



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Exploitation des mines

Diagnostic de l'effondrement dans la carrière de Boukhadra

Présenté et soutenu par

Hiba BOULAHBEL

Souhaila NAHAL

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	Chemseddine DERBAL	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	Salah SAADAOUI	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Co-encadreur	(Prénom NOM)		Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	Larbi GADRI	MCA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

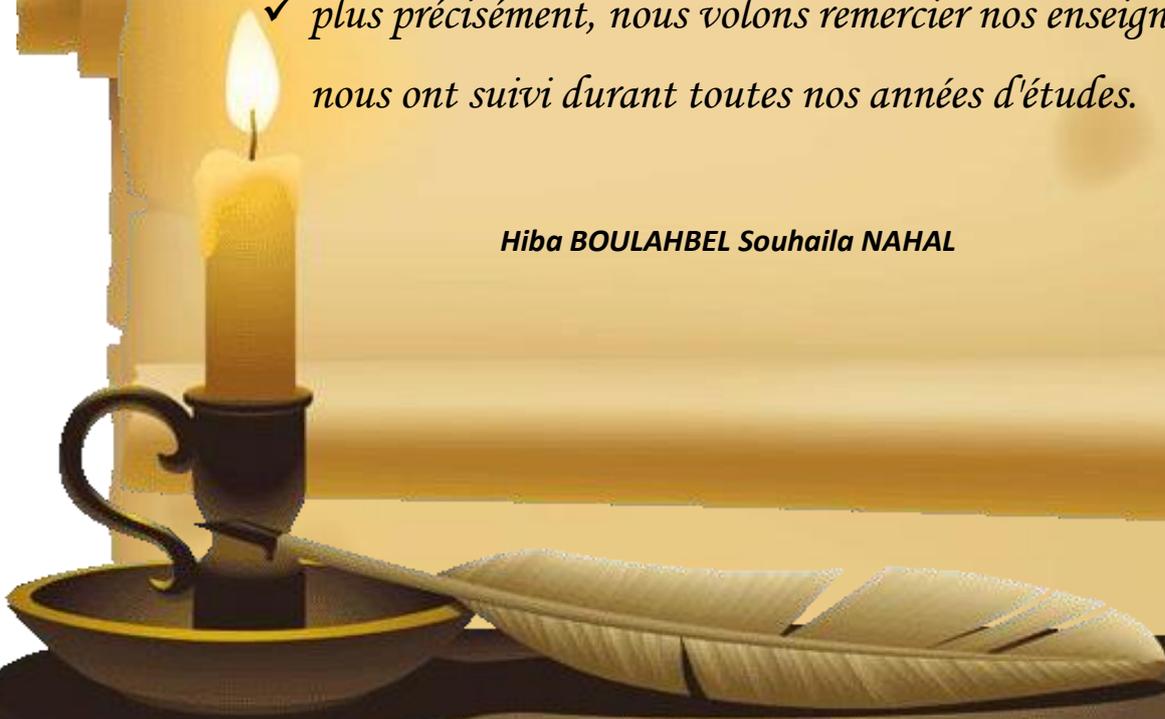
Promotion 2019-2020

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Remerciements

- ✓ *En terminant notre mémoire fin d'étude, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à nous aider à présenter ce travail.*
- ✓ *Nous remercions en particulier notre encadreur Monsieur Salah SAADAOUI pour avoir accepté de nous encadrer, pour le suivi de près de notre travail et pour leurs conseils précieux,*
- ✓ *On remercie tout l'équipe de travail de l'entreprise des mines de fer de l'est-mine de Boukhadra .*
- ✓ *On tient à remercier vivement toutes nos familles qui nous ont toujours encouragé à faire la meilleur.*
- ✓ *plus précisément, nous voulons remercier nos enseignants qui nous ont suivi durant toutes nos années d'études.*

Hiba BOULAHBEL Souhaila NAHAL



Dédicace

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, je voudrais remercier le SEINGNEUR des mondes par qui tout est possible: DIEU

Je dédie ce mémoire :

*A mon très chère Père **Mostefa** ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et ma formation Je t'aime papa .*

*A ma chère mère **Draham**, vous êtes mon soutien et ma fierté dans cette vie. Merci de m'avoir soutenue tout au long de ces années de sollicitude, d'amour et d'encouragement pour moi.*

*A mes grandes mères et grands pères : **Mohammed,Zohra ,Hbila , Salah** .*

*A mon cher frère unique **Ibrahim** pour son encouragement et son soutien .*

*A mes sœurs **Zeyneb,Fatma ,Amouna** pour leurs prières et soutiens .*

*A mon binôme exemplaire ma sœur adorée **Souhaila** .*

A toute ma famille, mes oncles et tantes, cousins et cousines.

*A mon neveu **Mohammed Racim**, qui a apporté beaucoup de bonheur à notre famille.*

A tous le monde a une place spéciale dans mon cœur .

HiBa

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à la lumière de mes jours la source de la joie ma lune et mon âme ma chère maman "**KARIMA**"*

*Sans oublier l'homme de ma vie la source de mes efforts mon exemple éternel ma raison de vivre mon roi mon héros mon chère papa "**ABD MADJID**"*

*A ma sœur "**AYA**"*

*A mes frères "**YOUCEF,HCIN, MOUHAMED**"*

*A mon binôme exemplaire ma sœur adorée "**HIBA**"*

*A toute **MA FAMILLE** qui ont toujours aidé et encouragé*

*A toute la promotion **D'EXPLOITATION MINIERE 2020.***

Souhaïla

Liste des figures :

Partie I

Figure. I.1. Situation géographique de la mine de Boukhadra.

Figure. I.2. La carte géologique de la mine de Boukhadra.

Figure. I.3. La carte géologique de gisement de Boukhadra.

Figure. I.4. Les cadres géologiques et stratification dans l'est et la région de Mellegue. (D'après: Dubourdiou 1956, 1959; David 1956; Madre 1969; Fleury 1969; Thibieroz et Madre 1976 ; Chikhi, 1980 ; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000).

Figure. I.5. coupe transversale dans l'anticlinal du Boukhadra.

Figure. I.6. trois coupes transversales dans l'anticlinal de Boukhadra.

Figure. I.7. Organigramme de l'entreprise

Figure. I.8. carte de répartition des réserves du gisement de Boukhadra .

Partie II

Figure. II.1.1. Les quartiers de la mine de boukhadra .

Figure. II.1.2. Subdivision du gisement de Boukhadra .

Figure .II.1.3: Plan topographique du gisement de Boukhadra.

Figure .II.1.4: schéma des étapes de creusement de la demi-tranchée.

Figure .II.1.5: 4^{ème} étapes de creusement de la demi-tranchée d'accès.

Figure. II.1.6. Détermination de la largeur de la demi-tranchée d'accès.

Figure. II.1.7. Section de la demi-tranchée d'accès.

Figure.II.1.8. Paramètres de la largeur de la demi-tranchée de découpage.

Figure. II.1.9. Plan d'ouverture de la mine de Boukhadra.

Figure II.1.10. Paramètres de la méthode d'exploitation.

Figure II.1.11. Plateforme de travail.

Figure II.1.12. Schéma de l'organisation de travail.

Figure. II.1.13. la sondeuse BBURG HD1500D utilisé pour les travaux de forage au niveau de la mine de Boukhadra.

Figure. II.1.14. schéma du Plan de tir.

Figure. II.1.15: chargeuse de type Caterpillar 990 k.

Figure .II.1.16: camion 537 CATTEPPILLAR 775FC.

Figure .II.2.1: Représente la coupe longitudinale Géologique selon le Corps Sud du souterrain (Hors contour de la carrière).

Figure .II.2.2: Représente la galerie située au niveau 1105m.

Figure .II.2.3 : Représente la méthode d'exploitation par sous niveau abattu.

Figure .II.2.4 : Schéma du plan de tir souterrain.

Figure .II.2.5 : Méthode de forage des trous d'abattage forme de ventaille.

Figure .II.2.6: chargeuse transporteuse pneumatique type ATLAS COPCO St 1020.

Figure .II.2.7: camion navette MT2000.

Partie III

Figure .III.I.1: Processus de glissement de terrain.

Figure .III.I.2: exemple d'un glissement transrationnel.

Figure .III.I.3: Glissement rotationnel simple.

Figure .III.I.4: Quatre schémas de différents types de glissement de terrain en fonction de la typographie.

Figure .III.I.5: Exemple d'un écroulement.

Figure .III.I.6: Chutes de pierres et de blocs.

Figure .III.I.7: Eboulement d'un terrain à hammam bou-hadjar.

Figure .III.I.8: Exemple d'un séisme.

Figure .III.I.9: Coulée de boue.

Figure .III.I.10: Le phénomène du fluage.

Figure .III.I.11: Exemple d'un effondrement généralisé.

Figure .III.I.12: Exemple d'un effondrement localisé.

Figure .III.I.13: Le mécanisme d'un affaissement minier.

Figure .III.II.1: Un effondrement de première phase 1285.

Figure .III.II.2: Effondrement du carrier BK2.

Figure .III.II.3: Niveau 1105 au 3 ème Etage.

Figure .III.II.4: Niveau 1135 au 3 ème étage.

Figure .III.II.5: Ancien vide niveau 1135 coupe 08 années 2012.

Figure .III.II.6: Coupe 08.

Figure .III.II.7: Coupe 09.

Figure .III.II.8: Coupe 10.

Figure .III.II.9: Effondrement du carrier BK2.

Figure .III.II.10: Coupe longitudinale Géologique selon le Corps Sud du souterrain (Hors contour de la carrière).

Figure .III.II.11: Coupe 07.

Figure .III.III.1: Plateforme de travail.

Partie IV

Figure. IV.I.1. Image présente le rougissement des surfaces sous l'effet des poussières.

Figure. IV.II.1.Modèle d'ingénierie de la sûreté (MIS).

Liste des tableaux

Partie I

Tableau. I.1 : composition chimique moyenne du minerai de Boukhadra.

Tableau. I.2 : Réserves géologiques et exploitables de la mine.

Tableau. I.3 : Nombre de poste par jour et par heure.

Tableau. I.4 : La production Programmé pour l'année 2018 et 2019 (source : service de la DED).

Partie II

Tableau II.1.1 : Paramètres de la méthode d'exploitation.

Tableau. II.1.2. la sondeuse BBURG HD1500D utilisé pour les travaux de forage au niveau de la mine de Boukhadra.

Tableau II.1.3 : paramètres des travaux de forage et tir (cas de la mine Boukhadra).

Tableau II.1.4 : Récapitulatifs des paramètres de chargement dans le minerai.

Tableau II.1.5 : Récapitulatifs des paramètres de chargement dans les stériles.

Tableau II.1.6 : chronométrage des temps de cycle du camion dans le minerai.

Tableau II.1.7 : Récapitulatifs des paramètres de transport minerais.

Tableau II.1.8 : chronométrage des temps de cycle du camion dans le stérile.

Tableau II.1.9 : Récapitulatifs des paramètres de transport de stérile.

Tableau II.2.1 : Représente les différentes phases constituent le corps Sud.

Tableau II.2.2: Représente les caractéristiques de la galerie de la mine de Boukhadra.

Tableau II.2.3: Les caractéristiques techniques de la chargeuse transporteuse pneumatique type ATLAS COPCO St 1020.

Tableau II.2.4: Les caractéristiques techniques du camion navette MT2000.

Tableau II.2.5: performance des équipements de la chargeuse et camion de transport souterrain

Partie III

Tableau III.I.1: Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.

Tableau III.I.2: Classification selon la profondeur de la surface de glissement.

Tableau III.III.1: Paramètres de la méthode d'exploitation.

Partie IV

Tableau. IV.I.1 : Les aspects environnementaux au niveau de la mine de Boukhadra et ces mesures (source : département d'environnement au niveau de la mine).

Tableau .IV.II.1 : Etude Statistique Sur Les Accidents.

Tableau. IV.II.2 : Classification Des Accidents.

Tableau. IV.II.3 : Eléments De L'activité Et De L'installation Sources De Danger.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des figures **i**

Liste des tableaux **iv**

Introduction Générale **1**

Partie I : Présentation générale de la mine **2**

Introduction

1. Cadre géographique

2. Géologie régional

3. Hydrogéologie

4. Hydrologie

5. Minéralisation

6. Présentation de la mine de Boukhadra

7. Morphologie du gisement et réserves globales

8. Régime de travail de la mine de Boukhadra

8.1. Organisation de travail de la mine de boukhadra

8.2. Production en minerai

8.3. Production de la mine

8.4. Durée de vie de la mine

Partie II : Exploitation minière..... 18

Chapitre 01 : Exploitation à ciel ouvert 18

Introduction 18

1. L'exploitation de la mine de Boukhadra

2. Mode d'ouverture **21**

Introduction	
2.1. Les modes d'ouverture appliqués aux mines à ciel ouvert	
2.2. L'ouverture du gisement au niveau de la mine de Boukhadra	
2.3. Paramètre technologique de la demi-tranchée d'accès	
3. Méthode d'exploitation du gisement de Boukhadra	28
Introduction	
3.1. Choix de la méthode d'exploitation	
3.2. Les paramètres de la méthode d'exploitation	
4. Travaux de forage et de tir	33
4.1. Ordre de calcul des paramètres de tir	
5. Travaux de chargement et de transport.....	41
5.1. Travaux de chargement	
5.1.1. Productivité de la chargeuse dans les minerais	
5.1.2. Productivité de la chargeuse dans les roches stériles	
5.2. Travaux de transport	
5.2.1. Productivité des camions utilisés au niveau de la mine de Boukhadra	
Chapitre 02: Exploitation souterraine	50
1. L'exploitation souterraine de la mine de Boukhadra	50
2. Travaux d'ouverture	51
2.1. Les différentes phases constituent le corps sud	
2.2. Les caractéristique de la galerie de la mine de Boukhadra	
3. Travaux préparatoire.....	52
4. Méthode d'exploitation.....	53
4.1. Facteur de choix	
4.2. Les méthodes d'exploitation appliquent au niveau souterrain	
4.3. Description de la méthode d'exploitation appliquée (sous niveau abattus)	
4.4. Les avantages et les inconvénients de la méthode	

5. Travaux d'abattage	56
5.1. Travaux de foration	
5.2. Travaux de tir	
6. Travaux de chargement et de transport	58
6.1. Performance des équipements	
Partie III : L'effondrement de la carrière de la mine de Boukhadra.....	60
I. Différentes types de mouvements sur terrains	60
1. Mouvement de pente.....	60
1.1. Glissement	
1.2. Ecoulement	
1.3. Chutes de pierres et des blocs	
1.4. Eboulement	
1.5. Tremblement de terre ou séismes	
1.6. Les coulées	
1.7. Mouvement lent et continus	
2. Les mouvements verticaux.....	69
2.1. Effondrement	
2.2. Affaissement de terrain	
2.3. La consolidation	
II. Partie spéciale	72
1. Donnée générale de la carrière BKII.....	72
2. Les différentes phases de la carrière BK II.....	73
3. Les causes d'effondrement de terrain	79
3.1. Les facteurs déclenchant	
3.2. Les facteurs extérieurs	
3.3. Les facteurs anthropiques	
III. Partie calcule	87

Partie IV : Sécurité et environnements	87
Chapitre 01 : Etude environnementale	87
Introduction :	87
1. Comment préparer l'analyse environnementale	89
1.1. Identifier les aspects/ impacts environnementaux	
1.2. Hiérarchiser les aspects/impacts environnementaux	
2. Etude des impacts	95
2.1 Impact des effluents liquides sur la santé	
2.2. Impact de poussière	
3. Les aspects environnementaux au niveau de la mine de Boukhadra	97
4. Les missions faites par le service d'environnement de l'entreprise pour la protection de l'environnement	99
Chapitre 02: Sécurité de travail et analyse des risques	99
Introduction	
1. Gestion de la sécurité dans les mines	
2. Identification des risques liés à l'exploitation minière	
3. Méthode d'analyse de sécurité	
4. Les accidents du travail minier et événement dangereux	
5. Identification des dangers et analyse des risques 'HIRA '	
6. Analyse des risques de travail au niveau de la mine de Boukhadra	
Conclusion Générale	112

Introduction Générale

L'exploitation des matières est à l'origine de l'existence des mines et des carrières en Algérie comme dans le reste du monde. Selon la méthode d'exploitation employée, différents effets plus ou moins prévisibles et redoutés peuvent se produire en surface.

Un grand nombre d'anciennes exploitations souterraines constituent aujourd'hui des vides souterrains abandonnés à différentes profondeurs de la cavité ainsi que du mode de rupture et parfois très proches de la surface, en terme d'analyse de risques ces vides. Avec l'arrêt des exploitations minières, le phénomène peut être ponctuel l'effondrement.

L'exploitation souterraine des gisements horizontaux et peut inclinés par la méthode sous niveau abattu engendre des cavités importantes qui peuvent être à l'origine d'un effondrement en surface, se produisent de façon brutale. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale. L'ampleur de cet effondrement dépend de la structure du gisement, du nombre de couches exploitées, de la superposition des piliers, de la profondeur du gîte.

La mine de BOUKHADRA (wilaya Tébessa) exploite le minerai de fer par deux modes d'exploitation, souterrain par la méthode des chambres et piliers et à ciel ouvert par une ouverture à demi-tranchée d'accès, avec ses trois sites (amont, aval et médian) qui représentent les principales sources de minerai de la mine avec le quartier. Concernant les autres quartiers, le quartier BK2, il est épuisé, d'autre part, le quartier AIN ZAZIA représente une faible teneur du minerai.

Le travail présenté comporte quatre chapitres à savoir :

- Chapitre 01 : présentation générale de la mine.
- Chapitre 02 : Exploitation minière.
- Chapitre 03 : les causes de l'effondrement du carrier de la mine de Boukhadra.
- Chapitre 04 : Sécurité et Etude environnementale.

Problématique :

Le vide créé par l'exploitation, des gisements par le mode souterrain et le mode à ciel ouvert représentent un problème majeur soit dans leur traitement ou dans leur danger inestimable dans les travaux miniers.

Dans la condition de travail dans la mine de BOUKHADRA, l'effondrement qui a eu lieu dans la zone de travail BK2 a engendré l'arrêt total de travail, ainsi que les risques de la stabilité des ouvrages miniers.

Partie I : Présentation générale de la mine

Introduction

L'activité minière en Algérie est très ancienne et les potentialités minières sont très diversifiées (plus d'une trentaine de substances). Cependant aux gisements anciens de fer, sel, zinc, plomb, baryte, marbre,... sont venus s'ajouter des gisements d'or, wolfram, étain, qui constituent le potentiel minier à exploiter ou à explorer dans le futur, et des indices prometteurs pour le diamant, terres rares, métaux rares et pierres précieuses et semi-précieuses.

Le gisement de fer de Boukhadra constitue une source d'approvisionnement en minerai de fer de la sidérurgie nationale. Les trois quarts de la consommation du complexe sidérurgique d'El Hadjar, au temps du groupe SIDER, viennent de la Mine de l'Ouenza, cela en faisant abstraction de la production de la mine de Boukhadra, qui vient en second lieu. Donc il tient un rôle très important dans l'économie algérienne, d'une part sa contribution au développement de l'industrie lourde dans le pays et spécialement dans la Wilaya en ce qui concerne l'emploi.

L'histoire des recherches au niveau du Djebel de Boukhadra remonte à l'année d'attribution du premier permis de recherche en 1878. C'est après la deuxième guerre mondiale qu'elles ont atteint leur apogée, plusieurs millions de mètres linéaires de sondage furent exécutés et plusieurs niveaux de galeries creusés.

Afin d'un éventuel accroissement des réserves, la nouvelle direction qui a pris récemment les commandes de la Mine, envisage de relancer les campagnes de recherches.

1 .Cadre géographique:

Le Djebel de BOUKHADRA se situe sur l'Atlas saharien, à l'Est Algérien. L'unité de BOUKHADRA se trouve à une altitude de 850 m, le point culminant du Djebel est de 1463 mètres .La ville de BOUKHADRA fait partie de la WILAYA de Tébessa. Elle se situe à 45 Km au Nord – Est de celle -ci, à 200 Km au sud de la ville côtière de ANNABA, et à 18 Km de la frontière Tunisienne.

Elle est reliée à ANNABA par une voie ferrée qui assure le transport du minerai de fer au complexe d'EL-HADJAR. Le climat est continental et sec, les températures varient entre 40° c en été et 0° c en hiver, la Pluviométrie est faible avec parfois de faibles chutes de neige.

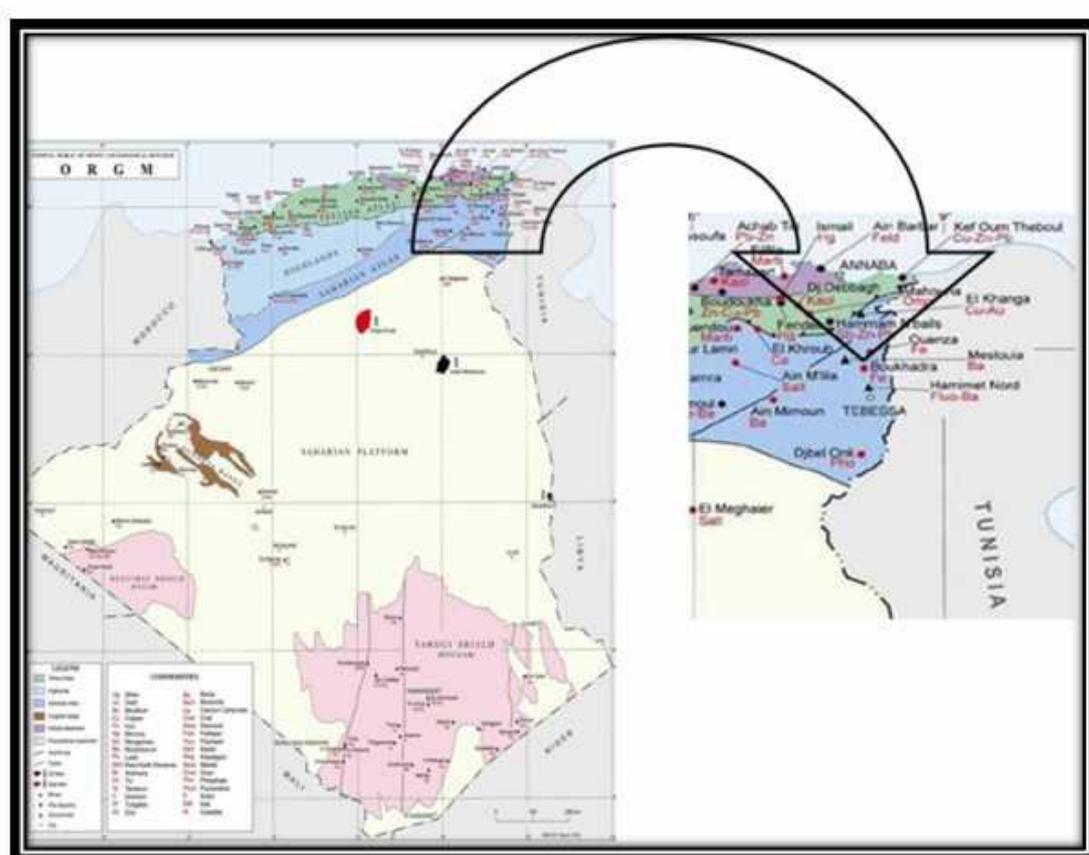


Figure. I.1. Situation géographique de la mine de Boukhadra.

2 .Géologie régionale :

Le massif de Boukhadra présente une structure anticlinale orientée NE-SW, recoupée par le fossé de Tébessa-Morsott d'orientation NW-SE (Fig.I.2) L'ossature de l'anticlinal est constituée par les terrains du Crétacé moyen (Aptien- Vraconien) qui dessinent dans la partie NE une fermeture périclinale. Les terrains les plus anciens reconnus à l'affleurement sont représentés par les évaporites du Trias, ils sont le plus souvent en contact tectonique avec les formations du Crétacé.

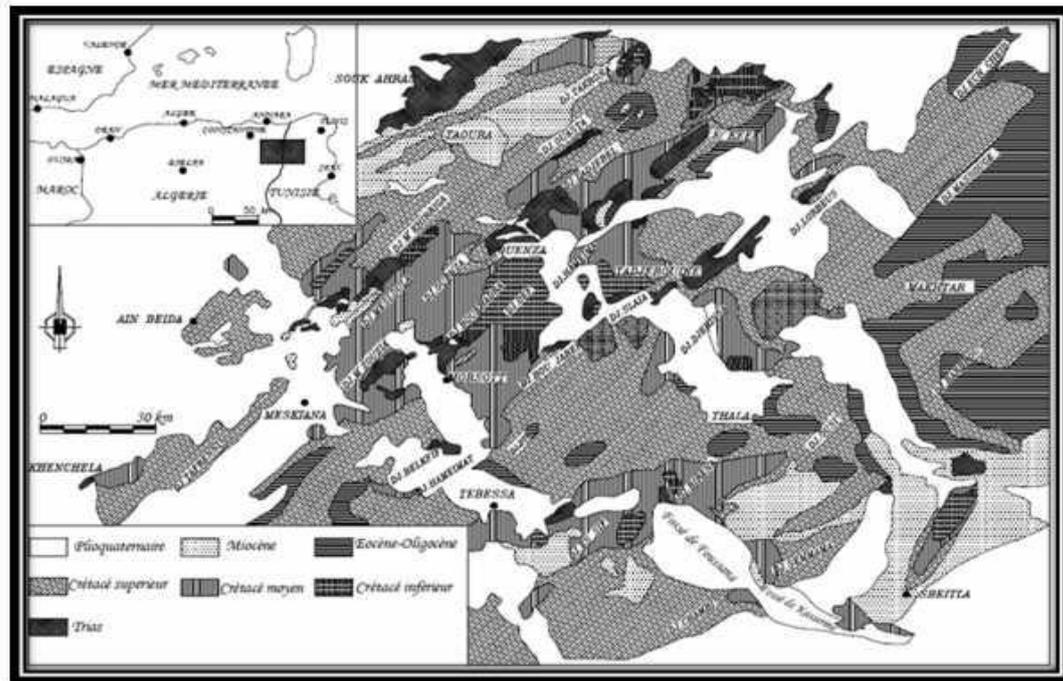


Figure. I.2. La carte géologique de la mine de Boukhadra.

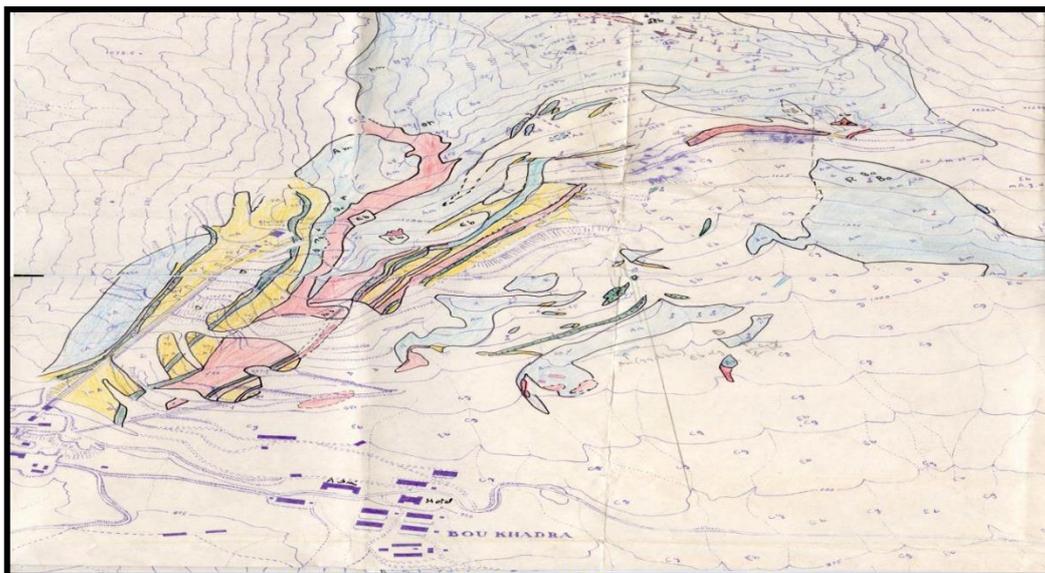


Figure. I.3. La carte géologique de gisement de BOUKHADRA.

2.1. Stratigraphique

Le gisement de fer de Boukhadra, comme celui de l'Ouenza font partie de la même province métallogénie ferrifère qui s'étend de khenguet - El - Mauhad au sud, Ouenza au Nord et Djerissa à l'Est.

Le djebel Boukhadra ; appartenant au domaine de l'atlas saharien est caractérisé par une structure géologique anticlinale très simple, de direction N.E/S.O, avec une

terminaison périclinale au N.E. Le cœur de la structure est représenté par des sédiments de l'Aptien.

Du point de vue litho-stratigraphique, la région de Boukhadra est constituée par des sédiments du Mésozoïque tertiaire en partie du quaternaire.

Trias:

Les dépôts du trias sont développés dans les parties Ouest, Sud et Sud-est ; ils sont représentés par des marnes bariolées à gypses Dolomies (cargneules) et les débris de calcaires et degrés. Ces formations sont en contact anormal ou en discordance avec les dépôts du crétacé (Aptien) suite au phénomène de diaprasse. Dans la carrière de Boukhadra (gîte ouest) le trias affleure aux niveaux 890-902 et 914.

Crétacé:

Dans le profil du crétacé, nous retrouvons l'Aptien, l'Albien, le Coniacien et le Cénomaniens ou on a la série Aptienne, porteuse de la minéralisation est caractérisée par des marnes et des calcaires constituant la partie inférieure qui encaisse le gîte sud, des calcaires récifaux construits, a organismes fossiles (rudistes) qui constituent le niveau porteur de la minéralisation principale et des grès et calcaires de la partie supérieure de l'Aptien non productif et on a :

a - L'Aptien:

L'aptien occupe à lui seul le plus grand partie des affleurements de la région (OUENZA, BOUKHADRA, M'KHRIGA, Kef REKHEMA ET BOUDJABER). les formations aptiennes se rencontrent dans le noyau, des structures anticlinaux ainsi qu'au voisinage immédiat des formations triasiques, elles constituent la majeure partie de tous les reliefs importants,

Aptienne porteuse de la minéralisation qui encaisse le gîte sud et les petites veines (carrière principale).

Calcaires récifaux (construits organogènes rudistes qui constituent le niveau porteur de la minéralisation principale).

b- Albien:

Dubourdiou 1959 distingue trois termes de bas en haut, Un terme inférieur de 20 à 50m constitué de marnes argileuses jaunes ou brunes riches en gastéropodes. Un terme moyen de 100 m composé de calcaires noirs à Bélemnites à intercalation marneuses. Un terme supérieur de 75 m de puissance constitué d'argiles et de marnes noires bitumineuses à bélemnites et nombreuses empreintes d'ammonites avec des minces intercalations marno calcaires.

c- Vraconien:

Il est représenté par un faciès argilo-marneux marquant ainsi un changement dans la sédimentation qui était essentiellement calcaire jusqu'à l'albien, ce changement s'estompe au fur et à mesure, que 'on rapproche des séries épaisses préclinale ou sédimentation marneuse se manifeste dès le clansaesien, ce qui témoigne d'une transgression qui celle en discordance les structures émergées ou érodées.

A Boukhadra Dubourdiou 1956 décrit une épaisse série de 600 m d'épaisseur qui est identique à celle de l'ALBIEN supérieur, elle est constituée de marnes à passées calcaires et marno calcaires à empreintes d'amorites qu'il attribue au Vraconien.

d- Le miocène:

L'épaisseur du miocène peut atteindre une centaine de mètres (100m) il débute par des formations marines transgressives et discordantes sur les terrains anciens, ils sont représentés par des calcaires roux suivis de marnes très argileuses de couleur verte devenant rouge foncé et enfin par des argiles à intercalation de grès grossiers.

e-Quaternaire:

Les dépôts du quaternaire sont formés par un matériel caillouteux, blocs de calcaires, grès débris de minerai et les conglomérats, ils sont répandus sur les flancs de la montagne et les parties basses du relief. Du point de vue tectonique la région de Boukhadra est marquée par deux phases tectoniques importantes.

La phase de plissement de direction NE/SO et la phase de tectonique cassante ayant engendré des mouvements de roche qui sont à l'origine de la formation des fossés de Tébessa – Morsott et des Ouled-Boughanem ainsi que le horst de Boudjaber.

