



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

Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté de Technologie  
Département des Mines et Géologie

# *Memoire de Fin d'Etudes*

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Option : Exploitation minière

Présenté par

**MERDOUD Amina**

**RADJALA Hamida**

Thème

***Réhabilitation et fermeture de la carrière  
de l'ENG sise à El Hachimia-Bouira-***

Soutenu le 30 /06/2016 devant le jury composé de:

Président : M<sup>r</sup>. SADOUNE

Examineur : M<sup>r</sup>. BOUKARM

Promoteur : M<sup>r</sup>. MAZARI M.

*Année universitaire: 2015-2016*



## **Remerciements**

*On désire adresser, un merci tout particulier, à notre promoteur Mr. MAZARI Messaoud, pour ses pertinents et judicieux conseils tout au long de notre travail.*

*Nos sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire.*

*Par la même occasion, on exprime nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à Mr. BELILI Nordine, ingénieur d'état au niveau de l'unité ENG d'El Hachimia pour l'ensemble des données qu'il a mis à notre disposition.*

*Nos remerciements s'adressent aussi, à Monsieur le Directeur de l'entreprise national des granulats, Mr. LARBI BENHORA Djamel et le personnel de l'unité d'El Hadjeb.*

*Nous remercions chaleureusement tous les enseignants du département des mines et géologie de l'université Abderrahmane Mira, Bejaia.*

*Enfin, nous présentons toute notre gratitude à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicace

*Je dédis ce modeste travail,*

*A celle qui m'a donné ma vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.*

*A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, que dieu les garde et les protège.*

*A mes adorables sœurs : MAISSA et KENZA ma sœur chérie qui a toujours été à mes côtés dans le meilleur et le pire.*

*A mon frère : MOHAMED.*

*A mes grand-mères : FATIMA et MELKHIR.*

*A mes amies plus précisément : ZINA, CHAFIKA, KARIMA et MAHEDJOUBA.*

*A tous ceux qui ont contribué à réaliser ce mémoire et m'ont aidé dans mon travail.*

*FATIMA*



# *Dédicace*

*Je dédis ce modeste travail,*

*A celle qui m'a donné ma vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.*

*A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, que dieu les garde et les protège.*

*A mes adorables sœurs : SABRINA, LYDIA et NAWAL ma sœur chérie qui a toujours été à mes côtés dans le meilleur et le pire.*

*A mes frères : HAMID, MUSTAPHA, SAMIR et MOHAMED.*

*A mes chères nièces : RIA et DANIA.*

*A ma grand-mère : MESSAOUDA.*

*A mes amies plus précisément : AMINA, CHAFIKA, KARIMA et MAHEDJOUBA.*

*A tous ceux qui ont contribué à réaliser ce mémoire et m'ont aidé dans mon travail.*

*HAMIDA*



## **Abréviations**

ENG : Entreprise national des granulats.

RQD : Rock Quality Designation.

RMR : Rock Mass Rating.

GSI: Geological Strength Index.

SMR: Slop mass rating.

$\rho$  : masse volumique.

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : situation géographique de la zone d'étude .....	3
<b>Figure I.2</b> : la précipitation et la température dans la wilaya de Bouira (2013).....	7
<b>Figure II.1</b> : poussiere due au tir de mine dans la carriere El Hadjeb.....	11
<b>Figure III.1</b> : Structure d'un massif rocheux .....	21
<b>Figure III.2</b> : Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux.....	24
<b>Figure III.3</b> : Schistosité .....	25
<b>Figure III.4</b> : Exemple d'une faille (site de St-Didier) .....	25
<b>Figure III.5</b> : exemples de diaclases .....	26
<b>Figure III.6</b> : Les plis .....	27
<b>Figure III.7</b> : Une carotte .....	28
<b>Figure III.8</b> : Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR .....	30
<b>Figure III.9</b> : Quelques processus élémentaires de rupture de talus .....	37
<b>Figure III.10</b> : coulée de boue.....	38
<b>Figure III.11</b> : ecroulement.....	38
<b>Figure III.9</b> : exemple de fluage .....	39
<b>Figure IV.1</b> : la relation entre la hauteur de gradin et le diamètre du trou.....	45
<b>Figure IV.2</b> : géométrie et terminologie du plan de tir .....	47
<b>Figure IV. 3</b> : schéman d'amorçage pour le premier tir.....	60
<b>Figure IV.4</b> : schéma d'amorçage pour le deuxième tir.....	60
<b>Figure V.1</b> : La disposition en carre est simple à mettre en œuvre .....	71
<b>Figure V.2</b> : La disposition en quinconce est celle qui permet à la lumière de bien circuler	72
<b>Figure V.3</b> : partie I du plan final .....	76
<b>Figure V.4</b> : partie II du plan final .....	76
<b>Figure V.5</b> : partie III du plan final .....	77
<b>Figure V.6</b> : partie IV du plan final.....	77

---

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Evaluation des impacts prévisibles directs et indirects à court moyen et long terme dans la carrière d'El Hadjeb .....	14
<b>Tableau III.1</b> : Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux.....	29
<b>Tableau III.2</b> : plage de variation des paramètres prises en compte dans le calcul de Q. ....	33
<b>Tableau IV.1</b> : Caractéristiques techniques de la marmanit .....	46
<b>Tableau IV.2</b> : Dimensions et conditionnement de la marmanit .....	47
<b>Tableau IV.3</b> : La valeur du facteur de contrainte en fonction de l'inclinaison du trou.....	49
<b>Tableau IV.4</b> : valeurs des paramètres pour les calculs .....	52
<b>Tableau IV.5</b> : calculs et résultats pour une hauteur de 16 m (gradin de 21m) .....	52
<b>Tableau IV.6</b> : calculs et résultats pour une hauteur de 10 m (gradin de 21 m) .....	53
<b>Tableau IV.7</b> : calculs et résultats pour une hauteur de 5 m(gradin de 21 m) .....	54
<b>Tableau IV.8</b> : calcul et résultats pour une hauteur de 10 m (gradin de 15 m).....	55
<b>Tableau IV.9</b> : calcul et résultats pour une hauteur de 5 m (gradin de 15 m).....	56
<b>Tableau IV.10</b> : calculs et résultats pour une hauteur de 6.00 m (gradin de 12 m) .....	57
<b>Tableau IV.11</b> : calculs et résultats pour une hauteur de 4.5 m (gradin de 9 m) .....	58

---

---

liste des tableaux .....	i
Liste des figures .....	ii
liste des abréviations .....	iii

### Chapitre I : Géologie de gisement

I.1. Introduction .....	2
I.2. Situation géographique .....	2
I.3. Géologie régionale .....	3
I.3.1. Le trias .....	3
I.3.2. Le jurassique .....	3
I.3.2.1. Jurassique inférieur .....	3
I.3.2.2. Jurassique supérieur .....	4
I.3.3. Le crétacé .....	4
I.3.4. Néogène .....	4
I.3.4.1. Miocène .....	4
I.3.4.2. Pliocène .....	4
I.3.5. Quaternaire .....	4
I.4. Géologie locale .....	4
I.5. Réseau hydrographique.....	5
I.6. Climat .....	6
I.6.1. Les précipitations .....	6
I.6.2. Les températures .....	6
I.6.3. Fréquence et force des vents .....	7
I.7. Agriculture .....	7

### Chapitre II : effet des activités minières sur l'environnement

II.1. Introduction.....	8
II.2. Effet de l'exploitation sur l'environnement.....	8
II.2.1. Bruit.....	8
II.2.2. Les vibrations .....	9

II.2.2.1.	Les problèmes liés aux phénomènes vibratoires.....	9
II.2.2.2.	Les ouvrages sensibles aux vibrations .....	9
II.2.2.3.	Caractérisation .....	9
II.2.3.	La poussière.....	9
II.2.3.1.	Propriétés des poussières .....	10
II.2.3.2.	Classification des poussières .....	10
II.2.3.3.	Sources de poussières .....	11
II.2.3.4.	Conséquences de l'impact lié aux poussières.....	11
II.3.	Effet sur le milieu physique .....	12
II.3.1.	Effet des travaux d'extraction sur l'eau .....	12
II.3.2.	Effet des travaux d'extraction sur l'atmosphère .....	12
II.3.3.	Effet des travaux d'extraction sur le sol.....	12
II.3.4.	Autres effets .....	13
II.3.4.1.	Modification des habitats et impacts sur la faune.....	13
II.3.4.2.	Modification du paysage.....	13
II.4.	Que dit la réglementation environnementale ? .....	14
Conclusion.....		17

### Chapitre III : caractérisation du massif rocheux

III.1.	Introduction.....	18
III.2.	Etude de la stabilité des pentes .....	18
III.3.	Facteurs influençant la stabilité des pentes.....	19
III.4.	Facteurs influençant la stabilité dans le domaine minier .....	20
III.4.1.	La hauteur des gradins.....	20
III.4.2.	La nature des terrains .....	20
III.4.3.	L'eau souterraine.....	20
III.4.4.	La méthode et les phases d'exploitation .....	20
III.4.5.	La géométrie.....	21
III.5.	Caractéristiques du massif rocheux .....	21
III.6.	Description des discontinuités .....	22
III.6.1.	Propriétés géométriques des discontinuités.....	22

III.6.2.	Types de discontinuités .....	24
III.6.3.	Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux .....	27
III.7.	Systèmes de classification des massifs rocheux .....	27
III.7.1.	Systèmes du RQD (Rock Quality Designation) .....	28
III.7.1.1.	Principe de calcul du RQD .....	28
III.7.2.	Le Rock Mass Rating (RMR).....	29
III.7.2.1.	Classification du massif d' El Hadjeb selon le RMR .....	31
III.7.3.	Le Q-system .....	32
III.7.4.	Le Geological Strength Index (GSI) .....	33
III.8.	classification des mouvements de terrain .....	34
III.8.1.	Types d'instabilités .....	34
III.8.1.1.	Les glissements .....	34
III.8.1.3.	Les écroulements .....	38
III.8.1.4.	Le fluage .....	39
Conclusion.....		39

#### Chapitre IV : stabilisation des fronts de taille

IV.1.	Introduction.....	40
IV.2.	Moyens de stabiliser fronts de taille .....	40
IV.2.1.	Technique d'abattage adapté pour ce type de travaux.....	40
IV.2.1.1.	Minimiser les dégâts infligés aux talus restant en place .....	41
IV.2.1.2.	L'abattage amorti.....	41
IV.2.1.3.	Le pré-découpage.....	42
IV.2.1.4.	Le post-découpage (abattage à paroi lisse) .....	42
IV.2.2.	A la reprise du front de taille.....	42
IV.2.3.	Gestion - Entretien — Sécurité des abords .....	43
IV.2.4.	L'insertion dans l'environnement.....	44
IV.3.	Dimensionnement d'un schéma de tir.....	44
IV.3.1.	Diamètre des trous.....	45
IV.3.2.	La foration .....	46
IV.3.3.	Choix de l'explosif.....	46

---

IV.3.4. Les détonateurs.....	47
IV.3.4.1. Détonateurs instantanés .....	47
IV.3.4.2. Détonateurs micro-retards.....	47
IV.3.5. Les règles de Langefors.....	48
IV.3.5.1. Banquette maximale par la méthode de LANGEFORS (Bmax) .....	48
IV.3.5.2. Rapport écartement sur banquette E/B .....	50
IV.3.5.3. Correction du fait de la déviation des trous de mines.....	50
IV.3.5.4. Détermination de la longueur de foration « Lf » .....	50
IV.3.5.5. La hauteur de la charge de pied (Lp) .....	51
IV.3.5.6. Charge linéaire du fond (cp) .....	51
IV.3.5.7. Quantité d'explosif au pied du gradin (Qp).....	51
IV.3.5.8. La hauteur du bourrage (Hb) .....	51
IV.3.5.9. La hauteur de la charge de colonne (lc).....	51
IV.3.5.10. Charge linéaire de colonne (cc) .....	51
IV.3.5.11. Quantité d'explosif en colonne (Q <sub>c</sub> ).....	51
IV.3.5.12. Quantité de charge d'explosifs dans un trou (Q <sub>tot</sub> ).....	51
IV.3.5.13. Espacement (E).....	52
IV.3.5.14. Consommation spécifique d'explosif (qs).....	52
IV.4. Calcul des paramètres de plan de tir par la méthode de Langefors .....	52
IV.4.1. Méthode de travail.....	52
IV.4.2. Résultats obtenus.....	52
IV.4.2.1. Gradin de 21 m .....	52
IV.4.2.2. Gradin de 15m .....	55
IV.4.2.3. Gradin de 12 m .....	57
IV.4.2.4. Gradin de 9m .....	58
IV.5. La séquence d'amorçage.....	59
Conclusion.....	61

## chapitre V: préparation de surface et boisement

V.1. Introduction.....	62
V.2. Restitution des carrières au milieu naturel et création de zones écologiques .....	62

---

V.2.1.	Restitution au milieu naturel .....	62
V.2.2.	Création d'une zone écologique .....	62
V.3.	Réaménagement à des fins agricoles .....	64
V.3.1.	La revégétalisation .....	64
V.4.	Précautions en matière de terrassements de la découverte .....	65
V.4.1.	Modalités techniques de réalisation .....	65
V.5.	Terrassement .....	65
V.6.	Reconstitution des sols.....	66
V.7.	Préparation du site et du trou de plantation .....	66
V.8.	Répartition de la culture de l'olivier en Algérie .....	68
V.9.	Les exigences de vie des oliviers .....	68
V.9.1.	Le climat.....	68
V.9.1.1.	La température .....	68
V.9.1.2.	Pluviométrie.....	69
V.9.1.3.	L'humidité .....	69
V.9.2.	Altitude.....	69
V.9.3.	Sol.....	69
V.10.	Les exigences culturales .....	70
V.10.1.	Le travail du sol.....	70
V.10.2.	Les amendements .....	70
V.10.3.	L'irrigation d'appoint.....	70
V.10.4.	les traitements phytosanitaires .....	70
V.11.	La densité de plantation des oliviers .....	71
V.12.	Le plan de plantation.....	72
V.13.	Calcul des volumes de remblai .....	72
V.13.1.	Calcul de volume total.....	72
V.13.2.	Calcul de volume de la terre vegetale .....	73
V.13.3.	Calcul de volume de la couche d'argile .....	73
V.13.4.	Calcul de volume de sterile .....	73

---

V.14.	Le nombre d'arbre a planté dans la partie réhabilité.....	74
V.15.	Estimation des coûts des besoins de l'entreprise pour la réhabilitation .....	74
V.15.1.	Le coût total des oliviers .....	74
V.15.2.	Le coût total de stérile .....	74
V.15.3.	Coût total de la terre végétale.....	75
V.15.4.	Le Coût total de l'argile .....	75
V.16.	Modelisation 2D du plan final de rehabilitation .....	75
V.17.	Modelisation 3D du plan final de rehabilitation .....	76
	Conclusion .....	78
	Conclusion générale .....	79
	Références bibliographiques	
	Annexes	

## Introduction générale

L'unité d'El Hachimia est l'une des plus grandes unités de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG), sa production en matériaux de construction (granulats) s'élève à plus d'un million de tonnes par an. Elle couvre une superficie de plusieurs kilomètres carrés dans la région centre d'Algérie (W. Bouira).

Vu que les réserves exploitables restantes de l'ancien site (El Hadjeb) sont en voie d'épuisement, l'entreprise doit procéder à la réhabilitation de la carrière.

Le projet de réhabilitation de la zone exploitée consistera à reconstituer des terres agricoles après la restauration d'une topographie adéquate, avec une faible pente, pour se raccorder aux terrains environnants.

Ce mémoire a pour objet, la réhabilitation de la carrière El Hadjeb, le processus de réhabilitation commence en premier lieu par, d'une part, de connaître les impacts des exploitations minière sur l'environnement et leurs alentours, afin d'avoir lutté contre ces impacts et régularisés les lieux. Et d'autre part, caractérisé le massif rocheux résultant d'exploitation et des tirs de mine.

Les plans de réhabilitation et de fermeture doivent tenir compte des facteurs suivants :

- la mise en sécurité des fronts de taille,
- le nettoyage de l'ensemble des terrains et, d'une manière générale, la suppression de toutes les structures n'ayant pas d'utilité après la remise en état du site,
- l'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage, compte tenu de la vocation ultérieure du site.

Le chapitre quatre, qui est porté sur le choix du mode de stabilisation. Dans ce qui suit, on traite la qualité des espèces végétales adéquate pour le climat dans la région exploitée et pour les objectifs de l'entreprise. Pour ce faire une recherche bibliographique a été effectuée afin de choisir le procédé favorable et efficace pour une parfaite réhabilitation de la carrière.

Le dernier chapitre est porté sur les plans de réhabilitation de la carrière El-Hadjeb.

## **I.1. Introduction**

Dans toute étude des projets miniers, la description géologique est une étape primordiale sur laquelle repose la caractérisation des massifs rocheux et les autres études thématiques. Le but est de caractériser les roches qui seront traversées de par leur nature et leur âge. En premier lieu elle permet de définir :

- Les étages géologiques (classification du sous sol en fonction de son origine et de son âge) ;
- La lithologie (description en fonction de la nature du terrain) ;
- La tectonique (présence de plissements, failles, érosions).

En deuxième lieu elle permet de proposer un modèle géologique relativement simple, compte tenu des données disponibles.

