le verre, le caoutchouc, les plastiques, les matériaux de friction ainsi que les barrières de protection contre le rayonnement.

A cet effet, l'industrie minière dans notre pays s'occupe de l'exploitation de ce minerai retrouvé dans plusieurs gisements disposant d'importantes réserves en Barytine dont nous citons parmi ces gisements le gisement de Drissa à Béchar, le gisement d'Ichmoul (W.Batna) et le gisement de Boucaïd (Tissemsilt), ainsi que le gisement de Koudiat Safia (w) Médéa.

Selon l'étude effectuée sur gisement de baryte de Koudiat Safia, les résultats d'analyses chimiques effectuées sur les échantillons ont montré des teneurs en BaSO_4 variant entre 60% et 80%. La teneur moyenne du corps Est est de 56,70%. La présence de silice dans le minerai est considérée comme faible.

L'exploitation du gisement de barytine de Koudiat Safia repose actuellement sur des données économiques anciennes, datant de 1980. Or, les conditions techniques et économiques ont considérablement évolué depuis, ce qui rend nécessaire une réévaluation actualisée. Ainsi, la présente étude vise à réaliser une analyse technico-économique de l'exploitation du gisement, en tenant compte des paramètres actuels du marché, des coûts d'exploitation modernes et des technologies disponibles.

Afin d'atteindre notre objectif, nous avons structuré notre travail en quatre chapitres principaux, précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion.

- **Le premier chapitre** présente les généralités sur les différentes étapes de l'exploitation des gisements miniers, en posant les bases théoriques nécessaires à la compréhension du projet.
- **Le deuxième chapitre** est dédié à la présentation du gisement de barytine de Koudiat Safia, avec une description de sa situation géographique, géologique et historique.
- **Le troisième chapitre** traite de l'étude de l'exploitation minière du site, en mettant l'accent sur les méthodes d'extraction envisagées, les choix techniques et les contraintes du terrain.
- **Le quatrième chapitre** aborde les aspects technico-économiques et environnementaux du projet, en évaluant la rentabilité de l'exploitation ainsi que son impact potentiel sur l'environnement.

Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les résultats obtenus et proposer des perspectives pour d'éventuels travaux futurs.

I.1. Introduction

De la découverte du gisement jusqu'à la production du métal, les démarches mise en œuvre sur un site minier peuvent se dérouler en plusieurs étapes. À savoir, la recherche, l'exploitation minière, ainsi que la fermeture et la remise en état des lieux.

L'exploitation des gisements minéraux se pratique sous une forme ou une autre dans presque tous les pays du monde ; les activités minières ont des répercussions importantes sur l'économie, l'environnement, l'emploi et la vie sociale ou des régions où elles ont leur siège.

I.2. Différentes étapes d'un cycle minier [4]

La mise en place d'un projet minier passe par un processus qui peut aller de dix à quinze ans. L'exploitation d'une mine s'aligne sur une série de phases à franchir, de la découverte à la fermeture de la mine. Un cycle de développement minéral passe par six phases essentielles à savoir : la prospection, l'exploration, l'aménagement et la production, la fermeture, la restauration et le suivi environnemental (fig.I.1).

Le cycle minier regroupe quatre phases essentielles à savoir :

- Prospection et exploration pour l'identification des sites exploitables et étude de faisabilité du point de vue technique, financier et environnemental (+ 5ans) ;
- Aménagement et construction des infrastructures minières (exemple : usines, bureaux, puits, descenderie) incluant la préparation et le développement de la mine (5 à 10 ans) ;
- Exploitation minière (extraction du minerai et traitement) ;
- Fermeture lors de l'épuisement du minerai ou de la chute des prix des métaux et la restauration suivant des scénarios respectant l'environnement.

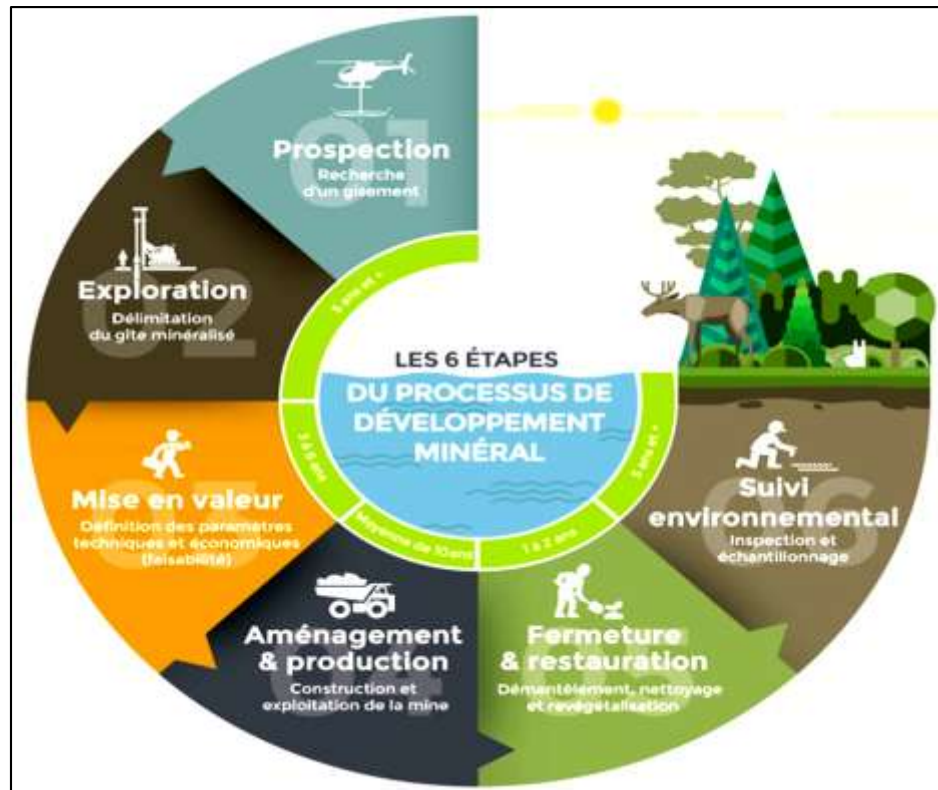


Figure. I.1. Étapes d'un cycle de développement minéral. [4]

I.2.1. Géologie et exploration minière

L'étape est caractérisée par la cartographie géologique de la zone d'étude. Cette phase permet d'évaluer la ressource découverte par la compagnie minière, par la suite une campagne de forage sera mise en place pour mieux définir le gisement en question.

Le coût engendré par l'exploration et la construction des infrastructures peut aller jusqu'à 10 % du coût total du projet. Une telle exploration ne peut pas se faire sans avoir un titre d'exploration permettant de donner à son titulaire de rechercher toutes les matières minérales existantes.

L'évaluation de la ressource doit être couplée avec les paramètres économiques pour avoir une idée à propos de :

- La disponibilité du minerai en quantité suffisante liée aux travaux de la géologie ;
- La rentabilité du projet minier suivant une méthode d'exploitation.

Selon ces deux points, la compagnie minière peut investir dans la phase du développement ou elle sous-traite son projet pour une autre entreprise minière.

L'approche relative lors des travaux d'exploration se base sur l'évaluation d'un certain nombre d'échantillons jugés représentatifs du minerai. La raison commune à cette approche qu'elle est liée au nombre insuffisant d'échantillons et à des essais potentiellement inappropriés, et généralement elle ne tient pas en compte, la variabilité du gisement. La géométallurgie classique est une collaboration entre la géologie et la minéralogie permettant de comprendre la structure et les caractéristiques géométriques du gisement. L'arrivée de la géométallurgie moderne qui se base sur la caractérisation environnementale et les modèles géoenvironnementaux, permet de fonder de bonne stratégie pour l'exploitation du minerai et la gestion des rejets générés en surface ou sous terre. [4]

I.2.1.1. Cibles potentielles pour l'exploration

- Recherche de zones minéralisées : Identifier les zones où des concentrations significatives de sulfures ont été observées précédemment. Cela peut inclure des sites historiquement exploités ainsi que des zones adjacentes où des indices géologiques similaires ont été repérés.
- Étude de la géologie régionale : Examiner les structures géologiques majeures, en particulier les failles, les fractures et les discordances entre les formations paléozoïques et mésozoïques. Ces zones sont souvent des sites propices à la concentration de minéralisations sulfurées.
- Cartographie géophysique et géochimique : Utiliser des techniques de cartographie géophysique telles que la magnétométrie, la sismique réflexion, la gravimétrie pour identifier les anomalies structurales et les variations de densité du sous-sol. - Réaliser des études géochimiques des échantillons de surface pour détecter la présence de minéraux indicateurs et pour déterminer la signature chimique des fluides associés aux gisements.

I.2.1.2. Méthodes d'exploration

- Forages stratégiques : Effectuer des forages exploratoires à des profondeurs ciblées en fonction des informations géologiques préalables. Cela permettra de prélever des échantillons pour des analyses approfondies et de caractériser la minéralisation en profondeur.
- Imagerie par drone et cartographie détaillée : Utiliser des drones pour réaliser une imagerie haute résolution des zones identifiées, ce qui permettra une cartographie détaillée des structures géologiques et des altérations visibles en surface.
- Géochimie de surface : Effectuer des analyses géochimiques sur des échantillons de sols, de roches et de sédiments prélevés à diverses profondeurs pour évaluer la présence de

minéraux indicateurs et pour déterminer les signatures chimiques potentielles des fluides associés aux gisements.

- Géophysique avancée : Utiliser des méthodes géophysiques avancées telles que l'électromagnétisme, la tomographie électrique ou la spectrométrie gamma pour détecter les variations de conductivité électrique, de résistivité ou de radioactivité qui pourraient indiquer la présence de minéralisations sulfurées en profondeur.
- Modélisation 3D et interprétation géologique : Intégrer toutes les données recueillies dans des modèles 3D pour une interprétation géologique détaillée, permettant de mieux comprendre la distribution spatiale des minéralisations et des structures associées.

En combinant les forages ciblés, la cartographie géophysique, la géochimie de surface et les techniques d'imagerie, cette approche holistique offre une vision complète et précise des caractéristiques géologiques et minéralogiques du gisement. Cette approche stratégique permet d'optimiser l'allocation des ressources en concentrant les efforts sur les zones les plus prometteuses, réduisant ainsi les coûts et les délais tout en maximisant les chances de succès. Les données collectées à travers ces différentes méthodes permettront une interprétation plus fiable de la géologie et des caractéristiques minéralogiques du site, aidant ainsi à orienter efficacement les décisions d'exploration et de développement futurs. Une telle campagne d'exploration approfondie permettra de mieux évaluer la viabilité économique potentielle de l'exploitation minière, en fournissant des informations cruciales sur la quantité, la qualité et la localisation des minéralisations.

En somme, cette approche intégrée et multidisciplinaire offre une stratégie robuste pour explorer et évaluer de manière détaillée les gisements de minéralisations sulfurées, en fournissant des données précises et fiables pour une éventuelle exploitation économique tout en minimisant les risques associés à l'exploration minière.

I.2.2. Exploitation minière

L'extraction et l'exploitation d'un corps minéralisé se font souvent par deux manières distinctes à savoir : une extraction à ciel ouvert et une autre souterraine. La profondeur du corps exploité, la trace marquée à la fin de l'exploitation et le coût à investir sont les facteurs qui contrôlent le choix du type de la mine à mettre en place :

- La profondeur du corps exploité : une mine à ciel ouvert est recommandée pour les gisements les plus près de la surface topographique ;

- La trace marquée à la fin de l'exploitation : l'objet réside dans la minimisation de l'impact environnemental qui sera produit lors de l'exploitation.
- Le coût à investir : la disponibilité d'un grand tonnage du mort terrain lors de l'opération de décapage demande des coûts importants, c'est pour cela qu'une mine souterraine est privilégiée.

1.2.2.1. Exploitation à ciel ouvert [3]

L'exploitation d'une mine à ciel ouvert, souvent abrégée MCO ou "open pit" en anglais, implique l'extraction du minerai à partir d'une excavation réalisée à la surface, après le retrait des matériaux stériles qui le recouvrent.

L'exploitation à ciel ouvert à des dimensions importantes en largeur et longueur par rapport à sa profondeur.

Pour mener à bien ces opérations, des engins de chantier de grande taille et peu courants dans d'autres secteurs industriels sont généralement nécessaires, tels que des pelles, des roues-pelles, des draglines, des tombereaux et des foreuses.

Dans toute exploitation en MCO (Mine à Ciel Ouvert), plusieurs étapes sont nécessaires :

- ❖ **Décapage** : Retrait des terrains superficiels pour exposer les niveaux à exploiter, incluant la terre végétale et les roches stériles.
- ❖ **Abattage** : L'abattage peut être réalisé à l'explosif ou de manière mécanisée.
 - ✓ Utilisation d'explosifs : Foration préalable suivie de tirs de mine pour disloquer le massif rocheux.
 - ✓ Abattage mécanique : Utilisation de pelles spécifiques pour extraire en continu les roches tendres.
- ❖ **Chargement** : Déblaiement des roches abattues, soit par des pelles sur chenilles ou des chargeuses frontales après un tir à l'explosif, soit simultanément avec l'abattage continu par des pelles.
- ❖ **Transport** : Déplacement des roches déblayées vers la zone de traitement, généralement effectué par des tombereaux ou des bandes transporteuses, parfois sur de longues distances par voies ferrées. Ces étapes permettent d'assurer un processus efficace d'extraction minière à ciel ouvert.

Il existe généralement deux types d'exploitations à ciel ouvert en fonction de la disposition des zones minéralisées :

- L'exploitation en découverte, appliquait lorsque le gisement est stratiforme, peu profond et s'étend sur une grande surface horizontale.
- L'exploitation en fosse, qui est utilisé lorsque le gisement s'enfonce dans le sous-sol avec une extension latérale limitée.

1. Exploitation en Fosse

Cette méthode est utilisée pour extraire du minerai enfoui dans des roches dures, qu'il soit dispersé ou sous forme de veines profondes avec une extension latérale limitée. Elle est adaptée aux filons, aux couches à forte inclinaison et aux gisements en amas. Dans ce type d'exploitation, la fosse est creusée pour englober tout le volume du minerai. Les débris stériles sont transportés hors de la fosse et stockés, parfois pour reboucher le trou ultérieurement. Pour des raisons de sécurité, les parois de la fosse doivent avoir une inclinaison horizontale comprise entre 30 et 70 degrés. Cependant, le coût de l'extraction augmente rapidement avec la profondeur, car plus la fosse est profonde, plus elle s'élargit, ce qui impacte considérablement les coûts et diminue l'intérêt économique de cette méthode. [3]

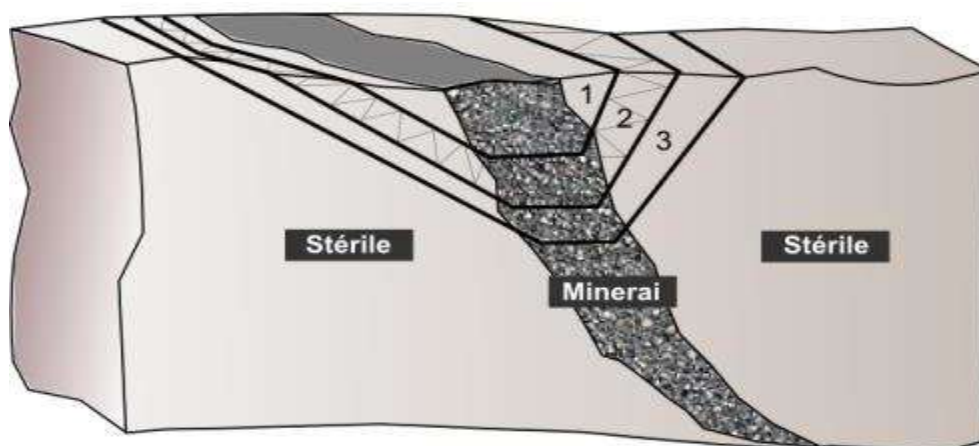


Figure I.2. Schéma d'exploitation par fosse. [3]

2. Exploitation en découverte

La méthode des tranchées est utilisée pour découvrir ou exploiter des gisements minéraux en surface. Elle consiste des tranchées pour exposer les couches de minerai ou les formations géologiques ciblées. Cette approche est souvent utilisée dans les premières phases de prospection ou lorsque les gisements sont peu profonds ou dispersés sur de vastes zones.

A. Classification selon le mode de déplacement des roches de recouvrement au terril

Cette classification est basée sur les modes de déplacement des roches de recouvrement au terril. Sachant que le terril est par définition le lieu d'entassement de déblais stériles de forme

conique provenant de l'exploitation. En découverte les équipements utilisés pour déplacer les terrains de recouvrement prédéterminent les principaux paramètres de la méthode d'exploitation.

Dans l'exploitation à ciel ouvert, les techniques utilisées pour déplacer les matériaux de recouvrement influencent les paramètres clés de la méthode d'exploitation.

Ces paramètres incluent la hauteur et le nombre de gradins dans les stériles, la largeur des plates-formes de travail, le nombre de rampes de liaison pour le transport, le nombre de fronts de taille, ainsi que l'ordre et la cadence de progression des travaux.

De plus, ils déterminent la quantité de réserves mises à jour et préparées pour l'extraction.