L'anticlinale de Boukhadra est affectée principalement par la faille de Koudiet –el Hamra qui est affectée par un effondrement considérable d'autre faille de Boukhadra de direction NE/SO.

Dans la partie SUD-OUEST (à l'aval du pic) la structure est affectée par un effondrement considérable, d'autres failles sans importance majeure à petit rejet sont signalées également aux environs immédiats du gisement.

Par ailleurs nous citons le phénomène de diapirisme qui a joué un rôle prépondérant dans la formation de la structure et les manifestations minérales de Boukhadra (genèse de la minéralisation).

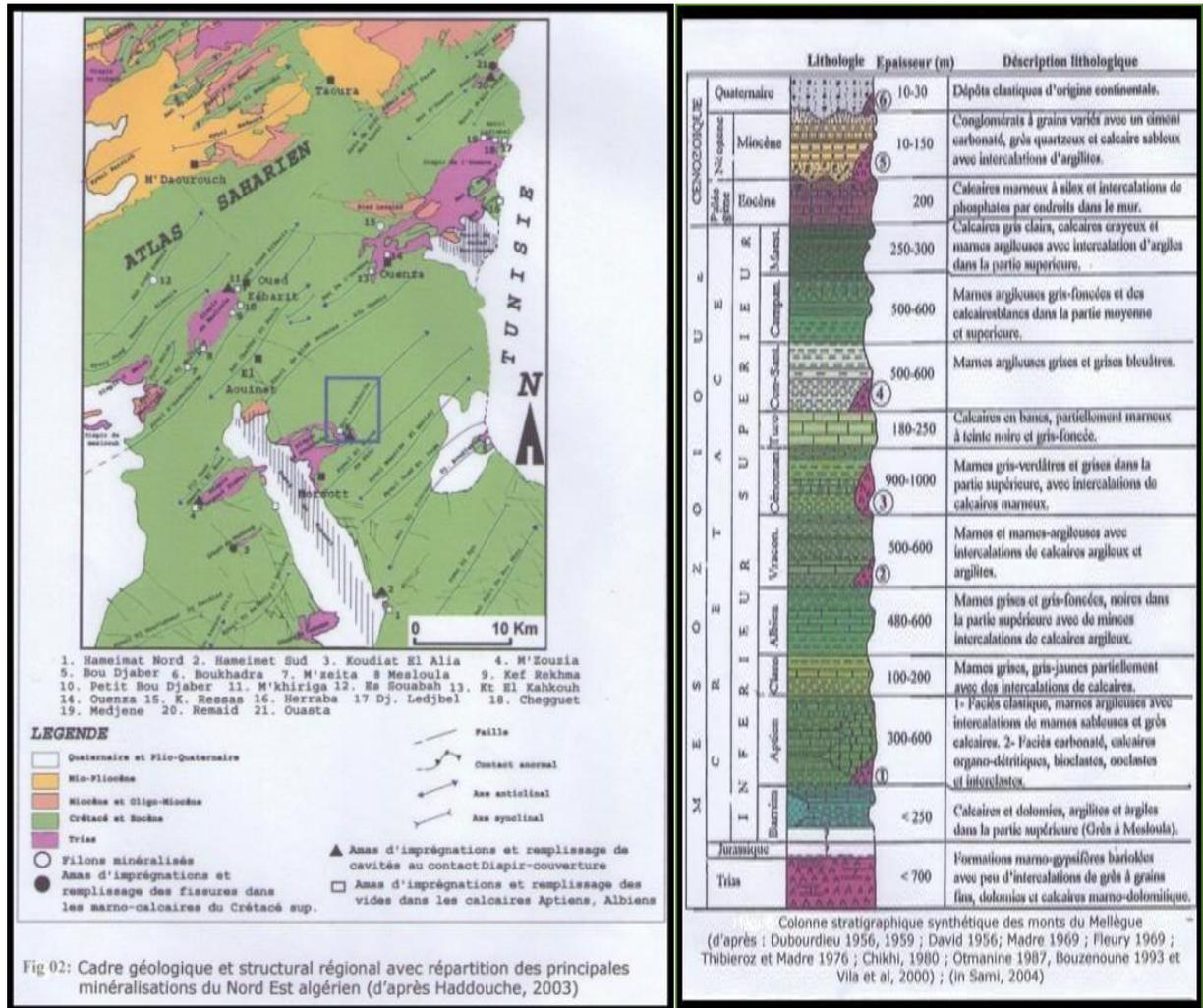


Figure. I.4. Les cadres géologique et stratification dans l'est et la région de Mellegue. (D'après: Dubourdiou 1956, 1959; David 1956; Madre 1969; Fleury 1969; Thibieroz et Madre 1976 ; Chikhi, 1980 ; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000).

2.2. Tectonique

La région de Boukhadra est marquée par deux phases tectoniques ; la phase de plissement et la phase de tectonique cassante. Dans la structure anticlinale de Boukhadra, on observe deux grandes dislocations tectoniques :

- La 1ère se prolonge presque parallèlement à l'axe de l'anticlinal à partir du pic vers la terminaison périclinale.

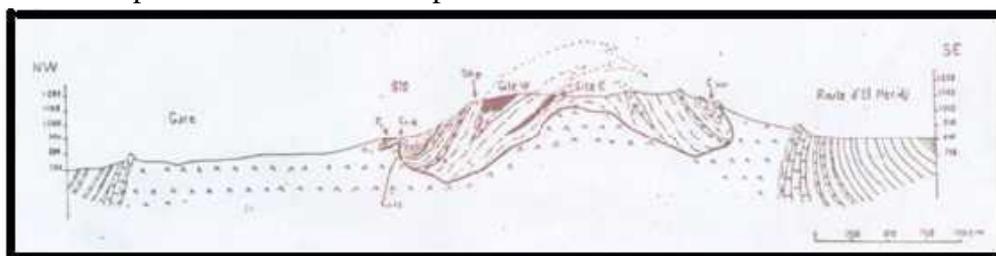


Figure I.5. coupe transversale dans l'anticlinal du Boukhadra

- La 2ème zone de dislocation tectonique de direction WNW-ESE coupe la structure dans sa partie centrale en deux parts, l'amplitude de cette dislocation peut arriver jusqu'à 1000 mètre
- D'autres failles, sans importance majeure sont à signaler.

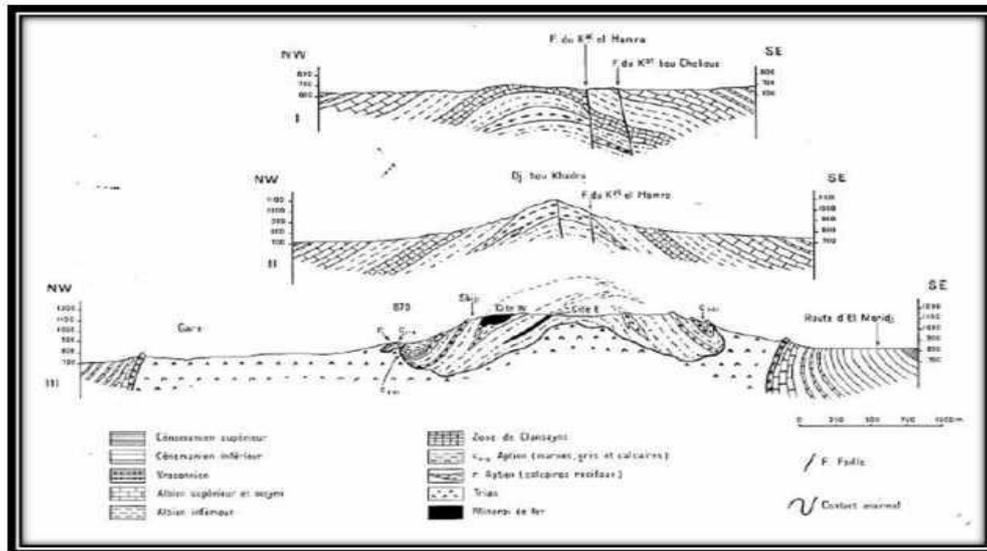


Figure. I.6. trois coupes transversales dans l'anticlinal de Boukhadra.

3. Hydrogéologie :

Les eaux souterraines et les eaux de surfaces s'intègrent dans un ensemble constituant le cycle hydrologique. Une relation de continuité et d'interdépendance existe entre les deux. Tant que le climat et le contexte géologique ou physique ne changent pas, un équilibre est maintenu au sein de ce cycle. Mais une influence anthropique, comme captage d'eau, peut modifier cet équilibre. Une proportion minoritaire de l'eau de pluie s'infiltré, via le sol vers le sous-sol ou elle séjourne et circule dans les formations poreuses ou fissurées constituant ainsi les réserves d'eau souterraine.

Le réseau hydrographique dans la région de la mine de Boukhadra est faible à l'exception des multiples petits chenaux d'écoulement pluviaux sans importance majeure qui parsèment les versants de Djebel Boukhadra. Le réseau hydrographique se compose de l'oued El Harcha et Oued El Melali qui passent entre Kharoub et el harcha et le Douar el khiana ; suivant la direction NE-SW à l'extrémité nord de Djebel Boukhadra .

Hydrologiquement parlant; le comportement des terrains existants à Boukhadra se résume comme suit:

- Les terrains triasiques contenant du gypse et du sel ; et du fait de leur hétérogénéité présentent un aspect perméable et facilitent les infiltrations des eaux ; leur circulation les rend saumâtre et ne peuvent convenir qu'à l'emploi industriel.

- Les calcaires massifs de l'aptien sont toujours très fissurés en affleurement et constituent un terrain favorable à la circulation et l'accumulation des eaux souterraines.
- Les marnes qui forment malheureusement la plus grande surface affleurant dans la région sont imperméables et toutes les eaux de pluies ruissellent ou s'évaporent.
- Les terrains quaternaires n'ont pas une importance hydrologique.

Les études hydrogéologiques entreprises par la DHW de la wilaya de Tébessa ne révèlent aucune nappe aquifère en eau potable exploitable dans la région minière de Boukhadra. Toute fois ; il y a lieu de noter que les synclinaux calcaires sont des réservoirs naturels d'eau et à leur pied apparaissent des sources qui sont fréquemment localisées sur de petites fractures.

L'on a ainsi les points d'eau d'Ain Chania ; à l'extrémité fracturée du synclinal de même nom ; les sources d'Ain Safsaf ; Al Malga; Chegaga ; Ain Menahla etc.... au pied de HaoudEL Sghir et celle d'Ain Bettik ; au pied de Haoud el Kebir. Au SudEst ; l'Ain Oude El ma est un exutoire de l'eau accumulée dans les calcaires à incérâmes du Sénonien.

A Boukhadra; d'anciens travaux de recherche ont recoupé des circulations d'eau dans les calcaires aptiens (A.Si Hamed).

4. Hydrologie

Selon la géologie, on ne peut pas parler d'oueds, ou de réseau hydrographique proprement dit, mais on remarque des talwgs sec pendant une longue période de l'année et à faible écoulement. Leurs captages pratiquement impossibles à cause de la topographie et leurs faibles quantités.

5. Minéralisation :

5.1. Nature du minerai exploité:

Le minerai exploité est du fer sous forme d'oxyde de fer montré par l'hématite rouge (Fe_2O_3) présente en abondance dans ce gisement avec une teneur moyenne de 54% de fer.

Le gisement est de forme ventriculaire, dont la genèse est hydrothermale ou sédimentaire, d'une longueur de 910 à 2200m et d'une puissance variant de 10 à 15 m.

5.2. Caractérisation de la minéralisation:

La minéralisation est de type hématite-limonite résultant de l'oxydation de la sidérite. Minerai hématite de formule chimique Fe_2O_3 et de densité $d=2.7$. La teneur en fer varie de 51 à 54%.

Comparativement aux gisements d'Ouenza, le minerai de Boukhadra est d'une qualité supérieure, riche en fer et moins siliceux.

Notons que la prospection est concentrée sur les parties supérieures (amont) des corps minéralisés, excepté la zone de la carrière principale où la prospection est allée jusqu'au niveau 845.

Sur les axes principaux (100-108) et Sud-est (4-11), les travaux de recherche sont arrêtés au niveau 1045 et l'axe Nord au niveau 1105.

Les travaux de recherche dans le périmètre de la carrière principale ont montré que la minéralisation se prolonge jusqu'au niveau hydrostatique (818) ; ceci a été confirmé lors des travaux d'exploitation. Donc, si nous faisons une analogie à la carrière, il est fort probable que sur le prolongement vers l'Est, la minéralisation atteigne le niveau hydrostatique.

Sur l'axe principal par exemple, le sondage S.D/1045/0.102 d'une profondeur de 115.5 m et une inclinaison de 65° Nord avait confirmé la continuité de la minéralisation jusqu'au niveau 925m et sur l'axe Nord, les sondages 1105/241-242 avait intercepté le minerai au niveau 1045.

Pour ce qui est du gîte Nord, les chances de continuité de la minéralisation jusqu'au niveau hydrostatique sont minimales à cause de la faible puissance du corps et dès l'irrégularité de la teneur du minerai par rapport aux autres axes ; c'est pourquoi nous limitons la prospection dans un premier temps au niveau 925 seulement. Si les résultats de la prospection complémentaire s'avèrent positifs à ce niveau, il va falloir continuer la recherche jusqu'à la fin de la minéralisation. Le volume des travaux de prospection complémentaire des niveaux sous-jacents sera détaillé dans le programme de prospection que nous élaborerons incessamment.

Pour point de vue qualitatif le gîte Nord est caractérisé par une teneur relativement faible par rapport aux autres axes. Dans la partie sud du gîte, entre les coupes 292-296 nous avons constaté une nette différence de teneur en fer par rapport à la partie Nord.

Les réserves de la partie sud du gîte sont évaluées à 246100 tonnes avec une teneur moyenne en composants de:

- 46.63 % en fer ;
- 15.80 % en SiO₂;
- 0.6 % en BaSO₄.

La partie Nord, dont les réserves sont évaluées à 57314284 tonnes est caractérisé par une teneur évaluée, soit :

- 52.42 % en fer ;
- 4.99 % en SiO₂;
- 0.02 % en BaSO₄.

Tableau. I.1 : composition chimique moyenne du minerai de Boukhadra

<i>Elements</i>	<i>Fe</i>	<i>SiO2</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>AL2O3</i>	<i>BaSO4</i>	<i>S</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>P</i>
Teneur en %	49.8	4.00	7.10	2.00	2.25	Trace	0.04	1.98	Trace	0.02

6. Présentation de la mine de BOUKHADRA :

6.1. Historique de la mine :

L'exploitation de la mine de BOUKHADRA fut entamée durant l'époque romaine pour l'extraction du cuivre dans la zone du pic par la suite l'exploitation a porté sur le zinc et autres poly –métaux par la concession de BOUKHADRA (Mr TADRO)

- De 1903 à 1926 ; la concession de MOKTA EL HADID avait entreprise des travaux de recherches systématiques entre les galeries entre les niveaux 845-1225.
- De 1926 à 1966 dates de la nationalisation des mines c'était la société de l'Ouenza qui exploitait le gîte de BOUKHADRA. Cette dernière avait effectuée de la recherche systématique par des travaux miniers et par des sondages sur le gisement de BOUKHADRA.
- Durant la période de 1967 à 1984 la sonarem était chargée de l'exploitation et des recherches sur les gîtes ferrifères d'Ouenza et BOUKHADRA. Restauration des entreprises (1983-1984) le c'était FERPHOS qui gérait .exploitait et développait ces recherches sur l'ensemble des gîte ferrifères existant sur territoire nationale.
- En 2001 (octobre 2001) le retour des étrangers sous le nom : (ISPAT Tébessa). Par un contrat de partenariat de 70 % pour Arcelor Mittal et 30% pour Ferphos
- En 2005 : (janvier 2005) changement le nom de l'entreprise à (Mittal Steel Tébessa), Société d'extraction et préparation du minerai de fer au capital social de 613.140.000DA.
- En 2006 : un partenariat s'effectue entre les deux entreprises ARCELOR & MITTAL sous le nom d' « ARCELOR-MITTAL ».
- En 2013 :(octobre 2013) après les nouveau lois de partenariat en Algérie ; un contrat de partenariat fait entre 3 entreprises : 49% pour Arcelor Mittal, 30% pour Ferphos et 21% pour Sider. Et ça continue de cette contrat jusqu'à l'année 2016.

6.2. Gestion de la mine :

L'entreprise contient un nombre de 600 employés repartis suivant l'organigramme montré sur la figure N°I.7.

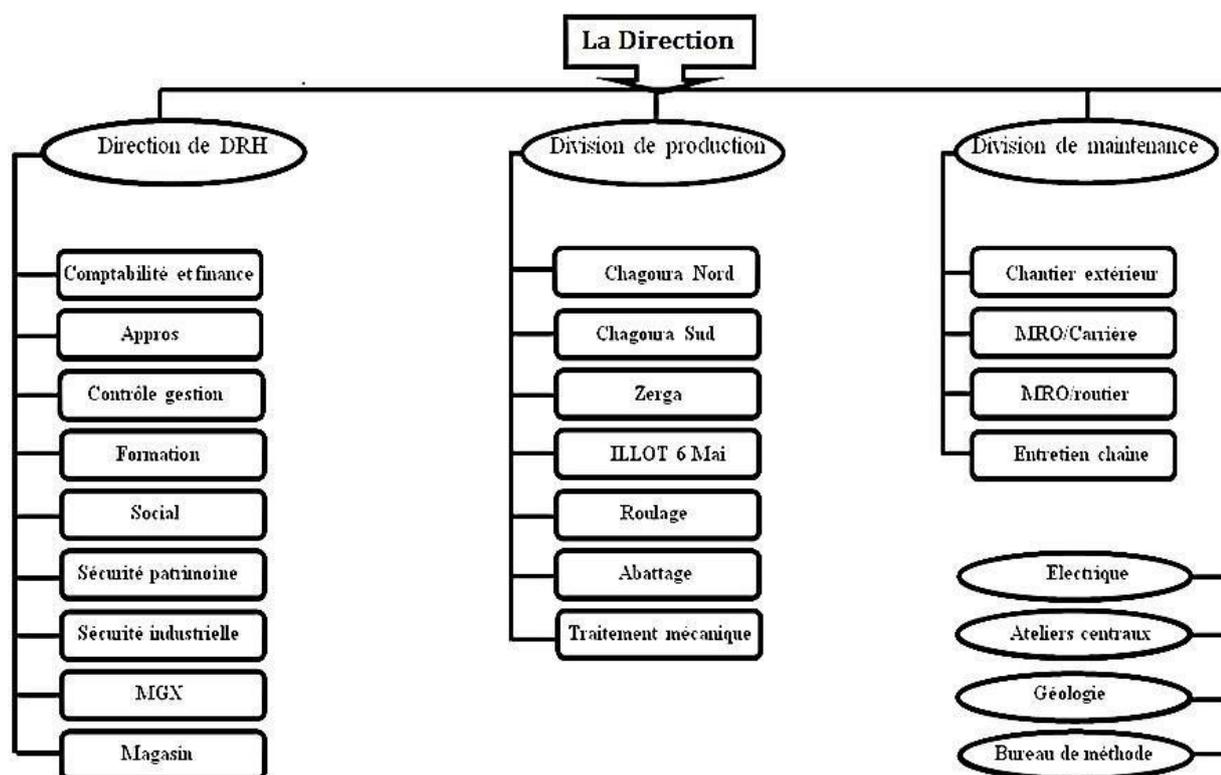


Figure. I.7. Organigramme de l'entreprise

7. Morphologie du gisement et réserves globales :

Le gisement de minerai de Fer est de forme ventriculaire de type hydrothermale sédimentaire d'une longueur de 900 à 2200m et d'une puissance variante de 10 à 50 m ; la minéralisation est de type fer hématite de formule chimique (F₂O₃) ; sa teneur moyenne est supérieure à 50%. Globalement, le gisement de Boukhadra est composé de quatre (04) corps minéralisés principaux et les petites veines de moindre importance :

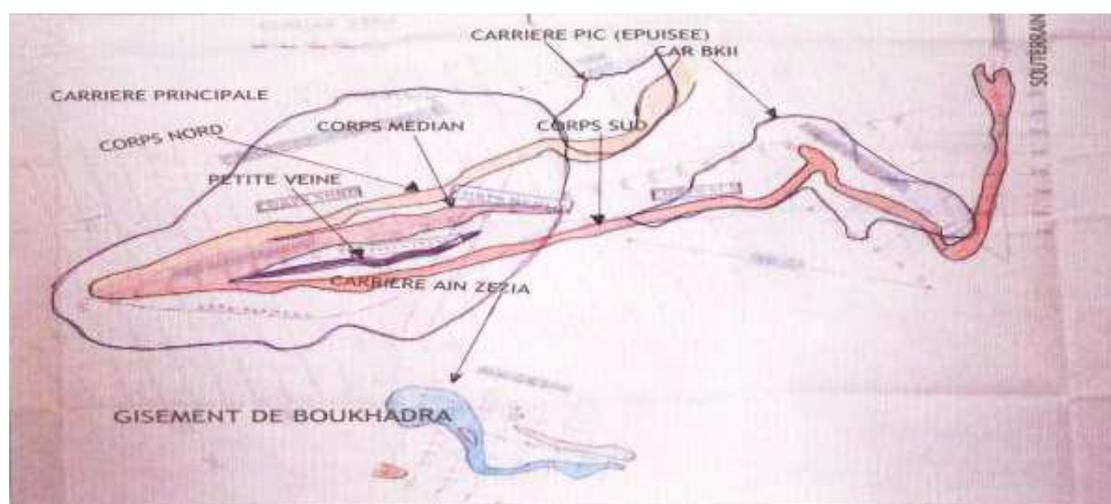
- Corps principal;
- Corps Nord ;
- Corps Median ;
- Corps Sud.

Selon la première estimation des réserves réalisées en 1981 par la D.E.D basée sur les résultats de prospection, les réserves géologiques globales sont évaluées à 50 millions de Tonnes en catégories B, C1, C2.

Les réserves exploitables de la mine arrêtées au 31/10/2019 sont de l'ordre de 42558946Tonnes dont 12 millions seront extraites par ciel ouvert et 31 millions par le souterrain qui englobe plus de 70 % des réserves globales de la mine.

Tableau. I.2 : Réserves géologiques et exploitables de la mine

<i>SITES ET QUARTIERS</i>	<i>RESERVES GEO (T)</i>		<i>RESERVES EXP (T)</i>		<i>OBSERVATIONS</i>
	<i>TONNAGE</i>	<i>Fe %</i>	<i>TONNAGE</i>	<i>Fe %</i>	
<i>TOTAL CIEL-OUVERT</i>	<i>12 901 106</i>	<i>53,30</i>	<i>11 723 490</i>	<i>52,13</i>	
<i>TOTAL SOUTERRAIN</i>	<i>33 336 356</i>	<i>55,76</i>	<i>30 835 456</i>	<i>55,34</i>	
<i>TOTAL MINE</i>	<i>46 237 462</i>	<i>55,08</i>	<i>42 558 946</i>	<i>54,48</i>	<i>EN CATEGORIES B+C1+C2</i>
<i>TOTAL MINE</i>	<i>55 487 762</i>		<i>51 809 246</i>		<i>EN CATEGORIES B+C1+C2+P</i>

**Figure. I.8.** carte de répartition des réserves du gisement de Boukhadra

8. Régime de travail de la mine de Boukhadra :

8.1. Organisation du travail :

Vu de besoins croissant et compte tenu de la matière première, la mine est dotée D'un régime de travail de 16h/24h effectué selon le calendrier suivant :

- 1er Poste de 5 h à 13h
- 2ème poste de 14h à 21h

Tableau. I.3 : Nombre de poste par jour et par heure

<i>Mine</i>	<i>nombre de poste de travail par jour</i>	<i>nombre d'heures par poste</i>
<i>A ciel ouvert</i>	2 postes continus 1ers semestre et 03 postes continus 2éme semestre 2020	<i>7h30/poste</i>
<i>Souterraine</i>	<i>02 postes discontinus</i>	<i>6h30/poste</i>

- **Pour les travaux d'extraction - chargement et de transport :**

- ✓ Pour le minerai : - Nombre de postes 2 p/j
- Durée d'un poste 8 h
- ✓ Pour le stérile : - Nombre de postes 2 p/j
- Durée d'un poste 8 h

- **Pour les travaux de forage et de tir :**

- ✓ Foration : - Nombre de postes 2 p/j
- Durée d'un poste 8 h
- ✓ Chargement des trous : - Nombre de poste 1 p/j
- Durée d'un poste 5 h

- **Nombre de jours ouvrables par an :**

- Stérile : 330 jours/an
- Minerai : 266 jours/an

- **Nombre de jour ouvrables par semaine :**

- Pour la carrière : 7 Jours
- Pour le souterraine : 5 Jours

- **Nombre de postes par jour : $Np/j = 2$ postes**

- **nombre de poste par an :**

- ✓ pour le stérile :

- Nombre de postes par an : $Np/an = Nj/an * n$

Nj/an : nombre de jours ouvrables par an

n : nombre de postes jour

$Np/an = 330 \times 2 = 660$ p/an

✓ Pour le minerai :

- Nombre de postes par an : $Np/an = Nj/an * n$

$$Np/an = 266 \times 2 = 532 \text{ p/an}$$

8.2. Production en minerai

- **Production annuelle planifiée :**

$P_{an} = 287450 \text{ t/an}$. (Donnée par l'entreprise)

- **Production par mois :**

$P_{mois} = P_{an} / (N_{mois}/AN)$; (t/ mois)

N_{mois}/an : nombre de mois par an

$$N_{mois}/an = 12 \text{ mois}$$

$$P_{mois} = 287450 / 12$$

$$P_{mois} = 23954.16 \text{ T/mois}$$

- **Production par semaine :**

$P_{semaine} = P_{mois} / (N_{semaine}/moi)$, t/semaine

Où :

$N_{semaine}/moi$: nombre de semaine par moi

$$N_{semaine}/mois = 4 \text{ semaines}$$

$$P_{semaine} = 23954.16 / 4 = 5988.54 \text{ t/semaine}$$

- **Production journalière :**

$P_j = P_{an} / (N_j/an) / t/jour$

Où :

✓ pour le stérile : $N_j/an = 330 \text{ jour/an}$

$$P_j = 287450 / 330 = 871.06 \text{ t/jour}$$

✓ pour le minerai : $N_j/an = 266 \text{ jour/an}$

$$P_j = 287450 / 266 = 1080.64 \text{ t/jour}$$

- **Production par poste :**

$P_p = P_j / (N_p)$;(t/poste)

Où :

✓ pour le stérile : $P_p = 871.06 / 2 = 435.53 \text{ t/poste}$

✓ pour le minerai : $P_p = 1080.64 / 2 = 540.32 \text{ t/poste}$

8.3. Production de la mine

L'analyse de la situation actuelle de la mine et de celle qui a prévalu pendant les années écoulées ; nous renseigne sur un déficit énorme en matière de découverte. Or il est admis que l'évolution harmonieuse des carrières doit tenir compte, et sur le même pied d'égalité du minerai et de la découverte; bien plus et compte tenu des impératifs de l'exploitation du minerai et le maintien de la demande sur ce dernier, les besoins des quartiers en matière de découverte se sont vu augmentés. Avec cette situation là ; l'extraction du minerai va connaître plus de difficultés à travers lamine.

Vu l'importance des réserves géologiques, la mine sera contraignait de changer ses stratégies de développement et en particulier le mode d'exploitation actuel.

Tableau. I.4 : La production Programmé pour l'année 2018 et 2019 (source : service de la DED)

MFE	Mine de Boukhadra		
	DIVISION ETUDES ET DEVELOPPEMENT		
REALISATIONS ANNEE 2019			
DESIGNATION	PREVISION	REALISATION	TAUX
EXTRAIT CARRIERE(Mine) (T) Cubature	500 000	277594,66	56%
EXTRAIT SOUTERRAIN (mine) (T) Statistique	100 000	33586,00	34%
EXTRAIT CARRIERE + SOUTERRAIN (T)	600000	311180,66	52%
MINERAI CONCASSE (T)	600000	321500,00	54%
MINERAI EXPEDIE (T) BOUKHADRA	525000	356335,87	68%
STERILE MINE (T)Cubature	3900000	1338091,53	34%
STERILE PRIVE (T)Cubature	1700000	520431,62	31%
TOTAL STERILE (mine+enof) (T)Cubature	5600000	1858523,15	33%
MASSE ROCHEUSE MINE+ ENOF(T) CAR	6100000	2136118	35%
TAUX DE DECOUVERTURE (CARRIERE)	11,20	6,70	60%
AVANCEMENT HORIZONTAL FOND 3ème etage (m)	0	93,0	#DIV/0!
AVANCEMENT HORIZONTAL FOND 4 ème etage (m)	1200	22,50	2%
TOTAL AVANCEMENT HORIZONTAL FOND (m)	1200	115,5	10%

Etat des stocks au :31/12/2019

GAR
E= 8529,05

NON CONCASSE: 4193,24

8.4. Durée de vie de la mine

$T_v = T_c + R_{exp}/P_{an} + t_{ext}$; an

T_c : durée de construction de la mine

$T_c = 2$ ans

R_{exp} : réserves exploitables

$R_{exp} = 12\,000\,000$ tonne

P_{an} : production annuelle planifiée de la mine.

$P_{an} = 287450$ tonnes t_{ext} : durée d'extinction de la mine.

$t_{ext} = 2$ ans.

$T_v = 2 + (12\,000\,000/287450) + 2$

$T_v = 45$ ans

Partie II : Exploitation minière

Chapitre 01 : Exploitation à ciel ouvert

Introduction :

Les travaux exécutés lors de l'extraction d'un minerai s'appellent travaux miniers, Suivant l'emplacement de l'exécution des travaux miniers, on distingue : le mode d'exploitation à ciel ouvert où les travaux s'exécutés a la surface du sol et le mode d'exploitation souterrain où les travaux s'effectués au sous-sol.

En d'autre terme un système d'exploitation caractérise le développement des travaux préparatoires de découvertures et d'extraction dans le temps et dans l'espace.

Pour chaque mode d'exploitation on trace un plan d'exploitation détaillé, prévoyant d'une façon précise le découpage et l'extraction du minerai. Les gisements étaient souvent de forme irrégulière, alors il faut qu'on procède d'abord aux travaux d'explorations, donc à une vaste campagne de sondages pour établir le profil géologique du terrain et déterminer la position et les limites du gisement. L'extension du gisement détermine le périmètre de la mine.

Pour les déférents projets miniers, on peut choisir l'un des deux modes d'exploitation (à ciel ouvert ou souterrain), de même on peut utiliser l'exploitation mixte pour quelques types de gisements et ça dépend principalement de la topographie du gisement, leur position (surface ou souterrain) ainsi qu'aux terrains de recouvrements (rapport de découverte) ainsi les conditions économiques (prix de revient).

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

- La puissance, le pendage et l'irrégularité de la formation ;
- La dureté, les propriétés mécaniques du minerai et la nature des épontes ;
- Les variations des teneurs ;
- La stabilité des ouvrages ;
- L'importance du gisement ;
- La teneur du minerai.

1. L'exploitation de la mine de Boukhadra :

L'exploitation de la mine de Boukhadra se fait par deux modes d'exploitation, ce dernier est composé des quartiers d'exploitation à ciel ouvert et souterrain qui représente environ 50 millions de tonnes des réserves de fer avec une teneur supérieur à 50% en fer.

Les quartiers sont les suivants :

1- Mine à ciel ouvert principale, se divisée en :

-Site amont,

-Site médian,

-Site aval.

2- Quartier BK II,

3- Quartier souterrain,

4- Quartier Ain Zazia.