## **I.2. Situation géographique [17]**

La zone d'étude est située à la wilaya de Bouira dans la partie centrale du Nord de l'Algérie. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Boumerdes et Tizi-Ouzou, au Sud par celle de M'Sila, à l'Ouest par celle de Blida et Média et à l'Est par celle de Bejaia et Sétif.

Le gisement d'El Hadjeb est situé à 19 km au sud de chef-lieu de la wilaya de Bouira, à 3 km au Sud-Est de la route de wilaya n°127 reliant Bouira à Sour El Ghozlane et à 7 km au Nord-est du village El-Hachimia.

Le gisement d'El-Hadjeb est situé à une altitude varie entre 740 m et 815 m.



**Figure III.1** : situation géographique de la zone d'étude.

### **I.3. Géologie régionale [17]**

Le territoire de la zone d'étude constitue la porte vers les hauts plateaux qui servent de zone intermédiaire entre l'Atlas Saharien au Sud et le plissement Tellien au Nord.

Ce sont les dépôts triasiques, jurassiques, crétacés, néogènes et quaternaire qui prennent part à la constitution géologique régionale dont la description se fait de bas en haut :

#### **I.3.1. Le trias**

Il a une extension limitée à l'Est du territoire (au Sud-est de Sour El Ghozlane), il est représenté par des argiles, quartzites et grès quartzeux renferment du gypse.

#### **I.3.2. Le jurassique**

##### **I.3.2.1. Jurassique inférieur:**

Il constitue la chaîne du Djurdjura, la coupe offre deux complexes lithologiques :

- Le complexe inférieur (plies en bachien) constitué de calcaires argileux à quartz et à marnes.
- Le complexe supérieur (toarcien) constitué par des marnes et des calcaires.

### **I.3.2.2. Jurassique supérieur**

Il est représenté par :

- **Le callovien** : Constitue par des grès, des aleurolithes et des argiles.
- **L'oxfordien**: La coupe offre trois niveaux :
  - L'inferieur : formé par des calcaires, des aleurithes et des argiles ;
  - Le moyen : formé par des calcaires ;
  - Le supérieur : formé par des grès, des argiles, des dolomies et des aleurolithes.

A l'exception des grès sous-jacents, les dépôts des niveaux supérieur et moyen se rattachent à la formation des argiles de Saida.

- **Le kimméridgien** : Il est constitué par des dolomies et des grès.

### **I.3.3. Le crétacé**

Le crétacé est représenté par des dépôts marins représentés par une alternance de marnes grises, de grès gris foncé, de calcaires et localement par des schistes argileux et de gypse.

### **I.3.4. Néogène**

#### **I.3.4.1. Miocène**

Il est forme par des conglomérats, des grès, des argiles, des calcaires, et des sables.

#### **I.3.4.2. Pliocène**

Ses dépôts sont largement développés dans la région étudiée. Il est représenté par des conglomérats, des roches calcaires (croute calcaire) constituées de carbonates de calcium avec un mélange de matériau sableux et caillouteux.

### **I.3.5. Quaternaire**

Ses dépôts sont développés principalement dans les vallées des oueds, des ruisseaux et sur les plaines, ils sont représentés par des formations alluviales telles que les limons argileux et sableux, des sables argileux, des galets et des conglomérats.

## **I.4. Géologie locale [17]**

L'étude géologique du gisement a mis en évidence les formations suivantes :

- Une couche de calcaire dit « principale » (puissance 40-45 m) datée en Cénomaniens, avec une intercalation de calcaire marneux (3-4 m) de couleur gris à gris foncé, massif en blanc de 10-30 m.

- Une couche de calcaire principale (puissance 40-45 m) daté en Vraconien, dur, massif, de couleur gris foncé, micritique en blanc de 5 à 8 cm constitue de très petits grains cryptocristallins de calcite. Cette puissante couche de calcaire est extrêmement résistante à l'altération, et constitue une espèce de chapeau sur les sommets et les flancs Nord des collines. Les limites de calcaire sont très nettes, surtout dans les affleurements.
- Une couche des marnes inférieures (puissance de 20-30 cm) daté albien supérieur, c'est une alternance dure, micro-granulaire. Par suite de l'altération, ces sédiments sont devenus relativement tendre.
- Le gisement est divisé en deux compartiments dû à la présence de deux failles longitudinales :
  - Nord, qui est relativement plus élevé par conséquent en moitié déjà dénudé.
  - Sud, strictement abaissé, mais qui quand même dresse dans le relief un chaînon de calcaire, le pendage général varie entre 5 et 20 °vers NNW ou NNE.
- Le projet initial a prévu uniquement l'exploitation d'une partie du gisement étudié (partie Ouest du gisement), à cause de la tectonique compliquée.
- Les niveaux d'exploitation arrêtés sont : 785, 770, 755, et 740.

### **I.5. Réseau hydrographique [17]**

La région d'étude est morcelée par un réseau de petits oueds (Oued Zaiane, Oued Sbissed, Oued Ekhal, Oued Sahel), ruisseau et leurs ramifications. En hiver, ils sont transformés en torrents boueux qui provoquent une forte érosion dans les séries argileuses.

Les ressources hydriques à l'échelle de la wilaya sont représentées par trois barrages, Oued Lakhel (30106 m<sup>3</sup>) Koudiet Asserdoune (240106m<sup>3</sup>), Oued Seflet (70106 m<sup>3</sup>) et par 24 retenues collinaires à capacité de 3100 m<sup>3</sup>.

Dans les limites de la carrière le réseau hydrographique est représenté par quelques cours d'eau à caractère temporaire qui coule pendant l'hiver et tarisse en été.

## **I.6. Climat [14]**

### **I.6.1. Les précipitations**

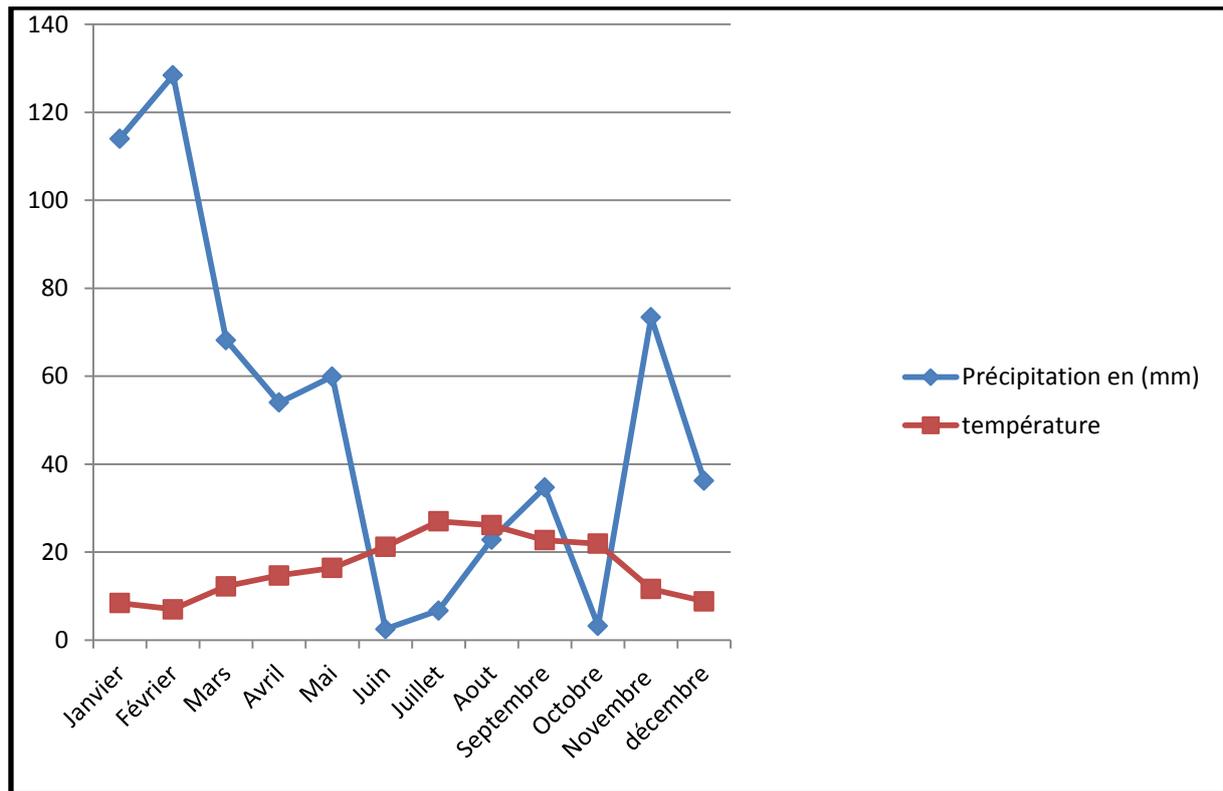
La wilaya de Bouira se caractérise par une pluviométrie favorable notamment dans la partie Nord (Atlas Blidéen et versant sud de Djurdjura) et une assez importante partie de la chaîne des Bibans où la précipitation moyenne est de 400/550 mm/an et de 300mm/an dans la partie sud. Sur les sommets de Djurdjura, les précipitations peuvent dépasser les 1000mm/an. Dans la dépression centrale, les précipitations varient entre 400 et 600 mm/an. Les plus faibles volumes sont enregistrés dans la dépression sud bibanique, où elle n'atteint parfois que 200 mm à 300 mm/an (sud de la wilaya).

### **I.6.2. Les températures**

La wilaya présente un hiver rigoureux et un été chaud, avec des amplitudes annuelles fortes, atteignant respectivement variant entre 30.3 et 41.6°C de mai à septembre et de 19.0 à 23.9°C de janvier à mars.

Les températures moyennes mensuelles relevées au titre de l'année 2013, par certaines stations de la wilaya sont [14] :

- 7.0°C à 27.0°C à la station de Bouira.
- 8.5°C à 28.1°C à la station de M'chedallah.
- 19°C à 25°C à la station d'El-Esnam.



**Figure I.2 :** la précipitation et la température dans la wilaya de Bouira (2013). [14]

### I.6.3. Fréquence et force des vents [17]

La moyenne mensuelle de la fréquence des vents fait apparaître :

- Une dominante sud-ouest d'octobre à mars avec une tendance nord, maximale en décembre.
- Une dominante nord sud d'avril à septembre.

La vitesse moyenne mensuelle des vents oscille entre 2.5 m/sec et 5.2 m/sec.

### I.7. Agriculture [13]

La wilaya de Bouira est une wilaya a vocation agricole, vu l'étendue des terres arables et de la pluviométrie régionale relativement abondante. Les grandes vallées d'oueds sont plantées de maraichage et d'arbres fruitiers. Les contreforts du Djurdjura son plantés d'oliviers, d'amandes et des figuiers.

El-Hachimia est l'une des régions qui donne un bon rendement d'olivier, d'ailleurs une surface de 654 ha est plantée d'arbre d'olivier.

## **II.1. Introduction**

Comme toute activité industrielle, l'exploitation d'une carrière peut engendrer des impacts sur l'environnement. Ces impacts, différents pour chaque site, dépendent tout à la fois des caractéristiques de l'exploitation, du type de matériau exploité, de la topographie et de l'occupation des sols.

L'exploitation d'une mine à ciel ouvert a évidemment de nombreux impacts spécifiques qu'il est possible de séparer en fonction de l'environnement touché [5]:

- Physique (sol, eaux, air),
- Biologique (végétation, mammifère, faune aquatique, etc.),
- Humain (paysage, qualité de vie, économie, etc.).

Ces impacts sont caractérisés en fonction de quatre principaux paramètres l'étendue (ponctuelle, locale, régionale, nationale, etc.) [5]:

- La durée (temporaire, discontinue, permanente, etc.),
- L'intensité de l'impact (degré de modification du milieu),
- La probabilité (faible, moyenne, importante).

Dans ce chapitre on va présenter les impacts dû aux exploitations à ciel ouvert et leurs effets sur les différentes composantes de l'environnement. Et en fin, on va donner un aperçu sur la réglementation et leurs exigences en termes de protection de l'environnement.

## **II.2. Effet de l'exploitation sur l'environnement**

### **II.2.1. Bruit**

La nuisance la plus fortement ressentie par les riverains est le bruit engendré par l'activité minière.

On peut citer quelques sources de bruits [22]:

- Les installations de traitement, telle que la station de concassage ;
- L'abattage à l'explosif ;
- La foration des trous de mines ;
- Les moteurs des engins en circulation ;
- Les avertisseurs de recul des engins.

## **II.2.2. Les vibrations**

### **II.2.2.1. Les problèmes liés aux phénomènes vibratoires**

Les phénomènes de vibrations peuvent poser des problèmes d'une grande diversité en fonction de l'origine des vibrations, de la nature des constructions soumises à ces mêmes vibrations voire de la densité et de la sensibilité des populations vivant aux alentours.

### **II.2.2.2. Les ouvrages sensibles aux vibrations**

Lors des tirs de mines, les ouvrages pour lesquels des problèmes liés aux vibrations peuvent se présenter sous des formes diverses et variées. On pourra citer [16]

- Les maisons d'habitation
- Les grands immeubles
- Les ponts, les viaducs et passerelles
- Les tunnels routiers
- Les murs de soutènement
- Les barrages
- Les pylônes électriques
- Les talus ou falaises instables
- Les remblais....

### **II.2.2.3. Caractérisation**

A partir de toute explosion, une partie de l'énergie cédée au terrain (environ 10 à 20%) se propage sous forme d'une onde vibratoire. Elle se propage à la manière d'un tremblement de terre à des vitesses différentes selon le type d'onde et selon les propriétés élastiques du milieu. Le reste de l'énergie développée, sert à l'abattage du rocher. [16]

Dans notre cas la carrière d'El Hadjeb se trouve éloignée des habitations.

## **II.2.3. La poussière**

On désigne par "poussières" des particules pulvérulentes de toutes sortes répandues dans l'atmosphère et produites au cours d'opérations mécaniques divers (concassage, broyage, criblage, manutention de matériaux, foration, tir d'abattage, etc.). Elles se mettent en suspension dans l'air pendant une durée plus ou moins longue tout en se propageant selon

leurs caractéristiques physiques (formes, grosseurs, densités, etc.) et celles du milieu ambiant (vent, humidité, température, etc.)

### **II.2.3.1. Propriétés des poussières**

- Les propriétés physiques des poussières se caractérisent par leur vitesse de chute (notamment la capacité de suspension des plus fines).
- Les propriétés chimiques des poussières se résument essentiellement en l'inflammabilité, l'expansivité, la nocivité et la toxicité, d'où l'importance de connaître au préalable leurs constituants chimiques. [7]

### **II.2.3.2. Classification des poussières**

Il existe plusieurs classifications possibles pour les particules : selon les effets qu'elles induisent sur la santé, leurs caractéristiques physiques et chimiques ou suivant les méthodes utilisées pour les définir.

Cependant, elles sont communément réparties en fonction de leur taille. Dans cette optique, on les mesure en donnant le diamètre qu'aurait une sphère de comportement aérodynamique équivalent.

#### **II.2.3.2.a. Classification selon les critères de taille, de masse et de composition**

Les particules atmosphériques qui constituent un complexe de substances organiques et minérales, peuvent être grossièrement partagées en deux classes :

- **La fraction alvéolaire (<2,5µm)** : il s'agit de particules « fines » issues de la conversion à partir de la phase gazeuse ou effluents de combustion, ou de vapeurs organiques ou métalliques condensées.
- **La fraction trachéo-bronchiques et/ou extra-thoracique (>2,5µm)** : il s'agit de grosse particules provenant généralement des chaussées.

#### **II.2.3.2.b. Classification selon la vitesse de sédimentation**

On peut les classer en deux grandes catégories [2]:

- Les poussières sédimentables,
- Les particules en suspension totale (PTS).

### II.2.3.3. Sources de poussières

Toute carrière engendre forcément l'émission de poussière provenant des différentes phases de production. Les sources d'émission de poussières dans une carrière sont en général dues :

- à la foration des trous de mines et du tir à l'explosif ;
- au déplacement et à la circulation des engins de carrière ;
- à la station de concassage notamment les opérations de concassage et de criblage ;
- au stock des produits fins ;
- à la chute des blocs extraits le long du front de taille. [22]



**Figure II.1** : Poussière due au tir de mine dans la carrière El Hadjeb

### II.2.3.4. Conséquences de l'impact lié aux poussières

L'impact lié aux poussières a généralement les conséquences suivantes [7]:

- La pollution de l'air engendrant la détérioration de la qualité de la vie et un impact sur la santé publique;
- Un effet négatif sur la faune et la flore;
- Un effet négatif sur le paysage, le tourisme, les engins, etc.

## **II.3. Effet sur le milieu physique**

### **II.3.1. Effet des travaux d'extraction sur l'eau**

L'un des impacts probables est la modification de la quantité et de la qualité de l'eau disponible. Cet impact prend naissance au niveau de la fosse à ciel ouvert qui peut agir comme un piège hydraulique retenant ainsi les masses d'eau de surface ou des eaux souterraines. La modification de la topographie d'un terrain entraînée par l'exploitation d'une mine et /ou carrière à ciel ouvert peut influencer localement la forme des bassins versants, mais aussi se répercuter sur la répartition des eaux de surface et des eaux souterraines. La qualité de l'eau peut quant à elle être modifiée par deux principaux mécanismes [16]:

- Rejet de produits issus de l'étape de purification (au niveau du complexe industriel ou du parc à résidu) ;
- Lessivage des surfaces exploitées (possible acidification des eaux et enrichissement en matières en suspension, sulfates et métaux lourds), aussi appelé drainage minier acide.