I.2.3. Traitement des minerais

Dans certains gisements, le minerai présente une qualité suffisante pour subir un simple criblage. Parfois il doit être lavé, concassé et tamisé. Les qualités les plus nobles peuvent mériter un scheidage manuel (concentration d'un minerai par triage manuel, avec éventuellement concassage au marteau). Mais souvent le minerai nécessite une concentration par gravimétrie (jigs, milieux denses, tables), séparation magnétique ou flottation, pour augmenter la teneur en BaSO_4 et la densité correspondante. Ces opérations sont généralement effectuées à proximité des centres d'extraction. Les produits correspondants portent l'appellation de barytine primaire, La transformation qui suit est adaptée aux besoins des consommateurs. La barytine pour forages nécessite presque toujours un broyage très fin avant son application dans les boues. Ce broyage peut être réalisé sur le site de la mine ou ailleurs. Au cours du broyage, les meilleures qualités sont généralement mélangées avec des qualités inférieures pour aboutir à un produit normalisé.

La barytine pour charges sera valorisée en fonction de sa blancheur et de sa finesse. Certains produits subissent un blanchiment chimique. [14]

I.2.4. Gestion conventionnelle des rejets miniers [4]

Les rejets miniers réactifs posent des problèmes environnementaux majeurs, notamment à cause de l'oxydation des sulfures qui génère du drainage minier acide (DMA), polluant les eaux. Ces résidus sont stockés dans des parcs à résidus, mais des digues géotechniquement instables peuvent provoquer des ruptures catastrophiques. Pour prévenir le DMA, les résidus sont traités après leur dépôt, ce qui entraîne des coûts supplémentaires pour les compagnies minières, surtout en vue de la restauration des sites après leur fermeture. Dans les mines

souterraines, les piliers laissés pour la stabilité peuvent également s'oxyder, devenant une source significative de DMA.

Les haldes à stériles, constituées de stériles miniers déposés en empilement rocheux, présentent une granulométrie hétérogène et un indice de vide élevé, atteignant parfois des centaines de mètres de hauteur. Cette hétérogénéité engendre une ségrégation des matériaux fins et grossiers, compliquant le comportement hydraulique et géochimique. Le principal défi de ces structures est l'instabilité physique et chimique, influencée par des facteurs géométriques, topographiques, climatiques, et géotechniques.

Les résidus miniers, transportés sous forme de pulpe vers les parcs à résidus, posent des problèmes environnementaux liés à leur instabilité physique et chimique. L'instabilité physique est due à la saturation des matériaux, à leur lente consolidation et à leur faible conductivité hydraulique. L'instabilité chimique survient principalement lorsque les résidus sont exposés à l'air. Les principaux facteurs influençant l'instabilité physique comprennent la submersion des digues par des crues, l'érosion, le glissement des zones instables, et le risque de rupture des digues par liquéfaction. La sécurité des parcs dépend du mode de rupture, de la probabilité d'événements et du design des ouvrages.

I.2.5. Fermeture de la mine et réhabilitation du site minier [4]

La responsabilité environnementale d'une mine ne finit donc pas lors de l'épuisement des ressources minérales dans le site, mais elle continue jusqu'à la remise en état satisfaisante. La restauration est une phase du cycle minier dont le but est la remise du site minier à un état satisfaisant. La remise en état d'un site minier consiste à mettre en place un scénario permettant de limiter la lixiviation des éléments toxiques (As, Pb, ...) et des eaux contaminées potentiellement générées par les rejets miniers (Résidus, stériles, boues, ...).

La restauration du site minier est une phase pendant laquelle le scénario de restauration retenu (exemple utilisation d'une couverture monocouche ou multicouche à effet de barrière capillaire, recouvrement en eau et nappe phréatique surélevée est appliqué afin de remettre le site en état respectant les normes et les exigences environnementales. Notons aussi que les surfaces accumulant les rejets miniers lors de la fin d'exploitation doivent être restaurées et les effluents qui en découlent respectent les règlements applicables à l'échelle provinciale que fédérale à court et à long terme. À noter que cette phase peut commencer avant la fermeture du site, c'est-à-dire pendant les premières années d'exploitation. En effet, la restauration minière est actuellement intégrée dans le plan de planification avant le début de la phase

d'exploitation. Elle est aussi une étape de réflexion prise en compte par le service d'environnement d'une compagnie pour voir la faisabilité technique d'un tel design envers le coût de mise en place.

La fermeture consiste aussi au démantèlement des ouvrages installés lors de la phase de construction et d'aménagement en plus de la restauration des aires de dépôts des rejets miniers. Dans ce contexte, il est recommandé aux compagnies minières de mettre en place des méthodes de contrôle très efficace à long terme.

I.3. Les conditions d'exploitation d'un gisement

L'exploitation d'un gisement en Algérie est soumise à cadre réglementaire et légal spécifique, principalement régulé par la loi sur les hydrocarbures et d'autres textes législatifs. Voici un aperçu des principales conditions :

Législation sur les hydrocarbures : la loi nombre 05-07-2005, modifiée et complétée, réagit l'exploration et la production des hydrocarbures en Algérie. Elle établit les droits et obligations des opérateurs, ainsi que les conditions d'attribution des permis.

Contrats de partage de production (PSA) : les opérateurs doivent conclure des contrats avec l'état algérien souvent sous la forme de contrats de partage de production, qui définissent les modalités de partage des revenus, des couts et des responsabilités.

Permis d'exploitation : les entreprises doivent obtenir des permis d'exploitation délivrés par le ministère de l'énergie et des Mines. Ces permis sont attribués après une évaluation des propositions soumises par l'état.

Réglementations environnementales : les projets de l'exploitation doivent respecter les normes environnementales en vigueur, y compris la réalisation d'études d'impact environnemental.

Partenariat avec Sonatrach : dans de nombreux cas, les entreprises étrangères doivent s'associer avec Sonatrach, la société nationale des hydrocarbures, qui joue un rôle central dans l'exploitation et la production.

Régime fiscal : les opérateurs doivent se conformer à la législation fiscale applicable, qui peut inclure des impôts spécifiques sur les revenus générés par l'exploitation des hydrocarbures.

Respect des droits des travailleurs : les lois du travail algérienne doivent être respectées par l'garantissant des conditions des conditions de travail équitables pour tous les employés.

Engagements sociaux : les entreprises sont souvent tenues de contribuer au développement local et de respecter les engagements sociaux envers les communautés environnantes.

Il reste essentiel pour toute entreprise souhaitant exploiter un gisement en Algérie de bien comprendre ces réglementations et de collaborer avec des experts juridiques locaux pour naviguer dans la cadre légale complexe.

I.4. Validation et mis en production

La validation et la mise en production d'un gisement minier sont des étapes critiques qui marquent la transition de la phase d'exploration et de développement à l'exploitation à grande échelle. Ces étapes nécessitent une planification rigoureuse, des évaluations techniques approfondies, et la conformité aux réglementations.

I.4.1. Rapport d'exploitation

On entend par rapport d'exploitation la documentation relative à l'état de développement et d'exploitation d'un gisement au cours de sa vie économique, y compris les plans d'exploitation en cours. Il est généralement établi par l'exploitant de la mine.

Il tient compte de la quantité et la qualité des minéraux extraits pendant la période considérée, des changements survenus dans les quantités viables économiquement, du fait de variations des prix ou des coûts, de la mise au point de techniques appropriées, de nouvelles réglementations imposées, notamment pour la protection de l'environnement, et des données relatives à l'exploration menée pendant l'exploitation. Il décrit la situation actualisée du gisement et fournit un état détaillé, fidèle et à jour des réserves et ressources restantes.

I.4.2. Le développement

Cette étape est importante car elle consiste à déterminer la valeur potentielle d'un gîte minéral et sa rentabilité pour la société exploitante et la région ainsi qu'à construire une mine s'il y a lieu. L'aménagement d'une mine n'est entrepris que si le gisement est suffisamment grand et son exploitation assez rentable pour permettre le remboursement des coûts de construction (coûts en capital) et des coûts de production (ou d'exploitation). Divers facteurs influent sur la rentabilité d'un gisement, dont les suivants :

- ✓ Emplacement de la ressource ;
- ✓ Type de minéral et accès à des infrastructures (routes) ; par exemple, contrairement au peut être exploité de manière rentable dans une région éloignée qui compte peu d'infrastructures, en raison du prix élevé pour un faible volume de diamant ;

- ✓ Accessibilité de la ressource ;
- ✓ Volume de la ressource ;
- ✓ Valeur de la ressource ;
- ✓ Prix sur les marchés ;
- ✓ Distance par rapport aux marchés et aux points d'approvisionnement ;
- ✓ Possibilité d'exploiter la ressource de manière sûre pour l'environnement ;
- ✓ Réglementation ;
- ✓ Présence d'une main-d'œuvre qualifiée.

Le développement d'une mine comprend les activités principales suivantes :

- ✓ Collecte de données techniques, environnementales et socioéconomiques additionnelles au moyen d'échantillonnages, de forages et d'essais sur le terrain, pour mieux caractériser la ressource ;
- ✓ Conception du plan de la mine et des infrastructures ; consultations entre le gouvernement et la société minière exploitante sur le respect de la réglementation. Les sociétés minières consultent également les communautés pour connaître et satisfaire leurs besoins et leurs exigences ;
- ✓ Évaluation des répercussions financières, socioéconomiques et environnementales ;
- ✓ Obtention de permis et de licences ;
- ✓ Évaluation finale du projet et prise d'une décision en matière d'exploitation ;

Construction de la mine et des installations connexes en vue de commencer l'exploitation.

Le développement d'une mine suit généralement les étapes suivantes :

a) Étude de faisabilité concluante ou finale

Dans le cadre d'une étude de faisabilité concluante, toutes les études de faisabilité réalisées préalablement sont examinées, ainsi que les permis, l'évaluation environnementale et l'estimation des coûts de fermeture, afin de déterminer le coût final d'un projet et de prendre une décision définitive en matière d'investissement.

b) Recherche d'un financement

Une fois que le coût final d'un projet est connu, les sociétés minières doivent trouver du financement. Pour ce faire, elles se basent sur l'étude concluante pour démontrer aux investisseurs la faisabilité de leur projet.

Les sociétés doivent emprunter de l'argent auprès des banques ou émettre des actions en bourse. Il arrive par contre que les grandes sociétés minières s'autofinancent.

c) Décision en matière d'investissement

La décision finale d'investir, c'est-à-dire de construire une mine, est prise lorsque l'étude de faisabilité finale est terminée, que le financement est assuré et que les permis ont été obtenus. Le conseil d'administration de la société minière est chargé de décider si la construction d'une mine sera entreprise. Bien qu'il soit difficile de croire qu'un projet ayant nécessité autant de travail, d'argent et de temps puisse ne pas se concrétiser, cela reste possible si la conjoncture est incertaine sur les marchés.

d) Travaux de construction

Les travaux de construction sont ceux qui visent l'aménagement de l'ensemble d'un site minier, soit la mine, l'usine de traitement et les infrastructures.

L'aménagement des infrastructures comprend la construction de toutes les installations nécessaires, sauf la mine et l'usine de traitement, représente la partie d'un projet à laquelle le plus d'argent et d'emplois sont rattachés.

Les sociétés entreprennent généralement les travaux de construction une fois que toutes les exigences liées aux permis et à la réglementation ont été prises en considération. Parmi les travaux de construction figurent les suivants :

- Préparation du site ;
- Déblaiement et préparation initiale à l'exploitation (c.-à-d. : enlèvement des morts terrains) ;
- Construction de locaux d'hébergement ;
- Construction d'installations de traitement, de bureaux, ...etc. ;
- Aménagement de routes, de pistes d'atterrissage, de lignes de transport d'énergie et de voies ferrées ;
- Formation du personnel ;
- Installation de dispositifs de protection de l'environnement.

I.5. Conclusion

La mise en place d'un projet minier passe par un processus qui peut aller de dix à quinze ans. L'étape de l'exploration est caractérisée par la cartographie géologique de la zone d'étude. Cette phase permet d'évaluer la ressource découverte par la compagnie minière.

La restauration du site minier est une phase pendant laquelle le scénario de restauration retenu (exemple utilisation d'une couverture monocouche ou multicouche à effet de barrière capillaire, recouvrement en eau et nappe phréatique surélevée est appliqué afin de remettre le site en état respectant les normes et les exigences environnementales.

II.1. Introduction

Le gisement de Koudiat Safia est l'un des importants sites miniers en minerai de baryte en Algérie. Situé dans la région nord-est du pays, ce qui en fait un site d'intérêt stratégique pour l'industrie minière.

Le gisement de Koudiat Safia représente un atout économique majeur pour la région, au moment où la demande mondiale croissante de baryte, en particulier dans les industries pétrolière et gazière, offre des opportunités significatives pour l'exportation et le développement industriel local.

II.2. Propriétés fondamentales de la Barytine

La Barytine cristallise dans le système orthorhombique. Elle forme généralement des concrétions globulaires, fibreuses ou lamellaires, blanche plus ou moins translucide. Des cristaux bien individualisés. Ces minéralisations parfois colorées selon la nature des impuretés (oxydes de fer, sulfures, matières organiques...). Les propriétés minéralogiques, chimiques et texturales de la Barytine sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau.II.1. Les propriétés fondamentales de la Barytine. [6]

Identification	
Masse formulaire	Ba : 58,84, %, O : 27,42 %, S : 13,72 %
Couleur	Incolore, parfois blanc, jaune
Classe cristalline et groupe d'espace	Dipyramidale Pnma
Système cristallin	Orthorhombique
Réseau de bravais	Primitif P
Clivage	La baryte grossière constitue divers agrégats, en général clivables
Cassure	Irrégulière, conchoïdale
Habitus	Cristaux aplatis selon, parfois lamellaire
Dureté	3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs
Trace	Blanche
Eclat	Vitreux à résineux
Propriétés optiques	
Indice de réfraction	$\alpha=1,634-1,637$ $\beta=1,636$ $\gamma=1,646-1,648$
Pléochroïsme	Incolore
Biréfringence	$\Delta=0,012$; biaxe positif
Dispersion	$2v_z \sim 36-38^\circ$
Fluorescence ultraviolet	La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente

Transparence	Transparent, translucide à opaque
Propriétés chimiques	
Densité	4,48
Température de fusion	Décomposition : 1 600 °C
Fusibilité	Fond à la flamme et donne une boule blanche
Solubilité	Soluble dans HI. Dans H ₂ SO ₄ concentré chaud
Comportement chimique	Colore la fla (Espace_réservé1)mme en rouge carmin
Propriétés physiques	
Magnétisme	Aucun
Radioactive	Aucun

II.3. Production mondiale de la baryte

La production mondiale de 9,5 Mt en 2019 a été assurée à 73 % par quatre pays, qui sont la Chine (32%), l'Inde (22%), les Maroc (12%) et le Kazakhstan (7%). Parmi les autres pays représentant 27 % de la production mondiale, certains, comme le Iran, le Laos, le Mexique, au les Etats-Unis qui possèdent des réserves importantes, pourraient voir leur production actuelle se développer. On note une très forte prédominance de la Chine qui assure plus du tiers de la production mondiale. [10]

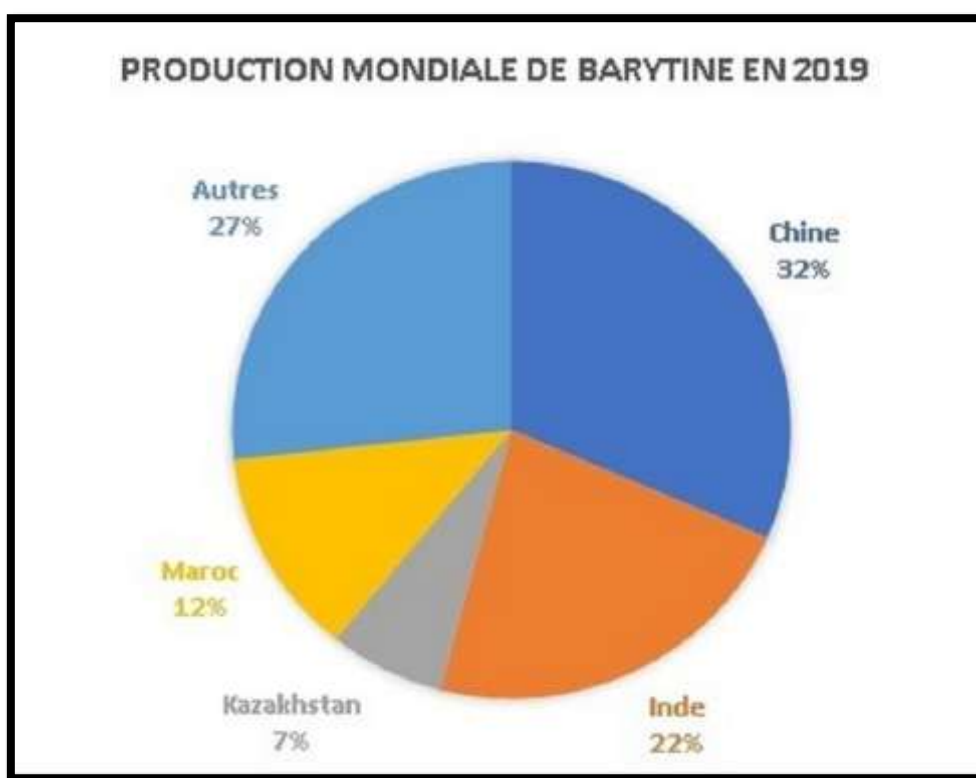


Figure.II.1. Production mondiale de baryte.