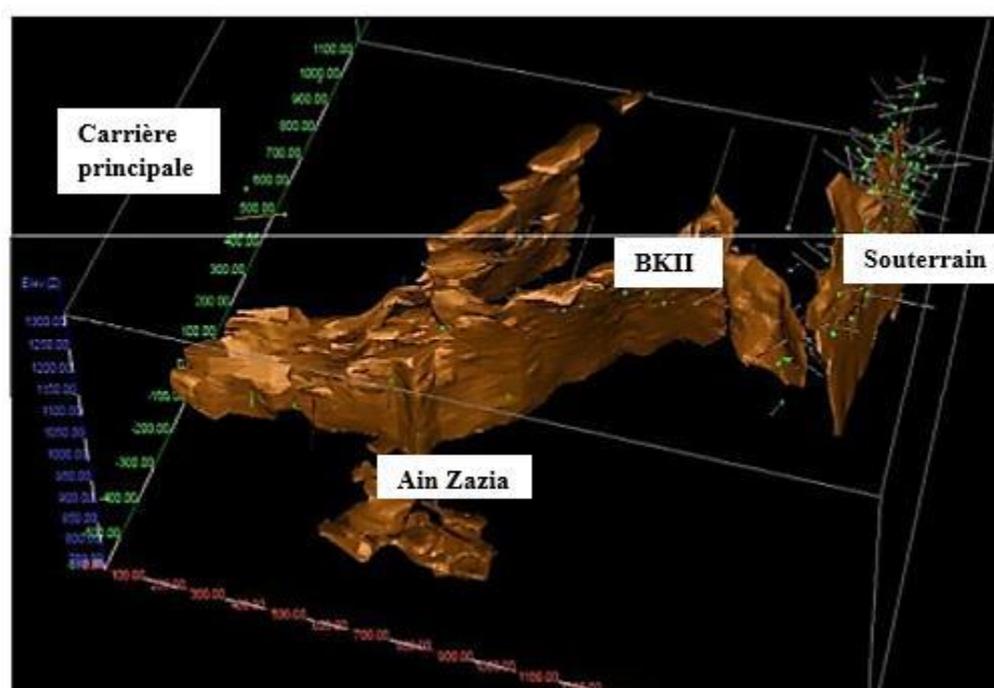


Figure. II.1.1. Les quartiers de la mine de boukhadra .

Actuellement, les travaux d'exploitation sont s'effectues au niveau de la mine à ciel ouvert principale avec ses trois sites (amont, aval et médian) qui représente les principales sources de minerai de la mine avec le quartier. Concernant les autres quartiers, le quartier BK II est épuisé, d'autre part, le quartier Ain Zazia représente une faible teneur du minerai mais, il sera mis en exploitation au 2eme semestre de l'année en cours.

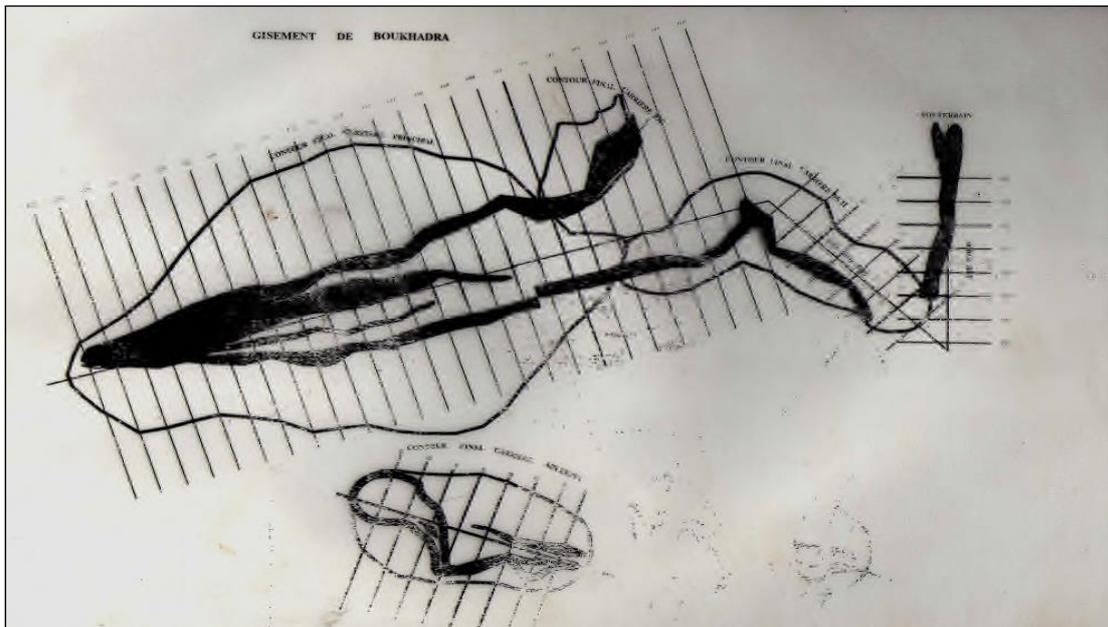


Figure. II.1.2. Subdivision du gisement de Boukhadra .

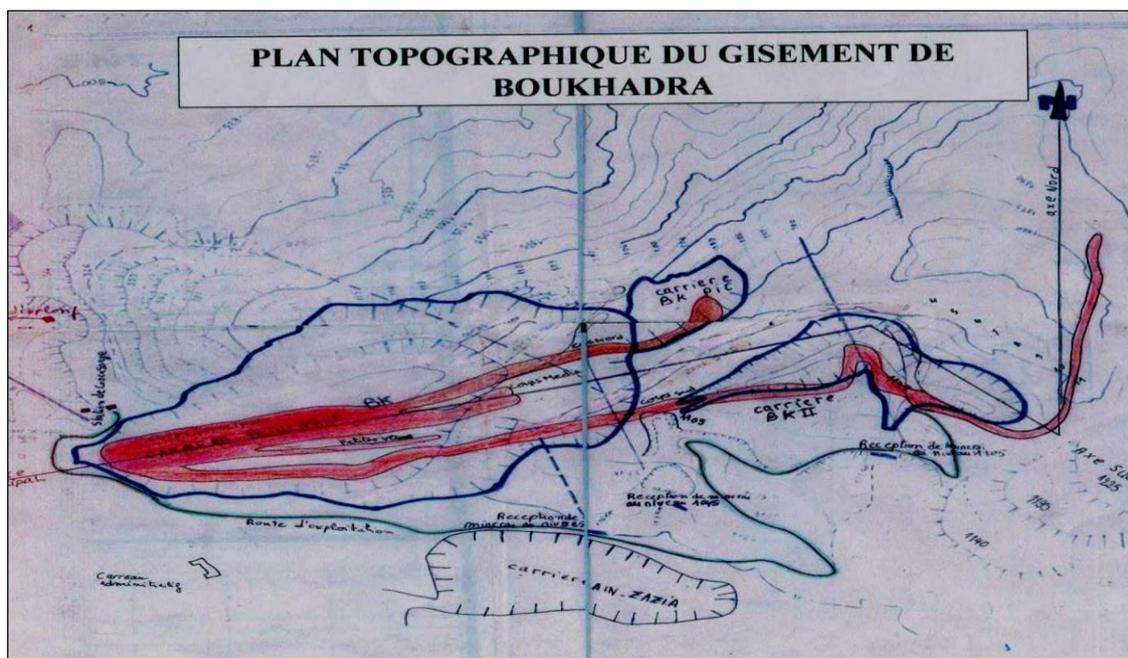


Figure II.1.3: Plan topographique du gisement de Boukhadra.

2. Mode D'ouverture :

Introduction

Avant de procéder à l'exploitation à ciel ouvert ou souterraine d'un gisement, il convient d'exécuter des creusements pour accéder à celui-ci et permettre l'emploi de moyens de transport entre les terrains productifs et la surface du sol.

La résolution et la réalisation pratique de la découverte d'un gisement prédétermine pour longtemps et parfois définitivement l'agencement de l'exploitation de la carrière et sa rentabilité. Concernant ce problème une signification particulière est à retenir pour : le type et la disposition mutuelle des ouvrages d'ouverture (mode d'ouverture) ; la hauteur du gradin ; la direction de progression des travaux miniers dans l'espace, qui prédétermine l'emplacement des ouvrages miniers d'ouverture.

Lors du choix du mode d'ouverture plusieurs facteurs doivent être considérés :

- le contour final de la mine (limite),
- le système d'exploitation,
- le type de transport adopté,
- le délai de construction de la mine,
- les conditions et la forme du gisement,
- le relief de l'environnement,
- l'implantation à la surface d'installations et de terrils,
- la qualité du minerai,
- les facteurs climatiques,
- les conditions
- les possibilités de financement.

L'ouverture d'un gisement se fait par le creusement des *tranchées principales* qui donnent l'accès à la couche minérale et de *tranchées de découpage* qui préparent le champ de la mine à l'exploitation. Les tranchées principales sont de section trapézoïdale et ont un profil longitudinal et transversal particulier.

2.1. Les modes d'ouverture appliqués aux mines à ciel ouvert

a) Ouverture des gisements horizontaux et peu inclinés

- Ouverture par tranchées séparées (isolées intérieures et extérieures).
- Ouverture par tranchée commune extérieure
- Ouverture par tranchée de groupes communs extérieurs
- Ouverture par tranchées couplées

b) Ouverture des gisements inclinés et dressant

Ces gisements situés à une profondeur importante sont ouverts par :

- tranchées communes intérieures
- tranchées combinées

c) Ouverture des gisements à relief montagneux

Généralement l'ouverture des gisements à relief montagneux s'effectue de bas vers le haut par des demi-tranchées.

- Si l'angle du flanc de coteau (β) est faible (4-8)% la demi-tranchée est réalisée sans avoir recours aux travaux de creusement, car ils sont alors remplacés par les travaux de remblayage.

Dans le cas où $\beta > \delta$ la demi-tranchée est creusée dans le massif dans toute largeur. Il est évident dans telle condition on cherche toujours de réduire la largeur d'excavation.

La demi-tranchée peut avoir deux tracés :

- **Rectiligne** : si l'angle de la pente du flanc de coteau β est inférieur à 12%
- **serpentine (curviligne)** : si β est supérieur à 12%

2.2. L'ouverture du gisement au niveau de la mine de Boukhadra

Comme on sait, que l'exploitation des gisements à relief montagneux se réalise par une ouverture à demi-tranchée d'accès, dont leur réalisation pour la mine de Boukhadra elle se caractérise par 3 niveaux desservis et de tracé presque rectiligne elle est nommée « demi tranchée d'accès commune ».

- **Etape de creusement de la demi-tranchée d'accès :**

1^{ère} étape:

On fore des trous de mines de diamètres $d_{tr} = 65$ mm dans les longueurs varient de 0.8 à 2m. Dans le but de créer une plateforme de largeur de 4 m.

Les trous forés qui sont distance de 1m l'une des autres sont chargés, bourrés, en suite tirés.

2^{ème} étape :

On évacue les déblais à l'aide d'un bulldozer pour préparer la plateforme de travail là où la sondeuse peut forer les trous.

3^{ème} étape :

Après l'évacuation des déblais, on introduit la sondeuse qui va forer des trous inclinés ou horizontaux.

4^{ème} étape :

Après avoir faire les trous, on les charges par l'explosif en suite on les bourrés par sable ou par argile, en fin on les tirés.

Une fois le tir est réalisé on procède au transport des déblais au moyens des camions.

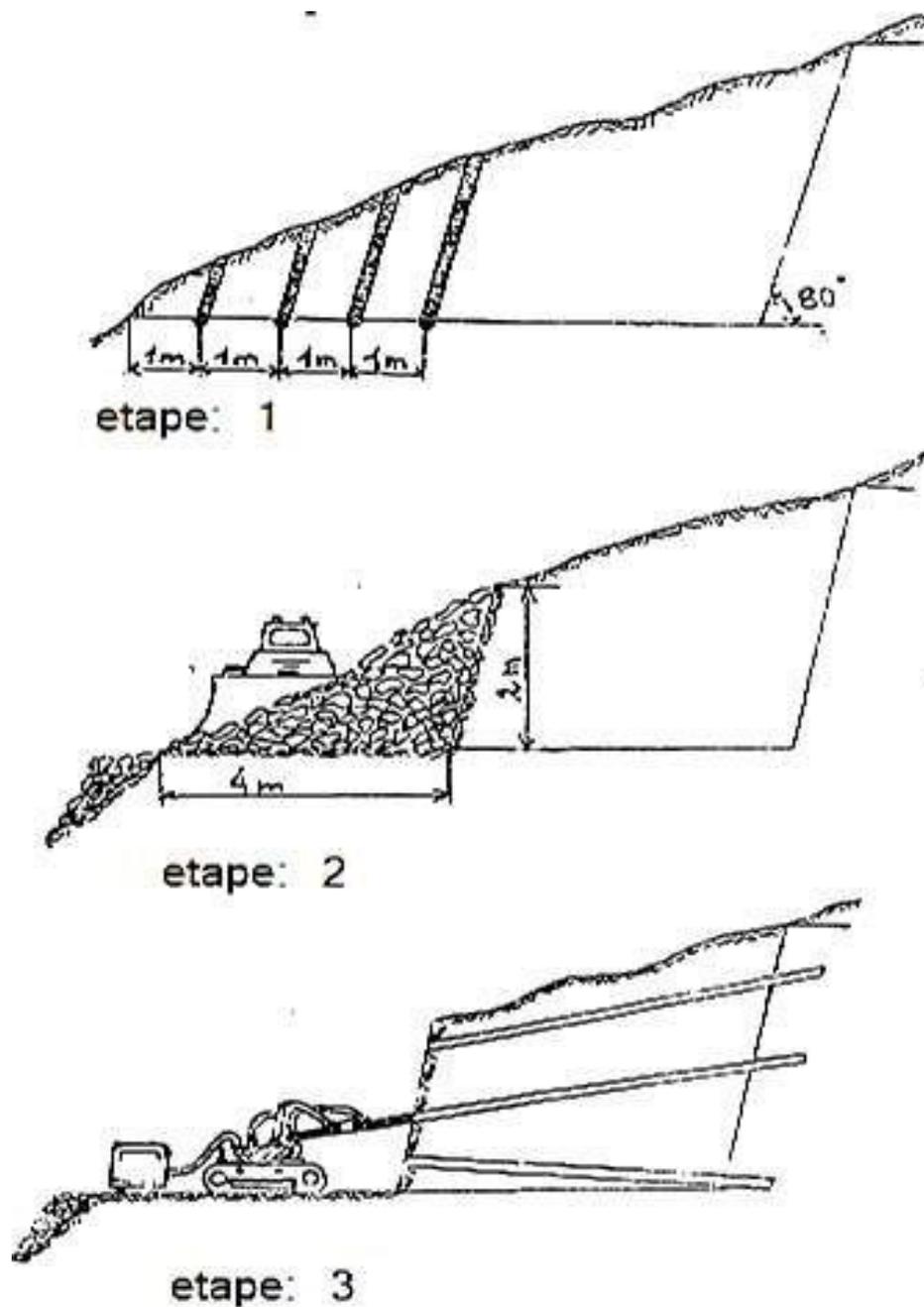


Figure .II.1.4: schéma des étapes de creusement de la demi-tranchée

De cette manière-là, on fait la réalisation de la demi-tranchée d'accès jusqu'au sommet avec les travaux de tirs et d'évacuation avec le bulldozer ; et il y a des cas où l'évacuation se fait par bulldozer directement dans le cas des roches tendres. Comme se présente dans la figure. Et à chaque fois en réglant la plateforme à l'aide d'un bulldozer qui pousse les déblais sur les versants.

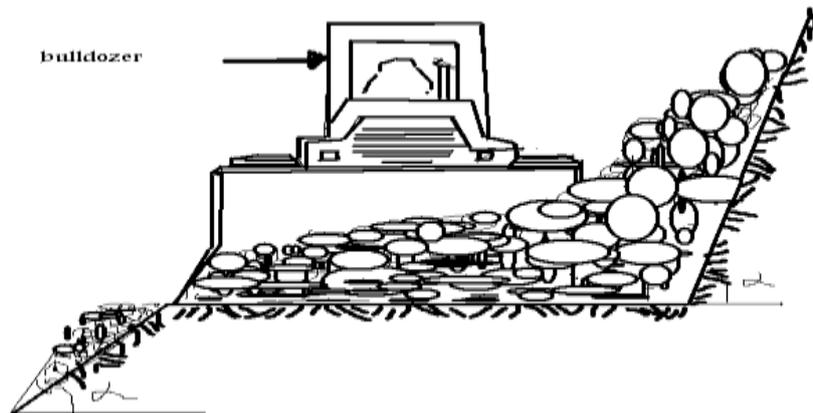


Figure .II.1.5:4^{ème} étapes de creusement de la demi-tranchée d'accès

2.3. Paramètres technologiques de la demi-tranchée d'accès

1. Largeur de la demi-tranchée d'accès

Théoriquement on peut la déterminer d'après le schéma suivant:

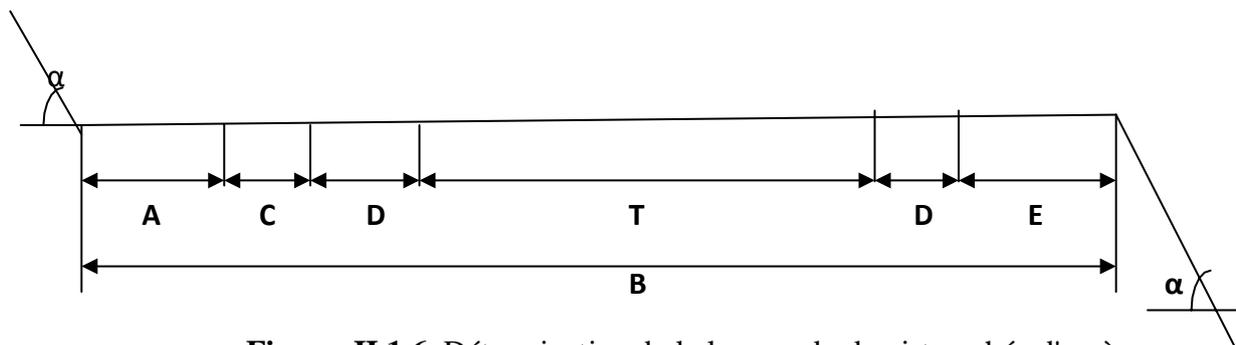


Figure. II.1.6. Détermination de la largeur du demi-tranchée d'accès.

D'après le schéma ci-dessus, on distingue que la largeur de la demi-tranchée d'accès est comme suite : $B = A + C + 2D + T + E$; m

D'où:

A: berme de sécurité de chute de pierres; $A = 1.5-2.0m$; ($A=1.5m$).

T: largeur de la chaussée de transport ; m

Dans la carrière de la chaussée de transport est à deux voies de ($T = 15,97$ m) ;

C: largeur de la régole; m , ($C= 0.5$ m);

D: largeur des accotements; m, $D= 1.0-2.0$ m; ($D=2$ m).

E: largeur de la digue de protection ; m, $E=2.5$ m.

Donc: $B= 1.5+0.5+2*(2) +15.97+2.5= \mathbf{24,47}$ m.

2. Longueur de la demi-tranchée d'accès

Théoriquement on a la déterminée par la formule suivante:

$$L = \frac{H_f - H_i}{i} * K_a ; m$$

Où:

H_f : niveau supérieur de la demi-tranchée d'accès ; m

H_i : niveau inférieur de la demi-tranchée d'accès; m

i : pente directrice de la demi-tranchée d'accès (8-12%) Dans la mine de Boukhadra

$i = 10\%$.

K_a : coefficient d'allongement du tracé; il dépend du type de jonction et de la forme de Tracé.

Dans la mine du Boukhadra le type de jonction se fait à pente directrice donc

$K_a = 1.2-1.4$

Alors les longueurs de la demi tranchée d'accès est égale:

$$L = \frac{H_f - H_i}{i} * K_a = \frac{1000 - 900}{0.10} * 1.3 = 1300 \text{ m}$$

3. Angle du talus de la demi-tranchée d'accès

L'angle de bord de la demi tranchée d'accès dépend des propriétés physiques des roches dont la principalement la dureté et la durée de service de cette dernier.

Dans notre cas, l'angle du talus de la demi tranchée d'accès et la même au celle des gradins 80° .

4. Volume de la demi-tranchée d'accès

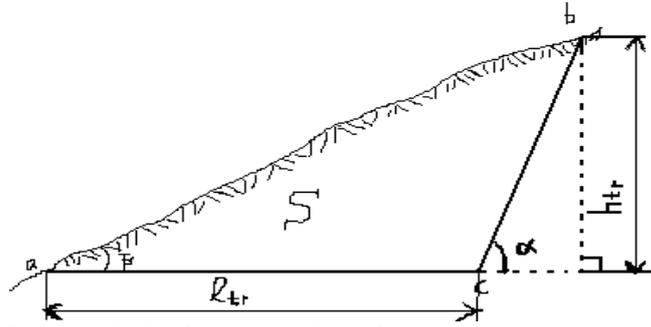


Figure. II.1.7. Section de la demi-tranchée d'accès

Il est déterminé par la formule suivante :

$$V_{d'acc} = \frac{b^2 * \sin\alpha_d * \sin\beta_f * l}{2\sin(\alpha_d - \beta_f)} ; m^3$$

Où : b : largeur de la demi-tranchée d'accès (b=24.47m)

α_d : Angle du bord de la demi-tranchée d'accès est égal à 80°

β_f : L'angle du flanc de coteau est égal à 35°

L : Longueur de la demi tranchée d'accès L= 1300 m.

$$V_{d'acc} = \frac{24.47^2 * \sin 80 * \sin 35 * 1300}{2\sin(80 - 35)} = 310913,12 m^3$$

5. Calcul du volume de la demi-tranchée de découpage

Se calculé par la formule suivante:

$$V_{td} = \frac{b^2 * \sin\alpha_d * \sin\beta_f * l}{2\sin(\alpha_d - \beta_f)} ; m^3$$

Où: b: largeur de la demi-tranchée de découpage ;m

$$b=2(R_b+0.5B+m);m$$

D'où:

R_b : rayon de braquage du camion; $R_b= 9.5m$; dans les conditions de mine de Boukhadra

B : largeur du camion ; B= 5,01m

m: le bas -coté (l'accotement) m=1m

donc: $b=2(9.5+0.5(5.01)+1)= 26m$.

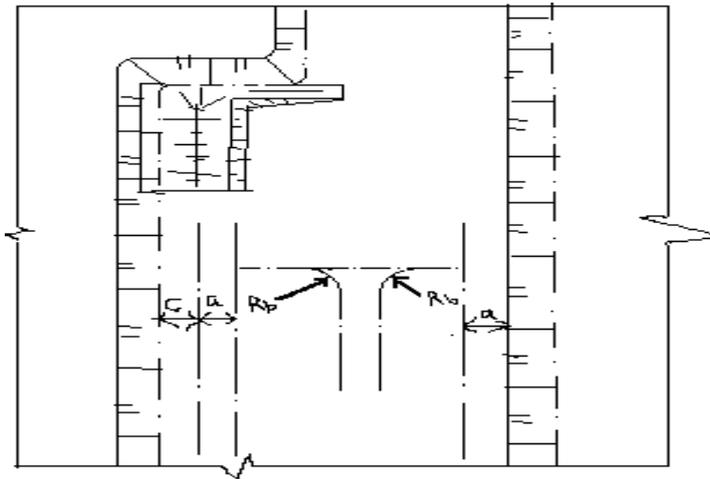


Figure. II.1.8. Paramètres de la largeur de la demi-tranchée de découpage.
 α_d : Angle du talus du bord de la tranchée de découpage $\alpha_d=80^\circ$. L : Longueur de la demi-tranchée d'accès ;L= 1300 m.

Donc:

$$V_{td} = \frac{26^2 * \sin 80 * \sin 35 * 1300}{2 \sin(80 - 35)} = 351008 \text{ m}^3$$

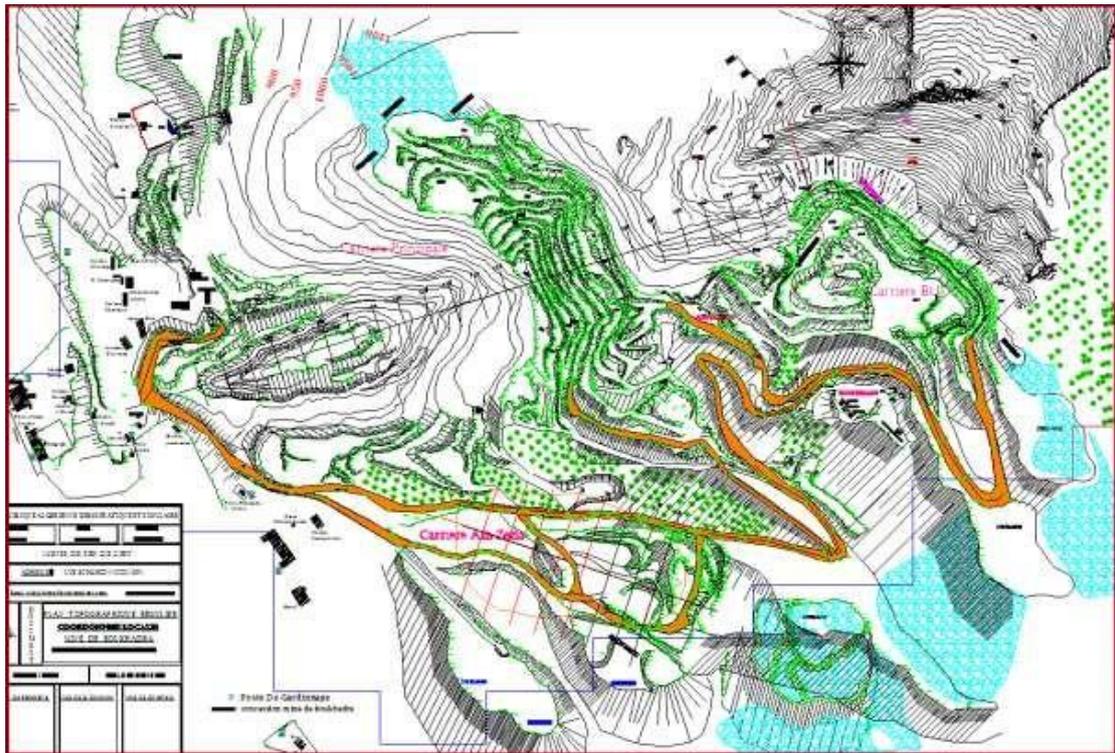


Figure. II.1.9. Plan d'ouverture de la mine de Boukhadra .

3. Méthode d'exploitation :

3.1. Choix de la méthode d'exploitation:

Le choix de la méthode de l'exploitation dépend des facteurs suivants :

- Caractéristiques géométriques et miniers du gisement.
- Le nombre et la puissance de chaque gîte.
- L'angle de pendage du gîte.
- Production planifiée en minéral utile.
- Mode d'ouverture.

Selon le plan topographique, le site de Boukhadra est caractérisé par un relief montagneux avec un angle de flanc de coteau qui varie entre 35° à 40° .

Selon la classification de l'académicien REJEVSKY pour ce type de gisement, on adopte la méthode de fonçage avec l'exploitation du haut vers le bas. Elle commence par la préparation du sommet avec un seul bord d'exploitation, afin d'avoir une plateforme de travail suffisante pour l'emplacement des engins. Au fur et à mesure qu'on avance sur le gradin supérieure ; on ouvre le gradin inférieur à partir de ce niveau. L'accès au gisement s'effectue par demi-tranchée commune de façon à faciliter le trafic des engins de chargement et les engins de forage.

3.2. Les paramètres de la méthode d'exploitation:

- Hauteur de gradin.
- Largeur de plat -forme de travail.
- Vitesse d'avancement du chantier.
- Avancement annuel du front de travail

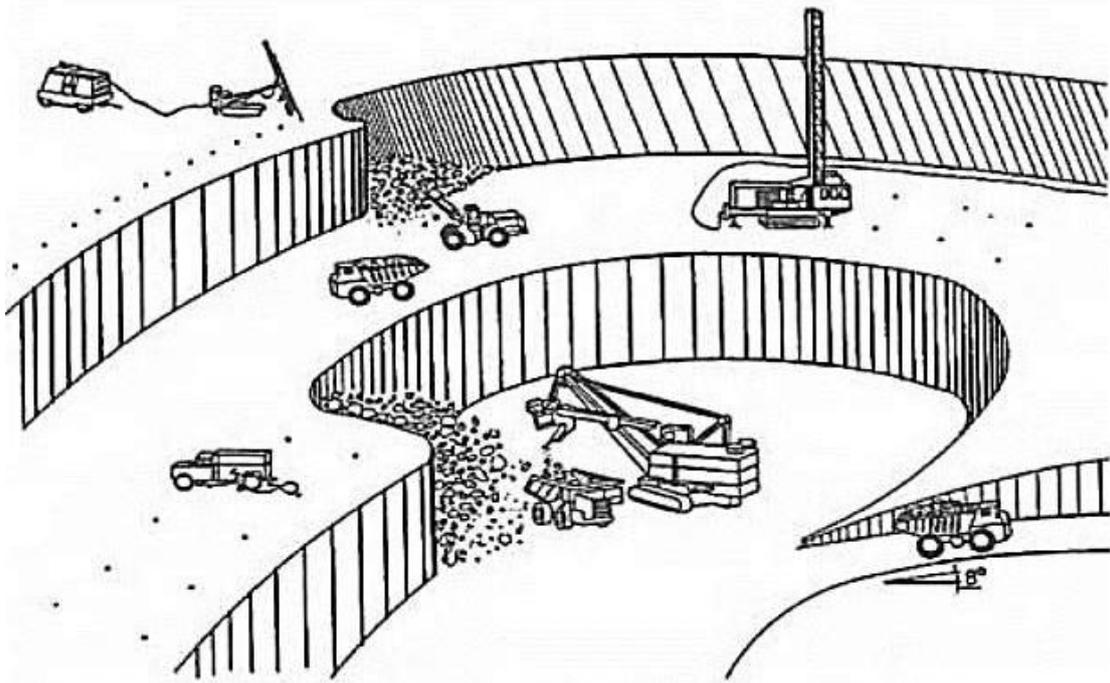


Figure II.1.10. Paramètres de la méthode d'exploitation .

- **Hauteur de gradin:**

Lors de la détermination de la hauteur du gradin, on tient compte de quelque facteur comme la sécurité des travaux miniers et la production de carrière et les caractéristiques de gisement. Elle se calcule par la formule suivante:

- pour les roches tendres : $h \leq h_{cmax}$

- pour les roches dures : $h \leq 1,5 h_{cmax}$

Dans le cas de la mine de Boukhadra la hauteur du gradin est de 15m avant de la réduire à 7,5m pour des raisons de sécurité et stabilité des gradins.

- **La largeur de plate-forme de travail:**

La largeur de la plateforme de travail elle doit permettre aux équipements miniers de travailler dans les meilleures conditions, elle se détermine en fonction de :

* Les propriétés physico-mécaniques des roches

* Les dimensions du tas des roches abattues

* Les caractéristiques techniques des engins de chargement et de transport.

* Des lignes de transmission électrique ainsi que la disponibilité de réserve prête au chargement.

- En terrain tendre la largeur de la plateforme de travail se calcule avec la formule suivante:

$$L_{pt} = A + C + T + Z ; m$$

- Lorsque l'abattage se fait à l'explosif, la largeur minimale se calcul par la formule suivante:

$$L_{pt} = Z + T + C + X + A ; m$$

- A : largeur de l'enlevure, m

$$A = w + b(n-1), m$$

- b : distance entre deux rangées, m

- n : nombre de rangées

- C : distance entre l'arrête inférieur du gradin et la berme de transport, m

- T : largeur de la chaussée de transport, m

- Z : prisme d'éboulement, m

$$Z = hg(\text{ctg}\gamma - \text{ctg}\alpha), m$$

- γ : Angle du talus stable (35-60°)

- α : angle du talus du gradin

- X : largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure, m

$$X = \frac{q}{\gamma} \sqrt{hg \cdot A} ; m$$

- γ : densité de la roche en place, t/m³

Puisque l'abattage dans la mine à ciel ouvert de Boukhadra se fait par l'explosif, alors la plate-forme de travail se calcule par :

$$L_{pt} = Z + T + C + X + A ; m$$

- Z : prisme d'éboulement

$$Z = 15(\text{ctg}60 - \text{ctg}85) \quad Z = 3,67m$$

- T : largeur de la chaussée de transport, m **T = 15,47 m** (voir transport). Dans notre cas on prend: **C = 2,5m**

- A : largeur de l'enlevure, **mA = 4,2 m.**

- X : largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure, m

$$X = \frac{q}{\gamma} \sqrt{hg \cdot A} ; \text{ m}$$

$$q = 1,0723 \text{ Kg/m}^3$$

$$X = 46,42 \text{ m}$$

Alors :

$$L_{pt} = 3,67 + 15,47 + 2,5 + 46,42 + 4,2 ; \text{ m}$$

$$L_{pt} = 72,26 \text{ m}$$

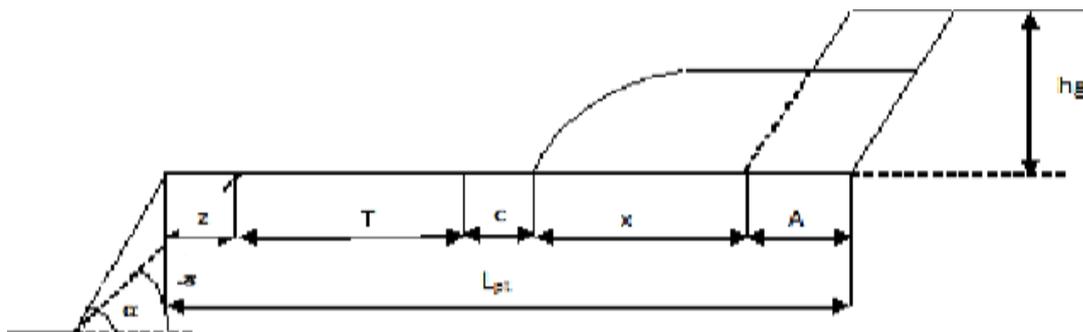


Figure II.1.11. Plateforme de travail.