### **II.3.2. Effet des travaux d'extraction sur l'atmosphère**

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certain élément peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation. Dans le cas des carrières à ciel ouvert, le déséquilibre de l'atmosphère est dû généralement aux [2]:

- Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif et le déplacement des engins de transport dans la carrière;
- Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'ignition spontanée de terrils et les échappements des engins.

### **II.3.3. Effet des travaux d'extraction sur le sol**

Un impact également très courant est la modification de la qualité des sols. Cela peut être dû au lessivage des métaux contenus dans les rejets miniers (empilement de minerai non concassé, halde à stérile, parc à résidu), à des déversements accidentels de produits toxiques (hydrocarbure, réactifs chimiques, etc.) ou encore à des dépôts de matières particulaires causés par la circulation de véhicules et l'utilisation de diverses machineries.

Aussi, l'exploitation d'une mine à ciel ouvert entraîne une augmentation de l'érosion issue de deux principales sources [16] :

- L'utilisation de la machinerie et de la circulation ;
- Le ruissellement des eaux entraîné par la suppression de la végétation.

### **II.3.4. Autres effets**

#### **II.3.4.1. Modification des habitats et impacts sur la faune**

Plusieurs interventions, se déroulant durant l'exploitation minière, affectent négativement les habitats et les espèces fauniques. D'abord, la construction de routes servant à acheminer le matériel et les employés, fragmente considérablement le territoire. Cette conséquence a pour effet de modifier des portions de territoire en plus petites et d'isoler certains fragments du territoire.

Ce morcellement peut altérer le déplacement des espèces entre les parcelles et même conduire au déclin de certaines d'entre elles. Parfois même les routes facilitent le déplacement des prédateurs qui peut menacer le maintien de certaines populations.

De plus, pour avoir accès au minerai et prévoir des sites d'entrepôts des résidus, une grande portion de terres doit être déboisée pour permettre la construction d'infrastructures. L'effet le plus direct sur la faune est le déplacement et la destruction des espèces fauniques du site d'exploitation et des lieux d'accumulation des déchets. Les espèces mobiles sont capables de se déplacer, mais les espèces plus sédentaires tels les invertébrés, les petits mammifères et reptiles sont plus sévèrement touchés. De plus, les perturbations attribuables à la déforestation et aux bruits de la machinerie affectent les sites de nidifications de certaines espèces d'oiseaux. [41]

#### **II.3.4.2. Modification du paysage**

Il est évident que l'extraction de la carrière entraînerait une transformation du paysage et un impact négatif de la surélévation naturelle des reliefs (altération de la morphologie et l'apparition des surfaces dévastées), produisant des impacts visuels tel que [2] :

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

- Le déboisement.

**Tableau II.1** : Evaluation des impacts prévisibles directs et indirects à court moyen et long terme.

	<b>Evaluation des impacts sur le sol</b>	<b>Evaluation du a l'émission de poussière et de bruit</b>	<b>Evaluation des impacts lies a l'utilisation des explosifs</b>
<b>Etendue géographique</b>	Limitée	Limitée	Moyenne
<b>durée</b>	Longue	Longue	Courte
<b>réversibilité</b>	Irréversible, il sera compensé	Réversible	Réversible
<b>Caractère écologique</b>	Ni sensible, ni exceptionnel	Ni sensible, ni exceptionnel	Modérément sensible
<b>Sensibilité Socio-économique</b>	Modérément	Non sensible	Modérément

#### **II.4. Que dit la réglementation environnementale ? [25]**

- Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, modifiée, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Vu la loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ;

**Art. 123.** Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières doit joindre à sa demande l'étude de faisabilité intégrant un plan de développement, d'exploitation du gisement, l'analyse économique et financière du projet, le chronogramme détaillé des travaux à réaliser, le plan de restauration et de remise en état des lieux et les mesures se rapportant à la phase de l'après-mine.

Le plan de restauration et de remise en état des lieux ,qui doit être révisé tous les cinq (5) ans, comporte toutes les actions et travaux de restauration et de remise en état des lieux et évalue les coûts correspondants.

L'autorité administrative compétente peut, à l'occasion de l'approbation de l'étude de faisabilité, exiger du demandeur du permis minier de fournir une garantie financière dont le montant ne peut dépasser les coûts estimés pour couvrir les opérations, actions et travaux de l'après-mine.

Le contenu et les modalités pour l'élaboration du plan de restauration et de remise en état des lieux sont précisés par voie réglementaire.

**Art. 124.** Outre les obligations définies par la législation et la réglementation en vigueur, le titulaire d'un permis minier est tenu notamment :

- De respecter les conditions techniques et réglementaires édictées en matière :
  - d'emploi des explosifs,
  - de sécurité, et d'hygiène,
  - **de protection de l'environnement,**
  - de protection du patrimoine végétal et animal,
  - de protection du patrimoine culturel,
  - d'écoulements d'eau et d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou pour les besoins de l'industrie,
  - de périmètres de protection,
- De procéder à la remise en état des lieux, et le cas échéant, arrêter avec l'autorité administrative compétente le coût estimé pour assurer les missions de contrôle et de prévention de l'après-mine, conformément aux dispositions des articles 48 et 123 ci-dessus ;

**Art. 125.** Le titulaire d'un permis minier est tenu, sous peine de suspension et/ou de retrait de son permis de :

- Remettre à l'agence nationale des activités minières, au plus tard six (6) mois avant la fin de tout permis minier, le plan actualisé de restauration et de remise en état des lieux ainsi que les actions à réaliser dans le cadre de la gestion de l'après-mine.

**Art. 126.** Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières, doit joindre à sa demande les études d'impact et de danger de l'activité minière sur l'environnement, accompagnées du plan de gestion de l'environnement et du plan de restauration et de remise en état des lieux.

Ces études sont soumises à l'examen et à l'approbation des autorités compétentes conformément à la réglementation en vigueur.

**Art. 127.** Le contenu de l'étude d'impact doit comporter, outre les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, ce qui suit :

- Les raisons pour lesquelles, notamment du point de vue des préoccupations relatives à la protection de l'environnement, l'option a été retenue dans le projet minier adopté, parmi celles envisagées ;
- La procédure pour le choix du mode d'exploitation.
- Les conditions techniques d'exploitation qui garantissent la stabilité et l'équilibre du milieu naturel ;
- Les mesures prises pour la remise en état graduelle des lieux pendant et après l'activité minière, ainsi que pour la prévention des risques miniers dans le cadre de l'après-mine, tenant compte de la santé et de la sécurité du public, du respect de l'intégrité écologique et des principes de développement durable.

L'étude d'impact sur l'environnement, réalisée par des bureaux d'études, des bureaux d'expertise ou des bureaux de consultations agréés, est soumise au ministre chargé de l'environnement, pour approbation.

**Art. 128.** Tout demandeur d'un permis d'exploration minière, d'un permis d'exploitation minière artisanale, ou d'un permis de ramassage, de collecte et/ou de récolte de substances minérales relevant du régime des carrières, doit joindre à sa demande une notice d'impact de l'activité minière sur l'environnement.

**Art. 141.** Les titulaires de permis d'exploitation minière sont tenus de constituer annuellement, avant détermination des résultats bruts, une provision pour restauration et remise en état des lieux ainsi que pour la prise en charge des risques, désordres et nuisances résiduels après la fin du permis minier.

Le taux de cette provision, déterminé par l'agence nationale des activités minières, est fixé, au maximum, à deux pour cent (2%) du chiffre d'affaires annuel hors taxes, en rapport avec le degré des nuisances et modifications susceptibles d'être apportés à l'état des lieux et à l'intégrité du site minier.

Cette provision doit obligatoirement être placée dans un compte de consignation, compte-séquestre, ouvert auprès du Trésor au nom du titulaire du permis minier.

Le montant de cette provision servira exclusivement à financer les travaux de restauration et de remise en état des lieux après exploitation ainsi que les missions et tâches de surveillance, de prévention et de prise en charge de l'après-mine.

La méthode de remise en état des lieux graduelle, coordonnée avec l'exploitation doit être privilégiée si aucune raison technique objective ne s'y oppose.

L'agence nationale des activités minières est chargée de contrôler la régularité de la constitution de cette provision et de son utilisation.

A la fin d'exploitation et après remise totale en l'état des lieux, le reliquat de provision est réintégré au résultat imposable du titulaire du permis minier.

Dans le cas où le montant de la provision constituée, s'avère insuffisant pour couvrir la totalité des coûts des travaux de restauration et de remise en l'état des lieux et ceux des mesures de surveillance et de prévention des risques miniers de l'après-mine, le titulaire du permis d'exploitation minière est tenu d'y pourvoir.

**Art. 151.** Tout exploitant qui ne procède pas à la restauration, la remise en état des lieux et la prise en charge de la phase après-mine conformément aux dispositions fixées par la présente loi et ses textes d'application, après injonction faite par l'agence nationale des activités minières, est puni d'un emprisonnement de six (6) mois à deux (2) ans et d'une amende de 1.000.000 à 3.000.000 de dinars.

## Conclusion

L'exploitation des carrières d'agrégat engendre des impacts sur l'environnement lors des différentes phases du processus d'exploitation, ils se diffèrent généralement par la source, le milieu touché et l'étendue de l'exploitation.

Généralement les impacts d'une mine et/ou carrière à ciel ouvert sont : les vibrations, la poussière, les projections des roches et le bruit. Ces impacts ont un effet sur : le milieu physique, la faune et les habitats.

Dans ce chapitre nous avons présenté les impacts existant et possible d'endommagée le milieu naturel, on a constaté qu'il faut mettre fin aux émissions des poussières parvenue de la station de concassage et celle due au déplacement des engins dans la carrière afin de permettre la réhabilitation et au bonne conduite des travaux de re-végétation du site d'El-Hadjeb.

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

La stabilité des talus reste une des questions principales qui se pose lors de l'exploitation des gisements à ciel ouvert. Elle a une importance capitale dans le design des ouvrages miniers proprement dit (gradins, piste d'accès...). En effet toute rupture de talus conduit à des pertes économiques catastrophiques et parfois de vies humaines.

Avant tout projet minier à C.O une étude de stabilité des talus en fin d'exploitation est recommandée pour prévenir tout risque de rupture en définissant l'angle de talus du gradin ainsi que celui de la pente intégratrice du talus générale de la carrière.

Dans ce chapitre on va traiter essentiellement les massifs rocheux, les discontinuités et les différents types d'instabilités qui existent dans une mine et/ou carrière à ciel ouvert.

### **III.2. Etude de la stabilité des pentes**

On appelle stabilité la capacité des roches de rester en place durant longtemps lorsque la surface est dégagée. Suivant le degré de la stabilité, les minerais et les roches encaissantes se répartissent en groupes suivants :

- Roches instables (sables friables);
- mi-stables (argiles, argiles sableuse);
- Stables (calcaires et grés fissurés);
- Extra-stable (granites, basaltes et d'autres roches dures).

La stabilité des bords des carrières et des talus des gradins est une des conditions principales de la sécurité des travaux miniers à ciel ouvert.

La stabilité s'exprime par l'angle de talus naturel ( $\alpha$ ) dont les valeurs varient de 45 à 70° suivant la nature des roches. Cet angle se forme par la surface libre de la masse minière foisonnée avec le niveau horizontal. L'angle de talus naturel dépend de l'aspérité des grains, de leur teneur en eau, de la granulométrie et de la forme, ainsi que de la masse volumique des roches. L'angle ( $\alpha$ ) augmente avec l'accroissement de la teneur en eau jusqu'à une certaine limite (par exemple pour les charbons jusqu'à 14%), ainsi que avec l'augmentation de la granulométrie et de l'aspérité des roches.

D'après les angles de talus naturel, on détermine les angles maximaux admissibles des gradins et des bords des carrières, des terrils, ... etc. [15]

### **III.3. Facteurs influençant la stabilité des pentes**

L'analyse des processus de déformation dans les mines à ciel ouvert doit tenir compte de l'influence commune des facteurs naturels et techniques. On peut subdiviser les facteurs naturels en trois groupes [35] :

- Géographiques et climatiques : relief du site, régime des précipitations, régime des températures, conditions spécifiques du gel-dégel ;
- géologiques : lithologie du massif, conditions tectoniques, spécificités structurales et texturales des roches et du massif, propriétés mécaniques des roches, etc.;
- hydrogéologiques : eaux superficielles qui traversent le territoire de l'exploitation ou se situent à proximité, eaux souterraines dans le massif, présence d'eau dans les contacts entre les roches ou dans les discontinuités tectoniques etc.

Parmi les facteurs techniques on peut citer la géométrie de la mine et des stériles, les angles de talus de la mine et des stériles, la méthode d'excavation et de l'abattage de la roche, la structure de la mécanisation des travaux, la présence à proximité de la mine d'excavations souterraines, les méthodes et les paramètres de pompage, etc.

D'un point de vue général, les massifs rocheux peuvent être considérés à la fois comme des objets géologiques et des objets mécaniques. L'étude de la stabilité des massifs rocheux nécessite d'avoir des connaissances relatives à la géologie structurale et à la mécanique des roches. [35]

Sur le plan géologique on observe une grande diversité des massifs rocheux en fonction de [35] :

- la nature de la matrice rocheuse et ses caractéristiques pétrographiques et mécaniques ;
- les discontinuités à toutes les échelles et de tous types, affectant le massif ;
- la variabilité dans l'espace du couple matrice rocheuse/discontinuités.

### **III.4. Facteurs influençant la stabilité dans le domaine minier**

Dans les mines à ciel ouvert les facteurs influençant la stabilité des talus sont [11] :

#### **III.4.1. La hauteur des gradins**

La hauteur des gradins influe considérablement sur la stabilité des talus. Plus la hauteur du gradin est grande, plus son angle de pente sera faible.

#### **III.4.2. La nature des terrains**

La nature des terrains est un paramètre très important dont il faut tenir compte dans une étude de stabilité. Il s'agit principalement d'étudier la structure du massif et des caractéristiques physico-mécaniques du terrain.

En ce qui concerne les caractéristiques physico-mécaniques :

- Le paramètre physique pris en compte lors du calcul de la stabilité est le poids volumique des terrains en place ;
- Le paramètre mécanique le plus important est sa résistance au cisaillement qui nous permet de mesurer les caractéristiques de cisaillement (cohésion et angle de frottement interne).

#### **III.4.3. L'eau souterraine**

L'eau joue un rôle très important dans la stabilité des talus. D'une manière générale, la présence d'eau dans un terrain abaisse le coefficient de sécurité.

#### **III.4.4. La méthode et les phases d'exploitation**

La modification de l'état des contraintes dans un massif rocheux suite aux travaux d'exploitation peut entraîner une diminution de la résistance au cisaillement qui peut conduire à des ruptures. Le calcul de stabilité des gradins doit aussi tenir compte des surcharges ponctuelles dues aux engins d'exploitation.

#### **III.4.5. La géométrie**

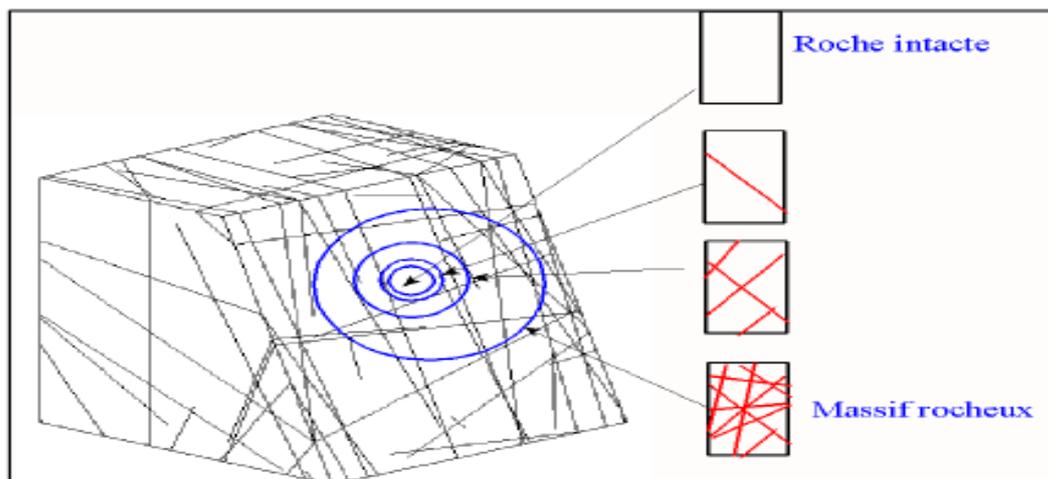
La concavité ou la convexité des bords de talus a une influence sur la valeur réelle du coefficient de sécurité. Dans le cas où le bord de fosse est concave, la valeur de  $F_s$  est sous-estimée ; dans le cas contraire, elle est surestimée par rapport à la réalité.

### III.5. Caractéristiques du massif rocheux

Le massif rocheux est un objet géologique et mécanique très complexe et diversifié, si bien que pour le caractériser il faut connaître un certain nombre de composants de cet objet.