II.4. La consommation de la baryte

II.4.1. Au niveau national

La consommation de la barytine en Algérie en 2015 a atteint 250.000 tonnes. Une part de 100.000 tonnes est assurée par les producteurs locaux et le reste par l'importation, la baryte est principalement liée aux industries pétrolières et gazières, car ce minéral est couramment utilisé comme agent de pondération dans les boues de forage pour les puits de pétrole et de gaz. [8]

II.4.2. Au niveau mondial

Au niveau mondial, 80% de la barytine est utilisée pour les forages pétroliers (boues Lourdes), 10% comme charge minéral (peintures, plaquettes de freins) et dans le BTP (briques barytées et bétons lourds, et 10 % dans la chimie du baryum et la métallurgie. Le tableau suivant présente les grands pays consommateurs de la Barytine en 2017. [6]

Tableau.II.2. La consommation mondiale de la baryte en 2017. [6]

Pays	Consommation ($\times 10^3$ tonnes)
Chine	1450
États-Unis	1910
Pays de golfe	1650
Amérique de sud	470
Inde	350
Russie	380
Afrique	340
Iran	250
Union européen	780
Monde	8000

II.5. Les réserves de la baryte [6]

II.5.1. Les réserves de la baryte au niveau national

Les gisements barytiques présentant un intérêt économique sont localisés au Nord du pays à Aïn Mimoun (W. Khenchela), Bou caïd (W. Tissemsilt), Mellal (W. Tlemcen), Mesloul (Tébessa), Ichmoul (W.Batna) et Koudiat Safia (W. Médéa).

Par ailleurs, des travaux de recherche minière ont permis de mettre en évidence plusieurs gisements dans le Sud-Ouest Algérien près de Béchar. Il s'agit des gisements de Draïssa Sud-

ouest, Djebel Draïssa, Draïssa Nord-Est et Draïssa Guelb El Tahtani. Cet ensemble de gisement totalise des réserves près de 07 Ml de tonnes de baryte.

II.5.2. Les réserves de la baryte au niveau mondiale

Le système développé aux Etats-Unis (US Bureau of Mines & US Geological Survey, 1981 ; US Geological Survey, 1982) définit les réserves en tant que « ressources identifiées en minerai qui peut être extrait de manière profitable au moyen de la technologie existante et dans les conditions économiques actuelles ». Le tableau suivant montre les réserves mondiales de la Baryte en 2019.

Tableau.II.3. Les réserves mondiales de la baryte en 2019.

Pays	Réserves ($\times 10^3$ tonnes)
Chine	36.000
Inde	51.000
Iran	24.000
Kazakhstan	85.000
Pakistan	30.000
Russie	12.000
Thaïlande	18.000
Turquie	35.000
Les autres pays	29.000
Total de monde	320.000

II.6. Gisement de baryte de Koudiat Safia

II.6.1. Localisation du site

Le gisement de Baryte de Koudiat Safia est situé à 9 Km à l'Est de la ville de Berrouaghia, à 30 Km du chef-lieu de la Wilaya de Médéa et à 109 Km d'Alger. Il est associé aux brèches tectoniques de Trias affleuré sous forme de lentille au sein des roches de crétacé.

Tableau.II.4. Coordonnées du périmètre de gisement de Koudit Safia. [5]

Poits	Coordodées UTM	
	X	Y
1	500 100	4 000 800
2	501 000	4 000 800
3	501 000	4 000 200
4	501 100	4 000 200
5	501 100	3 999 700

6	500 100	3 999 700
---	---------	-----------

Superficie du secteur = 104 hectares.



Figure.II.2. Situation du gisement de Koudiat Safia (image de Google earth). [5]

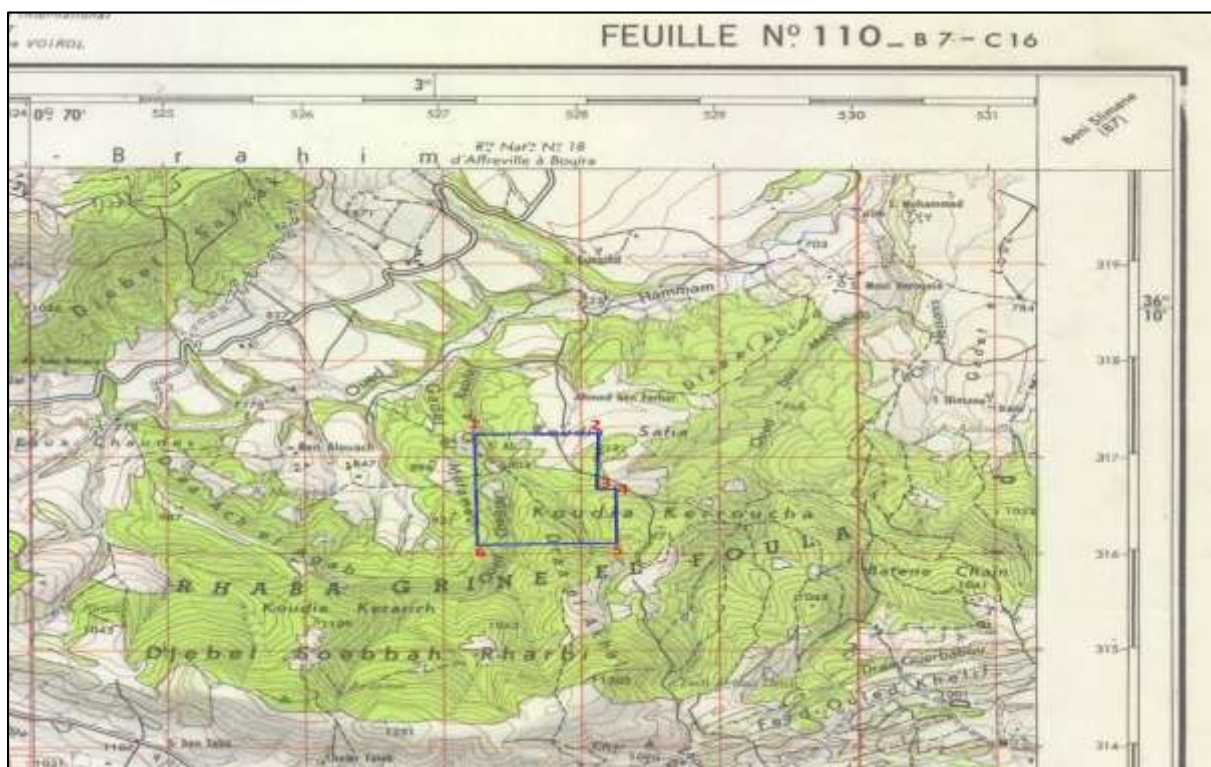


Figure.II.3. Situation géographique du gisement de Koudiat Safia (extrait de la carte topographique au 1/50 000 de Berrouaghia (N° 110). [5]

II.6.2. Géologie régionale

La région de Médéa appartient à la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien et à l'extrémité Nord des hauts plateaux. Cette région est caractérisée par des formations du Crétacé, qui sont généralement développées dans la partie Nord de la wilaya et par les dépôts du Cénozoïque qui sont développés dans sa partie Sud.

Les brèches encaissant la minéralisation affleurent en surface sur 1300 X 450m, on distingue des brèches carbonatées et argilo-gréseuses. Les corps minéralisés sont liés à la variété carbonatée. Pendant la formation des corps minéralisés, les brèches à ciment argileux ont joué le rôle d'un écran. Dans les limites de la brèche en question, la minéralisation est subdivisée en deux (2) corps, Corps Est, et Sud et une zone minéralisée Ouest. Du point de vue industriel, le corps est représenté un intérêt particulier (il renferme plus de 90% des ressources). [5]

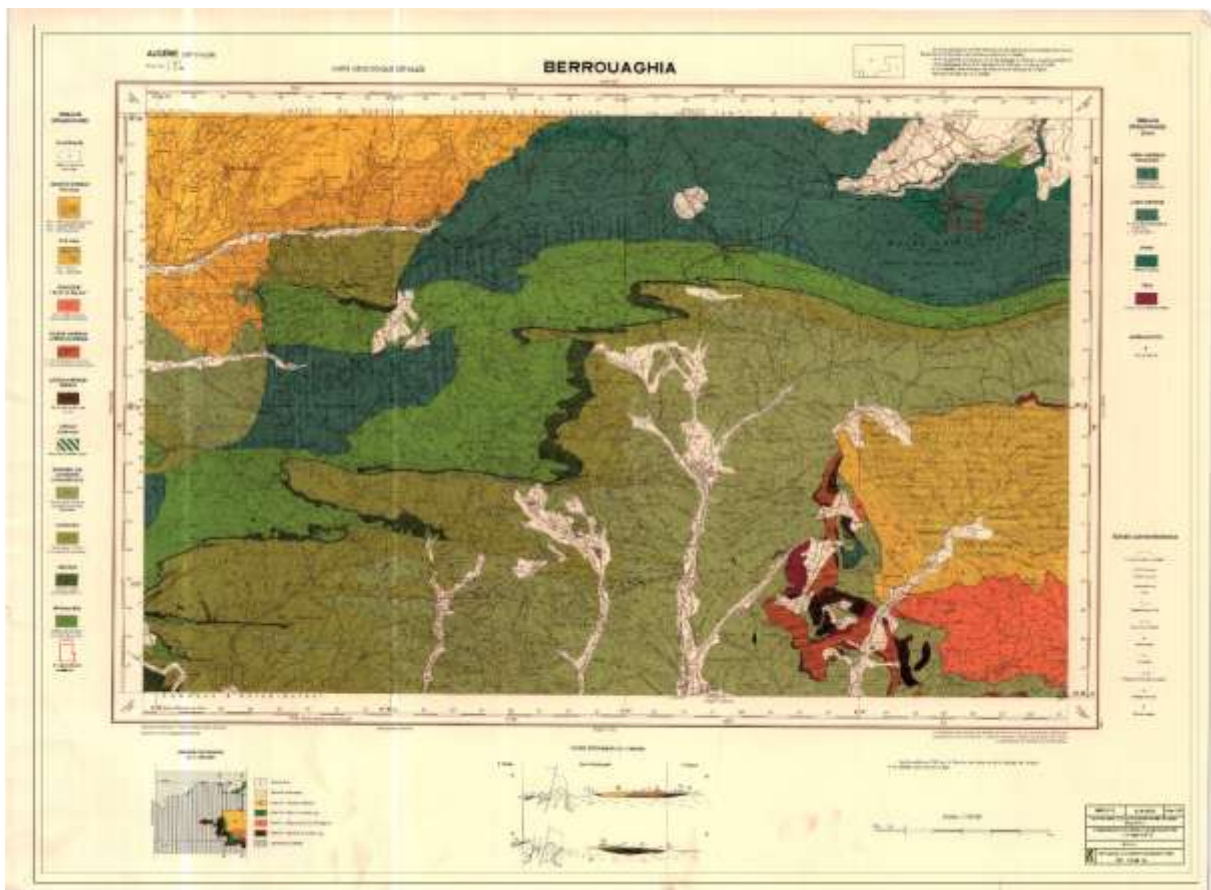


Fig.II.4. Carte géologique de Berrouaghia-Médéa.

II.6.2.1. Litho stratigraphie [5]

La série lithostratigraphique de la région de Médéa a été décrite par : Ficher (1889-1895), Pierrdon (1886), Pomel et Pouyanne (1889). Elle se résume comme suit :

A) Mésozoïque Trias

Les dépôts triasiques représentent les roches les plus anciennes de la région, ils forment des structures diapiriques et ils sont liés aux zones de chevauchement. Ils sont représentés par des roches bariolées argilo-gypseuses, parfois avec des blocs de calcaires jurassiques et de dolomies.

Le crétacé inférieur (Néocomien) : Il est composé d'argiles schisteuses avec grès et quartzite ferrugineuse, surmontées par des marnes schisteuses bleuâtres avec calcaires lenticulaires. Il apparaît au N-O (flanc du Mouzaïa) et au Nord (Oued Djir), où la série est renversée.

Rhodanien- Aptien : Zone étroite à la bordure Sud, dépendant de la bande de Berrouaghia ; argiles schisteuses et quartzite, avec lentilles de calcaires à Orbitolinaconoïdea, Ostreaaquila.

Albien : Il est composé essentiellement d'argiles grises ou noires, intercalées de quartzites, à faciès du tell, apparaissant au Nord dans les anticlinaux du massif crétacé et sur tout le flanc du Mouzaïa au SO, principalement au Djebel Taskrout.

Cénomanién : Le cénomanién est caractérisé par des calcaires et marnes bacillaires à strates bien régulières. Les bancs de calcaires parfois puissants forment des escarpements remarquables.

Sénonien : Il est Caractérisé par des marnes bleuâtres avec des rognons de calcaires jaunes, ou intercalations de calcaires marneux à Inocérames. C'est le faciès de Sénonien de l'Atlas Méridjien à fossiles très rare.

B) Cénozoïque Oligocène Inférieur

Il est composé d'argiles grises à cristaux de gypse, recouvertes en discordance par l'assise précédente, se montrent en plusieurs îlots dont le plus important, à l'angle S-E occupe le vallon de l'oued Zid, où ces argiles renferment des hélices et bulimes.

Oligocène Supérieur (Aquitanién) : L'oligocène supérieur est composé d'argiles gypseuses et conglomérats rouges, présentant le plus souvent un aspect alluvionnaire. Elles se montrent à la bordure Nord du Bassin en une zone d'épaisseur variable qui atteint 100m, et apparaissent

dans les anticlinaux Helvétiques d'Hassen Ben Ali et Ben Chicao et prennent leurs plus grands développements à l'Est du Djebel Mahouada.

Carténnien : Il est caractérisé par des grès grisâtres avec poudingues, renfermant des Clypéastres,

Hypsoclypusdoma, schizasteravec pectinidés. Ils forment une bordure étroite au flanc du massif crétacé, au N-O. et son recouverts en discordance par l'Helvétien.

Helvétien Inférieur : Il est composé de marnes argileuses, d'une épaisseur maximale qui peut atteindre plus de 100m à l'Est du Hassen Ben Ali. Ces formations sont surmontées par des grès sableux intercalés de poudingues, principalement sur les bords du bassin (Djebel Seran, Kef Remlia.etc.). Cette assise extrêmement variable d'épaisseur atteint jusqu'à 80 et 100 m dans la partie centrale (Hassen Ben Ali) et au Sud (Ben Chicao) et se réduit à quelques bancs au Nord-Ouest où elle peut manquer (Lodi). Ces grès intimement liés à l'assise argileuse sous-jacente forment en quelques points la base de l'étage Helvétien.

Helvétien Moyen : Il est composé de marnes argileuses gris-bleuâtres et elles sont intercalées parfois de petits lits de grès friables renfermant des moules de bivalves. Son épaisseur varie de 100 à 250m.

Helvétien Supérieur : Il est composé essentiellement de grès à *optera Crassissima* formant le couronnement de l'Helvétien dans toutes les parties culminantes (Nador de Médéa, plateau de Ramel, Djebel Mahouada, Signal de Ben Chicao et le plateau de Haouara). Son épaisseur maximale dans la région dépasse les 80m. [5]

C) Les dépôts du Quaternaire

Ils sont représentés par les dépôts de pentes : limon, sable, argile et galet.

II.6.2.2. Magmatisme

Les formations magmatiques existantes dans la région de Médéa sont représentées par : Les tufs basaltiques liés du Carténnien inférieur : Ils sont extrêmement réduits, à l'Est de Mouzaïa. La présence des minéralisations de cuivre gris, cuivre pyriteux et de fer (Hématite) a été signalée dans ladite zone. Elles sont associées aux gypses du Sénonien qui affleurent à Djebel Bodah et plâtrière, au Nord-Est de Médéa. Ces gypses "éruptifs" ont modifié les terrains encaissants et ont transformé les calcaires en cargneules, qui apparaissent en plusieurs points dans le massif de Béni Messaoud.

II.6.2.3. Tectonique

La région de Médéa est située dans les limites d'une zone alpine plissée de l'Atlas tellien et se compose des anticlinoriums de Blida et de Tablat, entre lesquels se situe le secteur d'étude (Indice de Bou Nesser). Ces anticlinoriums correspondent à des massifs autochtones au Sud de quels se mettent en place les nappes telliennes.

Les mouvements tectoniques enregistrés dans la région sont liés à l'orogénèse alpine et ils sont subdivisés en 3 types de déformations :

- Les déformations tangentielles, qui se manifestent par les déplacements de nappes de charriage.
- Les déformations souples : Elles se manifestent par des plis.
- Les déformations cassantes : elles se manifestent par des failles multidirectionnelles.

II.6.3. Géologie du gisement [5]

II.6.3.1. Stratigraphie

Le gisement est formé de roches d'âge triasique, Albien inférieur et moyen, Vrac-nien, Cénomaniens et Quaternaire.

a. Trias : Les formations triasiques sont représentées par des brèches lenticulaires sublatitudinales localisées dans un milieu à dépôts crétacés. On note leur limite Nord qui passe à travers la ligne du chevauchement de HAMMAM et la limite Sud moins étudiée et insuffisamment nette suivie en surface par une superposition d'accidents cisailant dérivant du toit de chevauchement.

Sur les flancs, le corps bréchique est bien étudié à l'Ouest. L'extrémité Est recouverte par une puissante couverture constituée de terrains de pente (3 à 10m), le corps bréchiques longs de 0,4 à 1,5 km est formé de débris affleurant et de matériel remanié venu : des profondeurs. On y distingue deux variétés lithologiques, à savoir :

- Brèches carbonatées, cimentées par un matériel carbonaté, fragments de calcaires, dolomies, mares et, moins souvent, de grès.
- Brèches grés-argileuses, cimentées par des argiles, et constituées d'argiles, débris de marnes, argilites, grès et moins souvent, de calcaires.