- **Vitesse de déplacements de chantier:**

La vitesse de déplacement d'un chantier de travail dépend de la largeur d'enlèvement et du rendement des moyens de chargement ; elle est déterminée par la formule :

$$V_{cha} = \frac{Qch}{A} ; \text{ m/poste}$$

- Qch : rendement de la chargeuse

- Qch = 945,39 m³ /poste.

- A : largeur d'enlèvement

- A = 4,2 m

$$V_{cha} = 225 \text{ m/poste}$$

- **La vitesse d'approfondissement de la mine:**

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$A_{an} = \frac{P_{an}}{L_{ft} * H_c} ; \text{ m/an}$$

- P_{an} : La production planifiée de la mine ; P_{an} = 4740000 T/an = 1723636.36m³.

- H_c : Hauteur totale des gradins du minerai H_c = 60 m.

- L_{ft} : Longueur totale du front des travaux pour tous les gradins ; $L_{ft} = 900$ m.

$$A_{an} = \frac{1723636.36}{900 * 60} = 31.9 \text{ m}$$

Tableau II.1.1 : Paramètres de la méthode d'exploitation.

Paramètres	Désignations	Valeurs	Unités
Hauteur de gradin	Hg	15	M
Largeur d'enlèvement	A	4,2	M
Largeur de la plate-forme de travail	L_{pt}	76,26	M
Largeur du tas de roche abattus	X	46,42	M
La chausse de transport	T	15,47	M
Largeur de prisme d'éboulement	Z	3,67	M
Vitesse de déplacement	V_{cha}	225	m/p
Vitesse d'avancement du front	A_{an}	31,9	m/an

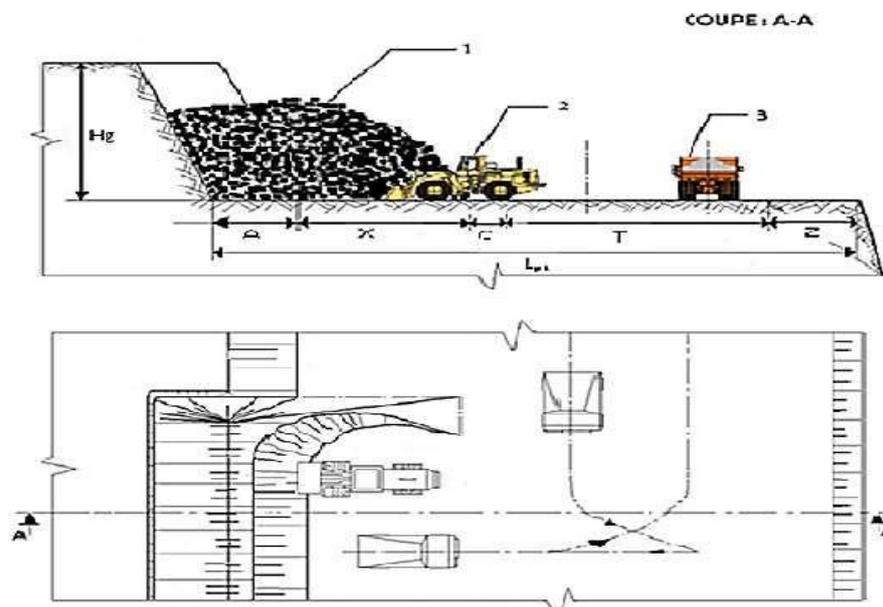


Figure II.1.12. Schéma de l'organisation de travail.

A : largeur d'enlèvement.

X : largeur du tas des roches abattus.

C : distance de sécurité.

T : largeur de la chaussée de transport.

Z : prisme d'éboulement.

4. Travaux de forage et de tir :

La foration s'effectue aux moyens de sondeuses, de chariots et de marteaux perforateurs, les diamètres des trous de foration sont respectivement de 160 mm ,80 mm et de 26 mm.



Figure. II .1.13. la sondeuse BBURG HD1500D utilisé pour les travaux de forage au niveau de la mine de Boukhadra

Tableau. II.1.2. la sondeuse BBURG HD1500D utilisé pour les travaux de forage au niveau de la mine de Boukhadra

Caractéristiques de la foreuse BBURG HD1500D	
Type de forage	Fond de trou
Diamètre du trou de forage	89 – 172 mm
Tiges de sondage	-
Diamètre tubes de sondage	76-89-100-114
Couple de rotation maximale	5000 Nm
Vitesse de rotation	40 à 100
Profondeur de sondage	40 / 35 m
Longueur d'alimentation	9540 mm
Type de moteur	TCD 2015
Puissance du moteur	390 Kw
Type de compresseur	Compresseur à vis, à deux étages
Qualité d'air par minute	28,3 m ³ / 1000 cfm

Vitesse	0 à 4,5 km/h
Type de plaque de fond	Traverse triple
Réservoir à gasoil	900 l
Montée maximale	28°

La mise à feu utilisée dans la mine principale de Boukhadra est électrique. Après le tir, les hors gabarits vont exécuter un tir secondaire.

Les explosifs utilisés pour le tir sont le Marmanite et l'Anfomil.

- Le marmanite est un explosif qui est efficace et qui prend les caractéristiques suivantes :

- Sensibilisé au moyen d'un explosif brisant;
- Couleur grise;
- Aspect pulvérulent;
- Considéré comme un explosif de sûreté;
- Sensible à l'eau;
- Efficace dans les roches sèches de moyenne dureté;
- Utilisé dans les régions sèches. Il est adapté aux terrains à roches tendres ou de dureté moyenne.

- L'Anfomil est ainsi un explosif caractérisé par :

- Couleur blanc rose ;
- Aspect pulvérulent ;
- Peu sensible aux actions mécaniques ;
- Considéré comme explosif de sûreté ;
- Très facile à manipuler ;
- Mauvaise résistance à l'eau ;
- Sa vitesse de détonation diminue avec la diminution du diamètre des trous ;
- Cet explosif est particulièrement recommandé en milieu sec pour des roches tendres et des travaux à ciel ouvert.

4.1. Ordre de calcul des paramètres de tir

- **Diamètre de trou:** $D_{tr}=120$ mm
- **La longueur de sous-forage:**

$L_{ex} = K_s * D_{tr}; m.$

$K_s=10\div 15$ on prend : $K_s=12$

$$L_{ex}=12*0.120=1.44m$$

- **Détermination optimale de la longueur de trou:**

Généralement la longueur est plus grande que la hauteur du gradin afin d'abattre correctement le pied : $L_{tr} = H_g + l_{ex}$; m

$$L_{tr} = 15 + 1.44 = 16.44 \text{ ;m}$$

Une certaine longueur de trou est laissée non chargée. Elle est désignée sous le nom de longueur de bourrage (l_b) qui peut être remplie de matériaux inertes ou de déblais de roche de forage pour confiner l'explosif et éviter son expansion lors du tir.

La longueur totale du trou (L_{tr}) forée est égale à la hauteur de gradin (H_g) plus le sous forage (l_{ex}).

La longueur totale de la charge explosive (L_{ch}) est égale à la longueur de trou (L_{tr}) moins la longueur de bourrage (l_b).

Dans le cas des trous inclinés cette longueur est définie par :

$$L_{tr} = \frac{H_g}{\sin\beta} + L_{ex} ; m$$

$$L_{tr} = \frac{15}{\sin 90} + 1.44 = 16.44 \text{ m}$$

- **Consommation spécifique d'explosif étalon:**

$$q_{et} = 0.02 (\delta_{comp} + \delta_{tr} + \delta_{dép.}) + 2(\gamma / m^3)$$

δ_{comp} : limite de la résistance à la compression (kgf/cm^2) = 700 kgf/cm^2

δ_{tr} : limite de la résistance à la traction (kgf/cm^2) = 70 kgf/cm^2

δ_{dep} : limite de la résistance au déplacement (kgf/cm^2) = 140 kgf/cm^2

γ : la masse volumique du minerai (kg/dm^3) = 2.75 kg/dm^3

$$q_{et} = 0,02 (700 + 70 + 140) + 2 * 2,75 = 23.7 ; g/m^3$$

$$q_{et} = 23.7 \text{ g/m}^3$$

- **Charge métrique du trou (charge linéaire) :**

$$P = \frac{\pi}{4} * D_{tr}^2 * \Delta ; kg/m$$

D_{tr} : diamètre de trou = 120mm

Δ : densité moyenne de l'explosif ; kg/m^3

$$\Delta = \frac{(\Delta_{in} * 90) + (\Delta_{mar} * 10)}{100}$$

Δ_{in} : Densité de travail de l'explosif principale (Anfomil) : $\Delta_{in} = 0.96 \text{ g/cm}^3$

Δ_{mar} : Densité de travail de l'explosif d'amorçage (Marmanite III) :

$$\Delta_{mar} = 0.9 \text{ g/cm}^3$$

Donc :

$$\Delta = \frac{(0.96 * 90) + (0.9 * 10)}{100}$$

$$\Delta = 0.954 \text{ g/cm}^3$$

Alors :

$$P = \frac{\pi}{4} * (0.120)^2 * 954$$

$$P = 10.78 \text{ kg/m}$$

- **Ligne de résistance des roches au pied de gradin:**

La ligne de résistance est la distance entre la première rangée de trou et le bord inférieur du talus, elle se détermine par la formule suivant :

$$W = \frac{\sqrt{(0.56 * P^2 + (4 * m * q * H_g * L_{tr} * p)) - 0.75 * p}}{2 * m * q * H_g}$$

m : coefficient de rapprochement des trous, $m = (0.9 \div 1.4)$; comme la roche est difficilement tirable on prend, **m=0.9**

q : consommations spécifique de projet de l'explosif, **q=0.4 kg/m³**

H_g : hauteur de gradin, **H_g=15 m**

L_{tr} : profondeur des trous, **L_{tr} = 16.44 m**

$$W = \frac{\sqrt{(0.56 * (10.78)^2 + (4 * 0.9 * 0.4 * 15 * 16.44 * 10.78)) - 0.75 * 10.78}}{2 * 0.9 * 0.4 * 15}$$

$$W = 5 \text{ m}$$

- **Distance entre les trous de la même rangée :**

$$a = m * w \quad ; m$$

$$m = 0.9 - 1.1$$

m : coefficient de rapprochement.

$$m=0,9$$

$$a=0.9*5$$

$$a=4.50m$$

- **Distance entre deux rangées de trous :**

$$b=w(\text{tir a microretard})$$

$$b=5m$$

- **Quantité d'explosif à mettre dans un trou :**

$$Q=q*a*w*Hg ; \text{ kg}$$

$$Q=0.4*4.5*5*15$$

$$Q=135\text{kg}$$

- **La longueur de charge d'explosif :**

$$L_{ch} = \frac{Q}{p}$$

$$L_{ch} = \frac{135}{10.48}$$

$$L_{ch}=12.88m$$

- **La longueur de bourrage totale :**

$$L_b=L_{tr} - L_{ch} ; m$$

$$L_b=16.44-12.88$$

$$L_b=3.56 m$$

- **La longueur de bourrage du bouchon :**

$$L_{bb}= 20* D_{tr}; m$$

$$L_{bb}= 20 * 0.120 ; m$$

$$L_{bb}= 2.4 m$$

- **volume des roches à abattre par un trou tiré :**

$$V_{b/tr}=w*a*Hg ; m^3$$

$$V_{b/tr} = 5 * 4.5 * 15$$

$$V_{b/tr} = 337.5 \text{ m}^3$$

- **Volume de bloc à abattre:**

$$V_b = (P_{an} / N_j) * N_{i/s}; \text{ m}^3$$

$N_{i/s}$: interval entre deux tirs successive, 1

$$V_b = (1723636.36 / 266) * 1; \text{ m}^3$$

$$V_b = 6480 \text{ m}^3$$

- **Nombre de trous dans un bloc :**

$$N_{tr} = V_b / V_{b/tr}; \text{ trous}$$

$$N_{tr} = 6480 / 337.5; \text{ trous}$$

$$N_{tr} = 20 \text{ trous}$$

- **Quantité totale d'explosif:**

$$Q_{Tex} = Q * N_{tr}; \text{ Kg}$$

$$Q_{Tex} = 135 * 20 = 2700 \text{ Kg}$$

- **La largeur d'enlevure:**

$$A = w + b(n-1); \text{ m}$$

$$A = 5 + 4.2 * 0 = 5 \text{ m}$$

- **Longueur du bloc à tirer:**

$$L_{bL} = V_b / A * h_g; \text{ m}$$

$$L_{bL} = 6480 / 5 * 15 = 86.4 \text{ m}$$

- **Volume linéaire de foration:**

$$L_F = N_{tr} * L_{tr}; \text{ m}$$

$$L_F = 20 * 16.44 = 328.8 \text{ m}$$

- **Disposition des trous et ordre de tir:**

Les trous peuvent être tirés suivant a une ou plusieurs rangées, dans notre cas ils sont disposés suivant une seule rangée. Cette disposition est caractérisée par la

distance (a) entre les trous. Le choix des schémas de tir dépend des propriétés physico-mécaniques des roches.

- **Hauteur du tas de roches abattues:**

$$HT = (0,7-1,05) * hg ; m$$

$$HT = 0,9 * hg = 0,9 * 15 = 13,5 m$$

Tableau II.1.3 : paramètres des travaux de forage et tir (cas de la mine Boukhadra)

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Diamètre du trou.	D_{tr}	mm	120
Longueur de sous forage	L_S	m	1,44
Inclinaison du trou.	β	Degré	90°
Longueur du trou.	L_{tr}	m	16.44
Consommation d'explosif étalon.	Q_t	g/m^3	23,7
Charge métrique.	P	kg/m	10.78
Ligne de résistance des roches au pied de gradin.	W	m	5
Distance entre les trous.	A	m	4.5
Distance entre les rangées.	B	m	5
Quantité d'explosif dans un trou.	Q_{ex}	Kg/trou	135
Longueur de la charge.	L_{ch}	m	12.88
Longueur de la charge inférieure.	L_{chl}	m	1.4
Longueur de la charge supérieure.	L_{chs}	m	12.6
Longueur de bourrage.	L_{bt}	m	3.56
Longueur de bourrage de bouchon.	L_{bb}	m	2.40
Longueur de bourrage intermédiaire	L_{bi}	m	-
Volume des roches à abattre par un trou tiré.	$V_{b/tr}$	m^3	337.5
Volume de bloc à abattre.	V_b	m^3	6480
Nombre des trous dans un bloc.	N_{tr}	Trous	20
Quantité d'explosif totale dans un bloc.	Q_{Tex}	Kg/bloc	2700
Largeur d'enlèvement.	A	m	5
Longueur du bloc à tirer.	L_{bL}	m	109.55
Volume linéaire de foration.	L_f	m	328.8
Nombre de rangée.	N	rangée	01
Largeur du tas de roches abattues.	B_T	m	26,01
Hauteur du tas de roches abattues.	H_T	m	13.5
Consommation spécifique d'explosif réel du projet.	Q_{rp}	kg/m^3	1.7032
Utilisation de la marmanite.	Mar III	%	90%
Utilisation de l'anfomil.	Anf	%	Électrique
Type d'amorçage.	-----	-----	

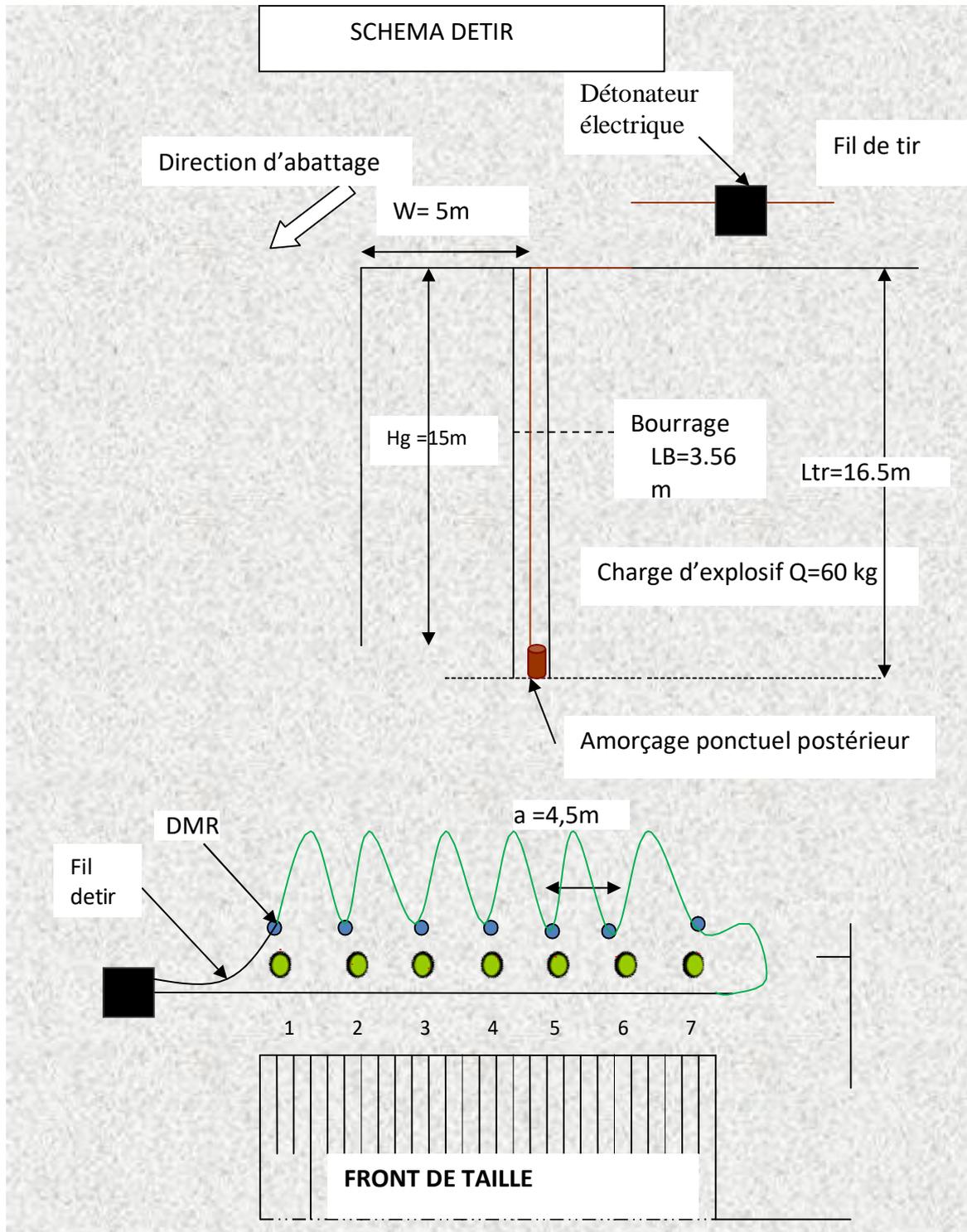


Figure II.1.14. Schéma du Plan de tir.

5. Travaux de chargement et de transport

5.1. Travaux de chargement :

Le fonctionnement de la carrière est conçu et organisé autour des engins choisis pour le chargement des roches abattues et de leur choix, dépend pratiquement le choix des autres engins et leur mise en œuvre. La détermination du type d'engins d'excavation et de chargement se fait en considérant les facteurs suivants :

- La capacité du godet.
- Nature des roches.
- Mesure de sécurité.
- La puissance et la force d'attaque de l'engin.
- La méthode d'exploitation
- La production prévue de la carrière.

Dans la mine de Boukhadra les engins utilisés pour les travaux de chargement sont :

- Une chargeuse sur pneus Caterpillar 990k d'une capacité du godet de 8.6 m³.
- Pelle LIEBHERR 414 d'une capacité du godet de 6 m³.



Figure .II.1.15: chargeuse de type Caterpillar 990 k

5.1.1. Productivité de la chargeuse dans le minerai:

- **Rendement théorique :** se calcule par la formule suivante :

$$R_{thé} = \frac{3600 * E}{tc} ; m^3/h$$

Où : E : capacité du godet 8,4 m³

tc: temps de cycle de la chargeuse mesuré : 36,654 s

R_{thé} = 825,01 m³/h. La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **R_{thé} = 2268.78 t/h.**

- **Rendement d'exploitation par poste :** se calcule par la formule suivante :

$$R_{ex} = \frac{3600 * E * tp * ku * kr}{tc * kf} ; m^3/p$$

R_{ex} = 3771.47 m³/p

La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **R_{ex} = 10371.55 t/p**

Où :

tp: est la durée du poste de travail, 8h

K_u : coefficient d'utilisation 0,8.

K_r : coefficient de remplissage 0,9

K_f : coefficient de foisonnement 1,26

- **Rendement journalier :**

$$R_j = R_p * N_p$$

N_p : nombre de poste par jour ; N_p = 2 poste.

R_j = 10371.55 x2

R_j = 20743.1 t/j

- **Rendement annuel de la chargeuse :**

$$R_{an} = R_p * N_p * N_j ; m^3/an.$$

N_j: nombre de jours de travail de la chargeuse par an; N_J=266 jours.

N_p : nombre de poste de travail de la chargeuse par jour ; N_p=02 poste.

$$R_{an} = 10371.55 \times 2 \times 266 = 5517664.6 \text{ t/an}$$

Tableau II.1.4 : Récapitulatifs des paramètres de chargement dans le minerai

Paramètres	Valeurs	Unités
Temps de cycle	36.654	Sec
Rendement théorique	825.01	m ³ /h
	2268.78	T/h
Rendement d'exploitation	3771.47	m ³ /poste
	10371.55	T/poste
Rendement journalier	7542.95	m ³ /j
	20743.1	T/j
Rendement annuel	1923451.88	m ³ /an
	5517664.6	T/an

5.1.2. Productivité de la chargeuse dans les stériles:

- **Rendement théorique** : se calcule par la formule suivante :

$$R_{thé} = \frac{3600 * E}{tc} ; m^3/h$$

Où : E : capacité du godet 8,4 m³

tc: temps de cycle de la chargeuse mesuré : 40,23 s

$$R_{thé} = 751.67 m^3/h.$$

La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **R_{thé} = 2067.093 t/h**

- **Rendement d'exploitation par poste** : se calcule par la formule suivante :

$$R_{ex} = \frac{3600 * E * tp * ku * kr}{tc * kf} ; m^3/p$$

$$R_{ex} = 2494.45 m^3/p$$

La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **R_{ex} = 6859.75 t/p**

Où :

tp: est la durée du poste de travail, 8h

K_u : coefficient d'utilisation 0,8.

K_r : coefficient de remplissage 0,7

K_f : coefficient de foisonnement 1,35

- **Rendement journalier :**

$$R_j = R_p * N_p$$

N_p : nombre de poste par jour ; $N_p = 2$ poste.

$$R_j = 6859.75 \times 2$$

$$R_j = 4988.90 \text{ m}^3/\text{j}$$

La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **$R_j = 13719.5 \text{ t/j}$**

- **Rendement annuel de la chargeuse :**

$$R_{an} = R_p * N_p * N_j ; \text{ m}^3/\text{an.}$$

N_j : nombre de jours de travail de la chargeuse par an; $N_j = 266$ jours.

N_p : nombre de poste de travail de la chargeuse par jour ; $N_p = 02$ poste.

$$R_{an} = 6859.75 \times 2 \times 266 = 3649387 \text{ m}^3/\text{an}$$

La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **$R_{an} = 10035814.25 \text{ t/an.}$**

Tableau II.1.5 : Récapitulatifs des paramètres de chargement dans les stériles

Paramètres	Valeurs	Unités
Temps de cycle	40,23	sec
Rendemen tthéorique	751.67	m^3/h
	2067.093	T/h
Rendement d'exploitation	2494.45	m^3/poste
	6859.75	T/poste
Rendement journalier	4988.90	m^3/j
	13719.5	T/j
Rendement annuel	3649387	m^3/an
	10035814.25	T/an

5.2. Travaux de transport :

Dans le cas de la mine de Boukhadra l'entreprise utilise deux types de camions pour le transport du minerai et des roches stériles avec différentes capacités des bennes ; des camions de type Caterpillar 775G d'une capacité de 42 m^3 (70 tonnes) pour le transport du minerai et pour le dégagement des stériles sur une distance de un (1) Km et vers le concasseur pour le minerai sur une distance de 4Km.



Figure. II.1.16: camion 537 CATTEPPILLAR 775FC.

5.2.1. Productivité des camions utilisés au niveau de la mine de Boukhadra

NB : les calculs de la productivité sont basés sur des chronométrages faits sur terrain durant notre stage.

- **2.1.1. Productivité du camion Caterpillar 775G (transport de minerai) :**

Tableau II.1.6 : chronométrage des temps de cycle du camion dans le minerai

n°	Temps de chargement ; Sec	Temps d'aller ; sec	Temps de déchargement ; sec	Temps de retour ; sec	Temps d'attente ; sec	Temps de manœuvre ; Sec
01	110.22	174.70	27.91	87.56	105.55	22.7
02	94.35	265.33	22.78	261.04	54.11	22.7
03	112.26	285.81	34.48	141.45	80.63	22.7
04	126.32	197.92	39.37	164.64	132.24	28.67
05	98.76	214.73	33.47	179.23	92.66	28.67
06	118.47	178.40	25.99	135.19	88.72	28.67
Moy	110.06	219.48	30.67	161.52	92.32	25.68

Donc le temps de cycle du camion CAT 775G dans le transport des minerais est :

$$T_c = T_{ch} + T_{al} + T_{dé} + T_{re} + T_{at} + T_{ma} = 110.06 + 219.48 + 30.67 + 161.52 + 92.32 + 25.68 \text{ s}$$

$$T_c = 639.73 \text{ s.}$$

- **Rendement théorique :**

$$R_{thé} = \frac{3600 * Vb}{tc} ; m^3/h$$

$$R_{thé} = \frac{3600 * 42}{639.73} = 236.35 m^3/h$$

$R_{thé}=236,35 m^3/h$. La masse volumique $\gamma = 2,75 t/m^3$ donc **$R_{thé}= 649.96 t/h$** .

Rendement technique : se détermine par la formule :

$$R_{tec} = \frac{3600 * Vb * Kr}{tc * Kf} ; m^3/h$$

$R_{tec}= 168.82 m^3/h$. La masse volumique $\gamma = 2,75 t/m^3$ donc **$R_{tec}= 464.26 t/h$**

Rendement d'exploitation : se détermine par:

$$R_{ex} = \frac{3600 * Vb * Tp * Ku * Kr}{tc * Kf} = 714.56 m^3/p$$

$R_{ex}= 945.39 m^3/p$. La masse volumique $\gamma = 2,75 t/m^3$ donc **$R_{ex}= 2599.85 t/p$**

Où :

Tp : est la durée du poste de travail, 8 h

Ku : coefficient d'utilisation 0,7.

Kr : coefficient de remplissage 0,9

Kf : coefficient de foisonnement 1.26

- **Rendement journalier :**

$$R_{ex/j} = R_{ex} / p * n_p$$

n_p : nombre de poste de travail par jour ; $n_p= 2$ poste

$$R_{ex/j} = 2599.85 * 2$$

$$R_{ex/j} = 5199.70 T/J$$

$$R_{ex/j} = 5199.70 / 2,75 = 1890.8 m^3/j.$$

- **Rendement annuel:**

$$R_{ex/an} = R_{ex} / p * N_j * N_p$$

N_j : nombre de jour ouvrable par an : $N_j= 266$ jour

N_p : nombre de poste par jour $N_p = 2$

$$R_{ex}/an = 2599.85 * 266 * 2$$

$$R_{ex}/an = 1383120.2 \text{ T/an}$$

$$R_{ex}/an = 1325921.87 / 2,75 = 502952.8 \text{ m}^3/\text{an}$$

Tableau II.1.7 : Récapitulatifs des paramètres de transport minerais

Paramètres	Valeurs	Unités
Temps de cycle	639.73	Seconde
Rendement théorique	236.35	m ³ /h
	649.96	T/h
Rendement technique	168.82	m ³ /h
	464.26	T/h
Rendement d'exploitation	945.39	m ³ /p
	2599.85	T/P
Rendement journalier	1890.8	m ³ /j
	5199.70	T/j
Rendement annuel	502952.8	m ³ /an
	1383120.2	T/an

- **Productivité du camion Caterpillar 775G (transport des roches stériles) :**

Tableau II.1.8 : chronométrage des temps de cycle du camion dans le stérile

n°	Temps de chargement ; Sec	Temps d'aller ; Sec	Temps de déchargement ; Sec	Temps de retour ; sec	Temps d'attente ; sec	Temps de manœuvre ; Sec
01	133.44	236.2	62.76	154.75	219.14	22.7
02	122.26	201.20	68.33	115.78	110.38	22.7
03	122.26	194.04	68.08	118.91	102.46	22.7
04	126.32	197.92	79.37	164.64	132.24	22.7
05	218.38	160.02	79.38	120.03	296.98	22.7
06	171.65	163.77	75.95	116.78	175.68	28.67
07	159.10	172.01	84.57	125.67	159.89	28.67
08	202.59	155.44	71.23	142.22	62.01	28.67
09	144.22	163.53	72.69	121.01	16.93	28.67
Moy	155.85	182.68	65.16	131.08	141.74	25.68

Donc le temps de cycle du camion CAT 775G dans le transport des roches stériles est:

$$T_c = T_{ch} + T_{al} + T_{dé} + T_{re} + T_{at} + T_{ma} = 155.85 + 182.68 + 65.16 + 131.08 + 141.74 + 25.68 \text{ s}$$

$$T_c = 702.19 \text{ s.}$$

- **Rendement théorique :**

$$R_{thé} = \frac{3600 * 42}{702.19} = 215.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

$R_{thé} = 215,33 \text{ m}^3/\text{h}$. La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **$R_{thé} = 592.15 \text{ t/h}$** .

- **Rendement technique :** se détermine par la formule :

$$R_{tec} = \frac{3600 * V_b * K_r}{T_c * K_f} ; \text{m}^3/\text{h}$$

$R_{tec} = 127.60 \text{ m}^3/\text{h}$. La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **$R_{tec} = 350.9 \text{ t/h}$**

- **Rendement d'exploitation :** se détermine par la formule:

$$R_{exp} = \frac{3600 * V_b * T_p * K_u * K_r}{T_c * K_f} ; \text{m}^3/\text{p}$$

$R_{exp} = 714.56 \text{ m}^3/\text{p}$. La masse volumique $\gamma = 2,75 \text{ t/m}^3$ donc **$R_{exp} = 1965.05 \text{ t/p}$**

Où :

T_p : est la durée du poste de travail, 8 h

K_u : coefficient d'utilisation 0,7.