Généralement, on peut définir les massifs rocheux comme des milieux hétérogènes, anisotropes, discontinus et de faible porosité. Les massifs rocheux sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrices rocheuses lesquels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de joints stratigraphiques. En règle générale, on considère la succession suivante [8] :

- Minéraux, considérés comme éléments de base, postulés non-affectés de discontinuités;
- Matériaux rocheux constitués de minéraux séparés par des micros discontinuités;
- Massifs rocheux constitués de matériaux rocheux séparés par les macros discontinuités.
- Les caractéristiques d'un matériau à une échelle donnée dépendent de celles des constituants et de celles des discontinuités.



**Figure III.1** : Structure d'un massif rocheux [43].

## **III.6. Description des discontinuités**

### **III.6.1. Propriétés géométriques des discontinuités**

Dans cette section nous passons en revue les principales caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux tel qu'illustré la figure (III.2) [24] :

#### **III.6.1.1. Orientation**

L'orientation d'une discontinuité est définie par la direction de pendage et le pendage. La direction du pendage est l'orientation de la droite ayant la pente la plus raide dans le plan de la discontinuité et le pendage est l'angle que cette droite fait avec le plan horizontal.

#### **III.6.1.2. Espacement**

C'est la distance entre les intersections de deux discontinuités adjacentes, mesurée le long d'une traverse. La fréquence est quant à elle définie comme étant le nombre de discontinuités interceptées le long d'une ligne d'échantillonnage (traverse) de longueur unitaire. La méthode la plus adéquate afin d'estimer la fréquence des discontinuités est d'inverser la valeur d'espacement obtenue le long d'une ligne échantillonnage.

#### **III.6.1.3. Persistance**

C'est la mesure de la longueur continue ou de la surface d'une discontinuité. La longueur des traces des discontinuités est la seule quantification possible de la dimension des discontinuités sur le terrain.

#### **III.6.1.4. Rugosité**

La rugosité d'une surface de discontinuité est souvent un élément important en matière de résistance au cisaillement, en particulier là où la discontinuité est sans déplacement et imbriquée. La rugosité devient moins importante lorsque la discontinuité est remplie.

#### **III.6.1.5. Résistance des épontes**

La résistance de la roche formant les parois des discontinuités influence la résistance au cisaillement des surfaces rugueuses. Lorsque des contraintes élevées, par rapport à

la résistance des épontes, sont générées à des points de contact locaux durant le cisaillement, les aspérités seront broyées ou cisillées et conduiront à une réduction de la composante relative à la rugosité de l'angle de frottement.

#### **III.6.1.6. Désagrégation**

La désagrégation contribue à la réduction de la résistance de cisaillement des discontinuités et du massif rocheux.

#### **III.6.1.7. Ouverture**

C'est la distance perpendiculaire séparant deux épontes adjacentes d'une discontinuité ouverte.

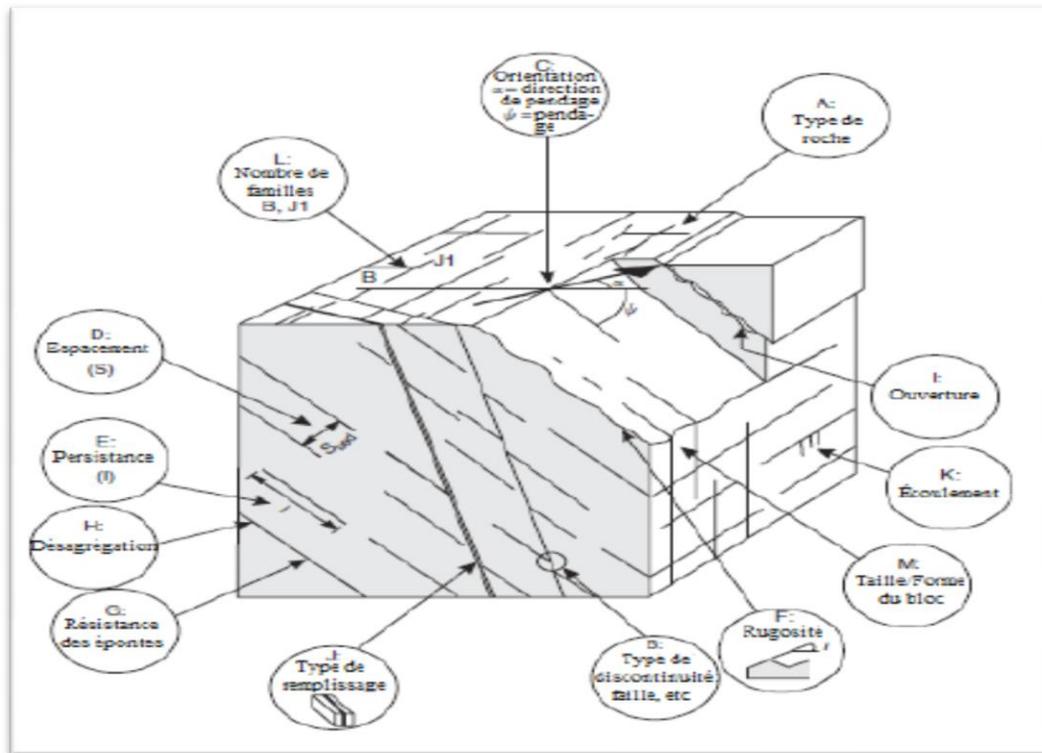
#### **III.6.1.8. Type de remplissage**

C'est le matériau séparant les épontes adjacentes d'une discontinuité.

#### **III.6.1.9. Écoulement**

L'emplacement de l'infiltration de discontinuités fournit des informations sur l'ouverture parce que le débit des eaux souterraines se concentre presque entièrement dans les discontinuités (perméabilité secondaire).

Nombre de familles de discontinuités : Une famille de discontinuités consiste en un ensemble de discontinuités parallèles ou subparallèles.



**Figure III.2:** Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux. [43]

### III.6.2. Types de discontinuités

Les principales discontinuités présentes dans les massifs rocheux sont :

#### III.6.2.1. Joints de stratification

Ils sont plus ou moins réguliers séparant les strates. Ils créent une interface de deux matériaux rocheux et ces derniers peuvent être soulignés comme de minces dépôts argileux ou schisteux favorisant le glissement. [40]

#### III.6.2.2. Schistosité

Elle résulte de la réorientation des minéraux constitutifs dans une direction perpendiculaire à celle des contraintes de compression auxquelles le massif a été soumis. [40]



**Figure III.3** : Schistosité [35]

### III.6.2.3. Failles (fractures)

Ce sont des surfaces de rupture générées par les effets de cisaillement issus des contraintes de compression (failles inverses ou normales selon l'orientation des contraintes principales ...) ou par traction. Le déplacement des lèvres de la rupture (le rejet) peut avoir une amplitude nulle ou atteindre plusieurs kilomètres.

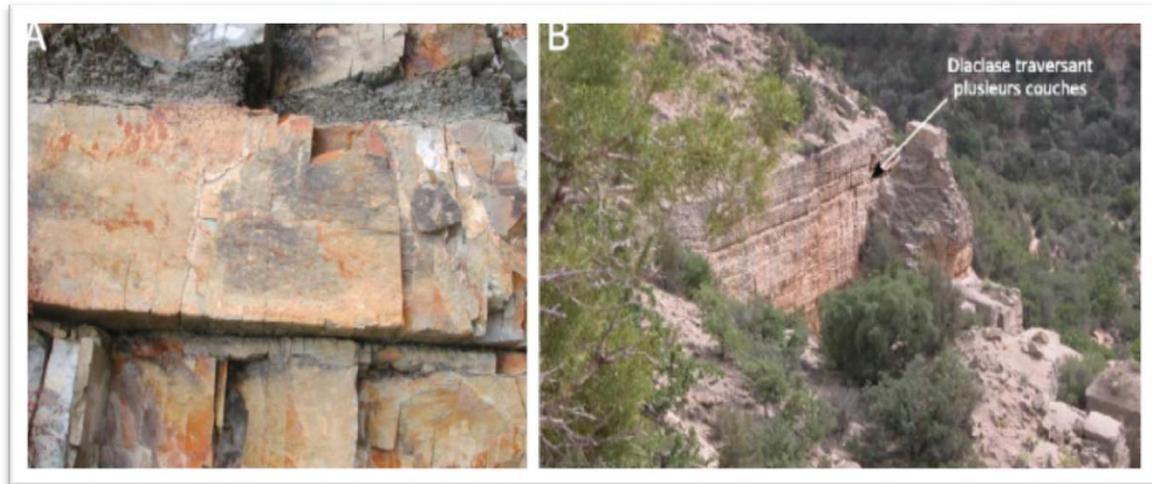
Il est évident que la genèse de la faille va dépendre d'état de fracturation des épontes (masses rocheuses de part et d'autre de la fracture). Les plans de faille sont souvent marqués de stries indiquant le sens du mouvement et facilitant un rejeu de la faille dans cette direction. [40]



**Figure III.4** : Exemple d'une faille (site de St-Didier). [37]

### III.6.2.4. Diaclases

Une diaclase est une structure tridimensionnelle, composée de deux lèvres qui sont globalement complémentaires à l'échelle de la fracture. Les surfaces de ces lèvres sont couramment idéalisées comme étant lisses, continues et planaire.



**Figure III.5 :** A) Diaclases dans une strate calco-marneuse limitée par des couches de marnes, B) Diaclase d'extension verticale plurimétrique traversant plusieurs couches calcaires.

Cependant, toutes les diaclases affichent de la rugosité à petite échelle, des discontinuités et des courbures ou des angles occasionnels (**voir section III.5**).

Généralement perpendiculaire au banc, l'extension verticale de la diaclase apparaît être dépendant de l'épaisseur et des propriétés mécaniques des couches limitrophes et de la nature du contact à l'interface. Ainsi il est habituellement observé que les diaclases présentes au sein d'une strate fragile (calcaire, grès par ex.) comprise entre deux couches marneuses d'épaisseur semblables sont confinées à l'épaisseur de cette strate (III.5.A). La strate constitue alors l'unité mécanique. Au contraire un fort couplage entre strates de nature similaires semble être propice à une propagation verticale au-delà de la taille d'une strate (III.5.B). [10]

### III.6.2.5. Les plis

Les plis sont le résultat de la flexion d'une strate rocheuse sous l'effet d'une force tectonique ou d'un mouvement. [43]



**Figure III.6 :** Les plis [43].

### III.6.3. Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux [43]

Les discontinuités ont une grande influence sur le comportement des massifs rocheux, elles peuvent :

- Couper la roche en plaques, blocs et coins (libres de tomber et de bouger) ;
- Agir comme plan de faiblesse pour le glissement ;
- Faciliter l'écoulement d'eau et créer des réseaux d'écoulement ;
- Entraîner de grandes déformations ;
- Changer la distribution et l'orientation des contraintes.

### III.7. Systèmes de classification des massifs rocheux

Il existe 16 systèmes de classification des massifs rocheux qui ont été développés pour leur utilisation en génie civil et minier, et ce, en se basant, en grande partie, sur la fissuration et le comportement mécanique de ces massifs. Malgré que ces systèmes soient largement utilisés en ingénierie, leur habilité à considérer la résistance anisotropique et l'effet d'échelle demeure limitée [27].

Les systèmes le plus utilisés sont :

- RQD (Rock Quality Designation) d'après Deere (1968);

- RMR (Rock Mass Rating) d'après Bieniawski (1989);
- GSI (Geological Strength Index) d'après Hoek- Brown (1995);
- Q Barton (1974) ;
- SMR (slop mass rating) d'après Romana (1985).

### III.7.1. Systèmes du RQD (Rock Quality Designation)

Proposé par DEERE en 1964 et obtenu à partir de carotte de forage géologique, c'est un indice représentant l'évaluation du pourcentage des carottes récupérées sur une longueur de course précise. [12]

#### III.7.1.1. Principe de calcul du RQD

Basé sur un procédé qualitatif, seule la somme des longueurs de morceaux de plus de 10 cm (4 pouces) est conservée. Cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit :

$$RQD = \frac{\sum L_i > 10cm}{L_t}$$

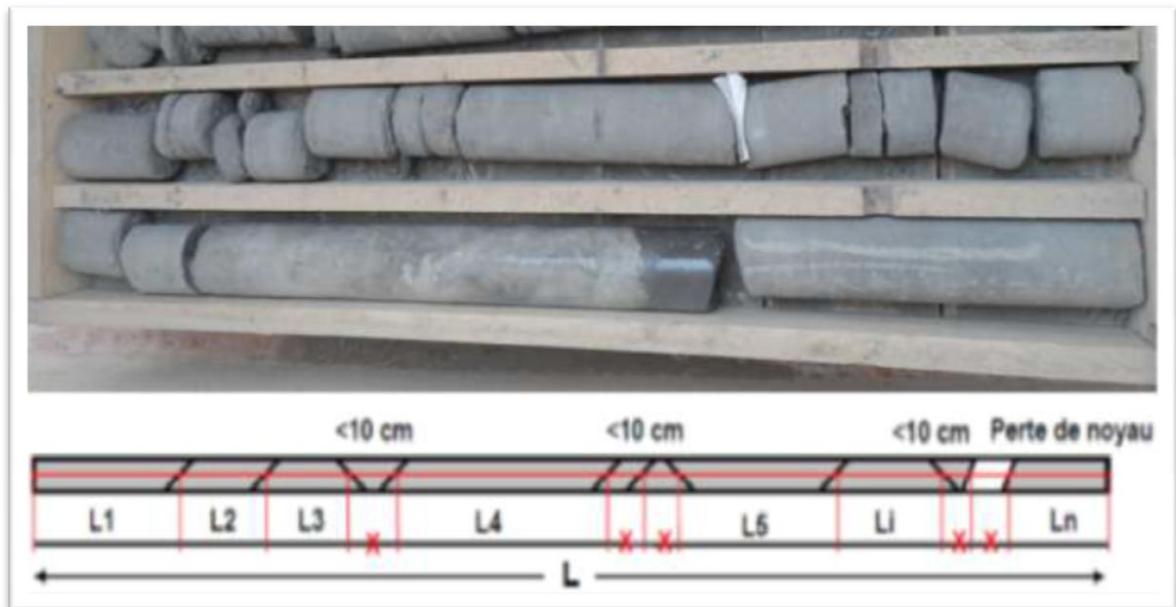


Figure III.7 : Une carotte [42].

Tout calcul du RQD doit être réalisé selon différentes longueurs de course de carotte de forage afin de séparer les différents plans de sédimentations, zones de faiblesse, des structures locales, ...etc. [12]

La relation entre la valeur du RQD et la qualité du massif peut être établie selon la proposition de Deere en 1988. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.1** : Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux [Deere D U, 1988].

RQD (%)	Qualité des roches
<25	Très médiocre
25-50	Médiocre
50-75	Moyenne
75-90	Bonne
90-100	Excellente

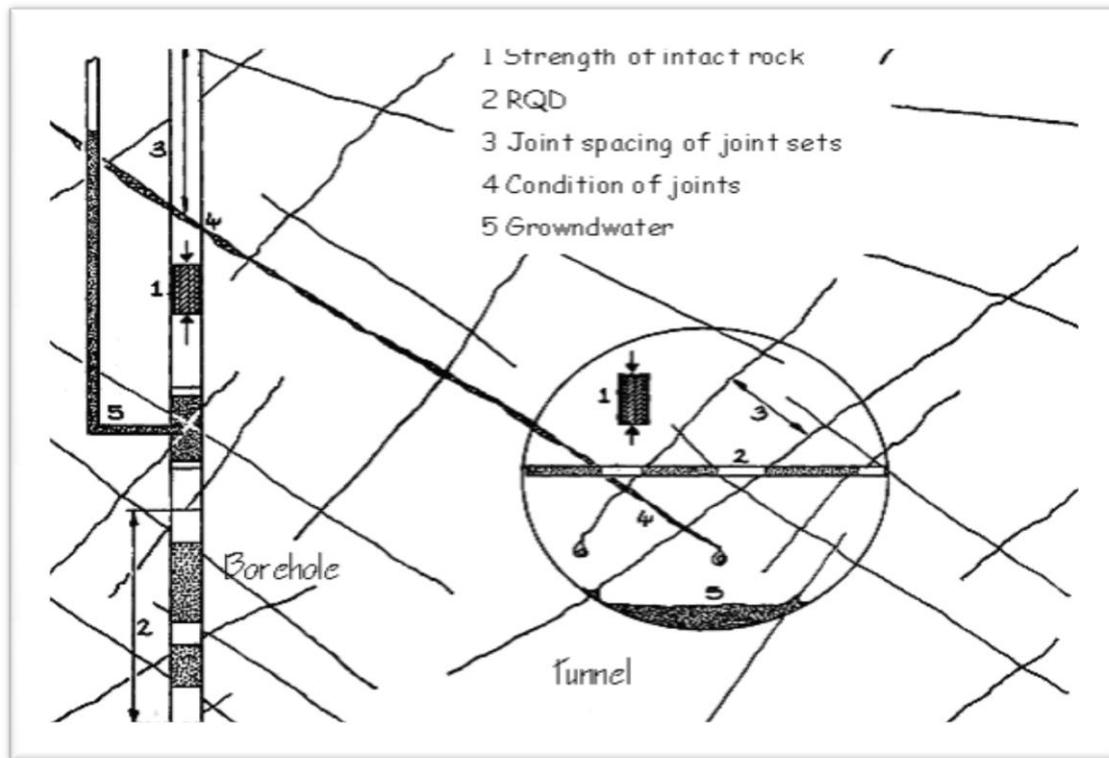
L'indice fonctionne adéquatement pour différentes techniques de forage ou différentes grandeurs de diamètre de forage, à moins que cette technique cause une perte considérable du taux de récupération de la carotte ou cause des brisures mécaniques excessives [12]

### III.7.2. Le Rock Mass Rating (RMR)

Cette classification a été développée par Bieniawski[1973] au South African Council of Scientific and Industrial Research (SACSIR). Elle est basée sur l'étude de quelques centaines de tunnels creusés principalement dans des roches sédimentaires à profondeur modérée. L'utilisation de cette classification nécessite de diviser au préalable le site en régions homogènes d'un point de vue de structures géologiques.