Dans le plan spatial les brèches s'associent aux confins du chevauchement de HAMMAM et se suivent le long de ce dernier sur l'étendue entière de la lentille triasique. Leurs puissances varient de quelques

dizaines jusqu'à 150 - 200m. Les brèches cimentées par un ciment argileux sont profondes de 30 à 200 m à partir de la surface de chevauchement. Leurs épaisseurs varient sensiblement et vont jusqu'à 230 - 250m. On constate des passages graduels mais les limites nettes sont très rares entre les variétés bréchiques.

En tant que l'encaissant principal (roches bréchiques) ont fait l'objet d'une étude méticuleuse au cours des travaux cartographiques détaillés. La minéralisation est encaissée dans des brèches à ciment carbonaté. La formation des corps minéralisés est liée aux processus de substitution hydrothermale et méta somatique de matériel carbonaté, (débris de calcaires et partiellement de marnes). Les roches teintées d'un jaune à brun, à texture bréchique consistent en fragments de (0,3 à 0,5m) ; les débris de calcaires et de dolomies ont subi des altérations hydrothermales intenses (recristallisation, lessivage, limonitisation, calcification, barytisation largement développées). Les vides de lessivage sont généralement comblés d'un matériel argileux et limonitique.

Une autre variété bréchique à ciment argileux est caractérisée par l'absence d'indicateurs hydrothermaux (visuellement). Ces brèches semblent avoir constitué un écran au cours de la formation de la minéralisation. Leur aspect se distingue de celui des brèches carbonatées. C'est une roche de teinte grise, à texture bréchique, constituée de fragments fins à gros, non touchée par des processus méta somatiques. Toutes les deux variétés contiennent des roches "exotiques" (5% de volume total). Leur composition est très variable :

Roches sédimentaires (dolomies, calcaires aphanitiques), magmatiques (gabbro, gabbro-diorites, fel-sites porphyres), métamorphiques (quartzites, schistes quartzo-séricito-chloritiques).

b. *L'Albien inférieur* : Il affleure dans la partie sud. La coupe est représentée par des grès, aleuro-lites, argilites. Parmi cette masse terrigène se rencontrent des rares bancs et lentilles constitués de calcaires organogènes.

c. *L'Albien moyen* : Il est développé au centre du gisement et se suit sur une étendue considérable le long des limites sud et nord des brèches minéralisées. La partie sommitale est constituée d'argilites qui se débute en plaquettes minces et accompagnées de marnes et de rares intercalations de grès. Plusieurs forages ont recoupé ces formations localisées en dessous du chevauchement. D'après les forages et les données d'en surface l'Albien moyen est puissant de 200 - 250m. [5]

d. L'Albien supérieur (VRACONIEN) : Il est peu développé, il affleure dans la partie Nord-est à la limite de la zone bréchique. Il affleure aussi, sous forme d'une bande étroite dans la partie Nord- Ouest. Il est représenté par des calcaires noirs massifs à rares intercalations marneuses. La puissance apparente est de 20m.

e. Le Cénomanién : il affleure en époinçements dans la limite nord, c'est un faciès marneux en minces couches de marnes grises à rares intercalations de calcaire grisâtre.

f. Quaternaire : Le quaternaires est représenté par des dépôts de pente et des éluvions alluvionnaires, ils sont puissants de 1 à 2m au centre et de 3 à 5m sur les flancs du gisement.

II.6.3.2 Structure du gisement

Sur le plan structural, le gisement s'associe à un diapir triasique lié au chevauchement, les deux ont une direction sublatitudinale.

La principale structure métallotecte est le chevauchement de HAMMAM. D'après la classification génétique ce chevauchement est attribué au groupe des failles abyssales liées au plissement géosynclinal. Se chevauchement est contemporain à la zone faillée de KERROUCHA. Il est caractérisé par une structure complexe est relativement étudié (uniquement dans les limites des brèches minéralisées). Son attribution au groupe des structures cassantes et chevauchantes est suffisamment argumentée.

Au centre du gisement le chevauchement a un pendage régulier de 30 - 35°, avec un azimuth Sud-ouest de 200 - 220° (partie Ouest). Il représente une surface nette, accompagnée d'en bas par une puissante zone constituée de roches broyées : mylonites, argiles tectoniques et brèches. Les épaisseurs varient de 10 à 40 à 60m. A proximité de la surface de chevauchement tous les sondages traversent des zones de broyage et d'écrasement intenses et complexe, roches monétisées qui forment une structure large de 3 à 8m. [5]

Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du chevauchement les dislocations et le degré de bréchification diminuent. La zone sous-nappe est caractérisée par des processus de carbonisation et barytisation ; cette dernière occupe en entier la zone sous-nappe et diminue nettement en dehors de ses limites. On y trouve des roches gypsifères à 120-150m de profondeur.

Les zones de cisaillement sont moins développées dans le toit du chevauchement par contre des processus de bréchification et de broyage sont d'extension considérable. On notera aussi mais moins accusé, la limonitisation est peu développée et les couches limonitisée sont

généralement réduites (0,3 à 0,5m). En s'éloignant de la surface du chevauchement on observe un passage graduel et continu à des roches non accidentées.

D'après les recherches systématiques le rejet est estimé de 600 à 1000m. Des accidents cassants moins importants ont été dégagés au cours de la cartographie au 1/1 000 (compagne 1980-1984), ces accidents qui frangent au Sud un corps béchique se distinguent par leur irrégularité en directions et pendages, les zones de broyage et monétisation sont peu développées, ces accidents sont attribués au groupe des failles inverses, chevauchements décrochant. L'amplitude de rejet correspond à celle du chevauchement de HAMMAM.

D'après les travaux d'évaluation réalisés dans les limites des corps de minerai, ces derniers s'avèrent non touchés par des accidents tectoniques.

Le diapir est la principale structure-hôte de minerai, ces origines remontent à des profondeurs importantes en témoignent des brèches en provenance de la partie principale, blocs chaos exotiques constitués de roches magmatiques et métamorphiques. Sa formation est contemporaine à la mise en place du chevauchement de HAMMAM au voisinage de la zone faillée. Dans le plan spatial, son mur est nettement contrôlé par la surface du chevauchement ; le toit s'avère plus complexé par un système d'accidents cisailant de type décroché ce qui lui confine une allure pluri étagée. [5]

Le noyau est formé de gypse et de brèches gypsifères recoupés par plusieurs forages (compagne 1980-1984) à 100 – 150 m de profondeur. La partie principale du diapir est constituée par des brèches tectoniques venues des profondeurs dont les plus favorables au dépôt de minerai sont des brèches carbonatées développées en partie frontale (supérieure).

Des dislocations applicatives ont joué un rôle moins important dans la formation de minéralisation barytique. Le gisement de Koudiat-Safia s'associe au noyau d'une structure anticlinale formé par des roches terrigènes d'âge Albien et orientée en même direction que le chevauchement de HAMMAM (direction sublatitudinale) (à pendages de 40 à 60° sur les flancs). Il n'est pas à exclure que la formation diapirique soit due aux processus des plissements.

Un autre type de plissements moins importants qui a un rôle presque négligeable dans la formation des corps de minerai à morphologie quasi non modifiée. On n'observe que des courbures à l'aspect de flexures à l'Ouest et du corps minéralisé Est. A l'Ouest, le rejet de la courbure est un peu important, à l'Est (à la limite de l'amincissement du corps minéralisé) sur le flanc d'un pli à l'aspect de flexure on constate une inflexion plus sensible.

II.6.3.3. Morphologie de gisement [5]

A partir du mode de gisement, morphologie, l'emplacement spatial et la composition minéralogique on distingue assez nettement deux (2) corps de minerai (Est et Sud) et une zone minéralisée (Ouest).

Le corps Est et la zone Ouest renferment une minéralisation essentiellement barytique et le corps Sud est représenté par une minéralisation de baryte Célestine.

A) Corps de minerai Est

En plan, c'est un amas lenticulaire de forme irrégulière orienté N 120°, mesurant 477m de long et 117m de large, suivi en profondeur jusqu'à 270m. Le pendage varie de 30-35° au centre à 65° sur les flancs. Le flanc Est présente des épaisseurs minimales de 5-8m, parfois fragmentées par des intercalations gypsifères, et le flanc Ouest montre des amincissements nets. Les limites du corps minéralisé se caractérisent par des murs redressés et un toit irrégulier avec des apophyses et veinules de baryte. Le corps de minerai présente une structure hétérogène avec une bande barytique de 6-8m le long du chevauchement et des fragments béchiques au sommet. Les roches hydrothermales se trouvent en bas du mur, et des corps barytiques filoniens sporadiques apparaissent dans certains sondages.

Tous ces corps sporadiquement repartis sont généralement séparés de l'amas principal (d'après les résultats des travaux forage 1980-1984).

B) La zone minéralisée Ouest

Sur le plan morphologique elle se distingue peu du corps Est. La zone est représentée en surface par un amas lenticulaire suivi en direction sur une étendue de 290m ; au centre elle fait 50 - 55m de large. L'amas s'étire en direction sublatitudinale (Sud - Est 115 - 120°) et les extensions verticales peu importantes s'expliquent par l'emplacement proche de la limite du chevauchement. [5]

Dans les limites de cet amas se distinguent 9 corps à minéralisés dont la délimitation n'est réalisée qu'en surface au cours de la cartographie géologique détaillée. Leurs limites ont été précisées au moyen de l'échantillonnage des tranchées.

La structure intrinsèque ressemble à cet égard à une portion du corps minéralisé Est (celle qui confine au toit) ; on note aussi quelques lambeaux de brèches, calcaires non touchés par des processus métasomatiques.

Les corps minéralisés ressemblent beaucoup aux apophyses, saillies de baryte notées dans l'encaissant du corps minéralisé Est.

Tous les corps à minéralisés s'associent aux reliefs positifs. On note partout l'absence quasi complète de roches de couverture ; seule l'extrémité Ouest située dans la vallée d'un oued est cachée sous une couverture peu puissante constituée de terrains éluvion- alluvionnaires.

C) L'amas minéralisé Sud

Sur le plan spatial se trouve dans la couverture du corps minéralisé Est. C'est un filon lenticulaire suivi en surface sur une étendue de 360m suivant une direction sublatitudinale et pentes de 30 à 40°, mais à la différence de ces deux corps précités on y constate des épaisseurs moindres au maximum 16,6m. Cette zone présente un intérêt pratique uniquement dans les limites des (hors nouveau périmètre) à 17. Ce corps est caractérisé par une extension restreinte en pente. Ces épaisseurs diminuent et se biseautent presque partout en profondeur. D'après le forage le corps minéralisé se suit jusqu'à 55m et à 70m de profondeur.

Tenant compte de tout ça, l'attribution du gisement de baryte de Koudiat-Safia au groupe 1 est considérée comme suffisamment argumentée.

II.6.3.4 Genèse du gisement

Les hypothèses citées ci-après sont basées sur les résultats des travaux de prospection levé-évaluation réalisés sur le territoire du gisement et à l'échelle régionale. Les principaux contrôles de la minéralisation sont les facteurs structuraux et lithologiques. L'amas barytique s'associe à une brèche carbonatée triasique surmontant la surface du chevauchement de HAMMAM.

L'amas barytique s'accompagne par une minéralisation polymétallique développée dans le toit et au mur mais elle est absente dans l'amas barytique proprement dit. Des disséminations, imprégnations et veinules de galène et de sphalérite sont observés dans les grès fissurés et broyés.

Par sa datation chronologique la minéralisation polymétallique et célestino-barytique est contemporaine à la formation des roches triasiques.

La mise en place des diapirs triasiques remonte au pré Aquitanien et post Burdigalien. A partir de la synthèse préliminaire de la documentation existante se distinguent deux stades de minéralisation.

Au premier stade l'activité hydrothermale associée à des mouvements tectoniques provoque le diapirisme, et une minéralisation polymétallique se dépose.

A l'impulsion tectonique contemporaine au diapirisme, une partie des zones polymétalliques sera introduite au sein des zones faillées, témoignée par des débris de minerai quartzo calcito-polymétalliques rencontrés dans les brèches argilo- gréseuses.

La mise en place du diapir triasique aboutira à une nouvelle poussée de l'activité hydrothermale en zones faillées, celles-ci affectent le complexe autochtone du Crétacé inférieure. A la suite d'activité hydrothermale et métasomatique dans le milieu diapirique se forme un minerai célestino-barytique.

Des mouvements tectoniques plus tardifs auront pour résultat l'apport de la baryte monétisée au mur de l'amas minéralisé.

De ces caractères géologiques, le gisement de baryte de Koudiat-Safia est similaire à celui de DJALAIR (U.R.S.S.) [5] ; et à certains gîtes barytiques connus à MISSOURI Central et Sud - Est (U.S.A.) [5]. Dans tous les cas le minerai barytique stratiforme se forme par substitution des roches carbonatées. La substitution affecte y le ciment et les débris bréchiques (boll - Tiff à MISSOURI Central).

Dans le gisement de DJALAIR la baryte cimente des débris le long des surfaces chevauchantes. En ce qui concerne la source de la substance minérale, on peut admettre que les concentrations industrielles de minerai célestino-barytique soient liées au cycle de sédimentation triasique, ensuite elles ont subi une immigration et remaniement au moyen des solutions hydrothermales à partir des formations triques.

II.6.3.5. Caractéristiques chimiques du minerai de Koudiat Safia [5]

La composition chimique du minerai du corps Est a été étudiée à partir des échantillons de carotte et de saignées des tranchées. Il se compose généralement de BaSO_4 , des minéraux ou/ minéral de strontium, de la silice, des carbonates de calcium et des oxydes de fer.

➤ Selon l'analyse et l'étude du gisement de baryte de Koudiat Safia, les résultats des analyses chimiques effectuées sur les échantillons ont montré des teneurs en BaSO_4 variant entre 60% et 80%. La teneur moyenne du corps Est est de 56,70%. La présence de silice dans le minerai est considérée comme faible.

➤ Les teneurs en Sr total varient de 0.01 à 24.52% (c'est la teneur la plus élevée de toutes les analyses), les teneurs généralement sont inférieur à 5% ; en combinaison avec

l'étude pétrographique et les analyses chimiques, le strontium se trouve sous forme sulfatée SrSO_4 (Célestine) et d'après l'étude minéralogique par diffraction X des échantillons destinés aux essais technologiques, il s'agit de la strontianite (SrCO_3), un minéral carbonaté de strontium.

➤ La présence de la silice dans le minerai est faible ; les teneurs moyennes pondérées en SiO_2 dans la carotte des sondages varient de 0.10 à 11.31% ; rares sont les teneurs pondérées qui dépassent 10%.

➤ La présence de carbonate de calcium (CaO) est remarquable en comparaison avec la silice, les teneurs moyennes pondérées dans les sondages varient de 2.49% à 22.20%, ces teneurs sont proches l'une de l'autre donc on remarque une homogénéité dans la distribution du SiO_2 dans les sondages. Une moyenne arithmétique de la teneur moyenne en CaO dans les sondages donne une valeur de 9.56%.

➤ Les teneurs pondérales de Fe_2O_3 dans la carotte des sondages sont comprises entre 0.50 et 2%, presque 60% des teneurs sont inférieures à 1%.

A partir de la lecture des teneurs chimiques, on relèvera que les composants non utiles sont généralement d'un ordre négligeable à part la présence des carbonates de calcium (CaO) dans certains sondages qui a un taux $\pm$ élevé. [5]

II.6.3.6. Étude minéralogique

La minéralisation en barytine est abondante, occupant jusqu'à 80% du volume total de la roche. Les grains sont automorphes à subautomorphes, emboîtés les uns dans les autres, avec des dimensions variantes entre 0,1 et 0,3 mm. La structure lamellaire de certains individus, dont la taille peut atteindre 1 mm, est visible.

De la Célestine (3%), sous forme de cristaux fibreux, s'intercale entre les sections butyriques. Les grains de quartz, moins abondants (10%), sont irrégulièrement dispersés et présentent, pour la plupart, un aspect bipyramidal, avec une taille variant de 0,08 à 1 mm.

Quelques sections prismatiques de dolomite sont également présentes dans la roche, ainsi que des granules automorphes à subautomorphes de minéraux opaques.

De la calcite secondaire comble les fines veinules de la roche, en association avec un enduit rougeâtre d'hydroxyde de fer.

II.7. Analyses sur le site [2]

Les analyses qui sont qualitatives nous ont permis de déterminer la présence des minéraux suivants :

- La barytine
- Le quartz
- La calcite
- La dolomie
- La strontionite
- La calcosine

II.7.1. Analyse semi-quantitative sur l'échantillon

Prélevé après quartage, concassage et broyage, les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

II. Tableau.5. Analyse semi-quantitative. [2]

Eléments	Sr	Ba	Pb	Zn	As
Teneur	> 1%	> 1%	$30,10^{-3}$	$30,10^{-2}$	-

II.7.2. Analyse chimique

L'analyse chimique prélevée après quartage, concassage a donné les résultats le tableau (2) :

La méthode utilisée était la méthode classique (gravimétrie).

II. Tableau.6 L'analyse chimique prélevée. [2]

Eléments	Teneur (%)
SiO ₂	4,68
BaSO ₄	34,12
SrCO ₃	7,84
CaO	17,7
MgO	2,02
Fe ₂ O ₃	1,09
Al ₂ O ₃	1,80
PAF	20,00
Zn	0,11

Cu	0,27
Pb	Traces

II.7.3. Analyses physiques

Le poids volumique du tout-venant, déterminé sur le minerai concassé à 15 mm a donné la valeur 2,99 g/cm³ et la densité déterminée au piézomètre sur de minerai broyé à 100 microns a donné la valeur de 3,32.