K_r : coefficient de remplissage 0,8

K_f : coefficient de foisonnement 1,35

- **Rendement journalier :**

$$R_{ex/j} = R_{exp} / p * n_p$$

n_p : nombre de poste de travail par jour ; $n_p = 2$ poste

$$R_{ex/j} = 1965.05 * 2$$

$$R_{ex/j} = 3930.10 \text{ T/J}$$

$$R_{ex/j} = 3930.10 / 2,75 = 1429.13 \text{ m}^3/\text{j.}$$

- **Rendement annuel:**

$$R_{ex/an} = R_{ex/p} * N_j * N_p$$

N_j : nombre de jour ouvrable par an : $N_j = 266$ jour

N_p : nombre de poste par jour $N_p = 2$

$R_{ex/an} = 1965.05 * 266 * 2$ $R_{ex/an} = 1045406.6$ T/an

$R_{ex/an} = 1045406.6 / 2,75 = 380147.85$ m³/an

Tableau II.1.9 : Récapitulatifs des paramètres de transport de stérile

Paramètres	Valeurs	Unités
Temps de cycle	702.19	Seconde
Rendement théorique	215.33	m ³ /h
	592.15	T/h
Rendement technique	127.60	m ³ /h
	350.90	T/h
Rendement d'exploitation	714.56	m ³ /p
	1965.05	T/P
Rendement journalier	1429.13	m ³ /j
	3930.10	T/j
Rendement annuel	380147.85	m ³ /an
	104506.6	T/an

Chapitre 02 : Exploitation souterraine

1. L'exploitation souterraine de la mine de Boukhadra

Le gisement de Boukhadra est un gisement dressant situé dans un relief montagneux, l'exploitation souterraine est localisée dans le corps Sud du gisement qui est divisé en trois(03) axes :

- Axe Nord.
- Axe Sud-est.
- Axe Principal.

Le quartier souterrain englobe plus de 70% des réserves globales de la mine, une partie de ces réserves situées sur l'axe principal allant de la coupe 100 à la coupe 105, de la coupe 4 à la coupe 10 sur l'axe Sud-est et de la coupe 292 à la coupe 300 sur l'axe Nord.

- La prospection géologique a été effectuée principalement par des travaux miniers, suivant des niveaux distants de 30m entre les horizons 1105 -1165 et 1045 -1105.
- A partir des galeries principales longeant la direction du corps minéralisé, ont été creusées des recoupes perpendiculairement au corps, espacées de 50m et rarement 100m (niveau 1045).

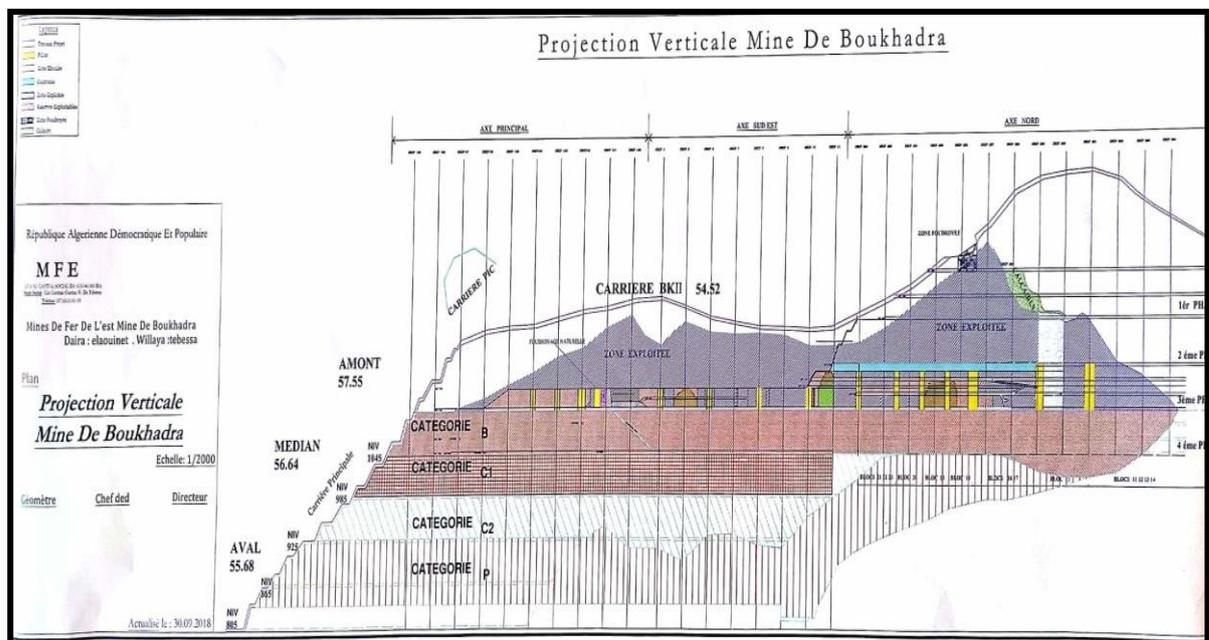


Figure. II.2.1: Représente la coupe longitudinale Géologique selon le Corps Sud du souterrain (Hors contour de la carrière).

2. Travaux d'ouverture

C'est le premier stade de l'exploitation. Pour accéder au gisement il faut réaliser son ouverture : c'est-à-dire à partir de la surface.

On appelle ouverture d'un gisement, le creusement des ouvrages (excavations) miniers donnant l'accès à ce gisement à partir de la surface (jour). Dans tous les cas d'exploitation souterraine, ces ouvrages doivent assurer : une entrée d'air, une sortie d'air et des voies de transport pour le matériel, pour les produits à extraire et pour le personnel.

En outre on utilise des travers-bancs qui permettent de se diriger vers les gites à exploiter, des cheminées pour atteindre des étages supérieurs ou des puits intérieurs pour accéder aux niveaux plus bas du gisement.

Dans la mine souterraine de Boukhadra, l'ouverture a été réalisée par des galeries au jour tous les 30 m, d'une section de 12 m² ; car il s'agit d'un gisement dressant situé dans un relief montagneux

- La première galerie au jour (niveau de base) est située au niveau 1105 m.
- La dernière galerie au jour (niveau de tête) est située au niveau 1285 m.
- Les différents niveaux sont reliés entre eux par une cheminée de liaison.

2.1. Les différentes phases constituent le corps Sud :

Tableau II.2.1 : Représente les différentes phases constituent le corps Sud.

La phase.	Le niveau.	L'état.
1 ^{ère}	1225/1285	Epuisée.
2 ^{ème}	1165/1225	Epuisée.
3 ^{ème}	1105/1165	En exploitation et en développement.
4 ^{ème}	1045/1105	En projet.
5 ^{ème}	985/1045	/
6 ^{ème}	925/985	

L'ouverture est réalisée par galerie au jour, cette galerie est située au niveau 1105m et elle constitue le niveau de base de la 3^{ème} phase et le niveau de tête de la 4^{ème} phase. Elle est utilisée pour le roulage (le transport du minerai exploité), l'aération, la circulation des ouvriers et les matérielles.



Figure .II.2.2 : Représente la galerie située au niveau 1105m

2.2. Les caractéristiques de la galerie de la mine de Boukhadra :

Tableau II.2.2: Représente les caractéristiques de la galerie de la mine de Boukhadra.

Paramètre.	Valeur.	Unité.
Hauteur moyen.	3	(m).
Largeur moyen.	4	(m).
Longueur.	12	(m).
Section.	800	(m ²).

3. Travaux préparatoire

Les travaux préparatoires dans la méthode d'exploitation par sous-niveaux abattus sont importants.

D'abord, le gisement est découpé en panneaux d'environ 60 m de hauteur, Après des galeries d'accès (voies de roulage) doivent être tracées dans le gisement à intervalles verticaux assez rapprochés (de 10 à 20 m), et suivant une disposition bien déterminée. Celle c'est la même à tous les sous-niveaux, sauf qu'elle est légèrement décalée d'un sous-niveau à l'autre, de sorte que les galeries d'un sous-niveau donné se trouvent entre celles du sous niveau supérieur. Bien que les travaux de creusement soient assez importants, il s'agit d'une opération simple qui se prête bien à la mécanisation.

Le creusement simultané de plusieurs galeries à différents sous-niveaux implique une utilisation optimale du matériel.

Après la réalisation d'une galerie de roulage, on creuse des recoupes jusqu'aux limites latérales du gisement pour délimiter ce dernier, et en fin une cheminée creusée suivant le pendage du gisement qu'est destinée au soutirage du minerai abattu, et qui s'élargie au cours de l'exploitation. La section des recoupes et des galeries est de 10m².

Les travaux préparatoires comprennent aussi une galerie de roulage dans les roches Stériles et celle d'airage située au mur de 10 à 15 m du gisement.

Une cheminée creusée dans les stériles permet la liaison entre ces deux galeries.

4. Méthode d'exploitation

4.1. Facteur de choix :

Le choix de la méthode d'exploitation se fait de manière à obtenir un débit maximal d'extraction à un coût minimal, avec le moins de risque possible pour les mineurs.

Le choix de la méthode d'exploitation dépend de plusieurs facteurs à savoir:

- Des caractéristiques géologiques du gisement: sa forme, ses dimensions, sa continuité, La position du gisement par rapport au relief ;
- Des caractéristiques minéralogiques et physiques du minerai et celles des roches Encaissantes;
- Le pendage et la puissance de la couche minéralisée ;
- La valeur des minéraux, et leur composition ;
- La stabilité et la résistance du massif rocheux et des impératifs de production et de Sécurité.

Chaque mine est un cas particulier, mais toutes les méthodes d'exploitation ont des objectifs communs : la rentabilité et la sécurité.

Au niveau de la mine de Boukhadra (quartier souterrain), plusieurs méthodes ont été expérimentées (chambre magasin, sous niveaux foudroyés et sous niveaux abattus). Après, il a été retenu que la méthode d'exploitation par sous niveaux abattus est la méthode le plus adapté dans la veine Sud de Boukhadra, car celle-ci présente un fort pendage et une puissance notable. Cette méthode se pratique en chantier ouverts. Le remblayage consolidé des vides permet de récupérer ultérieurement des piliers laissés en place, de sorte que l'on obtient un taux très élevé de récupération du minerai.

4.2. Les méthodes d'exploitation appliquent au niveau souterrain :

Il y a plusieurs méthodes d'exploitation qui ont été expérimentées depuis le début des travaux d'exploitation jusqu'à nos jours, ils représentent comme suit :

- Méthode d'exploitation par chambre magasin au fond du niveau 1105 sur les deux axes Nord et Sud-est (période 1974 jusqu'à 1976, méthode SOVIETIQUE).
- Méthode d'exploitation en sous niveaux foudroyés au 1^{er} étage (niveau 1225/1285), bloc 1et 2.
- Méthode d'exploitation en sous niveaux abattu au 1^{er} étage (niveau1225/1285), bloc 03, Projet DED année 1983
- Méthode d'exploitation en sous niveaux abattu au 2^{eme} étage (niveau1165/1225), période 1992jusqu' à 1999.
- Méthode d'exploitation en sous niveaux abattu au 3^{eme} étage (niveau 1105 /1165) Axe Nord.

Durant la période de mon stage les travaux d'exploitation et de préparation se déroulés en 3^{eme} phase dans l'axe Principale tandis que la 4^{eme} phase était en projet pour les trois (03) axe, principalement l'axe principale

Durant la période de mon stage les travaux d'exploitation et de préparation se déroulés en 3^{eme} phase dans l'axe Principale tandis que la 4^{eme} phase était en projet pour les trois (03) axe, principalement l'axe principale

4.3. Description de la méthode d'exploitation appliquée (sous niveau abattu) :

Le champ minier est divisé en étages de 60 m de hauteur, chaque étage est divisé en trois (03) sous niveau de 20m de hauteur par des sous galerie de section 12m³, après avoir terminé de divisé l'étage on commence à faire des recoupes suivant la puissance du corps et faire des cheminés verticale entre les sous niveaux, d'après ces cheminés on commence à abattre le minerai en Rabattons par Foration des trous en éventails à l'aide d'un chariots de Foration qui travaille à l'air comprimé, le chargement des trous se fait par une machine de chargement (compresseur de la matière explosive),

L'abattage s'effectue à l'explosif par tir électrique, on utilise l'explosif de type Samex, et Anfomil.

Dans cette méthode il y a des réserves importantes abandonnées lors de l'exploitation comme les piliers et les couronnes.

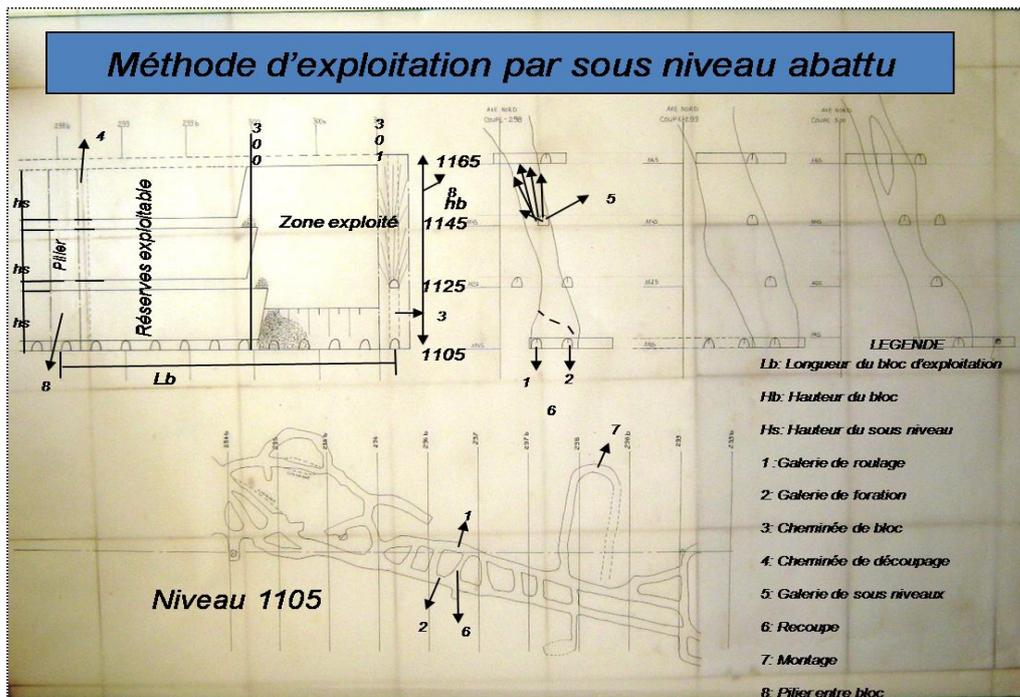


Figure .II.2.3: Représente la méthode d'exploitation par sous niveau abattu

➤ **Paramètres des ouvrages :**

- Hauteur de l'étage (phase) : 60 m.
- Hauteur du sous-niveau : 20m;
- Longueur de la chambre de dépilage: 50m ;
- Largeur du pilier : 8m ;
- Hauteur de la coupure : 20m (par le sous-niveau) ;
- Largeur de la coupure : 3,2m ;
- Longueur de la coupure : 20m ;
- Pertes d'exploitation : 10,66% ;
- Dilution d'exploitation : 7%.

4.4. Les avantages et les inconvénients de la méthode de sous niveaux abattus:

La méthode de sous-niveaux abattus est la méthode idéale pour l'exploitation des gisements dressant comme le cas de Boukhadra, mais comme chaque méthode elle a des avantages et des inconvénients :

• **Les avantages de la méthode :**

- L'aérage du l'étage est assuré sans difficulté

- L'absence du soutènement d'espèces vides ce qui diminue les dépenses total de production
- Bonne circulation des engins;
- Rendement optimal de la chargeuse;
- Meilleure sécurité pour les ouvriers;
- Soutirage facile du minerai abattu, grâce à des cheminées pré creusées dans les sous-niveaux.

- **Inconvénients de la méthode :**

- Grand volume de travaux préparatoires, d'où le coût élevé de la récupération de ces dépenses augmente le prix de revient de la tonne de minerai extrait
- Difficulté de récupérer le tas abandonné dans la chambre vide par mesure de sécurité;
- Pertes considérables du minerai à cause des piliers laissés
- Moins de sécurité
- La difficulté de l'abattage sélectif et l'impossibilité de l'abandon dans la chambre des intercalations rocheuses ou du minerai à teneur trop faible.

5. Travaux d'abattage

L'abattage du minerai s'effectue par application des schémas de disposition des trous en éventail, suivant des surfaces de dégagement.

La profondeur des longs trous dépasse les 5m, leurs diamètres est de 60mm.

On commence alors la foration des trous de mine dans les sous-niveaux, en suivant exactement le plan de tir, qui précise le nombre, la position, la direction et la profondeur des trous. Tous les trous du premier niveau sont forés avant de passer au niveau supérieur. Pendant la foration au niveau supérieur, les premiers trous de mines sont chargés et tirés selon un plan de tir conçu pour abattre un volume important de roche en une seule volée. Le minerai abattu tombe directement au fond de la chambre

Actuellement, dans la mine de Boukhadra l'abattage s'effectue par des longs trous, qui sont forés à l'aide des chariots de foration

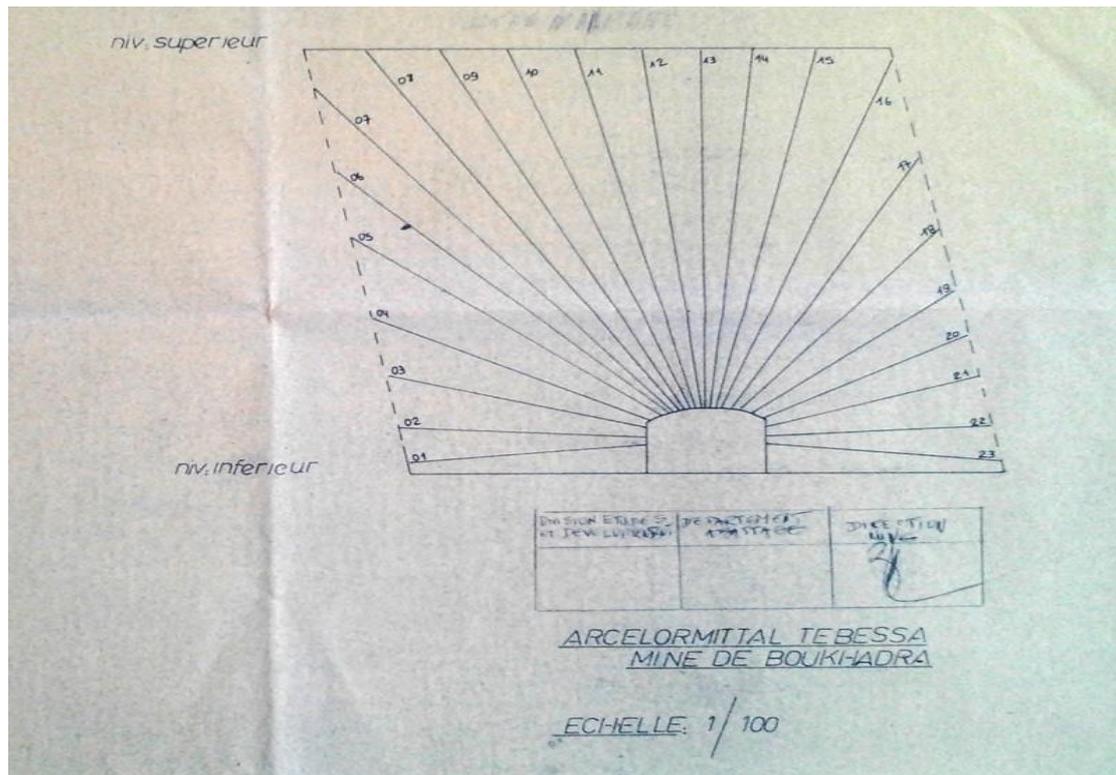


Figure .II.2.4 : Schéma du plan de tir souterrain

5.1. Les travaux de Foration :

La Foration dans le souterrain est par des trous profonds en éventails elles s'effectuent par un chariot de Foration travaillons a l'air comprimé.

5.2. Les travaux de tir :

L'abattage s'effectue à l'aide des explosifs de type Samex et Anfomil par tir électrique.

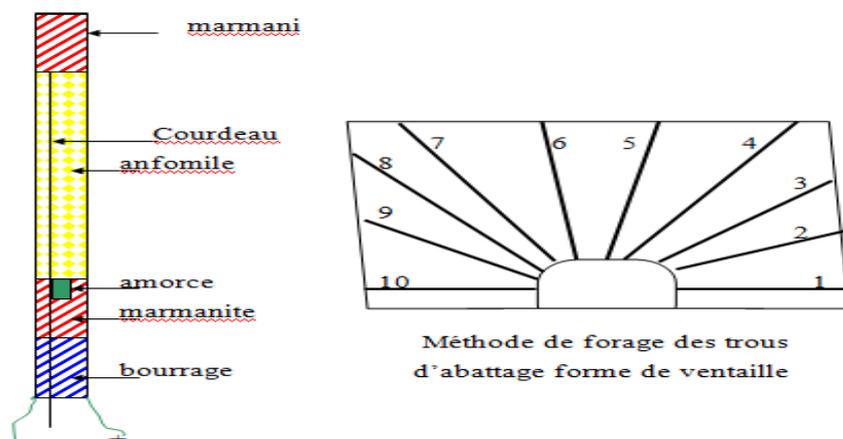


Figure .II.2.5 : Méthode de forage des trous d'abattage forme de ventaille

6 .Travaux de chargement et de transport

Après l'abattage du minerai, l'évacuation de ce dernier se fait en deux étapes :

- **La première étape** : consiste à déverser le minerai vers la cheminée principale, qui assure la liaison entre les niveaux supérieurs et les niveaux inférieurs.

- **La deuxième étape** consiste à charger le minerai stocké à la base de la cheminée principale par une chargeuse souterraine, et le transporter par un camion souterrain jusqu'à la zone de Stockage située au niveau 1105m à ciel ouvert. Après il sera transporté à l'aide des camions jusqu'à la zone de préparation mécanique.

- Le chargement du minerai est assuré par une chargeuse transporteuse pneumatique type ATLAS COPCO St 1020 d'une capacité de godet de 3.8 m³



Figure .II.2.6: chargeuse transporteuse pneumatique type ATLAS COPCO St 1020.

Tableau II.2.3: Les caractéristiques techniques de la chargeuse transporteuse pneumatique type ATLAS COPCO St 1020.

Caractéristiques	Valeurs	Unités
Atlas copco(ST1020)	/	/
Capacité du godet	5,0	m ³
Longueur	9745	mm
Hauteur	2355	mm
Hauteur max	5060	mm
Largeur	2260	mm
Garde au sol	30	mm

- Le transport du minerai au jour est assuré par des camions navettes de capacité de 20 Tonnes de type ATLAS COPCO (MT 2000)



Figure .II.2.7: camion navette MT2000

Tableau II.2.4: Les caractéristiques techniques du camion navette MT2000

N°	Caractéristiques techniques	Valeur	Unité
1	ATLAS COPCO (MT 2000)	*	*
2	Capacité de la benne	10	m ³
3	Longueur	9146	Mm
4	Largeur	2311	Mm
5	Hauteur hors tout	2268	Mm
6	Hauteur de chargement	4506	M

6.1. Performance des Equipements

Tableau II.2.5: performance des équipements de la chargeuse et camion de transport souterrain

Type	TD (%)	TU (%)	Rendement (m/h)	Etat
ATLAS-COPCO ST1020	47	30	52.63	Moyen
ATLAS-COPCO MT2000	95	25	28.85	Moyen
ATLAS-COPCO MT 2000	94	25	29	Moyen

Partie III : L'effondrement de la carrière de la mine de boukhadra

Introduction

Les mouvements de terrain sont des déplacements (avec ou sans rupture) vers l'aval de masses rocheuses compactes ou désagrégées et/ou de terrain meuble (sols y compris) et d'eau, sous l'effet de la gravité. Le passage de l'état de stabilité à l'état d'instabilité d'un versant relève de causes nombreuses et variées, on cite : la nature de terrain (géologie, morphologie, caractéristique physico-chimique...) les actions de l'eau ; et même aussi l'action humaine.

On essaye dans ce chapitre d'éclairer les causes majeures qui conduisent au déclenchement des glissements de terrain.

I. Différentes types de mouvements sur terrain :

Les mouvements de terrains regroupent tous les déplacements, lents ou plus ou moins brutaux, qui affectent le sol ou le sous-sol.

La quantité de matériaux mis en mouvement peut être relativement peu importante jusqu'à affecter des masses énormes, plusieurs millions de mètres cube.

Le risque mouvement de terrains est généralement plus grand en montagne ou sur des reliefs accentués qu'en plaine, sauf si certaines conditions géologiques sont réunies localement, glissement des pentes argileuses ou marneuses, roche sédimentaire, effondrement des carrières ou des falaises maritimes, effondrement des anciennes mines ou des cavités ; des creux naturelles ou artificielles.

D'après la classification de Martin. On distingue deux types principaux de mouvement :

- Mouvements de pente.
- Mouvements verticaux.

1. Mouvements de pente

Ce sont des mouvements obliques qui affectent les pentes soit naturelles ou artificielles. Les mouvements de pente les plus fréquents sont :

1.1. Glissement :

On appelle les glissements de terrain des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles (des sols non consolidés) généralement argileux ou des massifs rocheux fracturés ou altérés.

Ils se manifestent par le déplacement d'une masse de matériaux sous l'effet de la pesanteur et de l'action conjuguée de facteurs déclenchant ; ces facteurs peuvent rompre l'équilibre naturel et amorcer un processus de rupture de masse sur un site

auparavant stable. la forme de cette rupture dépend en partie de la structure géologique du site.

Les formations complexes donnent généralement lieu à des surfaces de rupture qui suivent le contact entre couches ou qui se développent au sein des zones de plus faible résistance, ces surfaces peuvent être de forme quelconques.

Les volumes des glissements varient de quelques mètres cubes (glissement pelliculaires de talus de déblais) à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes.

Les vitesses de déplacement couramment observées varient dans (très lent à moyen) en phase de paroxysme, les mouvements peuvent atteindre des vitesses rapides.

Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris : ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par des ouvrages construits par l'homme ou tout simplement des pentes naturelles. Mais leur prévision reste un domaine de recherche.

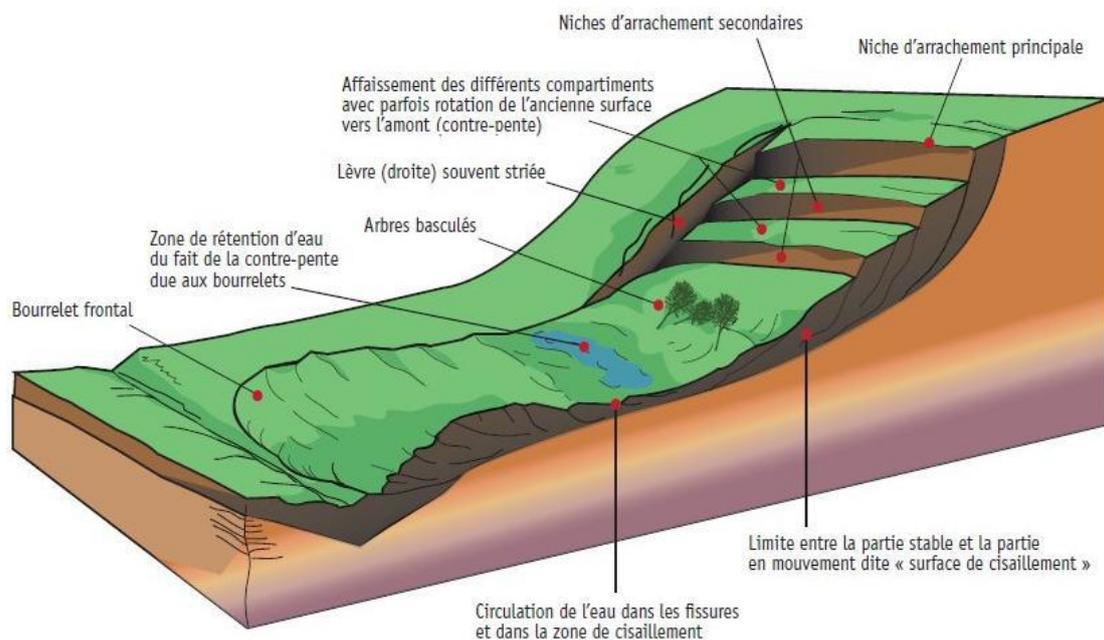


Figure .III.I.1: Processus de glissement de terrain.

1.1.1. Différent type de glissement

- **Glissement translationnel :**

En général la ligne de rupture suit une couche mince ayant de mauvaises caractéristiques mécaniques et sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée couche savon.



Figure .III.I.2: exemple d'un glissement translationnel

- **Glissement rotationnels simple :**

C'est le type de glissement le plus fréquent. la surface de rupture a une forme simple et peut être assimilée à une portion de cylindre. L'analyse de risque de rupture par le calcul est alors abordable par des méthodes classiques. Le plus souvent, la ligne de rupture peut être assimilée à un cercle : il s'agit alors d'un glissement circulaire. Si la ligne de rupture a une forme plus complexe, le glissement est appelé glissement non circulaire.

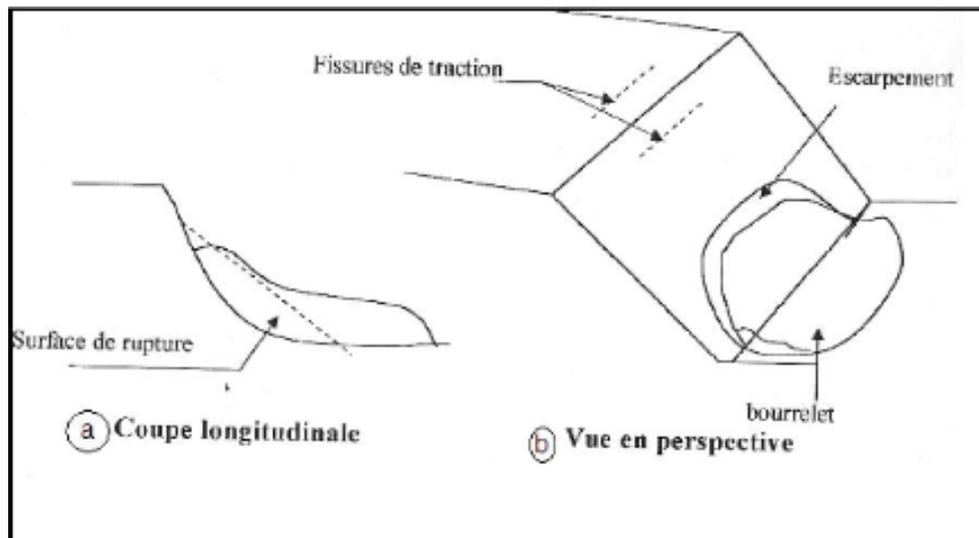


Figure .III.I.3: Glissement rotationnel simple.

- **Glissements quelconques :**

Sont sans aucun doute les glissements les plus fréquents et qui ont des caractéristiques semblables aux autres glissements précédemment définis. Dans la nature les terrains ne sont ni homogènes ni isotropes. En effet, ils existent beaucoup de glissements dont la surface de rupture est moins géométrique et même tout à fait quelconque. Cette forme de rupture a posé des difficultés pour le calcul manuel qui impose l'hypothèse de rupture de géométrie simple.

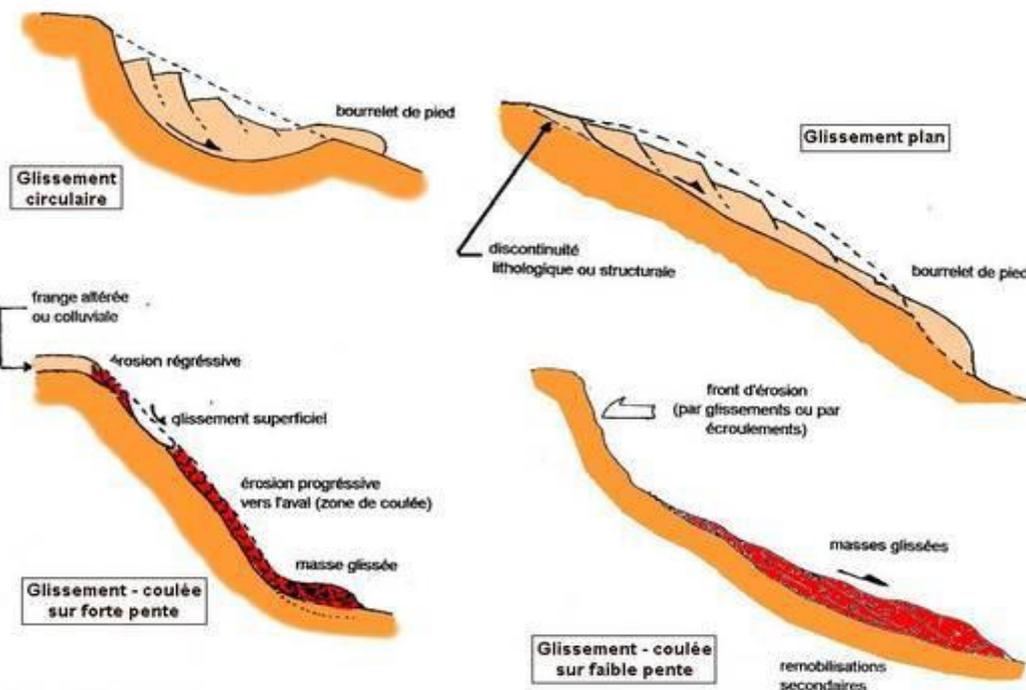


Figure .III.I.4: Quatre schémas de différents types de glissement de terrain en fonction de la typographie.