Chaque région est classifiée séparément.

Le *RMR* résulte de la somme de cinq notes de caractérisation (de  $A_1$  à  $A_5$ ) et d'une note d'ajustement). Ces paramètres sont illustrés sur la figure (III.8). [11]



**Figure III.8 :** Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR.[11]

La somme de ces notes attribue une valeur comprise entre 0 et 100 au massif. Cette valeur utilise à plus de 70% la fracturation et elle accorde 15% d'influence aux propriétés de la matrice rocheuse et 15% à la présence d'eau.

Quant à la signification des indices du *RMR*, ils sont définis comme suit. [11]:

- A1 (Strength of intact rock material) : la résistance à la compression simple de la matrice rocheuse est obtenue, soit par procédure d'écrasement d'un échantillon, soit par procédure de chargement ponctuel (note : de 0 à 15) ;
- A2 (Rock Quality Designation RQD, Deer [1964]): il caractérise la qualité des carottes de sondage en calculant le rapport entre la longueur cumulée des carottes supérieures à dix centimètres et la longueur totale considérée (note : de 3 à 20) ;
- A3 (Spacing of discontinuities) : dans le cas de plusieurs familles de fractures le minimum des notes attribuées à l'espacement des fractures est considéré (note : de 5 à 20) ;

- A4 (Conditions of discontinuities) : cet indice caractérise l'extension, l'ouverture, la rugosité, le matériau de remplissage et l'altération des épontes des discontinuités (note : de 0 à 30) ;
- A5 (Ground water conditions) : Il est en rapport avec les conditions hydrogéologiques et consiste à réaliser des mesures de flux d'eau ou de pressions interstitielles des joints (note : de 0 à 15) ;
- B (Adjustement for joint orientation) : c'est un facteur correctif qui est en rapport avec l'effet de l'azimut et du pendage des familles de discontinuités sur la stabilité de l'ouvrage (note : de -12 à 12 pour les tunnels, de -25 à 0 pour les fondations et de -60 à 0 pour les talus).

La somme des cinq premiers indices caractérise le RMR de base. Quant aux travaux souterrains, il faut ajouter l'effet du facteur correctif (Bieniawski [1989]). Le RMR<sub>89</sub> s'écrit alors :

$$\text{RMR}_{89} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + B$$

Cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni la rugosité des fractures et l'angle de frottement du matériau de remplissage ; les roches gonflantes n'y sont pas non plus traitées. L'application de cette classification est limitée aux cas de massifs dont la matrice a une bonne résistance et dont le comportement est régi par les discontinuités.[11]

### III.7.2.1. Classification du massif d' El Hadjeb selon le RMR

On se basant sur le tableau en annexe et selon les caractéristiques de notre massif on a trouvé les valeurs suivantes :

$$R_c = 95.62 \text{ MPa}$$

A partir des observations de notre massif

$$\text{RQD} = 30\%$$

$$A_2 = 8$$

$$A_3 = 8$$

$$A_4 = 25$$

$$A_5 = 10$$

$$\text{RMR} = 7 + 8 + 8 + 25 + 10$$

$$\text{RMR} = 58$$

Après la consultation du tableau présenté en annexe on peut dire que le rocher est moyennement fracturé.

### III.7.3. Le Q-system

Développée par le Norwegian Geotechnical Institute (NGI), cette classification a été établie pour prévoir le soutènement des excavations exécutées dans des terrains à contrainte horizontale élevée (Barton et al. [1974]). Elle est caractérisée par un indice de qualité Q variant entre 0.001 pour un massif très mauvais et 1000 pour un massif très bon. Dans la pratique, cet indice est réduit entre 0.005 et 50.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

RQD (Rock quality Designation, caractérise la qualité des carottes de sondage.

- $J_n$  (Joint set number) représente le nombre de familles de discontinuités.
- $J_r$  (Joint roughness number) représente la rugosité des épontes de la famille de discontinuité la plus défavorable en terme d'orientation.
- $J_a$  (Joint alteration number) caractérise l'état d'altération des discontinuités.
- $J_w$  (Joint water reduction) est un facteur de réduction dû à la présence de l'eau dans les joints.
- SRF (Stress Reduction Factor) est un facteur de réduction des contraintes dans le massif.

D'une façon globale,  $RQD/J_n$  représente l'effet de la taille des blocs,  $J_r/J_a$  caractérise la qualité mécanique de contact entre les blocs en cisaillement et  $J_w/SRF$  décrit l'état initial du massif par rapport à l'eau et aux contraintes. Dans cette classification, l'évaluation de Q dépend de l'état des contraintes dans le massif et des paramètres non intrinsèques de la matrice rocheuse.

La contribution directe de la résistance mécanique de la matrice rocheuse est absente. En outre l'orientation des joints n'apparaît pas dans cette classification. [19]

La variation des paramètres existant dans Q est indiquée dans le tableau (III.2)

**Tableau III.2** : Plage de variation des paramètres prises en compte dans le calcul de Q [11]

Paramètres	Conditions les plus défavorables	Conditions les plus favorables	Plage de variation (rapport maximal)
<b>RQD</b>	10	100	100
<b>Jn</b>	20	0.5	40
<b>Jr</b>	0.5	4	8
<b>Ja</b>	20	0.75	27
<b>Jw</b>	0.05	1	20
<b>SRF</b>	20*	0.5	40

\* Des valeurs beaucoup plus fortes, allant jusqu'à 400, ont été proposées pour des conditions très exceptionnelles d'ouvrages à grande profondeur avec risques de décompressions violentes immédiates.

Bieniawski [1976] a été le premier à proposer des corrélations empiriques entre le RMR et le Q-system [11]:

$$\text{RMR} = 9 \log Q + 44$$

#### III.7.4. Le Geological Strength Index (GSI)

Introduit par Hoek et al. [1995] puis amélioré par Hoek et Brown [1997], le Geological Strength Index ne présente pas une classification géomécanique en soi. Cependant, il constitue un lien entre le *RMR (Q-system)* et la détermination des paramètres de déformabilité et de résistance des massifs rocheux.

Afin d'estimer le GSI, il est nécessaire de calculer le  $\text{RMR}'$  et le  $Q'$  qui sont des valeurs modifiées de RMR et de Q. Le  $\text{RMR}'$  est calculé en retenant une valeur 15 pour le coefficient relatif à l'eau ( $A_5$ ) et une valeur nulle pour le coefficient de correction relatif à l'orientation des discontinuités (B).

$$\text{RMR}' = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + 15$$

De même,  $Q'$  se calcule en ne tenant pas compte de l'état initial du massif par rapport à l'eau et aux contraintes ( $J_w/\text{SRF}$ ).

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a}$$

Ayant calculé RMR' et Q' le GSI se détermine comme suit :

$$GSI = RMR_{89} - 5 \text{ si } RMR_{89} > 23$$

$$GSI = 9(\log Q' + 44) \text{ si } RMR_{89} \leq 23$$

L'estimation du *GSI* s'appuie sur une observation directe de la structure du massif rocheux à partir d'un examen de la qualité de la masse rocheuse in situ .

Cet indice varie entre 5 et 85. Par définition, les valeurs proches de 5 correspondent à des matériaux de très mauvaise qualité, tandis que les valeurs proches de 85 décrivent des matériaux d'excellente qualité. [11]

### III.8. Classification des mouvements de terrain

#### III.8.1. Types d'instabilités

La variété des systèmes de classification des instabilités de parois rocheuses révèle la complexité des phénomènes.  $dm^3$

On peut répartir les instabilités en classes huit fonctions du volume total de matériaux et de la taille des éléments mobilisés lors de l'éroulement.

- chutes de pierres : petit nombre d'éléments de volumes unitaires inférieurs à quelques ;
- chutes de blocs : petit nombre d'éléments de volumes unitaires atteignant quelques  $m^3$  ;
- éboulements en masse de volumes de plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de  $m^3$  .

On peut aussi classer les instabilités d'après leurs mécanismes et cinématiques de mouvements. [40]

##### III.8.1.1. Les glissements

Ils se caractérisent par la translation latérale d'une certaine masse de matériaux au niveau d'une surface de rupture nettement individualisée et se produisent

généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles..). Les glissements sont les mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier. [4]

#### **III.8.1.1.a. Principales causes des glissements**

Plusieurs facteurs contribuent au déclenchement des glissements, les plus importants étant :

- **la nature des terrains** : les terrains argileux sont prédisposés aux glissements.
- **l'action de l'eau** : l'eau est dans la plupart des cas la cause principale dans la mise en mouvement des terrains.
- **les causes mécaniques externes** : citons parmi les causes mécaniques externes, le terrassement au pied du talus, les entailles effectuées dans les talus stables, toute surcharge naturelle ou artificielle déposée sur une pente, les vibrations naturelles (séismes) ou artificielles (explosion, machines ou engins roulants ...). [4]

#### **III.8.1.1.b. Description des modes de rupture**

Selon la forme de la surface de rupture, on distingue trois types de glissements :

- **Rupture plane**

Cette rupture se produit suivant un plan le long d'une discontinuité géologique majeure : faille, plan de stratification ou une famille de fissures parallèle au talus et présentant une inclinaison défavorable dans le sens du talus.

La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».

C'est l'un des modes de rupture le plus dangereux surtout lorsqu'il se produit le long d'une faille principale. Des volumes de roche importants peuvent être déplacés dans ce cas.

- **Rupture circulaire ou rotationnelle** : Cette rupture se produit dans un terrain homogène de faible résistance mécanique (faible cohésion). Le massif ne présentant pas de directions préférentielles de glissement, la

rupture se fait par cisaillement du terrain le long d'une loupe de glissement (ligne circulaire).

On distingue le glissement rotationnel simple et complexe (composé) :

- **Glissement rotationnel simple :**

Ce type de glissement est très fréquent. La surface de rupture a une forme simple et peut être assimilée à un cylindre. Dans un tel glissement, on distingue : au sommet des fissures de traction et un escarpement, correspondant au départ de la surface de glissement, et à la base un bourrelet formé par des matières glissées. Dans certains cas, la surface de rupture peut être assimilée à un cercle, d'où le nom de glissement circulaire.

Les terrains favorables à ce mode de rupture sont les sols, les remblais, les roches homogènes peu compétentes ainsi que les roches résistantes mais dont le niveau de fracturation leur confère des caractéristiques mécaniques en masse très faibles.

Ce mode de rupture est également très dangereux. Lorsque les conditions de stabilité ne sont pas satisfaites, des volumes de roche très élevés peuvent être déplacés.

- **Glissement rotationnel complexe :**

Ce type de glissement est rare. Il s'agit de glissements multiples emboîtés les uns dans les autres, dus souvent à la suppression de la butée provoquée par le glissement précédent, ce qui entraîne des glissements successifs remontant vers l'amont.

- **Rupture en dièdres :** Cette rupture se produit lorsque le terrain est découpé par une fracturation principale caractérisée par plusieurs orientations. Conjuguées avec l'orientation du talus, les fissures forment des blocs qui se trouvent dégagés par les surfaces libres du talus (gradins, banquettes) et qui sous l'effet des forces mises en jeu se détachent et chutent.

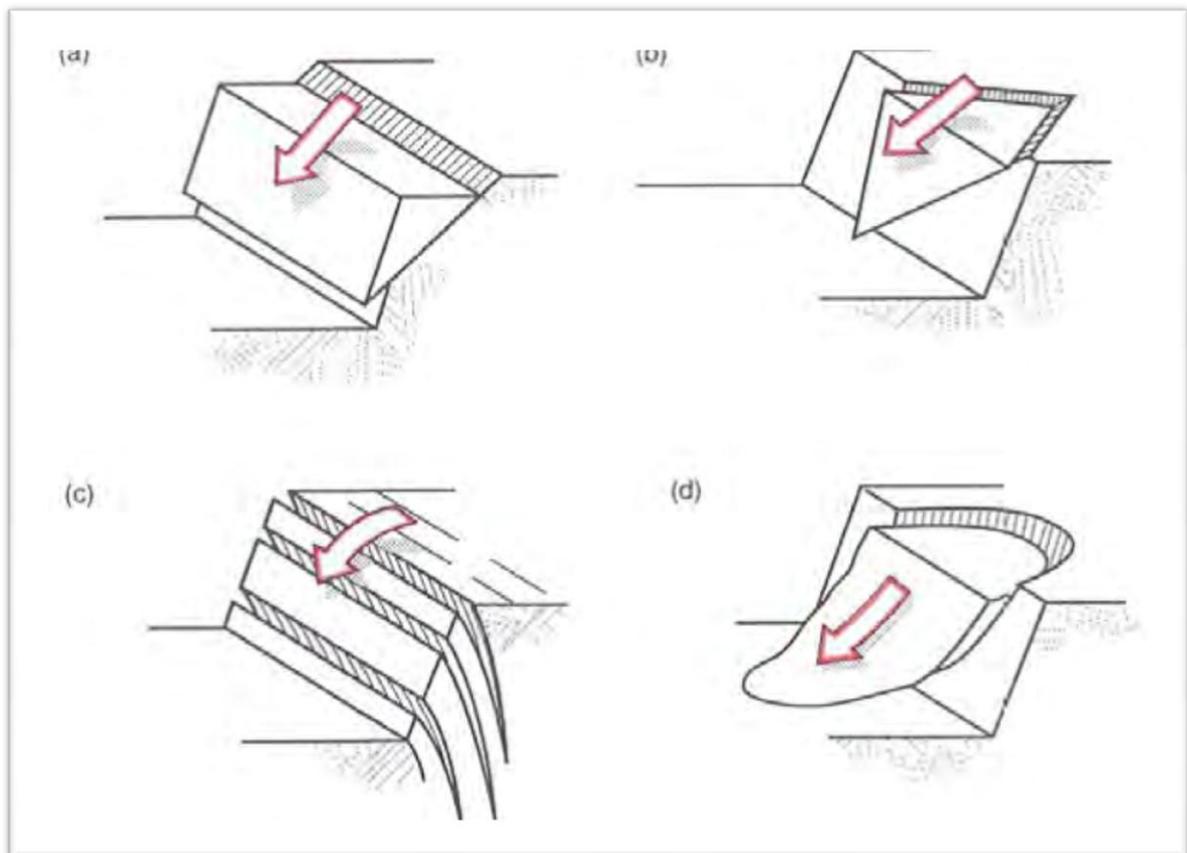
Ce mode de rupture est moins dangereux que les deux précédents. Il se produit généralement à une plus petite échelle (1 ou 2 gradins), mais il peut causer des dommages importants.

### ➤ Rupture par basculement

Ce mode de rupture est beaucoup plus rare que les 3 autres précédents. Il se produit lorsque le massif est découpé par une famille de fissures importantes qui présente les caractéristiques suivantes :

- orientation parallèle au talus ;
- fort pendage ;
- écartement réduit entre les fissures, ce qui conduit à la formation de plaques de faible épaisseur.

La rupture se produit par décollement des plaques et leur basculement. Une dégradation progressive des gradins pourrait conduire à l'instabilité du talus. [4]



**Figure III.9** : Quelques processus élémentaires de rupture de talus : (a) rupture plane, (b) rupture en dièdre, (c) rupture par basculement, (d) rupture circulaire [38].