II.8. Conclusion

Le gisement de baryte de Koudiat Safia est situé dans la wilaya de Médéa plus précisément dans la daïra de Berrouaghia, non loin de l'A.P.C d'oued d'aïd, à 8 km d'au sud Est de cette APC. On accède au gisement à partir de berrouaghia par la route de goudronnée R.N. 18 qui longe l'oued Hammam sur 6 kms et par une piste carrossable de 3 kms.

Le réseau hydraulique est constitué de rivières et de nombreux oueds dont les deux grands sont Oued Isser et chellif qui se jettent dans la Méditerranée.

L'oued Hammam est la cour d'eau le plus important de la région du gisement de koudiat Safia, le niveau d'eau est variable.

III.1. Introduction

La région de Koudiat Safia est réputée pour son potentiel minier, notamment pour la baryte. Cette étude vise à offrir une analyse détaillée des réserves minérales, des méthodes d'extraction adaptées, des répercussions environnementales ainsi que des aspects économiques associés à l'exploitation minière de cette région.

III.2. Objectifs de production

III.2.1. Minerais tout-venant

L'étude de marché de la baryte montre que la demande de baryte sur le marché algérien est de 60.000 et 80.000 tonnes par an. Dans cette perspective, l'offre actuelle, de l'ordre de 50.000 tonnes par an, devrait donc augmenter, ce qui justifie la mise en exploitation du gisement de Koudiat Safia. [8]

Face à l'incertitude concernant le niveau de la demande à la fin du siècle, il a été recommandé de développer la production de Koudiat Safia en deux phases.

1^{ère} phase : 50.000 T/an de concentré ;

2^{ème} phase : augmentation de la production au niveau de la demande ; voir doublement.

Dans la présente étude nous limiterons à l'examen de l'objectif de 50.000 T/an tout en prenant en compte les implications d'un doublement sur production. Sur la base des hypothèses de calcul :

- ✓ Teneur moyenne du minerai tout-venant extrait en carrière $\text{BaSO}_4 = 52,92\%$, $\text{SrSO}_4 = 7,32\%$;
- ✓ Teneur moyenne concentré $\text{BaSO}_4 + \text{Sr SO}_4 = 92\%$;
- ✓ Taux de récupération de $\text{BaSO}_4 + \text{Sr SO}_4 = 92\%$;
- ✓ Perte de minerai en cours de transport = 5%.

On obtient le tonnage de tout-venant à extraire pour obtenir 50.000 T/an de concentré soit :

$$\frac{50.000 \text{ T} \times 92\%}{95\% \times 92 \times 60,24\%} = 87.400 \text{ T/an}$$

Les objectifs de production de la première phase se résument ainsi :

- ✓ Extraction et traitement de minerai tout-venant 87.400 T/an,
- ✓ Concentré de baryte 50.000 T/an.

À cet effet, il faudra fixer un taux de découverte moyen, soit une production de 131.100 tonnes par an.

Entre la troisième et la quatrième année de la deuxième variante, il sera nécessaire de fixer le taux de découverte à une moyenne, soit une découverte de stérile.

III.3. Organisation de l'exploitation

III.3.1. Méthode d'exploitation

La méthode d'exploitation choisie est celle à ciel ouvert par gradins verticaux.

Cette méthode permet une extraction plus économique et plus sûre, adaptée à la morphologie du gisement.

Cette méthode comporte généralement 4 phases :

Les travaux préparatoires : ils consistent à tracer les pistes d'accès aux gradins et à ouvrir ces derniers pour l'exploitation.

L'abattage du minerai : qui comprend la formation de volées de trous de mine et leur tir à l'explosif.

Le chargement : à l'aide de pelles mécaniques et des chargeuses sur des camions.

Le transport : acheminement vers le concasseur pour le minerai ou vers la décharge pour le stérile.

Les matériels utilisés dans les différentes phases sont :

- Bulldozers ; niveleuse et marteaux perforateurs pour les travaux préparatoires.
- Marteaux perforateurs individuels pour le débitage secondaire des gros blocs.
- Pelles/ chargeuses hydrauliques à godet sur roues ou chenilles, ainsi que des excavateurs.
- Camions à bennes de carrière pour le roulage.

III.3.2. Rapport de découverte

Au cours des huit (08) premières années (durée d'exploitation des quatre premiers niveaux), soit une production de stérile de 126 700 tonnes. Il devra ensuite être porté, soit une production de stérile de 218.500 tonnes par an. Ce taux sera ramené à la moyenne des trois niveaux restants pendant la durée de leur exploitation, soit une production de stérile de 61.200 tonnes par an.

Au cours des cinq dernières années, les travaux préparatoires de la deuxième variante commenceront, consistant en la découverte des niveaux supérieurs de la carrière (915, 905, 885).

III.3.3. Organisation du travail

Les faibles tonnages de minerai et de stérile à extraire à un système de travail à un poste par jour de 8 heures, 5 jours par semaine.

Le nombre des jours ouvrables dans l'année est fixé à :

- 5 jours × 52 semaines – 20 jours = 240 j/an,
- 20 jours = 10 jours fériés + 10 jours et arrêts imprévus.

Sur ces bases, la production journalière de la carrière est fixée comme suit :

Minerai tout-venant :

$$\frac{87.400 T}{240 j} = 364 T/j$$

Stérile (maximum) :

$$\frac{218.500 T}{240 T/j} = 910 T/j$$

Total de minerais plus stérile = 1274 T/j.

Il sera nécessaire de constituer un stock de sécurité à l'entrée de la laverie, d'environ 5000 tonnes.

Au cours de la carrière alimentera directement un concasseur primaire dimensionné pour traiter toute la production.

La laverie sera alimentée à partir du stock de sécurité, équipé d'un transporteur (à bande) pour la reprise du stock de minerai concassé.

La production de minerai pourra être assurée grâce à son installation. Sa capacité devrait être, dans cette perspective, de :

$$\frac{87.400 T \times 3}{240 j \times 8 \times 0.75} = 182,1 \frac{T}{h}$$

III.3.4. Travaux d'ouverture de la carrière

Les travaux d'ouverture de la carrière de baryte comprennent :

- Le traçage d'une piste d'exploitation entre la laverie et les premiers gradins exploités (875 et 865m) pour l'évacuation du minerai,
- Le traçage des pistes pour l'évacuation des stériles et l'aménagement des décharges de stérile à proximité du gisement mais hors des limites de découverte ;
- L'ouverture des premiers niveaux d'exploitation (885 et 875m).

La piste de roulage du minerai (piste principale) aura une longueur initiale de l'ordre de 1.350m et une largeur de chaussée de 10m. Elle reliera les niveaux supérieurs de production (875 et 865 m) à la laverie située à l'aval avec des pentes pouvant atteindre 10%.

Les piste d'évacuation des stériles d'une longueur variable de 200 à 500m relieront les gradins d'exploitation aux décharges de stériles implantées à raison d'une pour 2 aux 3 niveaux au maximum, des premiers niveaux seront entamés au bulldozer et à l'explosif de manière à aménager les pistes d'accès et les plateformes nécessaires à l'évaluation des engins de chargement et de transport.

Après le dégagement de découverte des stériles du niveau 885m, on ouvre le premier gradin de production de minerai au niveau 875 m.

On procédera de même pour l'ouverture des gradins suivants, en aménageant les pistes et les plateformes de travail d'extraction de manière plus classique, avec abattage, chargement et roulage du minerai et du stérile.

III.3.5. Organisation de l'abattage

Les opérations d'abattage comprennent la foration de trous de mine selon un schéma déterminé, ainsi que le chargement et le tir à l'explosif. Cet abattage en masse est généralement complété par un abattage secondaire à l'aide de petites charges d'explosif pour fragmenter les gros blocs et rectifier les gradins.

Le choix des paramètres de l'abattage est déterminé par propriétés physico-mécanique des roches, ainsi que par la capacité des matériels utilisés (pelles, foreuses, camions et concasseurs).

En pratique, il s'agit d'obtenir une fragmentation du massif rocheux qui minimise le coût d'extraction et les effets sur l'environnement dus à la mise à feu des charges d'explosif (effets sismiques, projection de débris rocheux, etc.).

À cet effet, un plan de tir est étudié, dont les principaux paramètres sont :

- La géométrie du front de taille,
- Le diamètre, la profondeur et l'inclinaison des trous de mine,
- La maille des trous de mine qui forment une volée,
- La nature, la quantité et la disposition des explosifs dans les trous de mine et les conditions leur mise en œuvre (amorçage, le bourrage, l'initiation à la mise à feu).

III.3.5.1. Fragmentation des roches

La fragmentation souhaitable est celle qui facilite les opérations de chargement, de transport et de concassage. Pour le minerai, la taille maximale admissible des blocs est déterminée par l'ouverture du concasseur primaire.

La capacité du concasseur primaire travaillant à un poste de 8 heures par jour doit être de :

$$\frac{87.400 \text{ T} \times 3}{240 \text{ j} \times 8 \text{ h} \times 75\%} = 182,1 \text{ T/heure}$$

Ce concasseur (à mâchoire) a une ouverture d'entrée de 700 × 600 mm et une ouverture de sortie réglée. Il produit une roche concassée de dimension 0 à 90mm.

Son taux de réduction étant de 5,55 la granulométrie des roches admissibles est de 0 à 500 mm.

L'ouverture du concasseur est compatible avec la taille des blocs admissibles (500 mm), qui est par ailleurs calculée par la formule empirique :

$$c = 0.8 \times 700 = 560$$

Où :

c = Ouverture de concasseur.

Cette capacité accrue permettra d'accepter des blocs de plus grande taille, ce qui entraînera une économie d'explosifs à la carrière.

Concernant le stérile, qui est chargé et transporté vers une décharge proche, le diamètre maximal des blocs est principalement déterminé par la taille des engins de chargement sélectionnés, laquelle est définie par la capacité du godet des pelles utilisées.

La gamme des capacités de ces pelles est très large. Pour nos besoins (364 tonnes par jour de minerai et 910 tonnes par jour de stérile au maximum), nous avons opté pour des pelles à godet de 3 m³ (voir justification dans le paragraphe suivant sur le chargement).

Le diamètre maximal admissible des blocs pour ces engins est donné par la formule empirique :

$$d = 0.8\sqrt[3]{E}$$

Où :

d = diamètre du bloc en m ;

e = capacité du godet en m³ ;

$$\text{Donc } d = 0.8\sqrt[3]{3} = 1.15m$$

En fait, la quantité d'un tir de mine à l'explosif est caractérisée par la taille moyenne des blocs et granulométrie des roches abattues.

Cette qualité dépend essentiellement du plan de tir dont les paramètres sont définis comme suit :

III.3.5.2. Géométrie du front de taille

Nous avons choisi des gradins de 10 mètres de hauteur pour plusieurs raisons. La hauteur de gradin est choisie en fonction des caractéristiques physique du massif et de la hauteur de creusement de l'engin de chargement, d'abord en raison de l'hétérogénéité du minerai et de la faible dureté des roches, cela permet un meilleur contrôle de la qualité du minerai et une sécurité accrue du travail.

Ensuite, une inclinaison des trous de mines de 10 degrés par rapport à la verticale a été adoptée pour favoriser un meilleur dégagement du pied, réduire les effets de recul des tirs et garantir de meilleures conditions de sécurité au travail, étant donné que nous aurons un talus de gradin de 70 à 80 degrés.

III.3.5.3. Le diamètre et la profondeur des trous de mine

Les diamètres de foration les plus couramment utilisés dans les petites et moyennes carrières varient de 60 à 100 mm en raison des avantages de performance et de coût des engins de foration spécifiquement développés pour cela. Il s'agit notamment de chariots de foration

équipés de marteaux roto-percutants, hors ou fond de trou, ayant des vitesses d'avancement instantanées de 20 à 30 mètres par heure en fonction du diamètre et de la dureté des roches.

D'autre part, il est nécessaire de tenir compte du diamètre des cartouches d'explosifs couramment disponibles sur le marché (50, 60 et 80 mm). Le choix se porte donc généralement entre les diamètres de 60, 80 et 100 mm. En pratique, ces diamètres sont tous utilisés en fonction des besoins spécifiques, avec un même engin auquel sont adaptés les taillants. Ainsi, les choix judicieux des diamètres à utiliser sont :

- ✓ Abattage de minerai en masse : 80mm ;
- ✓ Abattage de stérile en masse : 100mm ;
- ✓ Autres travaux d'abattage : 60mm.

Nous devons aussi choisir soit un marteau hors de trou soit un marteau fond de trou, les avantages de cette dernière par un rapport au premier sont :

- ✓ Meilleure tenue en terrain fissuré,
- ✓ Vitesse d'avancement constante indépendante de la profondeur de trou,
- ✓ Faible niveau de bruit et de vibration donc faible nuisance et meilleure conservation du matériel,
- ✓ Consommation d'air plus faible dans la mesure ou l'air comprimé qui sert à la foration sert aussi au nettoyage des trous.

Le choix du marteau fond de trou limite les options d'adaptation des diamètres, avec des (équipements disponibles en diamètres de 80 et 100 mm).

En fin de compte, nous recommandons l'utilisation du marteau fond de trou pour ses avantages, avec un diamètre de 80 mm. Si les besoins en foration nécessitent deux chariots de foration, il serait avisé de s'équiper des deux types de marteaux pour accroître la flexibilité des travaux de foration.

La profondeur des trous de mine nécessaire au dégagement du pied est généralement prise comme étant égale à 0,25 à 0,30 fois la banquette (2,5 à 3 m), soit 60 à 90 centimètres. Dans la pratique, nous la fixons à 0,5 à 1 m.

III.3.5.4. La maille des trous des mines [2]

La banquette qu'on assimile à la ligne de moindre résistance d'une volée de mines alignées est calculée simplement par la formule de Lange fors :

$$B = KD$$

Où :

B = banquette en m ;

K = coefficient expérimental qui dépend de l'explosif utilisé ;

D = diamètre de foration en mm.

Tableau.III.1. La maille de trous des mines. [2]

K	28 pour nitrate fuel
K	38 pour la dynamite gomme
Pour K = 30 (Anfomil amorcé avec de la Marmanite)	
D	80 mm
B	2,4 m arrondie à 2,5 m
Pour K = 35 (Marmanite seul)	
D	80 mm
B	2,80 m arrondie à 3 m
Pour K = 35	
D	60 mm
B	2,10 m arrondie à 2 m
Pour K = 30	
D	100 mm
B	3 m

L'espacement des trous des mines E est fixé à 1,25 B. ainsi on a :

B = 2 ; E = 2,50m ;

B = 2,5 E = 3,125m arrondi à 3m ;

B = 3 E = 3,75m arrondi à 3,5.

En pratique, nous utiliserons une maille de $3 \times 2,5$ m pour le diamètre de 80 mm et une maille carrée de 3×3 m pour le diamètre de 100 mm

Les tirs se feront par volée d'une ligne unique de trous de mine. Cette méthode est choisie en raison de la faible production, elle simplifie les opérations de chargement de l'explosif et réduit les effets sismiques du tir, notamment l'effet arrière sur les gradins.

III.3.5.5. Choix des explosifs et consommation

Pour les terrains relativement tendres et faiblement fissures du gisement nous optons pour 2 types d'explosifs disponibles sur le marché :

- L'anfomil, explosif nitraté lent à faible vitesse de détonation ;

➤ La marmanite, explosif brisant à forte vitesse de détonation.

Dans les tirs de volées de mines de diamètres 60, 80 ou 100 mm, la marmite sera utilisée en cartouches de 60 mm et de 80 mm uniquement pour l'amorçage des charges, à raison de 20 à 30% de la charge totale.

Le reste de la charge (70 à 80%) sera composé d'anfomil en charge en vrac pour augmenter le taux de remplissage des trous.

Dans les trous de 60 mm, l'utilisation de l'anfomil est déconseillée, car il risque de ne pas être mis à feu. La consommation spécifique d'explosifs déterminée par l'expérience varie considérablement en fonction de la dureté, de l'état de fissuration et de la fragmentation souhaitée des roches.

Le plan de chargement des trous de mine est illustré par schéma de tir d'une volée des mines sur un gradin de 10 m.

Il comprend deux charges d'explosifs :

- ✓ Une charge de pied égale à 70% de la charge totale ;
- ✓ Une charge intermédiaire égale à 30% ;

Les charges sont séparées par des hauteurs de bourrage fixées à 2,5 mètres pour le bourrage supérieur et 2 mètres pour le bourrage intermédiaire.

Pour une maille de 2,5 x 3 m et un diamètre de 80 mm, les quantités et les hauteurs d'explosifs mises en œuvre dans un trou de mine sont déterminées comme suit :

Au minerais

- ✓ Hauteur totale du trou de mine 10,5m ;
- ✓ Quantité d'explosif nécessaire par trou : $10\text{ m} \times 3 \times 2,5\text{ m} \times 3,3 \times 130\text{g} = 32\text{ kg}$;
- ✓ Hauteur de la colonne d'explosif en admettant un taux de Chargement de 1 à 6,40 m ;
- ✓ Hauteur de bourrage : $10,5 - 6,40 = 4,10\text{ m}$;
- ✓ Charge de pied : $32\text{kg} \times 0,7 = 22,4\text{kg}$;
- ✓ Charge intermédiaire = 9,6kg.

III.3.5.6. Composition des charges en (kg)

Tableau.III.2. Composition des charges en (kg). [2]

	Anfomil	Marmanite	Total
Charge de pied	18	4,4	22,4
Charge intermédiaire	7,6	2	9,6
Charge total	25,6	25,6	32

Le même calcul peut être fait au stérile avec un taux de chargement de 120g/T.

La mise à feu des charges d'explosif sera assurée avec du cordeau détonant de 10g/m et des amorces électriques.