1.1.2. Vitesse moyenne de mouvement des glissements :

La vitesse moyenne de mouvement des glissements atteint le plus souvent quelques millimètres par an pour un glissement substabilisé, très lent, et quelques décimètres par an pour un glissement actif.

Il existe quelque cas exceptionnels où le glissement peut être bien plus rapide et où la masse en mouvement, sans perdre sa compacité, peut atteindre plusieurs décimètres par jour.

Tableau III.I.1: Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme

glissement	Vitesse de glissement
Substabilisé, très lent	0-2cm/an
peu actif, lent	2-10cm/an
Actif(ou lent avec phases rapides)	>10cm/an

1.1.3. Profondeur de la surface des glissements :

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements. Lors de l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer le volume ou la vitesse du glissement.

Tableau III.I.2: Classification selon la profondeur de la surface de glissement

Glissement	Surface de glissement
Superficiel	0-2m
Semi profond	2-10m
Profond	>10m

1.2. Ecoulement :

Lors d'un écoulement, un grand volume du massif rocheux (un à plusieurs millions de m³) se détache soudainement, sans que le mode de rupture correspondant ne soit déterminant.

Le mécanisme initial peut par exemple s'expliquer par le développement d'une surface de glissement inclinée. Le mécanisme de mouvement de l'écroulement est déterminé par la topographie, de même que par l'interaction marquée entre les composants de la masse écroulée et par leur fragmentation intense.

Les caractéristiques particulières de ce phénomène sont des vitesses de chute élevée (de plus de 40m/s) et de très grandes distances de transport (pouvant souvent atteindre plusieurs km) compte tenu des grands volumes concernés, les écoulements peuvent modifier le paysage de façon durable. Les énormes masses écroulées forment souvent

des barrages naturels dans les vallées de montagne. Obstruant les cours d'eau et créant des retenues ; en cas de rupture catastrophique du barrage. Elles entraînent un danger d'inondation pour les régions en aval



Figure .III.I.5: Exemple d'un écoulement.

1.3. Chutes de pierres et des blocs :

Les chutes de pierres et de blocs sont caractérisées par la chute sporadique de blocs plus ou moins isolés (pierre : $\varnothing < 50\text{cm}$; bloc $> 50\text{cm}$) .

Ce processus, répété ou soumis à des pointes saisonnières, caractérise la désagrégation continue d'une falaise rocheuse, déterminée par ses conditions géologiques, son exposition et son altération. L'estimation du volume des matériaux rocheux qui présente un danger potentiel de chute n'est possible qu'au moyen d'études détaillées de la roche.



Figure .III.I.6: Chutes de pierres et de blocs.

Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30m/s. Dans la description des mouvements roulement. D'une pierre ou d'un bloc, il convient de distinguer entre les phases de rebond et de dans les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 30° environ, les pierres et les blocs en mouvement tendent en général à s'arrêter. Le forêt joue un rôle très important, par le fait que l'énergie cinétique de la plupart des blocs des blocs est fortement réduire par leurs chocs contre les arbres.

1.4. Eboulement :

Ce sont des phénomènes rapides et brutaux qui mobilisent des blocs de roches plus ou moins homogènes. Ils consistent en la chute libre ou le roulement au départ, après rupture, de blocs formés par fragmentation, le mouvement pouvant ensuite se poursuivre par une série de rebonds de hauteur décroissante (dans le cas d'une pente régulière). L'ampleur du phénomène est liée à la quantité et au volume de blocs mobilisables et à la surface et la topographie de l'aire de réception des blocs éboulés.

Ces phénomènes affectent des roches rigides et fracturées tels que calcaire, grès, roches cristallines etc. Dans le cas des roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et donc les prédispositions à l'instabilité (présence d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable).

Un éboulement est défini comme étant une chute de terre, des rochers.

Les éboulements peuvent dévaler les montagnes très rapidement : jusqu'à 360 km/h, soit à peu près la vitesse d'une voiture en une très grande vitesse.



Figure .III.I.7: Eboulement d'un terrain à hammam Bou-Hadjar .

1.5. Tremblements de terre ou séismes

Sont les catastrophes naturelles les plus dangereuses et imprévisibles. Ils peuvent dévaster une région entière et sinistré des dizaines voire des centaines de milliers de

personne.

C'est le déplacement des plaques lithosphériques à la surface de la Terre qui engendrent des contraintes sur les roches. Celles-ci peuvent alors se déformer et même se rompre déclenchant un séisme qui ne se traduit pas la libération d'une quantité d'énergie colossale. Cette énergie se traduit par des ondes sismiques de volume et de surface qui compressent et étirent les roches traversées (ondes P) ou les secouent de haut en bas (ondes S). Le point de rupture s'appelle foyer ou hypocentre et le lieu en surface, directement à sa verticale, l'épicentre.

La plupart des séismes ont lieu à la limite des plaques tectoniques, près des failles et des zones de subduction. Toutefois, des tremblements de terre dévastateurs ont également lieu à l'intérieur des plaques.



Figure .III.I.8:Exemple d'un séisme

1.6. Les coulées

Les régions montagneuses sont souvent provoquées par des pluies torrentielles, où les matériaux vont se déplacer sous une forme plus ou moins liquide cela caractérise un phénomène qu'on appelle : **Coulées de boues** .



Figure .III.I.9: Coulée de boue

1.7. Mouvement lent et continu :

- **La reptation**

Il s'agit d'un déplacement progressif superficiel du sol et des roches altérées, suivant la pente. La reptation se fait surtout sentir en période humide. Les petits mouvements verticaux que le sol subit à la suite de la succession d'humidification et de dessiccation des minéraux d'argiles, ou du gel et dégel de l'eau présente, en sont la cause principale. Après gonflement sous l'action de l'humidification, le fragment d'argile, lorsqu'il sèche retombe à la verticale .

Ce mouvement est parfois si lent qu'il faut plusieurs années pour s'en apercevoir - poteaux téléphoniques et arbres penchés

- **Le fluage :**

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faible. dans le cas de fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture. Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évoluer vers une rupture.

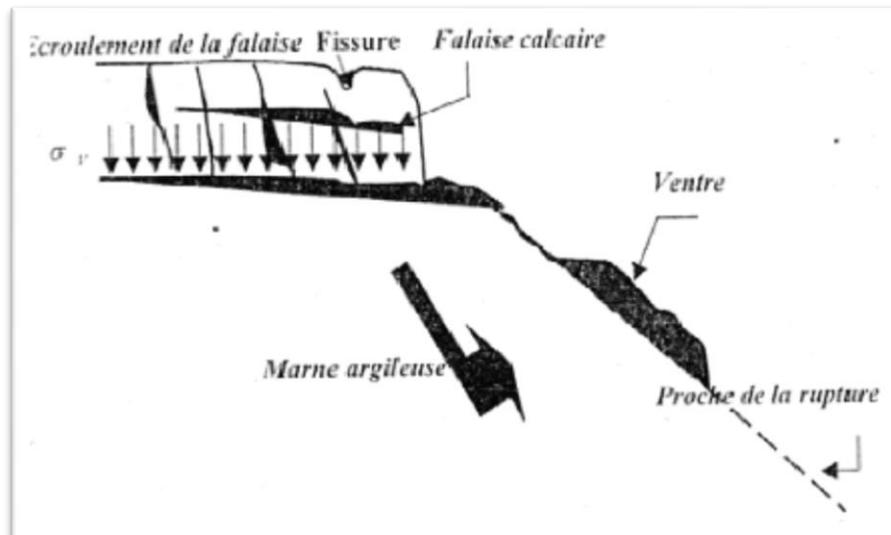


Figure .III.I.10: Le phénomène du fluage.

2. Les mouvements verticaux

Ce sont les déplacements verticaux confinés abaissant sans rupture des surfaces horizontales.

2.1. Effondrement :

Les effondrements, se produisent de façon brutale. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Le phénomène peut être ponctuel (fontis) le cas de notre étude de BKII

La présence d'un banc raide dans les terrains recouvrant la cavité favorise les effondrements généralisés. Selon la profondeur de l'effondrement, un glissement de ses flancs peut se produire après l'événement.

2.1.1. L'effondrement généralisé :

Est un abaissement brutal de la surface pouvant affecter une zone de plusieurs dizaines de mètres de large présentant une rupture franche des terrains.

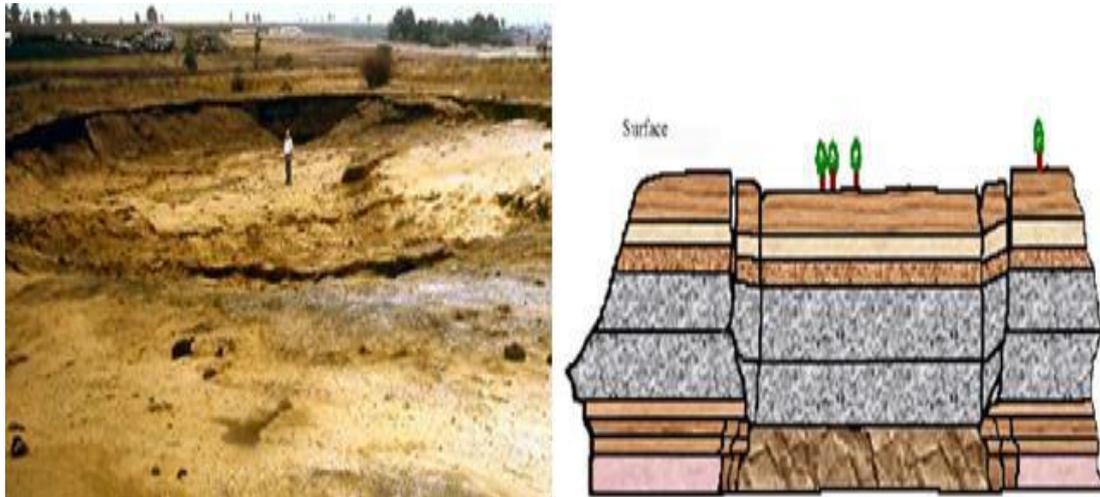


Figure .III.I.11: Effondrement généralisé

2.1.2. L'effondrement localisé :

Qui est à la différence de l'effondrement généralisé, se manifeste en surface par un cratère de quelques mètres de diamètre ; il correspond aux phénomènes de fontis ou d'effondrement de tête de puits ou de galerie.

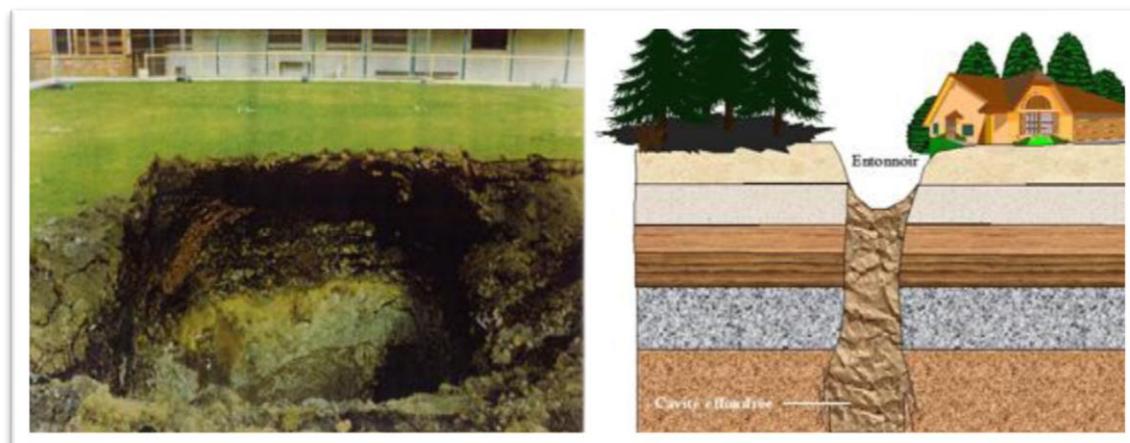


Figure .III.I.12: Exemple d'un effondrement localisé

2.2. Affaissement de terrain :

Il comprend les matériaux ayant de grands espaces entre les particules solides. Ils peuvent s'affaisser lorsqu'ils deviennent saturés d'eau et/ou lorsqu'un bâtiment; ou autre structure ; place une charge trop importante sur le terrain. Si le matériau sous un bâtiment s'écroule, le bâtiment peut s'effondrer. Si le terrain est variable en termes d'épaisseur ou de répartition, différentes parties du bâtiment peuvent s'enfoncer à différents degrés, ce qui peut causer une inclinaison, des craquelures ou des déformations. L'affaissement surviendra uniquement à la suite d'une saturation d'eau et/ou d'un chargement très critiques. Ce risque peut être important dans les dépôts de surface et peut également l'être dans les dépôts superficiels enfouis.

2.2.1. Les affaissements miniers :

L'exploitation des ressources minérales dans des régions habitées posait au mineur un certain nombre de problèmes. Leur extraction pouvait en effet provoquer des mouvements de terrain en surface, influençant plus ou moins l'environnement concerné. Ces problèmes étaient d'autant plus importants qu'une grande partie de l'habitat en surface était due à la présence même de ces ressources et au développement qu'elles ont permis à ces régions.

Pour étudier le problème des affaissements.

- **Le mécanisme de l'affaissement minier :**

Une exploitation minière souterraine, de par sa nature extractive, crée des vides dans les sous-sols. Dans les méthodes d'exploitation « par foudroyage », ces vides sont comblés par l'éboulement contrôlé des terrains sus-jacents qui remplissent la cavité créée. En effet, lorsque la surface exploitée s'étend, ces terrains sus-jacents fléchissent puis cèdent sous l'effet de l'augmentation de la porte à faux et du poids des terrains.

Les terrains ainsi « foudroyés » sont beaucoup plus lâches qu'à l'origine, leur densité apparente est réduite presque de moitié. La conséquence en est que très rapidement la cavité se remplit, les terrains tombés venant au contact des bancs encore en place. Ces bancs, trouvant un appui, ne vont alors plus se fracturer, mais uniquement se déformer, se tasser d'une manière lente. En particulier, les bancs imperméables gardent leur imperméabilité et continuent d'isoler la mine des terrains aquifères supérieurs.

Lorsque la surface exploitée est suffisamment grande, le tassement des terrains se transmet jusqu'en surface, c'est le phénomène de l'affaissement.

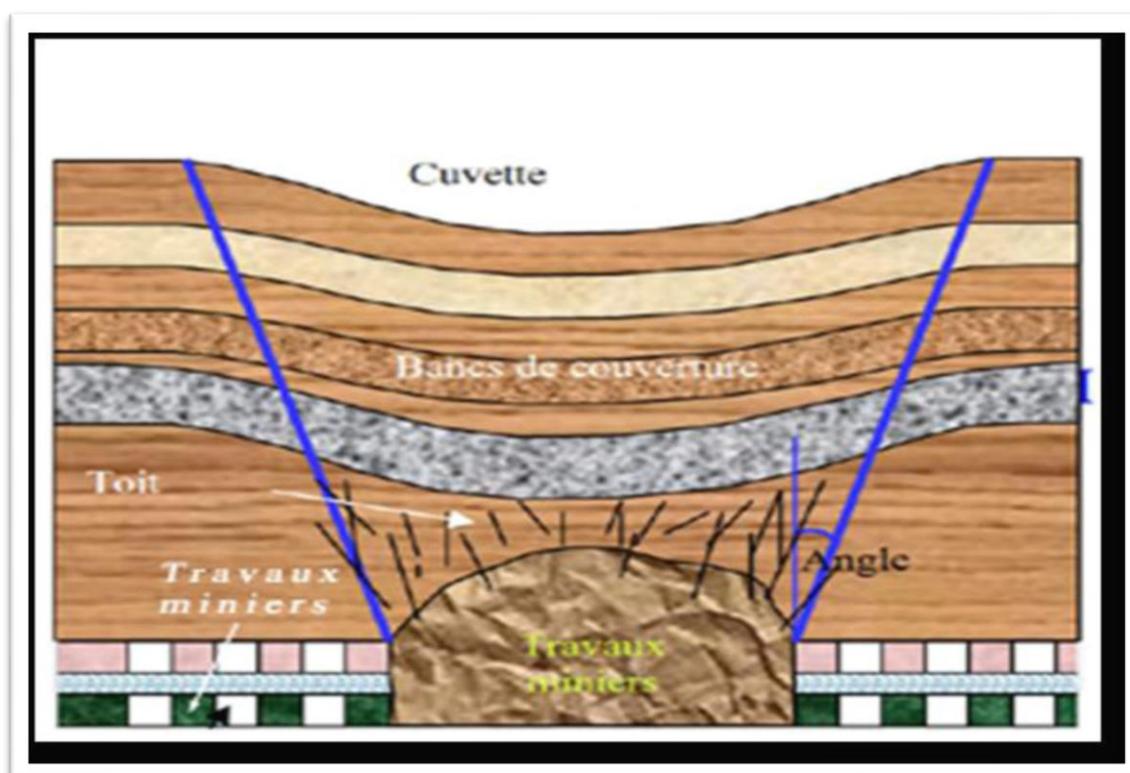


Figure .III.I.13:Le mécanisme d'un affaissement minier.

2.2.2. Le tassement du sol :

C'est la déformation verticale du sol, due à l'application des contraintes extérieures telles que les remblais, les fondations ou son propre poids.

Les tassements peuvent être uniformes ou différents d'un point à l'autre selon la nature du sol en place. Dans les sols non saturés les tassements sont presque instantanés mais dans les sols saturés, ils peuvent s'étendre sur quelques secondes dans les sols sableux-graveleux, jusqu'à plusieurs dizaines d'années dans les argiles peu perméables. Pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service on doit faire un calcul de tassement.

- **Le tassement d'une structure :**

C'est le résultat de la déformation du sol de fondation. L'origine de cette déformation peut être un ou plusieurs suivant(s):

- La déformation sous une charge totale croissante est appelée "mouvement" ou "déplacement".
- Le changement de volume associé à la diminution du volume d'air, provenant d'un effet dynamique ou d'un chargement statique, est appelé "compactage".
- Les changements de volume progressifs associés à une réduction de la teneur en eau du sol est appelé "consolidation".
- La déformation sous contrainte effective constante est appelée "fluage".

2.3. La consolidation :

La consolidation d'un sol fin est le phénomène conduisant à la dissipation des surpressions interstitielles et à la diminution du volume du sol au cours du temps sous les charges qui lui sont appliquées. L'application rapide d'une charge à la surface d'un massif ou d'une éprouvette de sol se traduit, à l'instant initial, par l'apparition de surpressions interstitielles, excès de pression par rapport à la distribution d'équilibre, généralement hydrostatique, dans la phase liquide du sol. S'il existe des possibilités de drainage.

II. Partie spéciale

1. Donnée générale de la carrière BK II

- **Période d'exploitation :** 1996 – 2010
- **Productivité de la carrière :** 200000 T
- **Organisation du travail de la carrière :**
 - Nombre de jours ouvrables par an : 225 j/an
 - Nombre de jours ouvrables par seconde : 5j/s
 - Nombre de poste par jour : 2 p
 - Durée d'un poste : 7.5 heures
- **Système d'exploitation :**

Le système d'exploitation prévoit des opérations de production comme suite :

- Réalisation de tranche de découpage (plate-forme initial)
- Foration des trous de mine avec des sondages d'abattage

- Chargement des trous de mines et tir
- Chargement de la masse abattue par camions vers le concasseur pour le minerais et vers le terril pour le stérile

➤ **Les principaux paramètres du système d'exploitation sont :**

La hauteur du gradin (m)	15
L'angle d'inclinaison du gradin°	78 °
La largeur minimale de la plate-forme de travail (distance de la projection des roches) (m)	43.5m
La largeur minimale de la berme de transport (m)	12
Le nombre maximal de gradins en production (travail)	04
La vitesse d'approfondissement de la carrière (m)	16-17
La longueur totale de front de travail (m)	300-400
L'avancement moyenne du front de travail (m/an)	50-60

5. Les différentes phases de l'effondrement BKII

- **Phase 1 :**

En 2012 a eu lieu un effondrement dans l'axe nord de gisement , c'est un effondrement de sol vers le fond d'un vide souterrain entre les coupes 294-295-296-297-298 au niveau de la carrière BKII, axe nord. L'exploitation se fait au niveau 1285 par une méthode d'abatage en rabattant (en parallèle) qui a créé un vide important jusqu'a au surface (une couche mince) qui ne peut pas supporte les contraintes en plus les conditions hydrogéologiques et la présence d'une couche de marne jaune qui favorise l'effondrement brutale masse de roche dans le vide crée auparavant .



Figure .III.II.1:Un effondrement de première phase 1285

- **Phase 02 :**

En 24-09-2019 a eu lieu un effondrement dans l'axe sud de gisement cette effondrement est survenue au niveau de la carrière BKII entre les coupes 08-09-10 l'exploitation se fait au niveau (1105-1135) exploiter par la méthode à ciel ouvert (carrière BKII) jusqu'au niveau 1135(arrête inférieure de la carrière), et la partie inférieure jusqu'au niveau 1105 par le souterrain par une méthode d'abatage en rabattant qui a créé un vide dans la carrier actuellement l'exploitation sont concentrés dans le 3eme étage 1105 / 1135 .et parmi les raisons qui ont conduit à l'effondrement le jumelage de gradin (H=15 →H=35) et La combinaison entre l'exploitation souterrain et à ciel ouvert au niveau 1135 .



Figure .III.II.2: Effondrement du carrièr BK2

* Coupes horizontales des Niveaux 3em Etage Souterrain

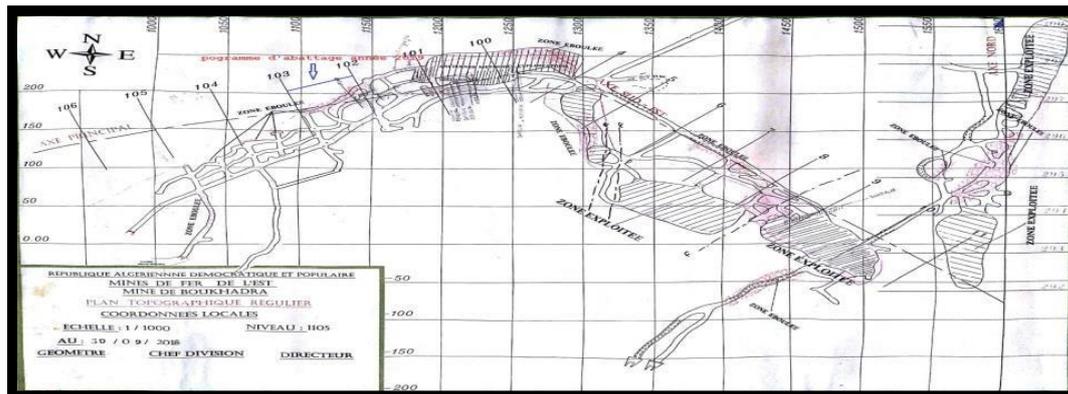


Figure .III.II.3: Niveau 1105 au éme Etages

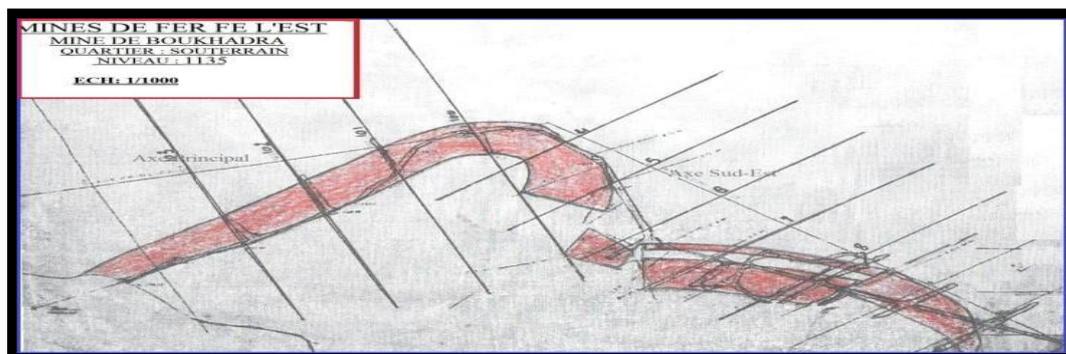


Figure .III.II.4: Niveau 1135 au 3 ème étage



Figure .III.II.5: Ancien vide niveau 1135 coupe 08 années 2012

- **Les coupes**

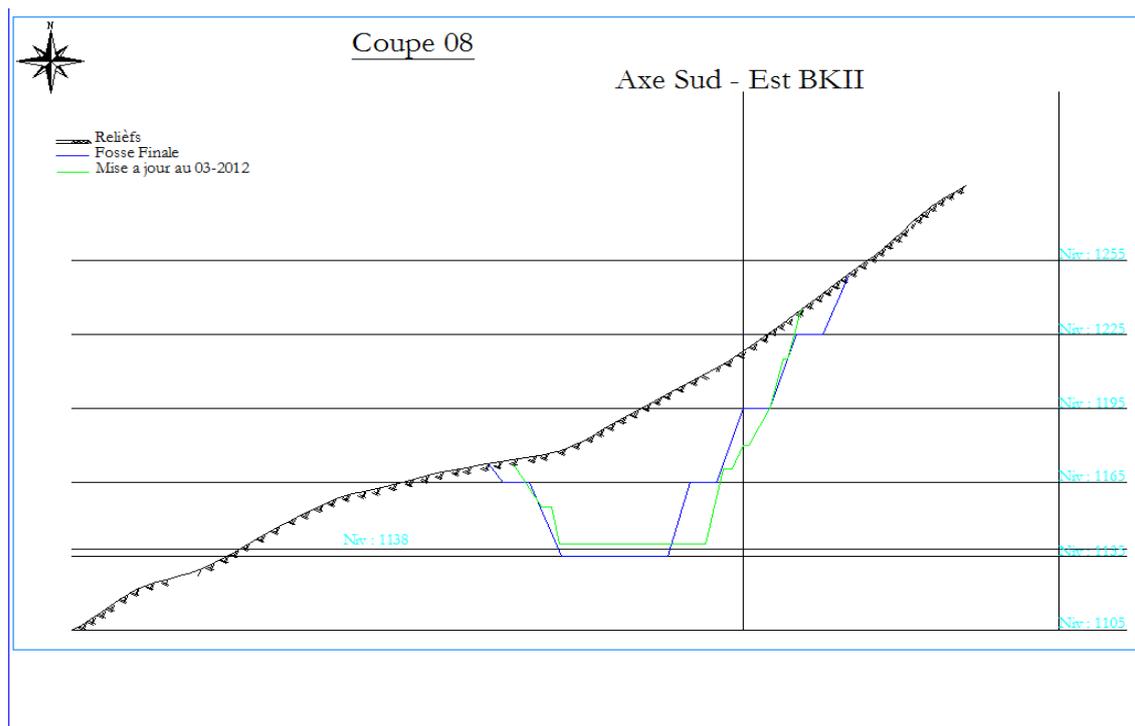


Figure .III.II.6: Coupe 08

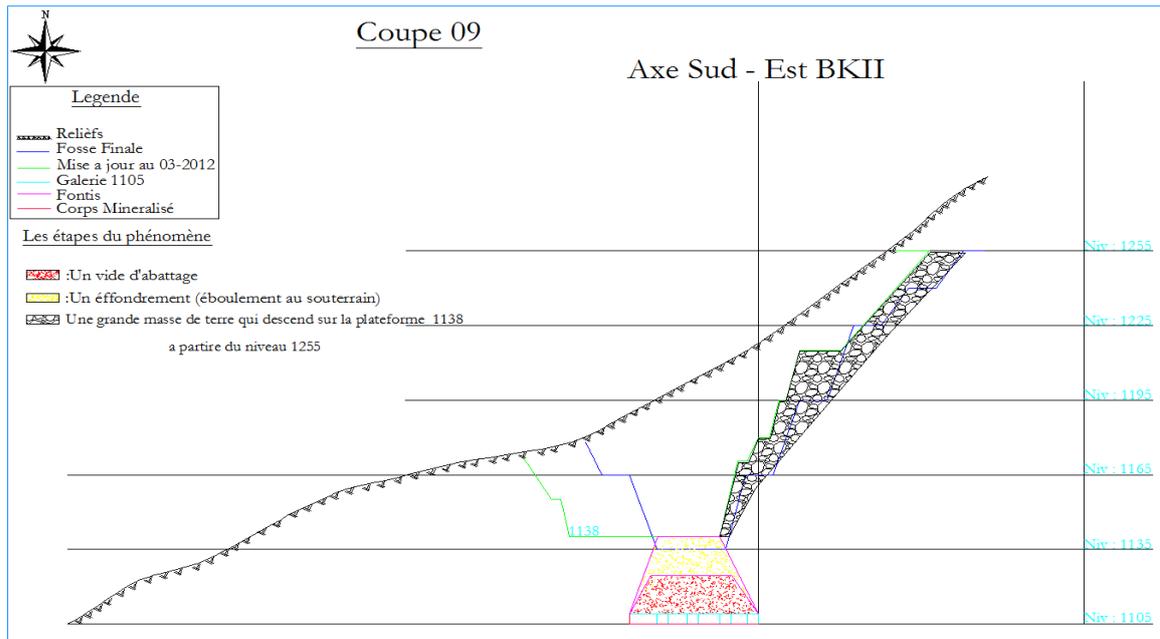


Figure .III.II.7:Coupe 09

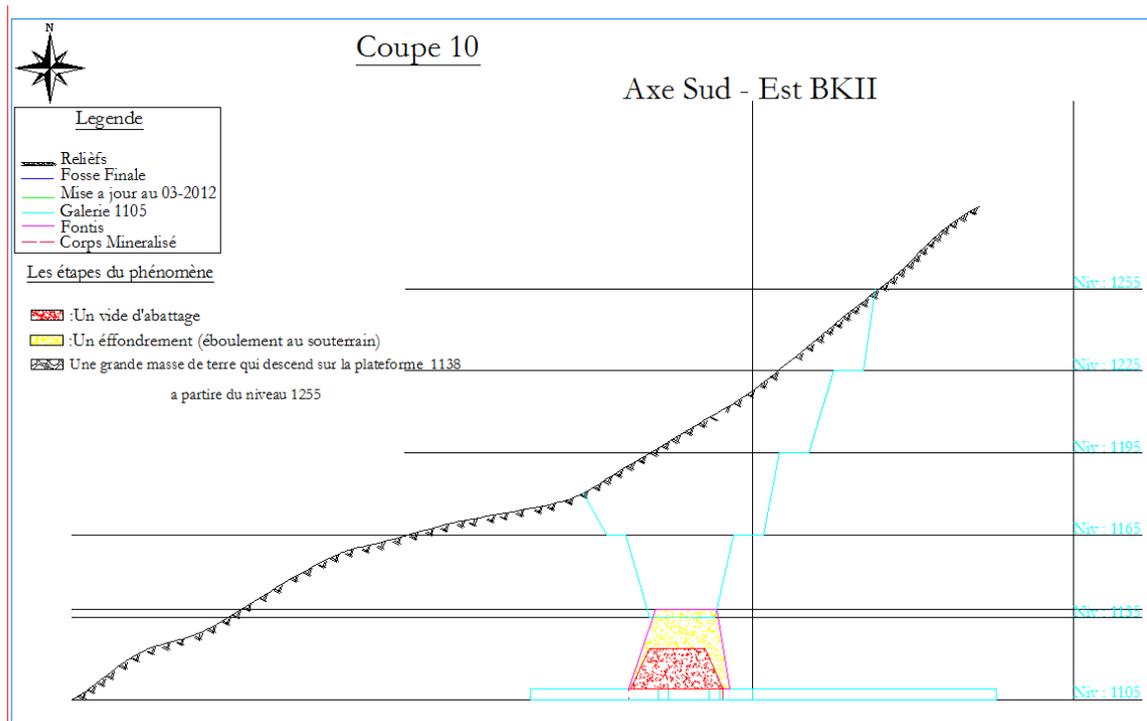


Figure .III.II.8:Coupe 10

- **Phase 03 :**

En 05-10-2019 a eu lieu un effondrement au niveau de la carrière BKII axe sud et entre les coupes 07-08-09-10le cause principale (le terrain calcaire marneux) est provoqué par la circulation des eaux pluviales par le procédé de filtration et intercalations des couches de minerai et de marne dans un toit humide et la charge

glissante de les gradin de BK2, la forme de gradin, de travailler avec un L'angle de bord exploitable 75° et avec des plates-formes d'environ 43.5 m de largeur.