### III.8.1.2. Les coulées

Elles se produisent à partir de matériel meuble, momentanément saturé en eau, prenant alors une consistance plus ou moins visqueuse, parfois proche de la fluidité. On distingue plusieurs types de coulées telle que : **coulées boueuses** (incluant coulée de blocs, de terre, de boue, lave torrentielle, avalanche de débris et se produisant surtout en montagne), coulées **de solifluxion** (déplacement lent des sols en milieu périglaciaire, résultant de l'instabilité de la partie dégelée du sol, en surface, au cours de l'été). [28]

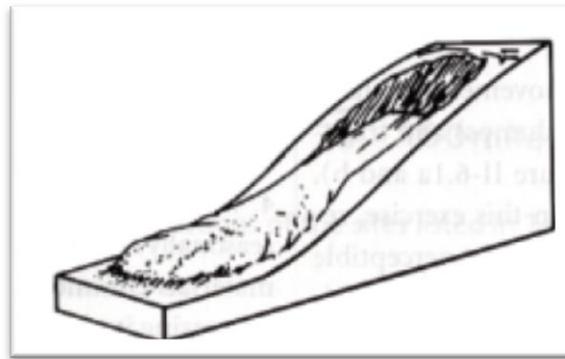


Figure III.10 : Coulée de boue

### III.8.1.3. Les écoulements

Ce sont des chutes soudaines de masses rocheuses. On utilise le terme de chute de pierres pour le détachement de quelques unités de volume inférieur à  $1 \text{ dm}^2$ , ou chute de blocs pour un volume supérieur. Le terme écoulement est utilisé quand il s'agit de la chute soudaine d'une masse rocheuse qui se détache d'une paroi en se désorganisant. [28]

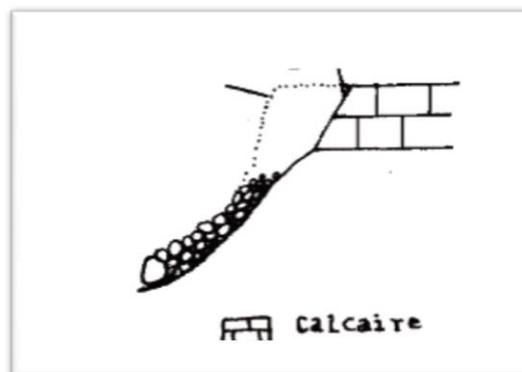


Figure III.11 : Ecoulement [28]

#### III.8.1.4. Le fluage

Il correspond à des mouvements lents, dus à des sollicitations proches de la rupture (domaine plastique). Dans l'exemple de la figure III.12, le banc de marne flue sous le poids de la falaise calcaire. Ceci peut provoquer une fissuration du banc calcaire peu déformable et un risque d'écroulement de la falaise. [28]

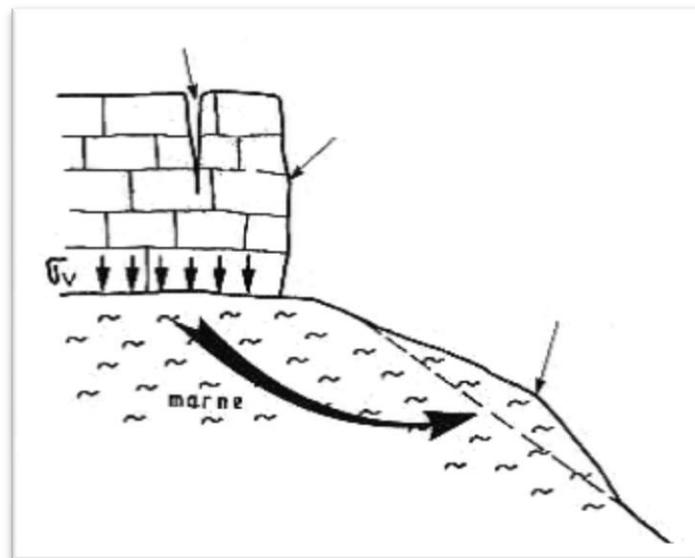


Figure III.12 : Exemple de fluage [28]

#### Conclusion

Le comportement mécanique des massifs rocheux dépend de la structure géométrique des discontinuités ainsi que de leurs propriétés et de celles de la matrice rocheuse.

Les systèmes de classification permettent de fournir des estimations quantitative et qualitative sur la situation du massif rocheux.

Les désordres sont moins fréquents dans les talus rocheux que dans les sols. Ils peuvent être cependant d'une grande ampleur et sont de manière générale beaucoup plus difficiles à maîtriser.

Les ruptures de masses rocheuses sont toujours liées à la présence de surfaces de discontinuité.

On distingue deux grands types de rupture dans les massifs rocheux : les écroulements et les glissements.

D'après les caractéristiques du massif El Hadjeb on a déduit que ce dernier est moyennement fracturé.

## **IV.1. Introduction**

La réhabilitation des mines et/ou carrières de roches massives est faite d'abord en fonction de l'objectif à atteindre (plans finale de l'avenir du site). Dans laquelle la sécurité doit en particulier être envisagée. Dans ce cadre, l'existence des fronts de taille et les risques d'instabilité à long terme seront pris en compte.

La recherche de moyens de traitement fait appel à toutes les techniques de reprise des fronts, de protection, qu'il faut adapter à chaque cas particulier.

Le choix de moyen de stabilisation tient compte des données liées au massif lui-même (la nature de la roche, la fracturation, l'altération, la structure...etc.) et celles qui dépendent des travaux exécutés, par exemple l'existence des gradins de grande hauteurs.

Dans ce chapitre on va expliquer le moyen de stabilisation qu'on a proposé pour la stabilisation des fronts et des bords des gradins de la carrière El-Hadjeb.

## **IV.2. Moyens de stabiliser les fronts de taille [6]**

La question qui se pose est comment, à partir des nouvelles données d'un site exploité, peut-on aboutir au résultat final sans pénaliser l'exploitation de la carrière?

Cette recherche fait appel à différentes techniques d'abattage, afin de mettre en sécurité les ouvrages existant dans la carrière objet de notre travail.

### **IV.2.1. Technique d'abattage adapté pour ce type de travaux**

En effet, la méthode et l'énergie déployées entraînent un état disloqué ou non du massif en arrière du front. L'abattage à l'explosif est un procédé de destruction contrôlée des massifs rocheux afin d'extraire du rocher fragmenté et/ou de réaliser une excavation selon une géométrie donnée. Le responsable de production est sans cesse placé devant les nécessités conflictuelles de produire les quantités requises de roches fragmentées (ou volume excavé) et de minimiser les dommages infligés au massif restant en place :

La production d'un tas de roche bien fragmentée et bien foisonnée convenablement disposé facilite les opérations de chargement et de reprise ainsi que le réemploi (direct ou après broyage) du matériau extrait ; l'absence de dommages dans le massif rocheux laissé en place en arrière du front (talus) assure la qualité des tirs et la stabilité du talus rocheux en limites d'excavation.

Un compromis raisonnable peut être obtenu si le responsable du minage a une saine compréhension des facteurs qui contrôlent la fragmentation et les dommages au massif, sans

négliger les incidences économiques des interactions des diverses étapes (foration, tirs, chargement, transport, aménagement et réaménagement).

Il faut libérer la quantité d'énergie explosive suffisante où il faut et quand il faut (la consommation spécifique et la séquence d'amorçage).

Le but est de faire prendre conscience des divers facteurs ,du sens de leur action et du poids qu'ils peuvent prendre dans certains massifs rocheux, certaines méthodes de tir ou certains contextes économiques .Lorsque le front de taille est proche de la limite d'exploitation ,la méthode d'abattage doit être aménagée afin d'atteindre outre l'objectif "extraction de matériau",l'objectif supplémentaire "réalisation d'une face stable".

Ce souci doit être prévu dès l'ouverture du gisement et au fur et à mesure de la progression des fronts en limites d'emprise .Cette démarche permet de minimiser les instabilités et fournira le cas échéant des conditions saines pour une reprise éventuelle de l'exploitation ou un réaménagement spécifique. [6]

#### **IV.2.1.1. Minimiser les dégâts infligés aux talus restant en place**

La première méthode est de réaliser des tirs d'abattage de la masse correctement dimensionnés et soigneusement contrôlés, afin que le minimum d'énergie explosive soit envoyé dans les talus, en pure perte de rendement, et y provoque des dégâts. En particulier, on optimisera les consommations d'explosifs et :

- on évitera les tirs bloqués,
- on assurera un dégagement correct des produits abattus en avant des tirs ainsi qu'un mouvement dans la direction des faces libres de la masse rocheuse par une bonne répartition des détonateurs,
- on limitera la charge instantanée par numéro de retard pour assurer un régime de détonation à faible niveau. [6]

#### **IV.2.1.2. L'abattage amorti [6]**

A l'approche de la ligne finale d'excavation, les plans de foration et de chargement du tir de masse sont modifiés sur les 3 à 5 dernières rangées : diamètre, banquette et espacement sont réduits de mesure ainsi que les charges instantanées sans que soit modifiée la consommation spécifique ,sauf pour la dernière rangée de trous vers le talus (dits trous "de coussin" ou trous "amortisseurs") qui sont mis à feu les derniers .La mise à feu a lieu avec le tir de masse ; la méthode n'introduit qu'un surcroît de foration.

### IV.2.1.3. Le pré-découpage

Tir particulier, mise à feu avant le tir de masse, il correspond à une rangée de trous faiblement espacés (la banquette étant quasi infinie), dont la mise à feu simultanée entraîne la formation d'une fissure courant d'un trou à l'autre. La réussite du tir impose une grande rigueur de mise en œuvre : le plan de foration très précis doit être soigneusement exécuté et contrôlé : les trous doivent être rigoureusement parallèles, équidistants et sur un même plan,

- le chargement des trous implique des charges faibles, bien réparties et très découpées; il doit être lui aussi bien contrôlé ;
- la mise à feu des trous d'une même ligne doit être simultanée.

Des modifications considérables peuvent être apportées à ces recommandations à la suite des essais dans des conditions de rocher et de massifs souvent très différents. [6]

### IV.2.1.4. Le post-découpage (abattage à paroi lisse)

La technique est très proche de celle du pré-découpage mais la ligne des trous limitant le talus est tirée après la mise à feu du tir de masse, soit au cours de la même séquence, soit au cours d'une séquence séparée. Dans ce dernier cas, le dégagement des produits abattus est généralement réalisé (et on parle alors plutôt de post-abattage ou abattage différé, d'autant plus s'il reste une certaine tranche à abattre).

Il est souvent nécessaire d'associer ces techniques [6] :

#### Exemples :

- une surface bien pré-découpée sera efficacement protégée par un tir d'abattage amorti à l'approche de cette surface associé au tir de masse, lui-même dimensionné correctement ;
- un post-abattage sera efficace si le massif dans lequel on le tente n'est pas déjà désorganisé par le tir de masse, d'où la nécessité d'un tir de masse bien contrôlé, associé le cas échéant à un abattage amorti à l'approche du talus provisoire, qui sera lui-même post-abattu.

## IV.2.2. A la reprise du front de taille

Les méthodes de confortation, d'adaptation, de parades, adaptées à chaque cas particulier. Une étude géotechnique est nécessaire pour reconnaître les paramètres d'instabilité. On retrouve le

plus souvent les problèmes habituels de stabilité de falaises pour lesquels est à disposition une série de parades variées.

On notera qu'un remodelage contrôlé à l'explosif selon les modalités décrites au chapitre 2 est toujours possible même en site sensible (proximité de l'habitat) et constitue souvent une solution efficace peu onéreuse. Ce remodelage permet d'obtenir une géométrie auto-stable.

Des méthodes de stabilisation par renforcement peuvent être mises en œuvre lorsqu'un tel remodelage n'est pas possible ou ne permet pas d'obtenir cette stabilité (à cause de la structure défavorable du massif par exemple). [6]

### **IV.2.3. Gestion - Entretien — Sécurité des abords**

Une carrière de roches massives réaménagée peut être très attractive. Compte tenu de la présence des fronts de taille verticaux, de fosses... il apparaît nécessaire de définir des aménagements pour assurer l'information et la sécurité des riverains ou des promeneurs. Leur densité, leur nature dépend cependant de l'affectation du site après extraction.

#### ➤ Mesure de sécurité générale

L'ensemble du site doit être clôturé en limite de propriété .Le type de clôture dépend de l'environnement mais elle doit être conçue pour ne pas être franchie facilement.

#### ➤ Les accès au site

Suivant le type de réaménagement, différents types d'accès pourront être proposés. A chaque entrée (elles seront réduites en nombre) il pourra être mis des barrages pour les véhicules, les motos...

#### ➤ La signalisation

Les panneaux sont classés d'après leur objectif.

- Information

S'il y a lieu, une carte d'itinéraire et d'accès peut être disposée à l'entrée du site sur panneau d'information qui comportera en outre toutes les informations utiles et en particulier des picto-gravures avertissant le danger représenté par la falaise.

- Direction et situation

Eventuellement, les cheminements doivent être fléchés et impérativement matérialisés si l'on ne veut pas que se créent rapidement des sentiers sauvages qui peuvent être dangereux.

- Danger

Des panneaux de rappel de dangers peuvent être disposés dans certains secteurs sensibles (panneaux miniatures normalisés).

➤ L'entretien

Les accès au fond de carrière (même en eau) doivent être maintenus car ils permettront l'accès des engins d'entretien. Les rampes raides seront traitées pour accès en tout temps.

#### IV.2.4. L'insertion dans l'environnement

Peut conduire à modifier la forme des fronts et dans certains cas à assurer la sécurité. Par exemple, si l'on dispose de stocks de stériles importants on peut être amené à les faire disparaître et à les utiliser, soit pour remodeler le pied des fronts, soit pour créer des merlons qui constituent des pièges pour les blocs qui pourraient tomber. . .

Dans d'autres cas, on peut lors du dernier abattage, adapter une pente de talus qui ne soit pas la verticale. [6]

#### IV.3. Dimensionnement d'un schéma de tir

Pour abattre un massif à l'explosif, on réalise un ensemble de trous de mines : les paramètres géométriques et les paramètres de chargement qui interviennent sont ainsi définis [9] :

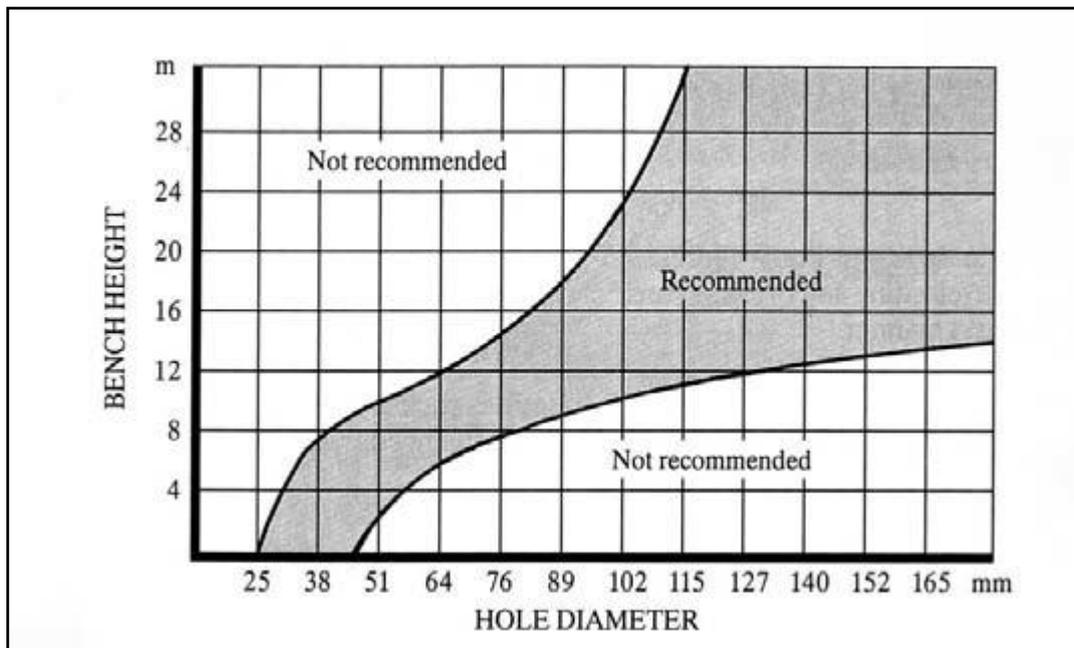
- la **plateforme**, zone sur laquelle évolue les engins, définit un plan nommé **carreau** ;
- le **front** est la surface libre qui va être abattue. Les paramètres essentiels du front sont sa hauteur (réglementairement limitée à 15 m), son inclinaison et sa régularité;
- les distances entre deux rangées (ou bien distance entre le front et la première rangée) doivent être égales ; on appelle cette distance **banquette** ;
- l'**espacement** est la distance entre deux trous d'une même rangée ;
- on désigne par **maille** le couple banquette-espacement ;
- l'**inclinaison** des trous par rapport à la verticale détermine la **longueur à forer** en fonction de la hauteur du front. La longueur de foration additionnelle par rapport au carreau est désignée par **surforation**;
- l'explosif placé en fond de trou est désigné par **charge de pied**, la **charge de colonne** étant la charge restante. De manière plus générale, on désigne par **pied** la partie inférieure du gradin, et par **tête** ou **colonne** sa partie supérieure ;
- un bourrage est un matériau inerte, placé soit entre deux charges (**bourrage intermédiaire**), soit en haut de trou (**bourrage terminal** ou **final**) ;

- la **séquence d'amorçage** est l'ordre dans lequel détonnent les différents détonateurs placés dans les mines.

### IV.3.1. Diamètre des trous

Les résultats des travaux de certains chercheurs montrent qu'avec l'augmentation du diamètre de sondage, le degré de fragmentation diminue.

Le diamètre du trou doit être choisi en fonction des objectifs du tir et des conditions d'abattage. Un diamètre de charge plus grand a pour conséquence une vitesse de détonation plus élevée et donc plus stable. Ceci favorise un rendement meilleur de l'énergie qui aide à la fragmentation du massif. Cependant, cela peut conduire aussi à une distribution moins efficace de la charge, due à une longueur de bourrage assez importante. En outre, dans le cas où le massif est assez fracturé, une grande maille, conséquence d'un diamètre plus grand, n'arrivera pas à effectuer la fragmentation désirée. [32]



**Figure IV.1** : la relation entre la hauteur de gradin et le diamètre du trou. [23]

La figure montre la relation existant entre le diamètre du trou et la hauteur du gradin. Pour une hauteur de 4 à 16 m, il est recommandé de prendre un diamètre entre 30/178mm.