III.3.5.7. Capacité et organisation de foration

On estime les besoins de foration sur la base de la production maximale de minerai plus le stérile prévue dans la 1^{ère} phase d'exploitation du gisement soit :

Tableau.III.3. Capacité et organisation de foration. [2]

Minerai	87,400 T/an au 364 T/poste
Stérile	218,500 T/an au 910 T/poste
Total	325,900 T/an au 1274 T/poste

Avec une maille de foration de 3m × 2,5m, la production est de :

✓ Au minerai : $3 \times 2,5 \times 3,3 = 24,75 \text{ T/m}^3$;

✓ Au stérile : $3 \times 2,5 \times 2,8 = 21 \text{ T/m}^3$.

Ce qui donne les besoins de foration :

✓ Minerai : $87,400 \text{ T} / 24,75 = 3,531 \text{ m/an}$

✓ Stérile : $218,500 \text{ T} / 21 = 10,405 \text{ m/an}$.

Foration secondaire (+10%) 1393 m/an.

Total : 15329 m/an.

La capacité de foration moyenne d'un chariot de foration forant avec un diamètre de 80mm et travaillant à un poste est estimée comme suit :

- ✓ Avec un marteau fond de trou : $15\text{m/h} \times 8\text{ h} \times 180\text{j} \times 70\% = 15\,120\text{m/an}$;
- ✓ Avec marteau hors de trou : $12\text{m/h} \times 8\text{ h} \times 250 \times 70\% = 16\,800\text{m/an}$.

Ainsi, un seul chariot de foration comble les besoins annuels de foration. Cependant, pour assurer une sécurité complète lors d'opérations d'abattage.

Pour des raisons pratiques et économiques relatives au transport et au chargement de l'explosif on procèdera au tir de mines une fois par 15 jours au minerai et une fois par semaine au stérile.

Les besoins d'abattage sont dans ces conditions :

- ✓ Minerai : $364\text{ T} \times 10\text{j} = 3640\text{T}/15\text{j}$;
- ✓ Stérile : $910\text{ T} \times 5\text{j} = 4,550\text{T/semaine}$.

La volée de minerai nécessaire la foration d'une des mines de $3640\text{ T} : 21\text{m} \times 11\text{m} = 20$ trous.

III.3.5.8. Organisation du chargement et du tir à l'explosif

Sur la base du plan de tir préalablement choisi et après avoir terminé la foration de chaque volée on procède aux opérations suivantes :

- ✓ Prise des mensurations exactes de la volée avec vérification de la profondeur et de l'accessibilité des trous ;
- ✓ Calcul des charges d'explosifs ;
- ✓ Le jour du tir, soufflage des trous ;
- ✓ Acheminement et chargement de l'explosif ;
- ✓ Tir ;
- ✓ Évaluation des effets de tir.

Pour les mesures de sécurité relatives au transport stockage et utilisation des explosifs. Les besoins d'explosif et de substances explosives pour une volée de mines sont estimés comme suit :

- ✓ Minerai : $3640\text{ T} \times 0,240\text{ kg} = 873,6\text{ kg}$;
- ✓ Stérile : $4.550\text{ T} \times 0,240\text{ kg} = 1,092\text{ kg}$;
- ✓ Cordeau de 10 g ;
- ✓ Minerai : $8\text{ m} \times 14\text{ trous} = 112\text{ m}$;

- ✓ Stérile : $8 \text{ m} \times 20 \text{ trous} = 160 \text{ m}$;
- ✓ Détonateur instantané : 1 par volée.

III.4. Organisation du chargement et du roulage

Les opérations de chargement et de transport des roches abattues seront réalisées par des pelles et des camions.

- ✓ Pour le chargement : pelle chargeuse à godet montée sur roues d'une capacité de godet de 3 m^3 .
- ✓ Pour le transport : camions de carrière de 15T à benne.

Le choix du type de pelle est justifié par le haut rendement. L'autonomie et la mobilité de ces engins.

Le choix du type de camion est justifié principalement robustesse, l'endurance et la sécurité offerte par ces engins notamment dans les descentes en charges (ce qui est le cas de notre projet).

III.4.1. Calcul des besoins de chargement

La capacité des pelles étant en rapport avec celle de leur godet. On la calcule avec les hypothèses suivantes :

Tableau.III.4. La capacité des pelles étant en rapport avec celle de leur godet. [2]

Densité moyenne de la roche	3 kg/m^3
Coefficient de foisonnement	$1,7 \text{ m}^3$
Temps moyen de chargement	$1,5 \text{ min}$
Coefficient de remplissage du godet	$0,7 \text{ m}^3$
Coefficient d'utilisation du temps de travail	$0,75 \text{ min}$

Godet de 3 m^3 :

$$\frac{3 \text{ m}^3 \times 0,7 \times 3 \times 8 \text{ h} \times 0,75 \times 60}{1,7 \times 1,5} = 1200 \text{ T/p}$$

Godet de 4 m^3 :

$$\frac{4 \text{ m}^3 \times 0,7 \times 3 \times 8 \text{ h} \times 0,75 \times 60}{1,7 \times 1,5} = 1600 \text{ T/p}$$

On voit qu'on a le choix entre 1 pelle de 3m³ utilisée à pleine capacité ou 1 pelle de 4m³ surdimensionné. Une pelle de réserve étant indispensable quel que soit la capacité choisie, nous optons donc pour le choix de 2 pelles de 3m³.

III.4.2. Capacité de transport

Pour les capacités unitaires, plusieurs options sont disponibles, notamment des camions de 15, 20, 25 et 30 tonnes. Cependant, le choix est restreint si l'on prend en compte la capacité réduite du concasseur à 60 tonnes par heure et celle des pelles de 3 mètres cubes, qui sont compatibles avec des camions de 15 ou 20 tonnes.

Les besoins de transport sont calculés en tenant compte des hypothèses suivantes :

- ✓ Densité moyenne des roches 3 ;
- ✓ Vitesse moyenne de transport 20 km/h ;
- ✓ Taux de remplissage des bennes 80% ;
- ✓ Distance de roulage : 1350m au minerai et 500m au stérile.

Les temps de cycle varient peu lorsqu'on augmente les capacités unitaires, et en même temps, le nombre des camions nécessaire diminue. Par conséquent, il est avantageux d'augmenter la capacité unitaire des camions au maximum compatible avec l'organisation de la production, la sécurité du travail et le coût de l'investissement.

Le choix des camions de 15 tonnes semble réunir le maximum de conditions favorables.

Cependant, la production des camions de 20 tonnes est préférable. La flotte nécessaire serait de 4 camions, donc 1 réserve.

III.4.3. Organisation du chargement et du roulage

L'organisation du travail à un poste requiert une capacité opérationnelle de chargement et de transport de 1274 tonnes par poste.

III.4.3.1. Inconvénient

1. Contraintes Techniques et Matérielles

- Sous-dimensionnement des équipements.
- Usure et pannes des engins.
- Disponibilité des équipements.

2. Problèmes de Sécurité

- Risque d'accidents.
- Fatigue des conducteurs.

3. Contraintes Organisationnelles

- Problèmes de coordination.
- Bouchons et retards.
- Mauvaise gestion des postes.

4. Impact Environnemental et Géotechnique

- Dégradation des pistes.
- Gestion des poussières.
- Stabilité des fronts de taille.

5. Contraintes Économiques

- Consommation de carburant élevée.
- Coût de maintenance.
- Rentabilité fluctuante.

Cette production pourrait être assurée par une seule pelle de 3 mètres cubes et 3 camions de 15 tonnes. Les opérations commenceraient par le minerai et se termineraient par le stérile.

Cette solution présente l'avantage d'optimiser l'utilisation des équipements de chargement et de transport. En effet, la production de minerai ne serait réalisée que pendant seulement $354/1274 = 27,7\%$ du temps de travail.

Cela signifie que la capacité opérationnelle du concasseur primaire devrait être de :

$$\frac{364T}{8 \times 75\% \times 27,7\%} = 219T/h$$

Ce qui est irréaliste même dans la perspective du doublement de la production.

Nous devons donc admettre une autre organisation du travail. Cette ci consiste à envisager en chantier au minerai qui travaillera pendant un poste avec une pelle et un camion et un chantier au stérile qui travaillera à un poste avec une pelle.

Elle a l'avantage de la souplesse et deux inconvénients : Sous-utilisation de la pelle au minerai et cout plus élevé du fait de la mobilisation de 2 pelles,

Dans le cas d'un doublement la production de minerai sera réalisée au premier poste avec une pelle et 2 camions et le stérile à deux postes avec une pelle et 2 camions.

Il faudra renforcer l'équipement avec une pelle et un camion.

III.5. Planning d'exploitation

Pour l'élaboration d'un planning on applique les hypothèses d'exploitation suivantes :

- ✓ Dans la 1^{ère} phase, la production commence au niveau supérieur 875 et se poursuit de proche en proche dans les niveaux inférieurs jusqu'au plancher de la carrière située au niveau 805 ;
- ✓ On remontera dans la 2^{ème} phase au niveau 905 pour redescendre de nouveau gradin par gradin jusqu'au nouveau plancher de la carrière situé au niveau 775 ;
- ✓ Chaque gradin sera exploité jusqu'à épuisement des réserves calculées dans chacune des variantes.

Sur ces bases, le planning d'exploitation est synthétisé par le schéma ci-dessous.

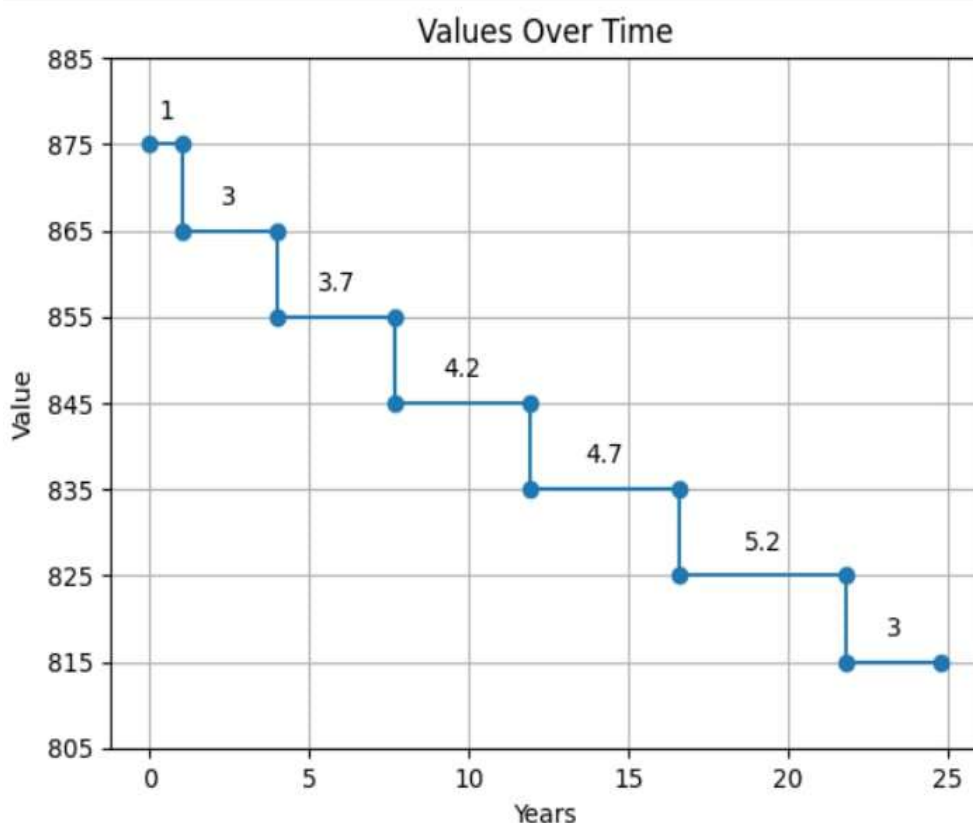


Figure.III.1. Schéma de planning d'exploitation de 1^{ère} phase.

Planning d'exploitation : Deuxième variante

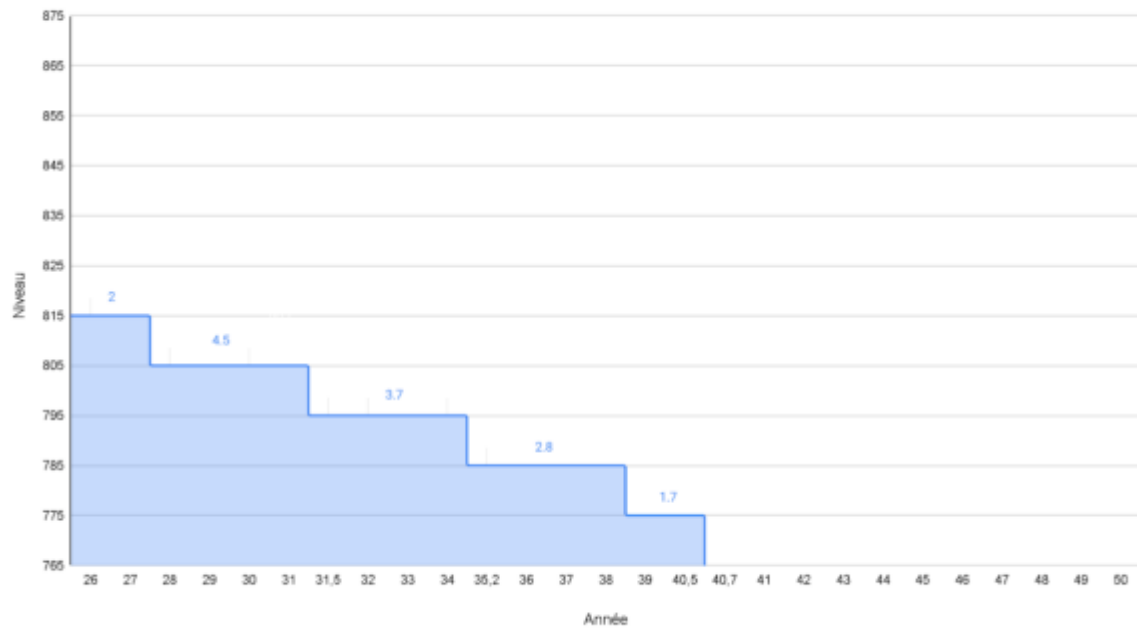


Figure.III.2. Schéma de planning d'exploitation de 2^{ème} phase.

III.6. Besoins en personnel

Les stricts besoins de l'exploitation minière sont estimés comme suit pour une organisation du travail à un poste de 8 heures 5 jours par semaine, 52 semaines par an, encadrement et maîtrise.

Tableau.III.5. Besoins en personnel. [2]

Ingénieur des mines, chef d'exploitation	1
Directeur de carrière	1
Ingénieur géologique	1
Topographe (à temps partiel)	1
Secrétaire technique	1
Chefs des postes pour minerai et stérile	2
Total des personnes	7

III.6.1. Abattage, travaux préparatoires, terrassements

Tableau.III.6. Abattage, travaux préparatoires, terrassements. [2]

Sondeurs-foreurs	2
Foreurs au marteau individuel	2
Conducteur de Bull dozer	1

Conducteur de niveleuse	1
Boutefeü	1
Aide boutefeü	1
Total des personnes	8

III.6.2. Chargement et roulage

Tableau.III.7. Chargement et roulage. [2]

Conducteurs des pelles	3
Chauffeurs de carrière	4
Chauffeur d'arroseuse	1
Pointeur	1
Total des personnes	9

III.6.3. Maintenance de chantier

Tableau.III.8. Maintenance de chantier. [2]

Mécanicien	1
Electricien	1
Total des personnes	2

III.6.4. Sécurité

Tableau.III.9. Sécurité. [2]

Gardiens de poudrière	4
Gardiens de carrière	2
Total des personnes	6
Total des personnes effectifs de carrière	31

III.7. Transport et entreposage des explosifs

Au cours de la première phase d'exploitation les besoins en explosifs sont au maximum de :

$$0,240 \text{ kg} \times (87400+218500 \text{ T}) = 73416 \text{ kg / an.}$$

En cas de doublement de la production la consommation serait de 146.832 kg/an.

En tenant compte de cette perspective la capacité de stockage d'un dépôt d'explosif qui serait alimenté 2 fois par mois serait de 5 T pour une consommation bimensuelle de 3500 kg.

Ce dépôt est de première catégorie, la conception d'un tel dépôt il doit obéir aux règles de sécurité en vigueur.

III.8. Mesures de réhabilitation du site après la fermeture de la mine

Les principales mesures de réhabilitation du site à la fin de l'exploitation du gisement sont :

- ✓ Ramassage de tous les déchets industriels et entreposage à des endroits désignés et contrôlés ;
- ✓ Reboisement des terrasses de carrière et des remblais ;
- ✓ Drainage des eaux pour éviter les éboulements et l'érosion ;

Condamner les accès aux endroits dangereux en comblant, clôturant ou en signalant par un écriteau.

III.9. Conclusion

Le minerai barytique de Koudiat Safia est un minerai non abrasif témoignant un taux de silice faible dans le minerai, ce dernier à une aptitude forte et élevée pour le broyage. La fragmentation souhaitable est celle qui facilite les opérations de chargement, de transport et de concassage.

La piste de roulage du minerai (piste principale) aura une longueur de l'ordre d'une largeur de chaussée de 10m. Pour des raisons pratiques et économiques relatives au transport et au chargement de l'explosif on procèdera au tir de mines une fois par 15 jours au minerai et une fois par semaine au stérile.

IV.1. Introduction

L'industrie minière est le secteur économique qui regroupe les activités de prospection et d'exploitation de mines. Elle concerne l'extraction des ressources minérales. Son activité est cadrée dans la plupart des pays par un Code minier.