Figure .III.II.9: Effondrement du carrier BK2

* Les Zones Foudroyée au Souterrain et L'éboulement de la Carrière BKII :

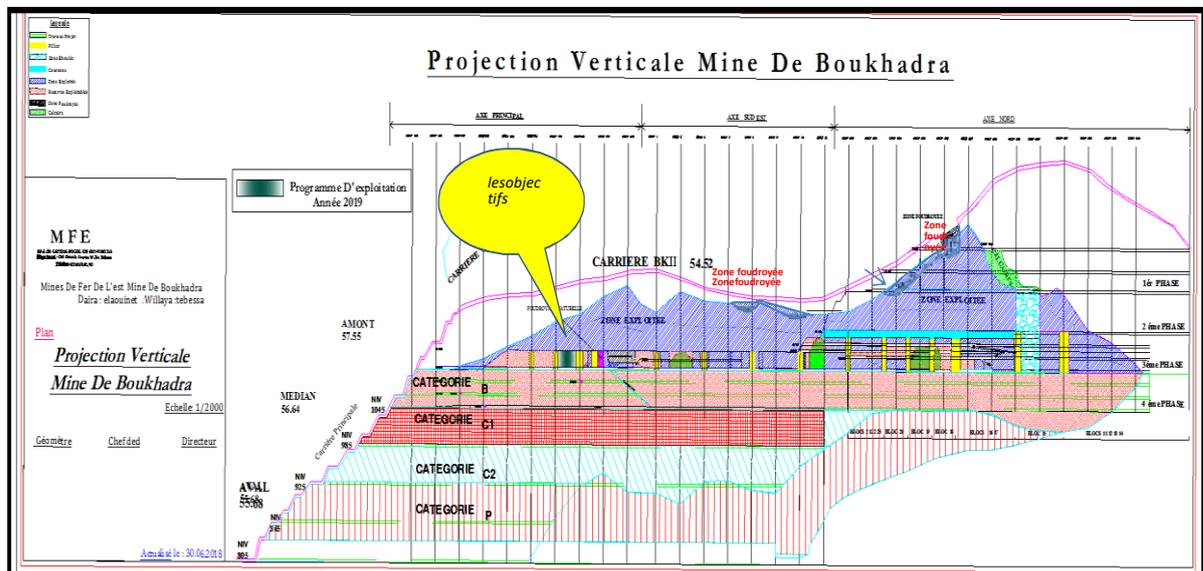


Figure .III.II.10: Coupe longitudinale Géologique selon le Corps Sud du souterrain (Hors contour de la carrière)

- **La coupe 07**

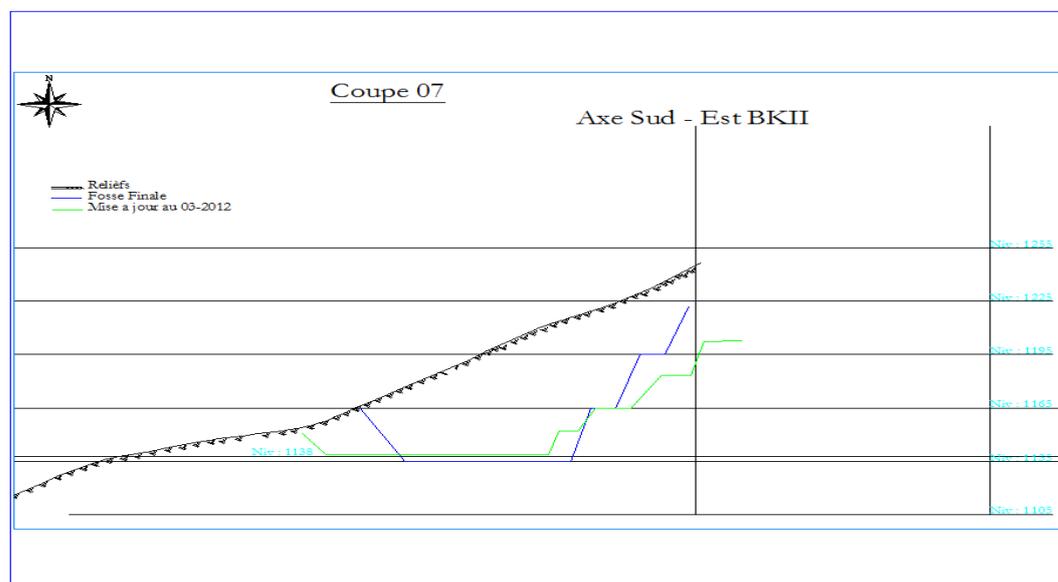


Figure .III.II.11:Coupe 07

6. Les causes d'effondrement de terrain

6.1. Les Facteurs déclenchant

Ils correspondent à l'action naturelle ou anthropique nécessaire déclenchement d'un glissement de terrain. Cette action déclenchant peut être liée à un ou plusieurs agents externes (pluie intense, séisme érosion régressive brutal...) cela se traduit par une repense presque immédiate du versant qui se met en mouvement.

6.1.1. Rôle des secousses sismiques

Dans le cas de séisme, il se produit une émission d'ondes sismiques de deux type qui se propagent dans le sol: les ondes de volume dites ondes longitudinales et transversales, et les ondes de surfaces dites ondes de love et de Reyleigh. Ces ondes sismiques provoquent des sollicitations, ce qui peut conduire à des mouvements de terrain. Les déstabilisations dues au séisme peuvent se manifester de différentes façons. Elles peuvent provoquées immédiatement des glissements de terrain, des coulées, des chutes de blocs, et elles peuvent aussi avoir des effets à long terme, par l'augmentation de la fissuration du massif rocheux et diminution de sa résistance mécanique.

6.1.2. Rôle de l'eau

Les variations hydrogéologiques peuvent avoir plusieurs origines: origine météorologiques liées aux précipitations et à la fonte de la neige, et une origine

anthropique liée à la modification de la forme du versant, à la surcharge et au terrassement, ou encore à la modification de l'hydrologie naturelle du massif.

Parmi toutes ces causes, les variations des conditions hydrogéologiques sont les plus néfastes pour le déclenchement des glissements de terrain, puisque toute augmentation est le plus souvent liée à la pluviométrie. En effet, il existe généralement une forte corrélation entre les événements pluvieux de forte intensité et l'apparition ou l'accélération des glissements. Ce pendant l'augmentation de la pression interstitielle dans les formations rocheuses ou granulaires peut également être favorisée par :

- une modification de la perméabilité de sol.
- le gel, car la glace forme, dans les fissures des bouchons imperméable derrière lesquels l'eau peut s'accumuler. Ce phénomène est à l'origine de certains éboulements ou glissements.
- les événements climatiques exceptionnels ils peuvent provoquer la remontée du niveau de l'eau à un seuil critique de stabilité.
- les variations hydrologiques saisonnières.
- la perturbation dans les réseaux naturels d'écoulements.

6.2. Les facteurs extérieurs

6.2.1. Le climat (causes hydriques)

- L'infiltration d'eau dans un terrain (pluies, fonte des neiges, crues de cours d'eau à proximité....) a des conséquences sur cohésion du matériel qui offre, de fait, moins de résistance au cisaillement et peut se liquéfier.
- Avec une importante présence d'eau, des surpressions peuvent se produire sous des blocs ou sous le terrain lui-même, notamment lorsqu'une partie du terrain est gelée.
- Le poids du sol augmente avec l'humidité, ce qui augmente les forces déstabilisantes.

6.2.2. Le climat (causes thermiques)

- alternance de phase de gel/dégel(massage thermique et cryoclastie).
- Dégradation du pergélisol.

6.2.3. Causes mécaniques (vibration)

- sismicité/vibrations dues à un séisme ou à des activités humaines (explosion, passage d'un train). Il y a une augmentation momentanée du poids du terrain qui peut suffire pour que le seuil de stabilité soit franchi et que le terrain se mette en mouvement.
- phénomène de thixotropie : soumis à des vibrations, certains matériaux comme les argiles.

6.3. Les facteurs anthropiques

Tout fois, les activités humaines au pied ou sur la crête d'un talus peuvent compromettre la stabilité. Par exemple, si l'on construit un édifice ou un remblai routier au sommet d'une pente, la charge supplémentaire ainsi appliquée risque d'entraîner la rupture du talus. La stabilité des pentes peut également être compromise par l'excavation du sol au pied du talus.

III. Partie calcule

➤ hauteur de gradin :

Lors de la détermination de la hauteur du gradin , obtient compète quelque facteur comme la sécurité des travaux miniers et la production de carrière et les caractéristiques de gisement .

Elle se calcule par la formule suivante:

- pour les roches tendres : $h \leq h_{\max}$
- pour les roches dures : $h \leq 1,5 h_{\max}$

Dans le cas de la mine de Boukhadra la hauteur du gradin est de 15m avant de la réduire à 7,5m pour des raisons de sécurité et stabilité des gradins.

$$H_g = 1.5 H_c$$

H_c : Hauteur totale des gradins du minerai :

$$H_c = 70 \text{ m.}$$

$$H_g = 1.5 \cdot 70$$

$$H_g = 105 \text{ m}$$

➤ **Angle de bord exploitable :**

$$tg \alpha_1 = \frac{Hc}{\sum B + Hc ctg \alpha} , (^\circ)$$

$$tg \alpha_1 = \frac{70}{4 + 70 ctg 78}$$

- $tg \alpha_1 = 74.90^\circ = 75^\circ$

➤ **Angle de bord inexploitable :**

$$tg \alpha_2 = \frac{Hc}{\sum B_s + \sum B_t + Hc ctg \alpha} , (^\circ)$$

$$tg \alpha_2 = \frac{70}{10 + 3 + 70 ctg 78}$$

- $tg \alpha^2 = 61^\circ$

➤ **Profondeur final dela carrière :**

$$Pf = \frac{Kmax . m}{ctg \beta_1 + ctg \beta_2}$$

K max : rapport de découverte (k max=2.96)

m : puissance du gisement (m=40)

$\beta_1 \neq \beta_2$: Les roches encaissantes de type défèrent

$$Pf = \frac{2.96.40}{ctg 61 + ctg 61}$$

$$Pf = 105 \text{ m}$$

➤ **Le conteur supérieur de la carrière :**

$$CI = m$$

$$CI = 40$$

➤ **Le contour final de la carrière :**

$$CD = Kmax . m$$

$$CD = 2.96 . 40$$

CD= 118.4 m

➤ **La largeur de plate-forme de travail :**

La largeur de la plateforme de travail elle doit permettre aux équipements miniers de travailler dans les meilleures conditions, elle se détermine en fonction de :

- Les propriétés physico-mécaniques des roches
- Les dimensions du tas des roches abattues
- Les caractéristiques techniques des engins de chargement et de transport.
- Des lignes de transmission électrique ainsi que la disponibilité de réserve prêteur chargement.
- Lorsque l'abattage se fait à l'explosif, la largeur minimale se calcul par la formule suivante:

$L_{pt} = Z + T + E + X + A$; m

Z : prisme d'éboulement ; m

- **$Z = hg (\text{ctg}\beta - \text{ctg}\alpha)$, m**

β : Angle du talus stable(35-60°)

α : angle du talus du gradin(60-80°)

- **$Z = 15(\text{ctg } 60 - \text{ctg } 78)$**

- **$Z = 3m$**

T : largeur de la chaussée de transport, m **T= 15,47 m.**

Dans les conditions de la mine de Boukhadra, les chaussés utilisés pour le transport sont construit à double voix, donc :

$L_{bt} = T + R + Z$; m

T : La largeur de la chaussée de transport

R : la rigole (R=0.5 m) ;

Z : brisme d'éboulement.

La largeur de la chaussée de transport dépend de :

- Gabarit des camions.
- Vitesse de circulation.

- Nombre de voies de la route.

Puisque la chaussée de transport à la mine à ciel ouvert de Boukhadra est à double voie alors:

$$T=2A+2C +x; \text{ m}$$

A : largeur de camion, **A= 5,01 m**

C : largeur de la bonde de sécurité (accotement) ; elle se calcule par la formule suivante :

$$C=0,5+0,005V ; \text{ m}$$

Ou : **V** : la vitesse de circulation des camions ;

X : la distance de croisement des camions ; **x= 1,2 m**

$$C= 0,5+ (0,005 *25) ; \text{ C= } \mathbf{0.625 \text{ m}}$$

$$T=2A+2C +x \quad T= (2*5.01) + (2*0.625) +1.2$$

$$\mathbf{T=12.47 \text{ m.}}$$

$$Lbt = T + R + Z ; \text{ m}$$

$$Lbt = 12.47 + 0.5 + 3$$

$$\mathbf{Lbt = 15.97 ; m}$$

Dans notre cas on prend **E= 2m**

$$\mathbf{A= 4 \text{ m}}$$

X : largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure, m

- $$X=\frac{q}{\gamma}\sqrt{hg.A}$$

q: consommation spécifique d'explosif kg/m^3

$$q= 0.4 \text{ kg/m}^3$$

γ: densité de la roche en place, t/m^3

$$\gamma= 2.5\text{t/m}^3$$

$$\text{➤ } X=\frac{0.4}{2.5}\sqrt{15.4}$$

$$\text{➤ } X = 18.57 \text{ m}$$

Alors :

$$L_{pt} = Z + T + E + X + A$$

$$L_{pt} = 3 + 15.47 + 2 + 18.57 + 4$$

$$L_{pt} = 43.5 \text{ m}$$

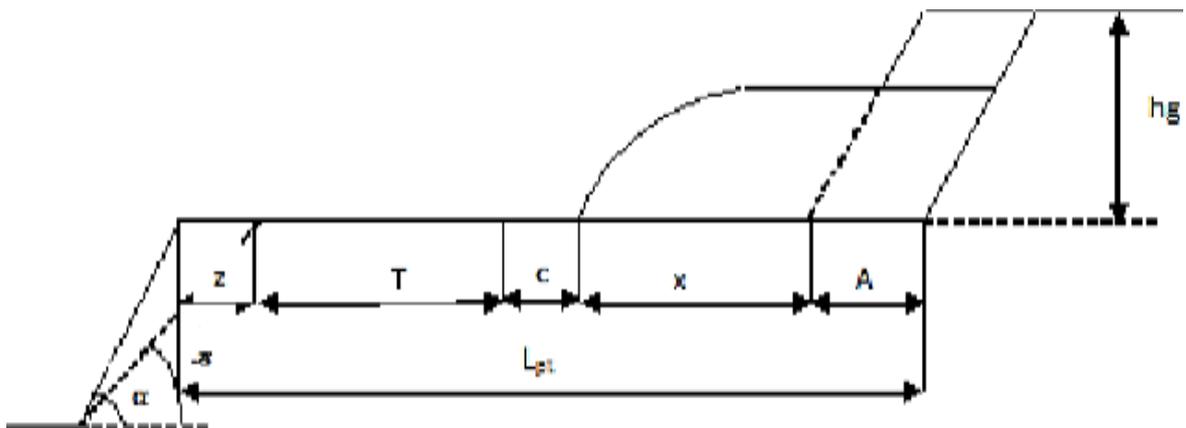


Figure .III.III.1: Plateforme de travail

➤ **Vitesse de déplacements de chantier :**

La vitesse de déplacement d'un chantier de travail dépend de la largeur d'enlevure et du rendement des moyens de chargement ; elle est déterminée par la formule :

$$V_{cha} = Q_{ch} / A * H_g ; \text{ m/poste}$$

Q_{ch} : rendement de la chargeuse

$$Q_{ch} = 945,39 \text{ m}^3 / \text{poste.}$$

A : largeur d'enlevure

$$A = 4,2 \text{ m}$$

$$V_{cha} = 225 \text{ m/poste}$$

Tableau III.III.1: Paramètres de la méthode d'exploitation

Paramètres	Désignations	Valeurs	Unités
Hauteur de gradin	H_g	15	M
Largeur d'enlevure	A	4	M
Largeur de la plate-forme de travail	L_{pt}	43.5	M
Largeur du tas de roche abattus	X	18.57	M
La chausse de transport	T	15.97	M
Largeur de prisme d'éboulement	Z	3	M
Vitesse de déplacement	V_{cha}	255	m/p

Partie IV : Sécurité et environnement

Chapitre 01: Etude environnementale

Introduction :

L'analyse environnementale (état des lieux) est le point de départ d'une démarche ISO 14001.

Réaliser une analyse environnementale répondant aux exigences de la Norme ISO 14001, c'est identifier tous les aspects et impacts environnementaux de l'entreprise et déterminer ceux qui sont significatifs. L'analyse environnementale doit permettre de donner des bases solides à la mise en place d'un Système de Management de l'Environnement, mais sa réalisation n'est pas aisée et les pièges sont nombreux (trop de détail dans le recensement des aspects/impacts ou au contraire analyse non exhaustive, méthodologie de hiérarchisation ne faisant pas ressortir les impacts « réellement prioritaires », usine à gaz dans sa réalisation et sa mise à jour ...).

- **Impact Environnemental (IE)** : toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme.

- **Aspect Environnemental (AE)** : élément des activités, produits ou services d'un organisme susceptible d'interactions avec l'environnement

1. Comment préparer l'analyse environnementale:

a) Découper le site en secteurs

- Ce découpage peut tenir compte du procès des activités, des situations géographiques.

b) Pour chaque secteur retenu :

- Nommer un responsable de l'analyse sur ce secteur:

- Il sera garant de la réalisation de l'analyse sur son secteur, participera à sa réalisation et par la suite pourra assurer sa mise à jour

- Un coordinateur est en charge de la cohérence entre les différents secteurs (niveau de détail homogène)

- Etablir un diagramme de flux pour cartographier les différentes étapes processus au sein du secteur – il permettra de s'approcher de l'exhaustivité.

- Il est possible d'indiquer sur le diagramme les entrées et les sorties « environnement » relatives à chaque étape (les consommations et les pollutions générées par chaque étape

c) Etablir un support d'enregistrement des résultats de l'analyse environnementale

- Préférer un tableau (type format Excel) qui permettra ensuite les tris et les filtres
- Inscrire les aspects (activités générant l'impact) et les impacts (consommation de ressource ou pollution) dans 2 colonnes distinctes
- Etablir des colonnes pour chaque critère de hiérarchisation
- Permettre la distinction entre le fonctionnement normal et le fonctionnement anormal
- Il est également recommandé d'avoir des colonnes permettant de noter :
 - Le secteur de l'entreprise
 - Le domaine environnemental concerné
 - Des remarques liées à la réalisation de la cotation
 - Des remarques sur les aspects/ impacts (quantité, précisions, explications...)
 - Les liens permettant de démontrer la prise en compte des Aspects Environnementaux Significatifs (AES) dans le Système de management Environnemental (Politique, Objectifs et cibles, Action n° ... du Programme de Management Environnemental...).

1.1. Identifier les aspects/ impacts environnementaux

a) Pour chaque secteur retenu, réaliser l'identification des aspects/ impacts en faisant participer:

- Le responsable Analyse Environnementale du secteur.
- la maintenance
- Un ou des représentant(s) du secteur (opérateurs, chef de service

2 possibilités pour caractériser les entrants (= impacts consommations) / sortants (= impacts pollutions) :

- Utiliser un diagramme de flux et effectuer des observations sur le terrain
- Travailler par « domaine environnemental » (consommation d'eau, production de déchets, pollution de l'air ...) et effectuer des observations sur le terrain

b) Lorsque c'est réalisable, quantifier les données (exemple : 2 m³ d'eau consommée par jour)

c) Ne pas coter les aspects/ impacts avant la fin de leur identification

1.2. Hiérarchiser les aspects/impacts environnementaux

a) Définir les critères de hiérarchisation à utiliser

- Fréquence et Gravité sont incontournables
- Maîtrise est fortement recommandée
- Le critère réglementation peut être intégré dans l'Analyse Environnementale pour faciliter l'identification des non-conformités (NC) réglementaires. Mais attention au piège de n'avoir au final que des AES liés à des NC réglementaires. Il existe par ailleurs d'autres moyens de « traiter les NC réglementaires»
- Le nombre de critères doit être suffisant pour permettre « une hiérarchisation » suffisamment éclatée

b) Définir les échelles associées aux critères de hiérarchisation retenus

- Tenir compte de l'activité
- Préférer des échelles avec des nombres pairs d'échelon (exemple : 1, 2, 3 ou 4)

Cela oblige à « pencher » d'un côté ou de l'autre, évite « de taper au milieu » et engendre des discussions au cours de la cotation.

- Calibrer ses échelles en tenant compte des « extrêmes de l'analyse environnementale » En définissant les seuils des échelles de cotation après l'identification des aspects/ impacts, on peut adapter ceux-ci à la réalité de l'entreprise.

Conclusion

Les membres du Groupe de Travail s'accordent à dire qu'il n'y a pas de méthode unique et universelle, que c'est un exercice consommateur de temps et qu'il faut accepter de s'améliorer petit à petit.

2. Etude des impacts:

D'une manière générale, l'impact des activités des installations minières sur l'environnement se présente sous plusieurs formes telles que :

- Pollution des eaux et du sol
- Emissions de poussières
- Nuisances sonores
- Valorisation des résidus et déchets

2.1 Impact des effluents liquides sur la santé:

Les impacts portant sur la santé sont liés aux contaminations des eaux sous terraines et de surface par les huiles de vidanges , les carburants et solvants d'entretien, ces derniers pouvant avoir une vitesse de progression dans le sol de l'ordre 10 fois de celle de l'eau. Ainsi leur infiltration dans le sol est plus marquée que celle des eaux.

Les fuites et l'écoulement du gasoil issu du stockage et des opérations d'entretien et de dépannage des engins de la mine peuvent conduire à la contamination éventuelle des eaux souterraine et de surface.



Aussi il faut signaler qu'en cas des fuites accidentelles en dehors de l'atelier de maintenance il faut que le responsable de la mine procède à la récupération immédiate des sols contaminés par les huiles ou le gasoil afin d'éviter leur infiltration vers le sous-sol.

2.2. Impact de poussière:

Les risques liés aux poussières peuvent être classés en fonction des critères suivants :

- Dimensions des particules
- Densité des particules
- Surface des particules
- Composition chimique

Les poussières les plus dangereuses sont celles de la Silice qui entraînent la Silicose cas du minerai de fer de Boukhadra.

Ces poussières ont un impact néfaste sur l'homme, l'environnement, la faune, la flore et le paysage ... etc.

- **Effet sur l'environnement :**

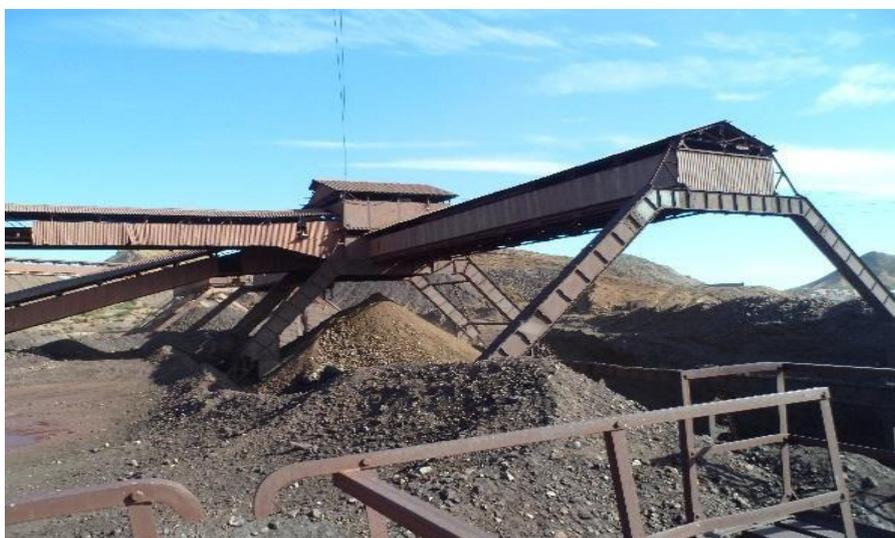
Les poussières dégagées de la mine de Boukhadra laissent sans doute des traces sur la santé des travailleurs et la population avoisinante et ce depuis son démarrage jusqu'à nos jours.

Par ailleurs, il est important de signaler qu'une partie des constructions et ouvrages, appartenant à la mine ou autre (cités résidentielles, ateliers, routes goudronnées, menant vers la ville de Souk Ahras, ponts...etc.), sont traversées de part et d'autre par une partie de la chaîne de manutention, et la voie ferrée, destinée au transport du minerai vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de Annaba, sont considérées comme étant de sources importantes d'émission de poussières fines qui sont à l'origine des problèmes de santé des personnes, ajoutant à ça leur impact sur le sol, la dégradation du paysage (construction, ouvrage et routes... etc.), qui est très remarquable dans cette zone.

Toutes les installations de la préparation mécanique à savoir le concasseur giratoire primaire et la bande transporteuse d'une longueur de 03km de la trémie de chargement qui sont mitoyennes à la cité centrale et au camp sainte-barbe demeurent parmi les sources les plus importantes de dégagement de fines particules ferrifères dans l'atmosphère traduit entre autre par la dégradation des éléments du captage du convoyeur à bande, transportant la charge utile de granulométrie 0/250mm de la trémie de chargement, lors du remplissage, exceptionnellement, en cas de présence des vents

Cette dernière présente une source d'émissions des poussières fines importante pour la mine et ses voisinages. Le personnel au niveau du concasseur giratoire est tout aussi concerné par ces risques étant donné les interventions répétées au niveau des moteurs électriques, courroies, et des équipements de concassage. Tous ces éléments font du concasseur giratoire un poste à haut risque d'accidents qui peuvent être mortels.

Il faut noter l'effet que le concasseur a été renforcé depuis 3 ans par un système d'abattement de poussières par humidification, chose qui a dû sans doute à diminuer les quantités importantes des poussières dégagées lors du déchargement des camions et du concassage. Lors de la période de notre stage le système était en arrêt à cause de problème de bouchage et d'alimentation en eau.



- **Effet sur la faune et la flore :**

L'effet des poussières sur la flore est caractérisé par la dégradation de ces dernières avec le temps des plantes, le ralentissement du processus de photo synthèse qui constitue un écran pour l'évolution et le développement de diverses plantations, arbres et toute sorte d'agriculture.

Autrement dit, diminution de leur durée de vie (rendement), et par voie de conséquences diminution de leur intérêt économique, social et paysagère.

Aussi, une atmosphère polluée joue un rôle non négligeable pour le déplacement et l'émigration des espèces animales.

- **Effet sur le paysage :**

Etant installé dans une région dont la nature du sol est à caractère marginal, et apparente sur la route nationale n°82 coté sud-est, l'unité de traitement mécanique du minerai de fer est considérée comme source de nuisance pour les habitants de la ville de Boukhadra.

Lors de la dispersion par les vents locaux et saisonnières des particules ferrifères des stocks, et des particules stériles au niveau des décharges stériles implantées au Nord- Ouest, au Nord-est et Sud-est du périmètre d'exploitation, ainsi que les décharge stériles qui longe les deux côtés de la route nationale menant vers le village de Boukhadra.

D'une manière générale, l'effet des poussières sur les constructions consiste en une altération et dégradation superficielle qui se traduit par une exfoliation successive des croûtes d'altération par transformation du matériau en produit sableux et friables. Ceci se traduit souvent par une altération des façades et toiture sous l'effet du processus de formation de fines pellicules résultant de la séquence de circulation de l'humidité à l'intérieur du mur et le rougissement des surfaces exposées en donnant un aspect inesthétique (figure. IV.I.1). Ces effets sont enregistrés au niveau du village de Ouenza surtout dans les bâtiments avoisinant la mine, l'impact se manifeste par la dégradation de l'état de surface par dépôt d'une couche de poussière rougeâtre sur des routes, trottoirs, ouvrages, murs et toits des constructions et une dégradation nette du paysage d'une manière générale.

En plus de l'impact de la poussière sur la santé et sa dispersion dans l'atmosphère, son dépôt sur le sol des différents ateliers et constructions, surtout dans la période pluviale, favorise la formation des boues qui contribuent à leur tour à la dégradation du sol et du paysage. Des espaces verts dans les différents ateliers et lieux publics limitrophes sont indispensables.



Figure. IV.I.1. Image présente le rougissement des surface sous l'effet des poussières

- **Effet sur le tourisme**

La région de Boukhadra ne recèle au cunpatrimoine culture l'important ni autres, et comme c'est une région minière en activité, donc elle n'encourage et n'attire aucune réflexion dans le domaine de tourisme, l'existence d'une atmosphère polluée par la poussière et autre report toute réflexion dans le domaine du tourisme.

- **Effet de la poussière sur les engins et machines:**

Souvent, on enregistre des pannes de certains organes et machines dues à l'accumulation des poussières fines ce qui diminue leur disponibilité et leur productivité.

- **Effet sur la santé du personnel :**

Les poussières ont un effet négatif sur la santé des travailleurs de la mine, la population localisée au voisinage de cette dernière, et même sur l'état de santé des différentes espèces animales de la région.

Ces particules nuisibles de poussières se subdivisent en quatre catégories à savoir : poussières inertes, poussières toxiques, poussières allergènes, poussières fibrogènes. Les plus dangereuses sont celles de Silice libre qui entraînent la Silicose (cas de minerai de fer de Boukhadra).

Elles ont des conséquences néfastes sur les organes respiratoires des personnes et elles sont la cause des maladies de pneumoconiose.(Silicose), Asthme ...etc.

L'étendue de l'impact des poussières sur la santé des personnes, au niveau de la mine de Boukhadra est importante surtout pour les travailleurs affectés aux postes de travail suivants:

- Les agents de chargement au niveau des gares
- Les agents travaillants au niveau de la bande transporteuse
- Personnel travaillants au silo et au niveau de la trémie de chargement
- Les gents qui travaillent au niveau des concasseurs
- Les sondeurs et les aides sondeurs
- Conducteurs des bulls et niveleuses
- Chauffeurs de manutention, transport
- Les agents travaillants aux chantiers extérieurs

En plus de ces postes de travail, l'impact des poussières atteint les travailleurs des services de soutiens à la production et certaine population sa avoisinantes, mais dans ces conditions avec des degrés de perturbation moindres. Ces services sont:

- Ateliers centraux
- Les services techniques
- Ateliers de maintenances
- Service de sécurité de la mine
- Bloc administratif
- Cité d'habitation avoisinante
- Les installations...etc

Etant donné que les poussières peuvent être transportées sur une longue distance par l'intermédiaire des vents, donc les villages miniers et particulièrement, leur partie située dans le même sens que celui du vent dominant sont aussi exposés aux risques des maladies dues aux émissions des poussières, surtout les enfants et les personnes allergiques.

La durée d'impact par poussière dépend essentiellement du temps et du lieu de présence. Les personnes les plus exposées sont celles présentes directement aux endroits d'émission et/ou leur voisinage.

Le degré de perturbation est fort pour les personnes qui travaillent aux postes précédemment cités, et devient faible, tout en s'éloignant de la zone d'activité de la mine.

- Parmi les principales postes de travail qui sont sources d'émanation de poussière ponctuelles :

- Lors du concassage du minerai de fer
- Lors du convoyage par bande transporteuse
- Au niveau des trémies de réception et au niveau de la gare de chargement (rame des wagons chargés)
- Lors du trafic interne des engins (chargement, transport et terrassement)

- Lors de foration et tir par explosif
- Lors de la dispersion par les vents locaux et saisonniers des particules ferrifères des stocks en minerai et des particules stériles des décharges.

Donc, les agents affectés aux lieux sur cités sont les plus exposés aux risques des maladies liées à la poussière (pneumociose).

Nous pouvons conclure, que l'empoussièremement est un facteur de nocivité important au niveau des installations de traitement. Il convient de prendre toutes les mesures nécessaires pour que la qualité de l'air soit rendue compatible avec l'hygiène et la santé des opérateurs.