Dans notre cas d'étude, le diamètre choisis pour la foration des trous est de l'ordre de 64mm pour les gradins de 4 à 6, et de l'ordre de 105 mm pour les gradins de 10 à 16 m

Pour les gradins de 10 à 15 m on a choisi la sondeuse de types DCR 20 (furukawa) qui a un diamètre de 105 mm (existé déjà a l'ENG).

### IV.3.2. La foration

Dans notre cas la foration se fait à trois rangées pour chaque tir dont la première et la deuxième ont même banquette et espacement tandis qu'ils sont réduits dans la troisième rangée.

### IV.3.3. Choix de l'explosif

Dans le but de stabiliser notre site il est exigé de choisir un bon explosif selon les paramètres suivants :

- les caractéristiques de la roche à abattre ;
- le diamètre du trou ;
- la disponibilité sur le marché ;
- la vitesse de détonation ;
- les objectifs à atteindre (le remblayage du site avec une pente légère).

D'après ces paramètres on a décidé de choisir l'explosif du type Marmanit I ;

La Marmanit est un explosif pulvérulent de couleur grise, constituée de nitrate d'ammonium et d'un explosif brisant comme le TNT. [33]

#### ➤ Utilisation

Utilisable dans les terrains secs ou faiblement humides et elle est adaptée aux terrains à roche tendre à mi-durs. [33]

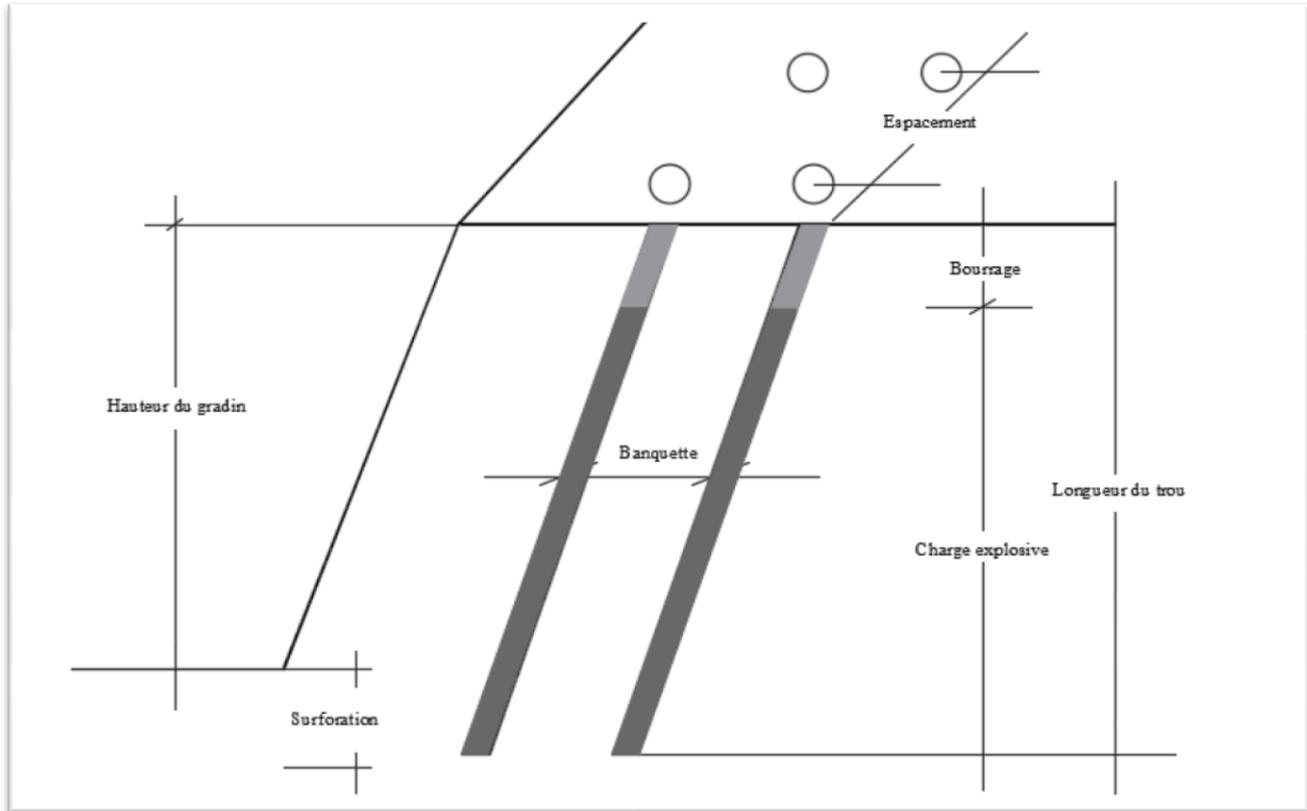
#### ➤ Avantage

Explosif de sureté, peu sensible aux actions mécaniques; explosif caractérisé par une charge linéaire réduit qui favorise son utilisation pour les terrains mi-durs. [33]

**Tableau IV.1** : Caractéristiques techniques de la marmanit. [33]

Densité d'encartouchage (g/cm <sup>3</sup> )	0.95
Vitesse de détonation (m/s)	4400
Puissance RWS sur mortier balistique (%)	83
Coefficient d'utilisation pratique (%)	1.28
Coefficient de self excitation (mm)	100
Sensibilité au choc (kgm)	1.5

Sensibilité au frottement (kgP)	36
Volume de gaz (l/kg)	842
Résistance à l'eau	moyenne



**Figure IV.2 :** géométrie et terminologie du plan de tir

**Tableau IV.2 :** Dimensions et conditionnement de la marmanit. [33]

Diamètre (mm)	30	50	65	80
Longueur (mm)	135	610	750	500
Poids (g)	100	1250	2500	2500

#### IV.3.4. Les détonateurs

##### IV.3.4.1. Détonateurs instantanés

Avec l'emploi de détonateurs instantanés, les amorçages des charges explosives sont parfaitement simultanés. Il n'y a pas de retard (le numéro de retard est égal à zéro). [33]

##### IV.3.4.2. Détonateurs micro-retards

Ces détonateurs diffèrent des détonateurs à retard par les temps de retard beaucoup plus courts.

L'ONEX fabrique des détonateurs micro-retards avec 12 degrés de retard, soit 13 en comptant le détonateur instantané (retard zéro). La durée du retard en ms varie entre 0 à 240 ms ; [33]

#### IV.3.4.2.a. Utilisation des micro-retards

L'utilisation des micro-retards permet :

- Une diminution de la vibration du sol et du déplacement d'air par l'explosion, d'où l'avantage que procure l'utilisation des micro-retards lors des tirs programmés aux environs des constructions.
- Une meilleure fragmentation des roches et une meilleure prévision d'étalement des produits de tir.
- Une réduction de l'éventualité d'avoir des trous coupés par la détonation d'un numéro antérieur et de laisser ainsi des cartouches inexplodées au front de taille ou dans les déblais.
- Création des surfaces libres. [33]

#### IV.3.5. Les règles de Langefors

Les chercheurs suédois Langefors et Kilhström ont établi une règle empirique de calcul de la banquette maximale admissible en fonction de paramètres inhérents au massif rocheux (notion de résistance de la roche), paramètres relatifs à la maille souhaitée (ratioespacement sur banquette, diamètre de foration, inclinaison) et du type d'explosifs employés.

La règle dite de Langefors propose une relation linéaire entre la banquette maximale admissible et le diamètre de foration [9] :

##### IV.3.5.1. Banquette maximale par la méthode de LANGEFORS ( $B_{\max}$ )

$$B_{\max} = \frac{\varnothing}{34} * \sqrt{\frac{\rho * s}{f * c * E / B}}$$

$B_{\max}$  : banquette maximale admissible (m)

d : Diamètre de foration (mm)

P : densité de chargement (kg/m<sup>3</sup>)

s : strength de l'explosif (sans dimension), pris pour l'explosif en pied (car le cisaillement du pied est le travail le plus difficile)

$\bar{C}$ : Correction de la résistance au tirage de la roche, pour une roche très jointée (kg/m<sup>3</sup>)

f : facteur de contrainte

S/B : rapport écartement sur banquette

#### IV.3.5.1.a. Densité de chargement (P) [9]

La densité de chargement est la densité de l'explosif, à laquelle on peut introduire un facteur correctif dans le cas de l'utilisation de cartouches. Dans le cas d'un chargement à plusieurs types d'explosifs, on se référera au chargement utilisé pour le cisaillement du pied, opération la plus difficile dans l'abattage.

$$P = d * \left(\frac{\varnothing_c}{\varnothing}\right)^2 \quad [K_g/m^3]$$

d : Densité d'encartouchage ( $K_g/m^3$ ) ;

$\varnothing_c$  : Diamètre de la courtoche (mm).

#### IV.3.5.1.b. Strength de l'explosif (s) [9]

Le strength est un coefficient relatif à l'explosif, défini par :

$$S = \frac{5}{6} * \frac{Q}{Q_0} * \frac{1}{6} * \frac{V}{V_0}$$

**Q** et **V** étant l'énergie et le volume des gaz de l'explosif employé,  $Q_0$  et  $V_0$  ceux d'un explosif de référence.

#### IV.3.5.1.c. Constante de roche c [9]

La constante de roche introduit un paramètre correspondant au massif rocheux et sagéologie.

$$\bar{c} = c + 0,05$$

c : résistance au tirage : quantité d'explosif nécessaire pour l'abattage de 1 m<sup>3</sup> de roche, (pour le calcaire, c = 0.4 kg/m<sup>3</sup>).

#### IV.3.5.1.d. Facteur de contrainte [9]

**Tableau IV.3** : La valeur du facteur de contrainte en fonction de l'inclinaison du trou.

L'angle $\beta$ (°)	0	10	20	30
f	1	0.95	0.90	0.85

### IV.3.5.2. Rapport écartement sur banquette E/B [9]

On retient la valeur habituelle de 1,25 pour le rapport E/B.

### IV.3.5.3. Correction du fait de la déviation des trous de mines [29]

Les erreurs de foration (alignements ou déviations) doivent être prises en compte ; cependant, il faut veiller à ce que ces déviations ne soient pas supérieures à 0.03 m/m de foration ; dans ce cas, LANGEFORS considère que la banquette à prendre en compte est :

$$B = B_{\max} - a * \varnothing - \frac{b}{100} * H_g [m]$$

a: est un coefficient qui dépend de la précision de la mise en fiche (tige), de l'implantation et de la nature des équipements utilisés (barres, outils,...)

a = 1 pour une foration très prudente

a = 2 pour une foration correcte

a = 4 pour une foration convenable

b : est un coefficient dépendant de la qualité de la foration et la limitation de la déviation

b = 1 pour une foration très précise

b = 2 pour une foration assez précise

b = 3 pour une foration peu précise

$H_g$  : est la hauteur du front

### IV.3.5.4. Détermination de la longueur de foration ( $L_f$ ). [29]

La longueur de forage est fortement influencée par la capacité des équipements de forage à garantir une déviation faible. Elle dépend de la hauteur du front et de l'inclinaison des forages. L'inclinaison des forages favorise le dégagement du pied et diminue les effets arrière. En tout état de cause, il est préférable de prévoir une longueur au moins deux fois supérieure à la banquette retenue.

$$L_f = \frac{H_g}{\cos \beta} + 0.3 * B_{\max} \quad [m]$$

$\beta$ : l'inclinaison des forages par rapport au plan vertical perpendiculaire au front en degré

**IV.3.5.5. La hauteur de la charge de pied ( $L_p$ ) [3]**

La charge de pied, est celle qui contribue au dégagement et à la fragmentation du pied; elle a une hauteur d'au moins une fois la banquette et la sous-foration:

$$L_p = 1.3 * B \quad [m]$$

**IV.3.5.6. Charge linéaire du fond ( $c_p$ ) [21]**

$$C_p = 0.88 * \frac{f}{s} * \frac{E}{B} * \left[ \frac{0.07}{B} + c + 0.004 * B \right] B^2 \quad [Kg/m]$$

**IV.3.5.7. Quantité d'explosif au pied du gradin ( $Q_p$ ) : [15]**

$$Q_p = L_p * C_p \quad [Kg]$$

**IV.3.5.8. La hauteur du bourrage ( $H_b$ ) [34]**

La hauteur de bourrage est égale en général à la banquette pratique « B » pour les tirse surface.

$$H_b = B \quad [m]$$

**IV.3.5.9. La hauteur de la charge de colonne ( $l_c$ ) [29]**

La hauteur de la charge de colonne est la partie restante du trou de mine, et est déterminé par la formule suivante :

$$L_c = L_f - 1.3 * B - H_b \quad [m]$$

**IV.3.5.10. Charge linéaire de colonne ( $c_c$ ) [29]**

La charge explosive de colonne a pour but d'abattre la partie de la roche au dessous de la charge de fond. La charge de colonne, dont l'énergie volumique est, selon LANGEFORS, environ 2.5 fois plus faible que celle de la charge de pied.

$$C_c = \frac{C_p}{2} \quad [Kg/m]$$

**IV.3.5.11. Quantité d'explosif en colonne ( $Q_c$ ) [3]**

Est déterminé par la formule suivante :

$$Q_c = L_c * C_c [Kg]$$

**IV.3.5.12. Quantité de charge d'explosifs dans un trou ( $Q_{tot}$ ) [3]**

La charge totale par trou est la charge de pied plus la charge de colonne. Elle est égale à :

$$Q_{tot} = Q_c + Q_p \quad [K_g]$$

#### IV.3.5.13. Espacement (E) [3]

$$E = 1.25 * B \quad [m]$$

#### IV.3.5.14. Consommation spécifique d'explosif, (qs) [3]

La consommation spécifique de l'explosif est la quantité d'explosif nécessaire pour l'abattage de 1 m<sup>3</sup> de roche.

$$q_s = \frac{Q_{tot}}{E * B * H_g / \cos \beta} \quad [K_g/m^3]$$

### IV.4. Calcul des paramètres de plan de tir par la méthode de Langefors

On prend  $\beta = 20^\circ$

**Tableau IV.4** : valeurs des paramètres pour les calculs

Paramètres	s	f	$\bar{C}$	E/B	d ( $K_g/m^3$ )
Valeur	0.83	0.9	0.45	1.25	0.95

#### IV.4.1. Méthode de travail

Dans notre cas on a des gradins différents hauteurs (9 à 20 m), on devisera ces derniers en deux ou en trois, donc les gradins seront réduit jusqu' a une hauteur de 5 à 6 m.

#### IV.4.2. Résultats obtenus

##### IV.4.2.1. Gradin de 21 m

**Étape 1** : Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 16 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 105 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 80 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.5** : calculs et résultats pour une hauteur de 16 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{80}{105}\right)^2$	0.55
Bmax(m)	$B_{max} = \frac{105}{34} * \sqrt{\frac{0.55 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	2.93
B (m)	$B = 2.93 - 4 * 0.105 - \frac{3}{100} * 16$	2.03
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{16}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 2.93$	17.90
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 2.03$	2.64
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[\frac{0.07}{2.03} + 0.45 + 0.004 * 2.03\right] * 2.03^2$	2.42
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 2.42 * 2.64$	6.40
$H_b$ (m)	$H_b = 2.03$	2.03
$L_c$ (m)	$L_c = 17.90 - 1.3 * 2.03 - 2.03$	13.2
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{2.42}{2}$	1.20
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 13.2 * 1.20$	15.84
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 6.40 + 15.84$	22.24
E (m)	$E = 1.25 * 2.03$	2.54
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{22.24}{2.54 * 2.03 * 16/\cos(20^\circ)}$	0.25

**Etape 2:** Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 10 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 105 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 80 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.6** : calculs et résultats pour une hauteur de 10 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{80}{105}\right)^2$	0.55
Bmax(m)	$B_{max} = \frac{105}{34} * \sqrt{\frac{0.55 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	2.93
B (m)	$B = 2.93 - 4 * 0.105 - \frac{3}{100} * 10$	2.2
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{10}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 2.93$	11.52
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 2.2$	2.86
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[\frac{0.07}{2.2} + 0.45 + 0.004 * 2.2\right] * 2.2^2$	2.83
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 2.86 * 2.83$	8.09
$H_b$ (m)	$H_b = 2.2$	2.2
$L_c$ (m)	$L_c = 11.52 - 1.3 * 2.2 - 2.2$	6.46
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{2.83}{2}$	1.42
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 6.46 * 1.42$	9.17
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 8.09 + 9.17$	17.26
E (m)	$E = 1.25 * 2.2$	2.75
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{17.26}{2.75 * 2.2 * 10/\cos(20^\circ)}$	0.27

**Étape 3 :** Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 5 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 64 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 50 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.7** : calculs et résultats pour une hauteur de 5 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P(m)	$P = 0.95 * \left(\frac{50}{64}\right)^2$	0.58
Bmax(m)	$B_{\max} = \frac{64}{34} * \sqrt{\frac{0.58 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	1.84
B(m)	$B = 1.84 - 4 * 0.064 - \frac{3}{100} * 5$	1.43
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{5}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 1.84$	5.87
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 1.43$	1.86
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[ \frac{0.07}{1.43} + 0.45 + 0.004 * 1.43 \right] * 1.43^2$	1.23
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 1.86 * 1.23$	2.29
$H_b$ (m)	$H_b = 1.43$	1.43
$L_c$ (m)	$L_c = 5.87 - 1.3 * 1.43 - 1.43$	2.58
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{1.23}{2}$	0.62
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 2.58 * 0.62$	1.60
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 1.6 + 2.29$	3.66
E (m)	$E = 1.25 * 1.43$	1.79
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{3.66}{1.79 * 1.43 * 5/\cos(20^\circ)}$	0.27