La plupart des activités industrielles reposent sur l'extraction des minerais et des produits minéraux, et les activités extractives s'exercent dans presque tous les pays du monde, sous une forme ou une autre. Les industries extractives ont d'importantes répercussions sur l'économie, l'environnement, le travail et les aspects sociaux.

IV.2. Évaluation d'un projet minier [13]

Un projet minier est un projet d'investissement qui commence par l'exploration puis, en cas de découverte d'un gisement, il passe à l'exploitation de ce gisement afin de produire un ou plusieurs produits marchands (un ou plusieurs minéraux, un concentré, plusieurs métaux plus ou moins purs, etc.).

Ces projets sont longs et coûteux, depuis la demande d'un titre d'exploration jusqu'à la finalisation de l'étude démontrant la faisabilité d'une mine.

Les principaux travaux d'exploration sont les levés géophysiques, géochimiques et géologiques, l'échantillonnage et le sondage. Le processus d'exploration dure généralement de deux à dix ans avec un risque financier très élevé puisque, selon les connaissances géologiques initiales, seuls 5 à 20% des projets aboutissent.

Lorsque les résultats des travaux d'exploration permettent de délimiter un gîte minéral avec un tonnage significatif, diverses études d'évaluation des paramètres technicoéconomiques doivent être effectuées : évaluation économique préliminaire, étude de préfaisabilité et étude de faisabilité.

IV.2.1. Évaluation économique préliminaire (conceptuelle)

C'est la première étude technique et économique à réaliser pour un projet minier, dans le but de faire une première estimation des coûts d'investissement et opératoire ainsi que des travaux à réaliser, pour avancer, selon les cas, vers l'étude de préfaisabilité ou de faisabilité, si les conclusions justifient la poursuite des travaux. Cette étude a pour but de :

- ✓ Déterminer si le projet a un potentiel de viabilité économique après avoir pris en compte toutes les composantes techniques, environnementales et sociétales du projet ;
- ✓ D'identifier les problèmes éventuels à résoudre nécessitant des études détaillées ;

- ✓ D'identifier et de décrire, avec le budget correspondant, les différentes options ou scénarios possibles pour la poursuite du projet.

Cette étude est basée sur un l'ensemble de travaux :

- ✓ Délimitation des corps minéralisés sur la base de travaux d'exploration par sondage et analyse géochimique ;
- Estimation du tonnage et de la teneur des réserves et des ressources minérales ;
- Le type d'exploitation envisagé, à ciel ouvert ou souterrain ;
- Essai-pilote de traitement du minerai, afin de réaliser une première estimation des coûts en capital initiaux et des coûts de production.

IV.2.2. Étude préliminaire de faisabilité

Les objectifs d'une étude de préfaisabilité sont voisins de ceux de l'étude économique conceptuelle. Elle diffère seulement que son degré de précision est supérieur à celui de l'étude conceptuelle. Son utilité est de contrôler l'avancement du projet et de servir de base, au vu des résultats, de poursuivre ou d'abandonner le projet. L'étude doit inclure les renseignements adéquats sur l'exploitation minière, le traitement, la métallurgie, les aspects économiques et les autres facteurs pertinents démontrant qu'il est possible, au moment de la rédaction du rapport, de justifier l'extraction rentable.

Cette étude nécessite la poursuite des travaux de forages pour obtenir une maille suffisamment serrée de données analytiques pour pouvoir effectuer le calcul des ressources au niveau « indiqué », aux essais de traitement du minerai et aux autres études comprises dans ce type d'étude.

IV.2.3. Étude de faisabilité

L'étude de faisabilité a pour but de démontrer que l'exploitation d'un gisement déterminé est techniquement et économiquement viable (« faisable ») et socialement accepté. Cette étude détaille notamment le projet d'exploitation et la méthode de traitement envisagés, le calcul des réserves exploitables et de la rentabilité, les besoins en personnel et les sources de financement du projet.

Le rapport de cette étude va servir à l'entreprise :

- Pour monter le financement de la mise en production par des investisseurs potentiellement intéressés par une prise de participation dans le projet ;

➤ Décider de la mise en route des opérations d'achats de matériels et de services d'ingénierie, recrutement et formation du personnel, travaux préparatoires tels que la construction des infrastructures nécessaires, de l'usine de traitement du minerai, des aires de structure, décapage éventuellement nécessaire pour accéder au minerai.

IV.3. Caractéristiques économiques et aléas affectant les projets miniers [9]

L'industrie des mines se caractérise, pour la quasi-totalité de la production mondiale, par des exploitations industrielles de grande échelle. S'il existe des productions de type artisanales, celles-ci ne pèsent pas grand-chose dans la production minière, à l'exception de la production de quelques métaux rares tels que les terres rares « lourdes ».

L'activité de traitement des minerais a généralement lieu à faible distance des exploitations minières, afin de réduire au maximum les coûts du transport sur de longues distances de tonnages importants.

Ce segment de l'industrie minière nécessite les investissements les plus élevés parmi les trois segments mentionnés.

Le financement des projets miniers est progressif. Il correspond à trois grandes tranches successives :

- L'investissement public dans l'identification du patrimoine minéral du pays de l'une de ces régions ;
- En cas d'identification de zones particulièrement prometteuses, l'investissement dans l'exploration minière, chacune des phases étant séparée de la suivante par une décision de poursuivre ou d'abandonner le projet au vu des résultats et du contexte économique. Cet investissement comprend l'ensemble des cinq dépenses réalisées avant la décision de mise en production du gisement ;
- En cas de conclusion positive de l'étude de faisabilité, mobilisation de l'investissement en capital nécessaire pour la mise en production. Cet investissement doit comprendre une provision pour financer les travaux d'arrêt de l'exploitation lorsque celui-ci arrivera en fin de vie économique.

Des investissements en capital peuvent également s'avérer nécessaires au cours de l'exploitation, par exemple pour renouveler un parc d'engins, moderniser une installation ou accroître la capacité de production.

Les investissements réalisés avant la mise en exploitation sont particulièrement exposés aux divers types d'aléas spécifiques aux projets miniers, dont les plus évidents sont une chute du cours des métaux annihilant les perspectives d'exploitation suffisamment rentable du gisement et des changements imprévus du cadre juridique et/ou fiscal applicable au projet, par exemple suite à un changement de gouvernement.

Les investissements ne pourront être récupérés et être générateurs de profits que si le gisement est exploité dans les conditions économiques au moins égales à celles prévues dans l'étude de faisabilité.

A ces investissements d'exploration viendront s'ajouter ceux de mise en production du gisement, appelés « coût en capital » (« Capital expéditeur », acronyme CAPEX, dans la littérature anglo-saxonne). Le CAPEX est l'un des principaux indicateurs permettant d'évaluer l'économie d'un projet ou de comparer des projets entre eux. Il est indispensable pour financer toutes les dépenses de construction d'infrastructures, l'acquisition des équipements nécessaires à l'exploitation et au traitement du minerai, le recrutement et la formation du personnel. Ces investissements sont réalisés au vu d'une étude de faisabilité.

Le montant du CAPEX peut varier entre quelques millions de dollars, pour de petites exploitations très simples situées dans des régions à infrastructures existantes à plus de dix milliards de dollars pour des exploitations de très grande échelle, par exemple de minerai de fer, produisant des dizaines de millions de tonnes de minerai par an, nécessitant des infrastructures complexes, notamment pour acheminer le produit marchand vers ses marchés. A ce CAPEX initial vient se rajouter un CAPEX d'exploitation, destiné à financer le renouvellement des équipements lors d'exploitations à longue durée de vie.

IV.4. Les phases du projet minier

Les projets miniers sont soumis à de nombreux aléas, exposant tous les acteurs (États, industrie minière, communautés riveraines de projets miniers) à des risques.

L'importance des investissements à réaliser pour mettre en production une nouvelle mine, la nature et l'importance des aléas spécifiques aux projets de production de ressources naturelles, dont les projets miniers nécessitent un déroulement par étapes du projet minier afin de réduire au maximum les aléas. Ceux-ci sont maximaux au tout début d'un projet minier, le risque principal étant la non-viabilité économique du projet, le risque de ne jamais pouvoir mettre en évidence des réserves minérales économiquement exploitables. [9]

La complexité des projets miniers ; l'importance de leurs impacts économiques, environnementaux et sociaux potentiels ; le processus de transformation d'un capital naturel non-renouvelable en d'autres formes de capital (économique, infrastructurel, social...) nécessitent une collaboration étroite entre l'État et ses déclinaisons territoriales et locales, d'une part, et les opérateurs industriels d'autre part, tout au long de la vie des projets miniers.

Un projet minier de taille industrielle ne se matérialise pas soudain par le démarrage d'une exploitation, celle-ci n'étant que l'aboutissement d'une série d'étapes préalables destinées à démontrer l'existence d'une minéralisation exploitable dans des conditions économiquement, environnementale ment et socialement satisfaisantes. La démonstration de cette faisabilité est un processus qui s'étend généralement sur dix ans, et bien davantage dans de nombreux cas.

L'enchaînement des différentes phases du projet minier et les rôles prépondérants respectifs des États et des opérateurs industriels, sachant d'une part, que d'autres acteurs interviennent dans le processus, l'arène minière ne se réduisant pas au binôme firme-État et, d'autre part, que l'État peut avoir des participations dans le capital industriel.

La figure représente également (fond jaune) les activités qui sont de la responsabilité des États (ou de leurs collectivités territoriales dans le cas de certains États fédéraux et celles (fond vert) qui sont du rôle des opérateurs industriels. La limite entre la zone en jaune et celle en vert de la phase 2 (exploration multiméthodes, chiffres sur fond bleu) est volontairement floue, certains États pour des raisons de politique de développement régional et/ou de stratégie industrielle, choisissant de s'engager plus avant dans l'exploration, renforçant ainsi l'attractivité des sujets qu'elles proposeront aux investisseurs miniers et leur position des négociations.



Figure.IV.1. Les principales phases d'un projet minier. [9]

IV.5. Étude économique de gisement de Koudiat Safia [2]

IV.5.1. Estimation des investissements

Les investissements estimés ne concernent que l'exploitation minière à l'exclusion des infrastructures logistiques de maintenance magasinage, adduction d'eau, et qui seront pris en charge au niveau du traitement.

IV.5.2. Infrastructure logistique

Tableau.IV.1. Infrastructure logistique.

Désignation	Coûts (DA)
Route d'accès à la carrière	45.000.000
Un dépôt d'explosif de première catégorie	4.000.000
Un laboratoire de contrôle de qualité de 50 m ² équipé	16.500.000
Bureaux techniques de 50 m ²	5.000.000
Total	70.500.000

IV.5.3. Equipements et matériels de production

Tableau.IV.2. Equipements et matériels de production.

Désignation	Coûts (DA)
Deux marteaux avec leurs compresseurs	20.305.600
Deux pelles chargeuses sur pneus de 3 m ³	40.000.000
Quatre dumpers de 15 T	252.500.000
Un bull dozer	45.000.000
Une niveleuse	33.600.000
Cinq marteaux individuels	100.000
Stock outil	14.312.000
Total	405.817.600

IV.5.4. Véhicule utilitaire

Tableau.IV.3. Véhicule utilitaire.

Désignation	Coûts (DA)
Un camion de 2,5 tonnes pour transport de l'explosif	33.600.000
Un camion de transport de personnel	46.000.000
Un camion de liaison tout terrain	73.000.000
Total	152.600.000

IV.5.5. Couts d'exploitation

IV.5.5.1. Frais personnel

Tableau.IV.4. Frais personnel.

Personnel	Nombre	Frais unitaire (DA)/mois	Coûts Totale (DA)/an
Deux cadres Supérieurs	2	121.700	2920.8
Quatre A.M	4	48.900	2347.2
Dix-sept ouvriers qualifiés	17	107.800	21.991.200
Huit ouvriers spécialisés	8	41.200	3955.2
Total mensuel	31	2.601.200	264005078.4

IV.5.5.2. Consommables

Tableau.IV.5. Consommables.

Consommables estimation	Coûts (DA)
Pièce de recharge et accessoire	20.000.000
Carburant et lubrifiants	6.500.000
Energie électrique, eau	1.000.000

Estimation pour les premières années d'exploitation :

Tableau.IV.6. Explosifs et substances explosives.

Désignations	Coûts (DA)
Explosifs	16.518.600
Accessoire de tir DHR, CD, F.E	3.000.000
Total d'explosifs	19.518.600
Fournitures divers	2.000.000

L'investissement à hauteur de 70 % par un crédit à moyen terme de 05 ans au taux d'intérêt de 15 % avec un différé de remboursement.

IV.5.5.3. Frais divers de gestion

➤ Estimation = 500.000 DA.

IV.5.5.4. Amortissement

Nous ferons les hypothèses d'amortissement suivantes :

Tableau.IV.7. Les hypothèses d'amortissement.

Désignation	Taux d'amortissement (%)
Bâtiments et infrastructures	5 %
Equipment et outillage	10 %
Matériel roulant	20 %
Stock outil, autres frais	20 %

Ce qui donne les amortissements suivants :

Tableau.IV.8. Les amortissements annuels.

Désignation	Amortissement annuels (DA)
Bâtiments et infrastructures	255.000
Equipment et outillage	255.000
Matériel roulant et stock outil	7.760.000
Total	7.985.000

IV.5.5.5. Récapitulation des charges d'exploitation

Tableau.IV.9 : Récapitulation des charges d'exploitation.

Frais personnel	264005078,4
Consommable	27.500.000
Impôt et taxes	1.000.000
Frais divers gestion	500.000
Total de charges directes	293 005 078,4
Amortissement	7.985.000
Total des charges	593 995 156,8

IV.5.5.6. Prix de revient de l'extraction en carrière

Le prix de revient du minerai tout venant extrait de la carrière et acheminé à l'entrée de l'usine de traitement est de :

$$\frac{593\,995\,156,8\text{ DA}}{87.400\text{ T}} = 6\,796.28\text{ DA/tonne}$$

Au cours des premières années d'exploitation, ce prix devrait augmenter sous l'effet de l'inflation mais cette hausse sera tempérée, Par la diminution des frais financier et des amortissements après la 5^{ème} année.

IV.6. Etude d'impact sur l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est un instrument indispensable et privilégie dans la planification du développement et de l'utilisation des ressources et du territoire. Elle porte l'attention sur les préoccupations environnementales à toutes les phases de réalisation du

projet, depuis sa conception jusqu'à son exploitation, sans remettre en jeu sa faisabilité technique et économique.

Cette étude revêt une importance particulière pour les pays qui élaborent des projets dans le cadre de la réorientation et de la restructuration de leur économie. Elle est prévue par la loi dans un grand nombre de pays développés, et est aujourd'hui de plus en plus appliquée dans les législations des pays en développement et dont les économies sont en transition.

L'EIE a pour objet de déterminer les risques qu'une activité envisagée est susceptible de faire courir à l'environnement et de proposer les mesures d'atténuation ou de correction. Elle peut être appréhendée comme l'étude à laquelle il doit être procédé avant d'entreprendre certains projets d'ouvrages ou d'aménagements, publics ou privés, dans le but d'apprécier l'incidence de ces derniers sur l'environnement.

L'EIE apparaît alors comme un outil utile à chacun des trois principaux protagonistes que sont le promoteur de l'activité, l'autorité publique et les populations. Elle permet d'abord au promoteur de l'activité de planifier, concevoir et mettre en œuvre un projet ou programme de développement qui minimise les effets environnementaux négatifs et maximise les bénéfices en termes de coût et efficacité. Elle permet ensuite à l'autorité publique de prendre une décision d'autorisation en connaissance de cause. Elle permet enfin au public de mieux comprendre les 102 projets ou programme de développement et ses impacts sur l'environnement et les populations concernées.

IV.7. Types d'impact [12]

Ce critère renseigne sur le caractère réparable ou pas de l'impact. Celui-ci peut être :

- 1)- Atténuable (A) : Lorsque L'impact est susceptible de provoquer un changement réparable sur l'élément qu'il touche.
- 2)- Partiellement Réparable (P) : lorsque l'impact est susceptible de provoquer un changement partiellement réparable.
- 3)- Non-Atténuable (a) : Lorsque L'impact est Susceptible de provoquer un changement irréparable sur l'élément qu'il touche.

IV.7.1. La qualité de L'impact

Ce critère renseigne de l'impact ou pas d'impact, celui-ci peut être :

1)- Déterminant (D) : Lorsque l'impact est susceptible de provoquer une modification importante ayant une action déterminante sur le fonctionnement normal de l'élément qu'il touche.

2)- Non- Déterminons (d) : Lorsque l'impact est susceptible de provoquer une modification importante ayant une action non déterminante sur le fonctionnement normal de l'élément qu'il touche.

IV.7.2. Portée de L'impact

Ce critère concerne l'envergure spatiale de l'impact Celle-ci peut être :

1)- Voisine (v) : Lorsque l'envergure de l'impact couvre un rayon inférieur ou égal à 01 Km.

2)- Locale (L) : Lorsque l'envergure de l'impact couvre un rayon supérieur à 01 Km et inférieur ou égale à 05Km.

3)- Zonale (Z) : Lorsque l'envergure de l'impact couvre un rayon supérieur à 05 Km et inférieur ou égale à 100 Km.

4)-régionale (R) : Lorsque l'envergure de l'impact couvre un rayon supérieur à 100 Km et inférieur ou égale à 500 Km.

5)- Nationale (N) : Lorsque l'envergure de l'impact couvre un rayon supérieur à 500 Km.