A cet effet, la moyenne sur huit heures des concentrations auxquelles est effectivement exposé un travailleur (VME) doit être inférieur à :

- 05 mg/m³ d'air pour les poussières alvéolaires
- 10 mg/m³ d'air pour les poussières totales

(VME) : Valeur Moyenne d'Exposition

Les mesures du niveau sonore et de la qualité de l'air effectuées au niveau des postes de productions sources de nuisances permettent de déterminer les répercussions écologiques des installations et de définir les mesures de protection requises.

3. Les aspects environnementaux au niveau de la mine de Boukhadra:

Les aspects environnementaux de la mine de Boukhadra sont présentés au tableau N°IV.I.1

Tableau. IV.I.1 : Les aspects environnementaux au niveau de la mine de Boukhadra et ces mesures (source : département d'environnement au niveau de la mine)

<i>Les aspects envirnnementaux constants</i>	<i>Causes</i>	<i>Mesures prises</i>
Poussières	<ul style="list-style-type: none"> →ripage du sol et des gradins par engins, →foration et abattage à l'explosif, →terrassment et chargement des camions, →transport par camion jusqu'à la station de concassage, concassage, →Transport par bande, du matériau concassé jusqu'à la trémie de chargement. 	<ul style="list-style-type: none"> →arrosage du parcours par camion- citerne limite la poussière. →Système d'abattage des poussières.

Bruit	<ul style="list-style-type: none"> → Les sources de bruit résultent principalement du fonctionnement des engins lors des opérations de ripage, de chargement et de transport, ainsi que la station de concassage. → Lors des tirs de mines (vibration et ondes sismiques). 	<ul style="list-style-type: none"> → La conformité des engins par rapport à la législation et l'isolement du site (carrière et concasseur éloignés des habitations) permettent de déclarer sans conséquence, l'impact du bruit sur le voisinage. Ceci n'appelle pas de mesure particulière à mettre en œuvre. → Les mesures prises indiquent qu'elles sont en dessous des limites autorisées par la réglementation, vis à vis du voisinage..
--------------	--	--

Site et paysage		<ul style="list-style-type: none"> → la remise en état du site doit démarrer (travaux de reboisement), et ce, jusqu'à la fin de l'exploitation de la carrière. A ce jour, rien n'a été constaté : l'exploitant a préféré une remise en état en fin d'exploitation.
dangers liés à l'exploitation de la carrière	<ul style="list-style-type: none"> → existence de fronts de taille élevés (maximum 20 m), → circulation et manœuvre d'engins (pelles mécanique, bulldozer, camions, ...), → émissions de poussières. 	<ul style="list-style-type: none"> → Les seules actions à mener sont la limitation du périmètre de la carrière (en interdisant son accès), l'information des dangers potentiels et le respect du code de la route (vitesse limitée, avertissement sonore lors de manœuvre, ...).
Pollution par hydrocarbures	<ul style="list-style-type: none"> → La pollution par hydrocarbures a deux origines bien distinctes, à savoir d'une part, les aires d'entretien des engins en chantier (vidange) et d'autre part, les déversements accidentels 	<ul style="list-style-type: none"> → Des concentrations extrêmement faibles d'hydrocarbures rendent très vite l'eau impropre à la consommation.

Les déchets	<p>→ Les principaux déchets générés par la carrière sont les stériles d'exploitation (déchets inertes) ;</p> <p>→ Les déchets spéciaux et spéciaux dangereux, (pneus usagés, batteries usagées, huiles usagées de vidange, bande usagée, déchets ferreux et non ferreux, résidus chimiques).</p>	<p>→ Ils sont utilisés pour remblayer les zones dont l'exploitation est terminée. Il n'y a pas d'impact environnemental.</p> <p>→ Traitement des déchets, (élimination ou recyclage).</p>
--------------------	--	---

4. Les missions faites par le service d'environnement de l'entreprise pour la protection de l'environnement :

- **MISSION N°1**

- Mise en œuvre des obligations réglementaires environnementales.

- **MISSION N°2**

- Identifier et quantifier les flux entrants et sortants du site.
- Production Minerai (Minerai extrait, minerai concassé, minerai expédié, stérile)
- Consommation (Electricité, carburant, lubrifiants, explosifs, eau)
- Production des déchets

- **MISSION N°3**

- Identifier les pollutions et impacts existants sur le site en réalisant un audit en interne environnemental.

- **MISSION N°4**

- Hiérarchiser les aspects environnementaux du site.

- **MISSION N°5**

- Mettre en place une gestion des déchets efficace et adaptée.
- Enregistrement des déchets générés par les structures de la mine(FDS)
- Identification et étiquetage des déchets spéciaux et spéciaux dangereux
- Stockage des déchets

- **MISSION N°6**

- Exportation des déchets.
- Elimination des déchets
- Recyclage ou réutilisation en interne

- **MISSION N°7**
 - Respecter les valeurs limites qui sont précisées par la réglementation.
 - Mesurage des émissions : Sonores et vibratoires, Poussières, diversement
- **MISSION N°8**
 - Maintenance des équipements et étalonnage des appareils de contrôle.
- **MISSION N°9**
 - Etablir un plan de contrôle et de mesurage.
- **MISSION N°10**
 - Identifier, collecter et mettre en place des actions correctives et préventives.
- **MISSION N°11**
 - Définir et structurer une réunion de sensibilisation.
- **MISSION N°12**
 - Choisir les outils nécessaires pour sensibiliser le personnel aux enjeux environnementaux globaux de la société.
- **MISSION N°13**
 - Choisir les outils de sensibilisation nécessaires pour sensibiliser le personnel à des problèmes environnementaux précis et trouver des solutions.
- **MISSION N°14**
 - Communication interne.
- **MISSION N°15**
 - Communication externe.
- **MISSION N°16**
 - Rédiger un rapport environnemental annuel.
 - Etablir un bilan semestriel et annuel.

chapitre 02: sécurité en travail et Analyse des risques:

Introduction

La sécurité du travail se manifeste dans les branches des entreprises, l'assurance du processus technologiques provoque une bonne organisation des travaux, ce qui assure une productivité désirable et meilleure.

La protection du travail représenté un vaste système des mesures techniques et d'organisation destinée à sauvegarder la santé des travailleurs, elle a pour but de la sensibilisation des ouvriers en matière de protection contre les accidents de travail et maladies professionnelles, d'améliorer et de perfectionner les processus technologiques et de créer les conditions du travail saines et sans danger.

Un service de protection de travail dans une entreprise. Est une composante très importante

Son rôle essentiel est de former, animer, informer, conseille t'inspecter tout la chaîne de la production

Dans l'industrie extractive où les conditions de travail sont assez difficiles l'application du règlement relatif à la sécurité du travail doit être rigoureusement respectée la protection du travail doit assurer :

- L'analyse de tous les accidents de travail a fin de détermine les causes et entrer les enseignements qui serviront à éliminer la répétition de ces accidents.
- La coordination des visites des organismes agréés et déceler toutes les anomalies rencontrées, les suivre et les inspecter
- La visite médicale périodique pour le personnel afin de prévenir les maladies professionnelles.
- Le contrôle réguliers des outils de travail et de les remettre en bon état en cas de défaillance de ces derniers
- Le contrôle de la propreté des postes de travail.
- La dotation du personnel en moyens de protection individuelle et collective
- Signaler que le service de la sécurité de travail doit établir avec exactitude tous les éléments qui peuvent être les causes directes d'un accident de travail et préconiser les solutions appropriées.

1. Gestion de la sécurité dans les mines

L'exploitation minière est une activité particulière de par son importance dans l'économie mondiale . Elle consiste en l'exploitation des ressources naturelles d'un territoire et concerne ainsi tous les pays, qu'ils soient développés ou pas .

cette activité est intrinsèquement liée à la notion de risques, tout le monde ayant en esprit le mineur travaillant sous terre dans des conditions effroyables.

1.1. Evolution de la théorie et des règlements relatives à la santé et sécurité de travail (SST) :

Une première étude célèbre de la gestion de la sécurité a été réalisée en 1953 par H.W.Heinrich , un ingénieur américain , à laquelle il est généralement fait référence sous le nom de *théorie des dominos d'Heinrich* . Ce dernier a identifié une séquence d'événement et de circonstances conduisant en définitive à des blessures :

- * Les facteurs environnementaux ;
- * Une erreur de l'individu ;
- * Une acte ou une condition dangereuse ;
- * Une accident ;
- * Une blessure ;

Heinrich a analysé un grand nombre d'accidents du travail et est arrivé à la conclusion que 80 % d'entre eux étaient dus à des actes dangereux, et seulement 10 % à des conditions dangereuses. Cette conclusion a constitué la base de la majeure partie de la théorie de la gestion de la SST subséquente.

Une conclusion similaire a émergé du développement du *Modèle d'ingénierie de la sureté* (MIS), tel que présenté la figure (III.2) ci-dessous. Dans ce modèle, développé aux Etats-Unis d'Amérique, des chercheurs ont confirmé un équilibre similaire entre actes dangereux (85%) et condition dangereuses (15%) . Les chercheurs ont également suggéré que les actes dangereux étaient au mieux par l'éducation et la mise en vigueur, alors que les conditions dangereuses étaient évitées par la mise en ouvre de pratique d'ingénierie et la mise en application de ce pratique.

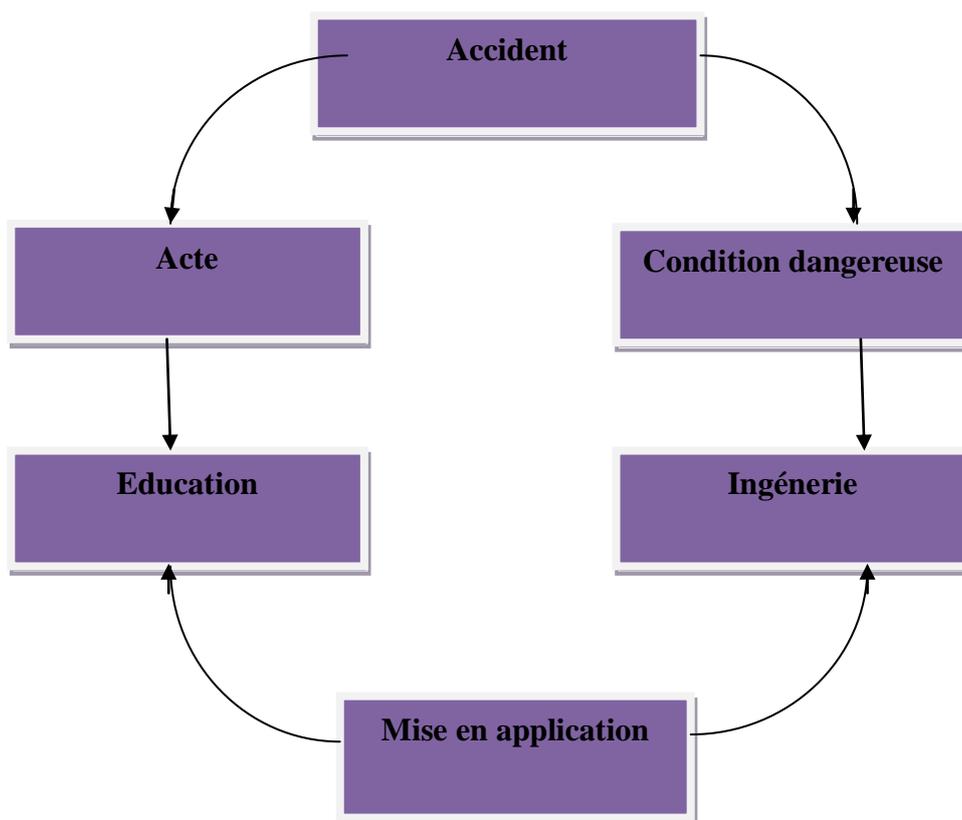


Figure. IV.II.1.Modèle d'ingénierie de la sûreté (MIS)

- **L'évolution des approches à la réglementation de la SST**

Les premières réglementations de SST pourraient être caractérisées comme uniformément normatives, l'accent étant mis sur des spécifications et normes détaillées et hautement techniques, avec le respect des règles mise en ouvres par des inspections financées par le gouvernement et disposant de larges pouvoirs d'inspection.

Les avantages de ce type d'approche ressaient dans le fait aux les organisations savaient précisément quels étaient les exigences, et les législations était relativement simple à mettre en application. Pour résumer les choses simplement, les lieux de travail étaient considérées comme surs s'ils se conformaient à la réglementation.

1.2. L'approche par le système de gestion

Les systèmes de gestion de la santé et de la sécurité (SST) ont été développés à la suite d'un nombre d'accidents du travail graves et bien documentés au cours des années 1970 et 1980 . Il s'agit de l'accident de Flixborough, en 1974, de l'accident de Seveso, en 1976 et de la catastrophe de Piper Alpha en 1987.

Les enquêtes menées sur ces incidents ont mis en avant les déficiences qui existaient dans les approches prévalentes à la gestion et à la réglementation de la SST, et ont identifié la nécessité d'adopter des approches traitant systématiquement des interventions en matière d'éducation et d'ingénierie.

Depuis l'émergence de tels systèmes dans les années 1970, cette approche a connu un développement considérable, motivé par la reconnaissance des points suivants :

- Le SST est affectée par tous les aspects de la conception et des activités d'une organisation ;
- La conception et la gestion des systèmes de gestion de la santé et de la sécurité doivent intégrer l'environnement, les personnes et les systèmes dans des proportions reflétant les caractéristiques uniques d'une organisation (aucun système ne fonctionne de manière universelle) ;
- La santé et la sécurité sont des fonctions de direction, qui nécessitent un engagement et une implication considérables de la direction ;
- Des éléments unificateurs produisent un ensemble de responsabilités définies pour ces activités à tous les niveaux de l'organisation ;
- Les incidents, les blessures et les maladies sont symptomatique d'un problème qui existe au sein du système et ne se rapportent pas simplement à une erreur humaine ;
- Les objectifs de performance doivent refléter les objectifs de gestion.

2. Identification des risques liés à l'exploitation minière

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques. L'analyse des risques permet de les classer en cinq grandes familles :

- Les risques naturels : inondation, feu de forêt, avalanche, tempête, séisme, etc.
- Les risques technologiques: d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, ruptures de barrage, etc., les risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses) sont aussi considérés comme des risques technologiques.
- Les risques de la vie quotidienne : accidents domestiques, accidents de la route, etc.
- Les risques liés aux conflits.

Une des classifications les plus répandues est de classer les risques en deux catégories : les risques naturels et les risques liés à l'activité humaine. Selon cette classification, les risques peuvent être naturels dans le sens où ils ont trait à un événement sans cause humaine directe avérée. Les causes directes supposées ou indirectes ne doivent pas modifier cette distinction.

Les risques liés à l'activité humaine recouvrent un ensemble de catégories de risques divers :

- Les risques techniques, technologiques, industriels et nucléaires.
- Les risques liés aux transports.
- Les risques sanitaires.
- Les risques économiques, financiers, managériaux.
- Les risques médiatiques.
- Les risques professionnels.

3. Méthode d'analyse de sécurité

Lorsque l'accident survient , il est toujours difficile de garder suffisamment de sang-froid pur en analyser les causes objectives , et prendre des mesures efficaces en conséquence .

Après chaque accident du travail l'employeur doit faire une enquête avec les membres du Comité Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT), et produire un rapport commun . C'est là qu'une difficulté surgit, car il est difficile de trouver un langage commun se limitant à l'objectivité des faites .

La méthode d'analyse des accidents par l'Arbre des causes , élaborée par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) en se fondant sur des travaux initiés par la Communauté Européenne de Charbon et de l'Acier, est expérimentée pour la première fois d'une façon pratique en 1970 dans les Mines de fer de Lorraine .

A partir de 1976, sa diffusion s'est faite dans le milieu industriel et a atteint une ampleur suffisante pour que l'on puisse désormais la considérer comme tombée dans le domaine public, c'est d'ailleurs l'objectif visé à sa création.

3.1. Les objectifs :

La méthode recherche la sensibilisation des gens du terrain à tous les niveaux hiérarchiques, pour traiter directement les problèmes de sécurité à l'échelon concerné dans les soucis de la plus efficacité.

Elle vise à ouvrir le dialogue entre :

- Le personnel d'exécution ;
- L'encadrement ;
- Le CHSCT .

Elle recherche à obtenir une description objective de l'accident, en se limitant à la recherche des faites en excluant les jugements.

Elle induit des effets secondaires :

- De déceler des risques nouveaux ;
- De connaître des risques inédits.

L'ADC mettant en évidence des causes effectives permet d'apporter :

- Des corrections immédiates ;
- De traiter les causes profondes ;
- De supprimer les risques potentiels similaires dans les autres secteurs de l'entreprise.

3.2. La méthode

- L'analyse de l'accident relève d'un travail collectif consistant à :
- Mener l'enquête ;
- Recueillir les faits et uniquement les faits identifiés ;
- Construire l'ADC ;
- Rechercher les mesures correctives adaptées ;
- Rechercher s'il subsiste des risques semblables dans l'établissement ;
- Proposer des mesures adaptées ;
- Vérifier leur application.

3.3. Le groupe de travail

L'analyse d'un accident par la méthode sur un travail de groupe, dont la structure doit être constituée de la façon suivante :

- L'encadrement de l'atelier ;
- Des délégués du CHSCT ;
- Des membres du personnel de l'atelier ;
- La victime si cela est possible ;
- Le service sécurité ;
- Certaines entreprises forment des personnes chargées de vérifier la conformité et la bonne application de la méthode .

4. Les accidents du travail minier et événement dangereux

4.1. Accident du travail minier

Signifie tout accident du travail de toute personne exerçant un travail minier dans la zone d'activité de la mine, à qui on administre un traitement médical ou dont résulte une perte de conscience ou la mort.

4.2. Événement dangereux

Signifie tout événement imprévu à la mine qui , potentiellement, peut provoquer des blessures ou des maladies aux personnes qui travaillent .

Un événement dangereux :

- Affecte considérablement l'activité minière normale ; comme : les glissements de terrain, les éboulement de front de carrière, les importantes chutes de pierre, les venues d'eau dans la mine, la mise à feu ou la détonation des explosifs.
- Cause des dégât ou interrompt le fonctionnement du matériel minier ou des appareils, tel qu'une explosion, le feu, l'éclatement d'une enceinte sous pression.
- Nécessite le retrait des mineurs ou toute autre action d'urgence.
- Met en danger toute personne à la mine.

5.3. Réactions en cas d'accidents miniers et d'événement dangereux

Partout où il arrive un accident ou un événement dangereux, l'opérateur minier doit s'assurer que :

- Les mesures nécessaires sont prises pour secourir les mineurs blessés et les mesures immédiates sont prises pour supprimer tout autre danger résultat d'un tel événement.
- Une recherche de la cause de l'accident minier ou de l'événement grave est entreprise pour empêcher que d'autres cas similaires se produisent dans le futur.
- Le résultat de cette investigation est noté dans un livre prévu à cet effet et l'autorité minière est mise au courant de l'incident.

5. Identification des dangers et analyses des risque‘Hira’

- **Objet**

Cette procédure définit les différentes étapes à suivre pour identifier les dangers et évaluer les risques en matière de sécurité et santé au travail, elle fournit les règles relatives à l'analyse des risques de sécurité et santé au travail.

- **Domaine d'application**

Cette procédure s'applique à l'ensemble du site et activités d'Arcelor Mittal Tébessa mine de Boukhadra. Pour assurer la couverture de l'ensemble du site, un découpage zonal par unité doit être fait, chaque chef de structure doit vérifier avant la validation du découpage zonal, que toutes les activités et les infrastructures sont couvertes.

2. Types d'HIRA

Il existe deux types d'HIRA, l'HIRA principale et l'HIRA spécifique.

- **HIRA principale :**

Une HIRA principale est l'identification des dangers et évaluation des risques des postes de travail. Cette HIRA commence commentant que projet, elle doit être documentée, et tenue à jour au niveau des chefs de division, chefs de service et RMS.

Responsabilité

- La commissions sera mises en place par le directeur de la mine dans le but de :
- Identifier tous les postes de travail de la mine, la liste des postes de travail sera validée par le gestionnaire RH et les responsables des structures.
- Couvrir toutes les activités, les infrastructures et bâtiments pour l'identification des dangers et l'évaluation des risques.
- Etablissement d'un découpage zonal selon l'organisation en vigueur afin de couvrir tous les postes de travail, activités, installation, bâtiment et infrastructure.
- Faire les analyses des risques dans les documents d'enregistrement en vigueur.

La commission d'analyse des risques doivent impliquer les travailleurs lors de l'analyse des risques ; aussi toute personne (travailleur, sous-traitant, visiteur, fournisseur, stagiaire ou autre) identifiant un risque qu'est pas pris en compte lors de l'analyse des risque doit le communiqueras hiérarchie qui informa la commission chargé de l'analyse des risques pour apporter les corrections nécessaire aux fiches d'analyse des risques.

5.2. Techniques utilisées pour faire l'analyse des risques

Sur terrain, la commission doit observer les tâches des postes à analyser, impliquer les travailleurs par des interviews, prendre en compte les retours d'expérience au cours de la rédaction de l'analyse des risques.

Après la finalisation de l'HIRA principale (Analyse des risques des postes de travail) le retour de l'information aux travailleurs des postes concernés est obligatoire moyennant les fiches de sensibilisation aux risques des postes de travail. Chaque responsable hiérarchique doit communiquer et expliquer aux personnels sous sa responsabilité les résultats de l'analyse des risques.

- **Les tâches des postes de travail seront analysées en modes**

- activité de routine et non routinière, l'activité en marche normale, les phases d'arrêts, les pannes, les situations d'urgence et les phases de maintenance, ainsi que les activités qui ne sont pas liées au procès (tel que transport, énergie, circulation des piétons, circulation des véhicules, engins et train).

- Pour les visiteurs, stagiaires, fournisseurs et sous-traitants, et toute personne entrant dans le site de la mine, une HIRA principale sera faite par la commission de la mine, incluant l'itinéraire, les tâches et les lieux à visiter dans cette HIRA.

- Afin de couvrir tous les risques, la commission de la mine doit analyser les risques probables, tel que :

- Risque Biologique, Substances dangereuses. Risque physique, psychologique, chimique, mécanique, thermique, électrique, risques dus aux rayonnements, environnement et radiation, risques dus au bruit, risques dus aux incendies et explosion, risque à la santé, risques des espaces confinés, travaux en hauteur, travaux sur ou à proximité des chemins de fer, risque par point chaud, risque d'interférence (généré par l'activité des sous-traitants ou autres), ainsi que les dangers venant de l'extérieur du lieu de travail et qui sont capables de nuire à la santé et à la sécurité des personnes sur le site (tels que accident majeur, des rejets environnementaux dangereux, les risques dus au climat)

- Le facteur humain et le comportement et les capacités des travailleurs doivent être pris en compte aussi lors de l'analyse des risques (les comportements dus à des tâches répétitives, le stress causé par des rythmes de travail élevés, travail dans des ambiances bruyantes, chaudes ou utilisation des EPI spécifiques pour de longues durées)

- **Cotation des risques**

Tous les risques identifiés devront être cotés suivant les:

- matrices d'exposition aux risques
- matrice de niveau de protection.

- matrice du niveau de gravité.

Le NE, NP et NG sont tirés des matrices suivantes :

Après cotation des risques, un plan d'action sera mis en place pour maîtrise des risques avec priorisation des actions suivant la matrice du niveau de maîtrise des risques (NM), les actions identifiées pour la maîtrise des risques seront faites suivant la hiérarchisation suivante :

- Elimination des risques.
- Substitution des risques.
- Ingénieries.
- Diminuer l'exposition aux risques.
- Formation, affichage et audits pour la maîtrise des risques.
- Protection collective.
- Protection individuelle.

Tous les risques non maîtrisés devront être rendus acceptables par la mise en place d'actions de correction afférentes, et devront être éliminés, ou réduits à un niveau acceptable.

Après la mise en place des actions préventives et correctives pour la maîtrise des risques, des audits pour l'évaluation de l'efficacité des actions sont obligatoires. Ils seront faits par la commission, dans un objectif de s'assurer que les actions mises en place sont efficaces. Si les réviser les actions dans le but de maîtriser les risques. Mise à jour des fiches HIRA principale (Fiche d'analyse des risques de postes de travail) :

La révision de l'analyse des risques des postes de travail est obligatoire si :

- Un accident est survenu qui concerne le poste ou la tâche.
- Un accident survenu dans une autre unité, site d'Arcelor Mittal ou autre transmis au département concerné en tant que REX, Alerte ou Close loop.
- Un presque accident.
- Un risque déclaré par un travailleur, sous-traitant, visiteur, fournisseur, stagiaire ou lors d'un audit de sécurité et qui n'est pas pris en compte lors de l'analyse des risques

- S'il y'aura un changement tel que : nouveaux équipements, changement temporaire des équipements existants. Pour les nouveaux équipements, l'analyse des risques devra être faite dès la conception du projet.

- S'il y a une modification de l'organisation, des activités ou des matériaux utilisés. L'équipe d'investigation chargées de faire les enquêtes a près accident, incident ou presque accident doivent prendre en compte le dernier HIRA des postes de travail ou tâches concernées.

Les HIRA principales doivent être prises en compte lors de l'établissement des gammes opératoires ou de la procédure de travail. Si ces documents existent avant le

projet Analyse des risques leurs révisions est nécessaire pour inclure tous les risques non gérés par les gammes ou procédures de travail.

Aussi, après révision des HIRA principales pour une cause ou une autre, le retour d'informations aux personnels concernés doit être fait par la hiérarchie moyennant les fiches de sensibilisation aux risques des postes de travail.

6. Mine De Boukhadra

6.1 Identification Des Potentiels De Dangers

L'analyse des risques consistant à identifier les risques d'accidents majeurs ainsi que les mesures de sécurité prises ou à prendre pour les maîtriser.

- Un produit associé à un équipement
- Une hypothèse de défaillance ou événement redouté (à titre d'exemple la perte de confinement),
- Un phénomène physique (explosion de chaudière, incendie).
 - Un danger est une situation pouvant nuire par blessures ou dommages aux personnels, aux équipements ou à l'environnement.
 - Un risque c'est l'exposition à un danger. Il peut s'exprimer compte tenu de la probabilité qu'il se produise et de la gravité, vis-à-vis de circonstances déterminées.

Avant d'aborder les risques spécifiques, il convient de lister et détailler les dangers auxquels peut être confrontée une mine.

La base de données française ARIA recense environ 25 000 accidents industriels survenus à ce jour en France.

Une étude statistique sur les accidents survenus entre 1992 et 2005 a conduit à la répartition suivante :

Tableau .IV.II.1 :Etude Statistique Sur Les Accidents

Incendie	52 %
Rejet massif de matière dangereuse	45 %
Explosion	5,4 %
Effet domino	2,7 %
Projection, chute d'installation ou d'équipement	2,5 %
Presqu'accident	2%
Pollution chronique a gravée	1,5 %
BLEVE	0,1 %
Irradiation	0,2 %

Autres	3,9 %
---------------	-------

En ce qui concerne les accidents survenus dans le domaine de l'extraction et du traitement de la pierre (roche massive, matériaux alluvionnaires, autres roches meubles, exploitations souterraines, etc.), les accidents recensés en France à ce jour, selon la base de données ARIA, sont au nombre de 71 soit un ratio de 71 sur 25 000 = 0,28%.

La description de ces 71 accidents recensés sur une période de 30 ans (du 01/01/1976 au 31/12/2005). L'analyse des 71 accidents recensés (est présentée dans le tableau de la page suivante) montre que:

Les accidents les plus fréquents sont de type pollution accidentelle des eaux (31 sur 71 recensés) et incendie (11 sur les 71 recensés). Les autres accidents recensés sont de type explosion induits par l'usage d'explosif), pollution chronique des eaux, blessures corporelles du personnel essentiellement induits par les installations de traitement et les installations électriques), ensevelissement ou effondrement, découverte d'éléments suspects trois fois des engins explosifs et 2 fois des déchets non inertes), etc.;

Les causes principales sont les stockages d'hydrocarbures (matières polluantes et combustibles), les tapis bandes constitués de caoutchouc (matière combustible), la mise en œuvre d'explosifs pour abattre la roche et les pièces en mouvement des installations de traitement (risque de happage). Les trémies et les fronts élevés sont à l'origine de risque de chute et d'ensevelissement. La classification des accidents est donc la suivante

Tableau. IV.II.2 : Classification Des Accidents.

TYPE D'ACCIDENTS	roches dures	sables et graviers	argiles et kaolin	mines et carrières souterraines	total carrières
Incendie	2	7	1	1	11
Pollution accidentelle des eaux	7	19	4	1	31
Pollution chronique des eaux	3	2			5
Utilisation des explosifs	6		1		7
Installation de traitement de matériaux (trémie, chocs, chutes)	2	2			4
Découverte d'engins explosifs		2		1	3
Autres :					
•effondrement	1			2	2
•ensevelissement • déchets non inertes	1	2	1		1
•ligne électrique •noyade	2	1			2

•divers					2
Total	24	35	7	5	71

Ces 71 accidents se répartissent comme suit en fonction des différents types d'exploitations: Sur les 71 accidents recensés, 24 sont attribués aux carrières de roches dures, soit le tiers ; de même que ce type de carrière représente le tiers des carrières de France. En effet, on compte en France 5300 sites d'exploitation de carrières en activité dont 1 800 sites de carrières de roches dures et 3 500 sites de carrières des autres catégories (sables et graviers, autres roches meubles et exploitations souterraines).

6.2. Eléments De L'activité et de L'installation Sources de Dangers

Comme il a été décrit dans la demande d'autorisation et l'étude d'impact, l'activité développée par la mine de BOUKHADRA, comprenant les opérations suivantes:

- extraction du gisement par gradins successifs de 15 mètres de hauteur maximum
- acheminement des matériaux extraits aux installations de traitement;
- concassage-criblage des matériaux;
- remblaiement et réaménagement du site.

Ces activités et les moyens utilisés pour l'effectuer peuvent être sources de dangers comme suit :

Tableau. IV.II.3 : Eléments De L'activité Et De L'installation Sources De Danger

les causes de dangers	éléments sources de dangers
Engins et camions	mouvement (évolution, circulation) utilisation d'hydrocarbures circuits électriques
Carrière/extraction	fronts de taille élevés explosifs et tirs de mines surfaces minérales poussiéreuses
Installations de concassage	pièces mécaniques en mouvement installations électriques pièces avec lubrifiant, circuits hydrauliques pièces en hauteur
Aire de ravitaillement en carburant	ravitaillement des engins en carburant
Local	installations électriques
Personnel – clients – sous-traitants	imprudence négligence malveillance

Conclusion Générale

Notre travail est basé sur le diagnostic de l'effondrement des ouvrages miniers en ciel ouvert et en souterrain ainsi que les causes probables d'effondrement on calcule les facteurs influent sur la stabilité du terrain (hauteur de gradin, largeur de plateforme de travail, l'angle de bord, profondeur) .

BIBLIOGRAPHIE

- Donnée de l'entreprise (DED) de la mine de BOUKHADRA
- Exploitation des mines : B.BOKY : Moscou 1968
- Cours d'exploitation des mines à ciel ouvert : par Mr.N.Kamulete Mudianga : Université de Lubumbashi.
- **RJEVESKY. V. V**, Processus d'exploitation à ciel ouvert (version anglaise par S.M. ESMYONOV) édition Mir, Moscou,1985, pp 57-166
- Cours d'exploitation souterraine (Methodes d'exploitation – Fonctions complementaires) réalisés par Mr.M.Hasebellaoui Expert en Etudes géologiques et minières ; Institut Algérien des mines.
 - Cours d'exploitation souterraine réalisés par Mr.Mazari, Bejaia (2014).
 - Rapport sur l'exploitation souterraine de BOUKHADRA .1990
 - mémoire de fin d'étude: "Analyse du phénomène d'éboulement des roches du toit d'un ouvrage souterrain (Cas Du niveau 1105m de la mine souterraine de Boukhadra)", Géotechnique, U.TEBESSA-2006
- Colas.G, Pilot.G, (1976) . " Description et classification des glissements de terrain ".
- B. Hubertet G. Philipponnat, (2003). " Fondations et ouvrages en terre ". Ed. Eyrolles .Paris
- Cours de Mr .GADRI Laarbi " Géotechnique " Master I .
- https://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/mouvements-de-terrain.php#:~:text=Les%20mouvements%20de%20terrain%20sont,d'origine%20naturelle%20ou%20anthropique.
- <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/effondrements-affaisements>
- cours de Mr . DERBAL Chems Eddine " Sécurité et environnement " Master I.