IV.7.3. Durée de l'impact

Ce critère concerne la durée dans le temps de l'impact celui-ci peut être :

1)- Indéterminée (X) : Lorsque l'envergure ou l'apparition de l'impact est indéterminée.

2)- Immédiate (I) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps inférieur ou égal à 30 jours à partir de la date de sa manifestation.

3)- Proche (P) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 30 jours et inférieur ou égale à 06 mois à partir de la date de sa manifestation.

4)- Très Court Terme (T) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 06 mois et inférieur ou égal à 12 mois à partir de la date de sa manifestation.

5)- Court Terme (C) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 12 mois et inférieur ou égal à 03 années à partir de la date de sa manifestation.

6)- Moyen Terme (M) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 03 années et inférieur ou égal à 10 ans à partir de la date de sa manifestation.

7)- Longe Terme (G) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 10 ans et inférieur ou égal à 50 ans à partir de la date de sa manifestation.

8)- Infinie (F) : Lorsque l'envergure de l'impact dure un temps supérieur à 50 ans.

IV.8. Méthode d'évaluation des impacts sur l'environnement [11]

L'évaluation environnementale désigne l'ensemble de la démarche destinée à analyser les effets sur l'environnement d'un projet d'aménagement, mesurer leur acceptabilité environnementale et éclairer les décideurs. Elle vise à :

- Améliorer la décision par une prise en compte explicite et sélective des considérations environnementales.
- Fournir une base solide pour la gestion des conséquences sur l'environnement des actions d'aménagement.
- Permettre aux citoyens de s'exprimer sur les modifications prévisibles de leur cadre de vie.
- Favoriser l'intégration des objectifs fondamentaux que sont la protection de l'environnement et le développement durable.

a) L'impact de l'exploitation d'une carrière sur l'environnement

L'impact de l'exploitation d'une carrière sur l'environnement peut être de nature diverse, pour bien les identifier et les minimiser, une évaluation préliminaire du milieu est indispensable. Cette évaluation comporte une analyse de l'état initial du site et de son environnement portant notamment sur :

- Les richesses naturelles.
- Les espaces (naturels, agricoles, forestiers, maritimes ou de loisirs) affectés par les aménagements ou ouvrages.
- Une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement et plus particulièrement sur : la faune et la flore, les sites et les paysages, le sol, l'eau, l'air, le climat, la commodité de voisinage (effets liés aux bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses et autres émissions polluantes), l'hygiène, la santé, la sécurité et la salubrité publique.

- Les mesures envisagées par le maître d'ouvrage pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet pour l'environnement et la santé.

b) Impacts socio-économiques

Les activités d'exploitation des carrières ont un impact social varié, on cite :

- Les répercussions sur la santé des personnes employées et des habitants au voisinage
- Des modifications induites dans l'environnement et dans les conditions de vie des populations locales.

Pour ce que concerne aux impacts économiques on aura :

- La création de postes d'emploi permanents.
- De nouveaux revenus fiscaux pour les collectivités locales.
- L'aménagement de nouvelles voies de transport et de communication.
- L'occupation des sols, notamment lorsque le site fait déjà l'objet d'une mise en valeur agricole ou forestière.

Sur le plan social, les populations principalement paysannes sont directement touchées, la création de postes d'emplois va encourager les jeunes à travailler dans la carrière et quitter l'activité agricole, poussés par les salaires avantageux et le caractère stable du travail.

c) Impacts sur les ressources en eau (impacts hydrogéologiques)

Lorsqu'une excavation est créée dans le sous-sol, c'est toute la circulation de l'eau de surface et des eaux souterraines qui peut être modifiée à cet endroit. Le rabattement de nappe est un phénomène couramment observé : le niveau de l'eau souterraine s'abaisse dans les sols situés autour des carrières tandis que celles-ci se remplissent. Les volumes, les trajets de circulation, les vitesses d'écoulement initiales peuvent être perturbés et provoquer un assèchement ou une inondation aux alentours. Seules des investigations lourdes (suivi piézométrique sur plusieurs années) peuvent apporter des éléments de réponse.

d) Impacts hydrologiques

Il est très fréquent qu'une carrière engendre des rejets d'eau au milieu naturel. On distingue deux origines à ces eaux :

- L'eau d'exhaure qui n'est présente que si l'excavation a rencontré un réservoir souterrain.

- L'eau météorique qui peut s'accumuler en fond de fouille après avoir ruisselé sur les pistes, les fronts de taille ou les stocks de matériaux.

L'impact produit est :

- La déviation des cours d'eaux,
- La modification des éléments constitutifs,
- La pollution par des eaux usées contaminées et la pollution due au renforcement de l'érosion.

e) Impacts biologiques (la faune et la flore)

L'effet des polluants poussiéreux sur les végétaux est très mal connu, mais il a été constaté quelques manifestations physiologiques ou parasites, dues certainement à des polluants chimiques, sur certaines plantations situées à proximité des sources de pollution. L'effet des poussières sur la flore est caractérisé par la dégradation avec le temps des plantes, le ralentissement du processus de photosynthèse (après constitution d'un écran), la diminution de leur durée de vie, ...etc., créant ainsi une gêne ou une déstabilisation réelle pour l'agriculture et pour l'aspect paysager.

La pollution par les poussières de l'atmosphère joue aussi un rôle non négligeable en faveur du déplacement et de l'émigration des espèces animales. Donc par conséquence, le développement de l'activité d'extraction des matériaux dans une région est de nature à détruire la flore et écarter (faire migrer) la faune.

f) Impacts sur l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certain élément peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation.

Dans le cas des carrières à ciel ouvert, la précarité de l'atmosphère est due aux :

- Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif, et le trafic routier,
- Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'ignition spontanée de terrils et les échappements des engins et des automoteurs.

g) Impacts sur le paysage

Il est évident que l'extraction de la carrière entraînerait une transformation du paysage et un impact négatif de la surélévation naturelle des reliefs (altération de la morphologie et l'apparition des surfaces dévastées), produisant des impacts visuels tel que :

- Le déboisement.
- La position de l'installation de traitement,
- La forme de l'excavation, laisse des cicatrices dans le paysage.
- L'aspect des fronts de taille,
- **Le** stockage des remblais,
- Les contrastes de forme et de couleur.

h) Impacts sur les infrastructures

L'exploitation d'une carrière entraîne à long terme l'effet d'usure permanent des infrastructures routières par l'usage des convois et le risque de dégâts aux constructions voisines par les vibrations introduites. Le transport des matériaux endommage les voiries, la circulation des engins entraîne la dégradation des chaussées et aggrave les risques de dérapage sur les routes par suite de l'épandage des boues.

i) Impact des bruits et vibrations

- Déversement et chargement des matériaux extraits dans les bennes des dumpers
- Les installations de traitement (broyeur, concasseur...).
- Les klaxons de recul des engins et véhicules.
- Les sirènes de mise en marche des installations.

IV.9. Conclusion

Un projet minier constitue un investissement qui débute par une phase d'exploration. Dans ce cadre, la production pourrait être assurée par une seule pelle de 3 m³ et trois camions de 15 tonnes. Les opérations s'étendraient du traitement du minerai jusqu'à la gestion des stériles.

Il est à noter que l'extraction du minerai ne représenterait que 27,7 % du temps total de travail, soit 354 heures sur 1274.

Dans cette optique, la capacité de stockage d'un dépôt d'explosifs, approvisionné deux fois par mois, serait de 5 tonnes, pour une consommation bimensuelle estimée à 3500 kg. Le coût de revient à la tonne extrait depuis la carrière est évalué à 6796,28 DA/t.

Conclusion générale

La région de Médéa fait partie de la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien, s'étendant jusqu'à l'extrémité nord des Hauts Plateaux. Elle se distingue géologiquement par la présence de formations datant du Crétacé, principalement localisées dans la partie nord de la wilaya, ainsi que par des dépôts cénozoïques, prédominants au sud.

Le gisement de Koudiat Safia est associé à des roches sédimentaires, notamment à des formations évaporitiques telles que le gypse et l'anhydrite, résultant de processus de dissolution et de précipitation. Ces conditions géologiques sont propices à la formation de minéraux comme la barytine (ou baryte).

L'exploitation de ce gisement dépend des caractéristiques spécifiques de la minéralisation. Des méthodes d'extraction à ciel ouvert peuvent être envisagées, en fonction de la profondeur et de l'étendue du gisement.

La gestion durable des ressources minérales constitue un enjeu crucial. Il est essentiel d'élaborer des plans d'exploitation à long terme, intégrant la préservation de l'environnement et les besoins des générations futures.

Le coût de revient du minerai brut, extrait de la carrière et transporté jusqu'à l'entrée de l'usine de traitement, est estimé à 6796,28 DA par tonne.

Avec une réserve estimée à 3,9 millions de tonnes, le gisement de baryte de Koudiat Safia représente un potentiel intéressant pour l'industrie minière. Toutefois, une étude approfondie est indispensable pour en évaluer la rentabilité économique et les impacts environnementaux. Une exploitation raisonnée et durable de ce gisement pourrait contribuer significativement au développement socio-économique de la région de Médéa.

Références bibliographiques

- [1] : MERAH, Chafia. Eléments de l'exploitation des mines.
- [2] : ERM : Étude de valorisation du minerai de baryte de koudiat safia (ENOF). 1994.
- [3] : SAKOUT, Soundes et DRID, Zahra. : Sélection de la méthode d'exploitation appropriée au gisement de phosphate de Bled El Hadba. Algérie. 2024.
- [4] : AMAR, Hicham. Tri des stériles miniers comme nouvelle approche de gestion intégrée : contrôle du drainage minier et valorisation. Ecole Polytechnique, Montréal (Canada), 2020.
- [5] : Rapport final sur les résultats des travaux d'exploitation de la baryte de Koudiat Safia, Février 2021.
- [6] : BATOUCHE Toufik. Caractérisation et traitement du minerai barytique de Ain Mimoun pour l'obtention d'un concentré de haute qualité. 2021. Thèse de doctorat. Université Larbi Tebessi – Tebessa.
- [7] : HAMDAOUI, Rami, GUEMMOULA, Houssam-Eddine, DJAHRA, Mohamed Elmoundher, et al. Etude des quelques produits entrants dans la fabrication et le traitement de la boue de forage. Mémoire fin de cycle 2022-2023.
- [8] : ZOUAOUI, Hamza et ROUMMANI, Abdel Hamid. Etude d'influences des impuretés sur la qualité de la baryte, cas de la mine d'Ain Mimoun-Khenchela. 2017.
- [9] : CHRISTMANN, P., ARNDT, N., COCHONAT, P., et al. Spécificités et phases du projet minier : introduction. Institut de recherche pour le développement, Collection expertise collégiale, Marseille, 2016.
- [10]: "World Barite Mine Production by Country", US Geological Survey.
- [11] : SABAO, Dulce Isabel. Etude du gisement : projet d'exploitation de la carrière d'argile d'Irdjen dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de fin de cycle. 2018-2019.
- [12] : BOUKHAMLA Sonia, BOUKOUBA Marwa. Apport du SIG à l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) De l'exploitation des carrières à ciel ouvert : Cas de la mine de fer, Dj. Ouenza, N-E Algérien. Mémoire master. 2022.
- [13] : Dr. Mohamed DASSAMIOUR. Économie et valorisation minière. Spécialité : Ressources minérales, Géo-matériaux et Environnement. 2020. Pag : 18-20.

[14] : BOURBALA Brahim, MOUSSAOUI El Abas. Essais de valorisation de la Barytine du Gisement de Bou-Caïd par Flottation. Mémoire de fin de cycle. 2013. Pag : 13.

Annexes :

Historique de recherches et d'évaluation du gisement :

Les premiers renseignements sur l'indice de minerai de Koudiat-Safia se rapportent à la période du levé géologique à 1/50.000 sur la feuille 110 par la compagnie. Durant les années 1970/80 des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 ont été établies sur le territoire de la wilaya de Médéa.

- Elaboration en 1981 par la SONAREM (V. Chevtsov, 1981) de la notice explicative de la carte de répartition des substances utiles dans la wilaya de Médéa.
- Elaboration en 1982 par la SONAREM. (V. Koutenets, Dmitrovski L., Makoudi S. et al 1982), d'un rapport sur le projet des travaux de prospection sur la barytine dans la région de Berrouaghia.
- Rapport préliminaire sur le gisement de Koudiat-Safia, synthèse des travaux de la compagnie d'été ; proposition et définition du sujet : Aoudjehane M. 1983.
- Rapport sur les résultats des travaux de prospection-évaluation exécutés dans le cadre du contrat N°55-100/22000 sur le territoire de l'Algérie du Nord au premier trimestre 1983.
- Rapport informatif sur la prospection de la baryte dans la région de Berrouaghia : Koutenets V., Dmitrovski L. 1983.
- Etude de laboratoire d'enrichissement d'un échantillon T-1 Koudiat- Safia. : Yahiaoui B., Khelladi B. 1984.
- En 1985 un rapport sur les résultats de l'évaluation détaillée du gisement de barytine de Koudiat Safia avec calcul des réserves a été réalisé par l'EREM (Tchalik L., Tcheredntk V. et al 1985).
- En 1984-1988 un rapport a été réalisé sur les résultats de prospection des polymétaux dans la région de Berrouaghia (Feuille 110 et 111) par Benahmed A., Kirnossenko M. et al 1988.
- Conception d'un schéma d'enrichissement du minerai de barytine de Koudiat-Safia : Sidam, ENOF 1994.
- Rapport final sur l'étude du minerai de barytine de Koudiat- Safia : Sidam, 1995.tidirectionnelles.

Résumé :

Ce projet a pour but d'analyser les conditions d'exploitation du gisement de baryte situé à Koudiat Safia, dans la wilaya de Médéa. L'étude a pour objectif d'évaluer la faisabilité d'une production annuelle de 50 000 tonnes de baryte, en intégrant les dimensions techniques, économiques et environnementales du projet.

Trois méthodes d'exploitation sont envisagées en fonction des caractéristiques géologiques du gisement :

- La méthode des chambres et piliers, adaptée aux gisements filoniens à faible pendage (entre 15° et 30°).
- La méthode des sous-niveaux abattus, utilisée pour les amas de grande puissance.
- La méthode des chambres magasins, appropriée aux gisements verticaux ou subverticaux (86° à 90°) à structure filonienne.

Le gisement de Koudiat Safia dispose de réserves estimées à 3,9 millions de tonnes. Avec une cadence de production annuelle de 50 000 tonnes, la durée d'exploitation pourrait s'étendre sur près de 78 ans, sous des conditions constantes.

Une exploitation rationnelle et durable de cette ressource permettrait non seulement de dynamiser l'économie locale, mais aussi de contribuer à la diversification du secteur minier en Algérie. Toutefois, la réussite du projet dépendra d'une étude approfondie visant à optimiser les stratégies d'exploitation et à anticiper les impacts environnementaux à long terme.

Mots clés : Baryte ; Exploitation ; Koudiat Safia ; Environnement ; Filon.

Abstract:

This project aims to analyze the mining conditions of the barite deposit located in Koudiat Safia, in the wilaya of Médéa. The study aims to assess the feasibility of annual production of 50,000 tons of barite, integrating the technical, economic, and environmental dimensions of the project.

Three mining methods are considered based on the geological characteristics of the deposit:

- The room-and-pillar method, suitable for shallow-dip vein deposits (between 15° and 30°).
- The blasted sublevel method, used for large deposits.
- The storage room method, suitable for vertical or subvertical deposits (86° to 90°) with a vein structure.

The Koudiat Safia deposit has estimated reserves of 3.9 million tons. With an annual production rate of 50,000 tonnes, the mining life could extend to nearly 78 years, under constant conditions.

Rational and sustainable exploitation of this resource would not only boost the local economy but also contribute to the diversification of the mining sector in Algeria. However, the project's success will depend on a thorough study aimed at optimizing mining strategies and anticipating long-term environmental impacts.

Keywords : Barite ; Mining ; Koudiat Safia ; Environment ; Vein.

ملخص:

يهدف هذا المشروع إلى تحليل ظروف التعدين في رواسب البارييت الواقعة في كودية صافية، بولاية المدية. وتهدف الدراسة إلى تقييم جدوى إنتاج 50,000 طن سنوياً من البارييت، مع مراعاة الأبعاد التقنية والاقتصادية والبيئية للمشروع.

يُدرس المشروع ثلاث طرق تعدين بناءً على الخصائص الجيولوجية للرواسب:

- طريقة الغرف والأعمدة، وهي مناسبة لرواسب العروق ذات الانحدار الضحل (بين 15 و 30 درجة).
 - طريقة المستوى الفرعي المتفجر، وهي تُستخدم للرواسب الكبيرة.
 - طريقة غرفة التخزين، وهي مناسبة للرواسب الرأسية أو شبه الرأسية (بين 80 و 90 درجة) ذات بنية عروق.
- تُقدر احتياطيات رواسب كودية صافية بـ 3.9 مليون طن. بمعدل إنتاج سنوي يبلغ 50,000 طن، يمكن أن يمتد عمر التعدين إلى ما يقرب من 78 عامًا، في ظل ظروف مستقرة.

إن الاستغلال الرشيد والمستدام لهذا المورد لن يعزز الاقتصاد المحلي فحسب، بل سيساهم أيضاً في تنويع قطاع التعدين في الجزائر. ومع ذلك، فإن نجاح المشروع سيعتمد على دراسة شاملة تهدف إلى تحسين استراتيجيات التعدين وتوقع الآثار البيئية طويلة المدى.

الكلمات المفتاحية : البارييت؛ التعدين؛ كودية صافية؛ البيئة؛ عرق.