#### IV.4.2.2. Gradin de 15m

**Etape 1** : Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 10.00 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 105 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 80 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.8** : calculs et résultats pour une hauteur de 10.00 m

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{80}{105}\right)^2$	0.55
Bmax(m)	$B_{max} = \frac{105}{34} * \sqrt{\frac{0.55 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	2.93
B (m)	$B = 2.93 - 4 * 0.105 - \frac{3}{100} * 10.00$	2.21
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{10.00}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 2.93$	11.52
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 2.21$	2.87
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[ \frac{0.07}{2.21} + 0.45 + 0.004 * 2.21 \right] * 2.21^2$	2.86
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 2.87 * 2.86$	8.21
$H_b$ (m)	$H_b = 2.2$	2.2
$L_c$ (m)	$L_c = 11.52 - 1.3 * 2.21 - 2.21$	6.44
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{2.86}{2}$	1.43
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 6.44 * 1.43$	9.2
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 8.21 + 9.2$	17.41
E (m)	$E = 1.25 * 2.21$	2.76
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{17.41}{2 * 2.21 * 10.00 / \cos(20^\circ)}$	0.27

**Étape 2** : Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 5.00 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 64 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 50 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.9** : calculs et résultats pour une hauteur de 5.00 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{50}{64}\right)^2$	0.58
Bmax (m)	$B_{max} = \frac{64}{34} * \sqrt{\frac{0.58 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	1.84
B (m)	$B = 1.84 - 4 * 0.064 - \frac{3}{100} * 5.03$	1.43
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{5.03}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 1.84$	5.9
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 1.43$	1.86
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[\frac{0.07}{1.43} + 0.45 + 0.004 * 1.43\right] * 1.43^2$	1.23
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 1.86 * 1.23$	2.29
$H_b$ (m)	$H_b = 1.43$	1.43
$L_c$ (m)	$L_c = 5.9 - 1.3 * 1.43 - 1.43$	2.6
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{1.23}{2}$	0.62
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 2.6 * 0.62$	1.6
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 1.6 + 2.29$	3.89
E (m)	$E = 1.25 * 1.43$	1.79
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{3.89}{1.79 * 1.43 * 5.03 / \cos(20^\circ)}$	0.28

**IV.4.2.3. Gradin de 12 m**

Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 6 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 64 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 50 mm pour la cartouche.

**Tableau IV.10** : calculs et résultats pour une hauteur de 6.00 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{50}{64}\right)^2$	0.58
Bmax(m)	$B_{max} = \frac{64}{34} * \sqrt{\frac{0.58 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	1.84
B (m)	$B = 1.84 - 4 * 0.064 - \frac{3}{100} * 6$	1.4
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{6}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 1.84$	6.94
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 1.4$	1.82
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[ \frac{0.07}{1.4} + 0.45 + 0.004 * 1.4 \right] * 1.4^2$	1.18
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 1.82 * 1.18$	2.15
$H_b$ (m)	$H_b = 1.4$	1.4
$L_c$ (m)	$L_c = 6.94 - 1.3 * 1.4 - 1.4$	3.72
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{1.18}{2}$	0.59
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 3.72 * 0.59$	2.19
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 2.15 + 2.19$	4.34
E (m)	$E = 1.25 * 1.4$	1.75
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{4.34}{1.75 * 1.4 * 6/\cos(20^\circ)}$	0.28

**IV.4.2.4. Gradin de 9m**

Pour une hauteur de gradin ( $H_g$ ) de 4.5 m, un diamètre de trou ( $\emptyset$ ) de 64 mm et un diamètre  $\emptyset_c$  de 50 mm pour la cartouche.

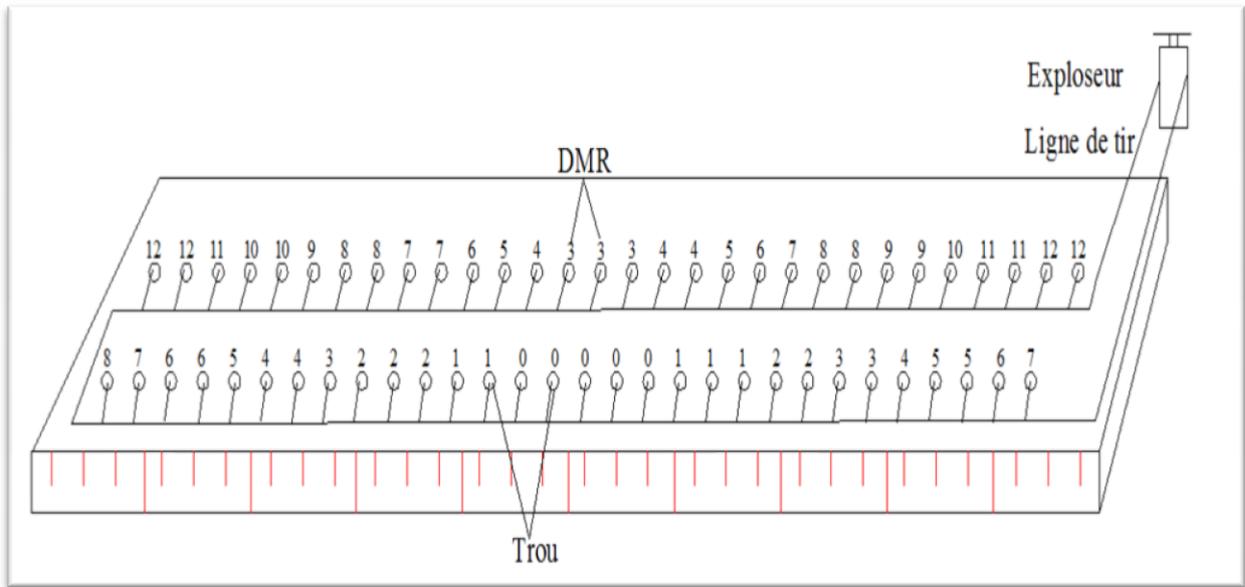
**Tableau IV.11** : calculs et résultats pour une hauteur de 4.5 m.

Paramètres de tir	Calculs	Résultats
P (m)	$P = 0.95 * \left(\frac{50}{64}\right)^2$	0.58
Bmax(m)	$B_{\max} = \frac{64}{34} * \sqrt{\frac{0.58 * 0.83}{0.9 * 0.45 * 1.25}}$	1.84
B (m)	$B = 1.84 - 4 * 0.064 - \frac{3}{100} * 4.5$	1.45
$L_f$ (m)	$L_f = \frac{4.5}{\cos(20^\circ)} + 0.3 * 1.84$	5.34
$L_p$ (m)	$L_p = 1.3 * 1.45$	1.89
$C_p$ ( $K_g/m$ )	$C_p = 0.88 * \frac{0.9}{0.83} * 1.25 * \left[ \frac{0.07}{1.45} + 0.45 + 0.004 * 1.45 \right] * 1.45^2$	1.26
$Q_p$ ( $K_g$ )	$Q_p = 1.89 * 1.25$	2.36
$H_b$ (m)	$H_b = 1.45$	1.45
$L_c$ (m)	$L_c = 5.34 - 1.3 * 1.45 - 1.45$	2.00
$C_c$ ( $K_g/m$ )	$C_c = \frac{1.26}{2}$	0.63
$Q_c$ ( $K_g$ )	$Q_c = 2.00 * 0.63$	1.26
$Q_{tot}$ ( $K_g$ )	$Q_{tot} = 1.26 + 2.36$	3.62
E (m)	$E = 1.25 * 1.45$	1.81
$q_s$ ( $K_g/m^3$ )	$q_s = \frac{3.62}{1.81 * 1.45 * 4.5 / \cos(20^\circ)}$	0.29

#### IV.5. La séquence d'amorçage

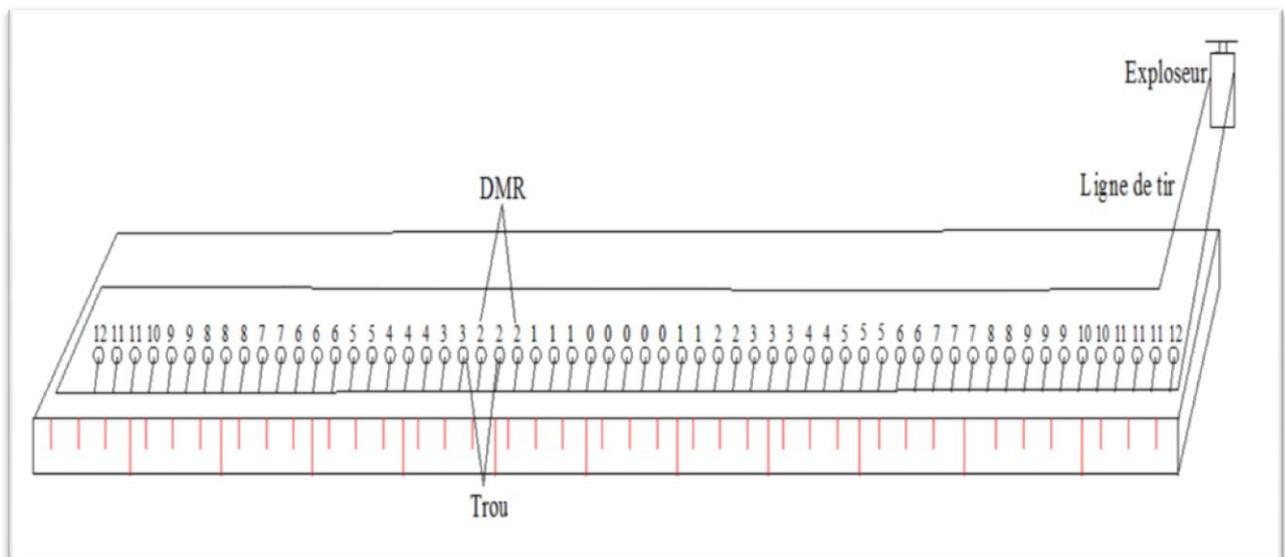
Dans notre cas on a choisi le type d'amorçage en V .ce dernier consiste à amorcer le milieu de la première rangée par des détonateurs électriques instantanés(0), après on s'éloignant en utilisant des DMR de 20 ms dans la même rangée.

La même chose pour la deuxième et la rangée en laissant un retard de 80 ms entre eux.



**Figure IV.3 :** schéma d’amorçage pour le premier tir de mine

Pour le deuxième tir (tir de découpage) on a choisi le type d’amorçage en V .ce dernier consiste à amorcer le milieu de la première rangée par des détonateurs électriques instantanés(0), après on s’éloignant en utilisant des DMR de 20 ms dans la même rangée.



**Figure IV.4 :** schéma d’amorçage pour le deuxième tir

**Conclusion**

La réhabilitation des carrières à ciel ouvert, consiste à suivre trois principales étapes: la première est de stabiliser les lieux où on va mettre du remblai et de la terre végétale. La deuxième étape consiste à faire le remblayage suivant un plans bien déterminer, et enfin la restauration de la couverture végétale.

La stabilisation des fronts de taille et des talus existant après l'achèvement des travaux d'exploitation. Pour cela on a procéder à démunie les hauteurs des talus, afin de minimisé le retrait du remblai après le remblayage d'une part, et d'outre part de minimisée les quantités du remblai à utiliser au niveau de la carrière.

Nous avons présenté l'ensemble des cas possible pour les tirs de mine de près découpage et de découpage des gradins, pour laisser le front de taille en bonne état de stabilité.

## **V.1. Introduction**

L'exploitation de matières premières nous conduit toujours à détruire fatalement le milieu naturel, à l'inverse, en fin d'exploitation, les carrières peuvent devenir des lieux privilégiés sur le plan écologique.

Tous les intermédiaires sont donc possibles entre la restitution au milieu naturel par recolonisation spontanée et le réaménagement en zone écologique.

Dans ce chapitre on va donner une présentation de notre choix concernant la remise en état de la carrière El-Hadjeb sus à el Hachimia, en commençant par une présentation générale des modes de restauration adaptés pour ce genre de carrière, en se basant sur l'endroit, la nature et le type de couverture végétale dans la région et en fin les objectifs de l'entreprise et leurs capacités de financement.

## **V.2. Restitution des carrières au milieu naturel et création de zones écologiques**

### **V.2.1. Restitution au milieu naturel**

Certains paramètres de gisement induisent d'une manière quasi obligatoire les dispositions à suivre. Il s'agit en premier lieu du type même d'extraction : hors d'eau ou en eau.

Dans ce dernier cas, il va de soi que la détermination préalable du niveau final du plan d'eau et de ses fluctuations saisonnières conditionne la stratégie d'exploitation. En second lieu, le projet devra comporter un certain nombre de dispositions techniques qui doivent favoriser la recolonisation du site.[6] :

- Talutage des fronts ;
- Remblayage des plans inclinés avec les matériaux "stériles" conservés ;
- Re-végétalisation d'attente, ayant pour but d'amorcer la cicatrisation.

Dans notre cas d'étude, nous avons préparé les fronts de taille d'une façon à minimiser les hauteurs des gradins, et de stabiliser les fronts avec des tirs de découpage.

### **V.2.2. Création d'une zone écologique**

La décision de réaliser à terme un tel aménagement suppose une analyse des conditions écologiques locales. Pour cela, il est indispensable de constituer une équipe scientifique locale destinée à contrôler la réalisation du projet et à participer au suivi et à la gestion ultérieure.

L'analyse comportera un inventaire des écosystèmes méritant d'être réhabilités et un examen des caractéristiques de la faune et de la flore, avec notamment des précisions sur les exigences biologiques des espèces que l'on souhaite attirer. Avant d'envisager la création d'une zone écologique, il y a lieu de vérifier que les conditions suivantes sont satisfaites.[6] :

- Dimension et diversité: Le nombre d'espèces accueillies sera d'autant plus grand quand la surface est vaste et quand les habitats offerts seront variés.
- Quiétude : C'est un facteur capital pour la faune qui supporte difficilement la présence humaine.
- Nourriture : Il faut s'assurer des potentialités nutritives de la carrière et de ses environs car il existe des espèces qui ne se satisfont pas du strict périmètre de la carrière.

Les conditions précédentes étant satisfaites, le projet doit aussi prendre en compte les éléments de réflexion suivants.[6] :

- L'apport des plantations : Elles peuvent avoir plusieurs buts :
  - créer des zones d'abris pour le repos et la reproduction
  - servir d'écrans au vent, au bruit et aux visiteurs indésirables
  - constituer une source de nourriture
  - reconstituer une trame végétale
  - protéger les berges contre l'érosion.

- L'intérêt d'aménagements particuliers pour les oiseaux :

On peut accroître l'attrait d'un site en eau en créant des îlots, très favorables à la réussite des nichées des oiseaux aquatiques et au frai des poissons.

- La nécessité de dispositifs de protection tels que haies défensives, fossés périphériques, d'accès carrossables et de cheminements le long des berges.

En ce qui concerne la gestion et l'entretien ultérieurs d'une zone écologique, la protection de la faune et de la flore doit être le but essentiel. On veillera à empêcher les déversements divers, la pénétration humaine et animale pendant la période de reproduction, la circulation de véhicules, voire dans certains cas à interdire la pêche et la chasse.

En conclusion, le choix d'un tel réaménagement supposera un intérêt écologique prévisible évident, une volonté des interlocuteurs, une garantie de protection du site efficace et durable et une participation de personnes intéressées et compétentes.

### **V.3. Réaménagement à des fins agricoles**

Le retour à une vocation agricole d'exploitations de granulats s'avère dans certaines régions de plus en plus nécessaires pour maintenir un équilibre entre les terres agricoles et le reste du terroir. Le parti de reconstituer des parcelles cultivables est d'autant plus justifié qu'il s'agit de carrières grandes consommatrices d'espace. Mais pour restituer une parcelle soumise à extraction, l'objectif à atteindre est de reconstituer une surface apte à être cultivée avec des rendements acceptables.[6]

#### **V.3.1. La revégétalisation**

Re-végétaliser c'est-à-dire :

- Définir les types des milieux à recréer au court et moyen terme ;
- Concevoir le plan de répartition et d'implantation des espèces ;
- Établir les conditions de plantation ;
- Exécuter les travaux.

Trois points sont fondamentaux :

- Respecter ou recréer la dynamique naturelle de reconstitution des milieux ;
- Amorcer le processus de végétalisation par ensemencement approprié pour éviter la recolonisation anarchique du site ou l'érosion et l'appauvrissement des sols ;
- Utiliser des espèces locales présentes dans le voisinage, naturellement adaptées aux conditions écologiques nouvellement créées.

La re-végétalisation d'une carrière offre par fois des difficultés en raison :

- La pauvreté des sols et notamment du manque de terre végétale ;
- De la difficulté de mobiliser une ressource en eau, souvent faible et éloignée mais absolument nécessaire dans les premiers temps de la végétalisation pour permettre le démarrage des plantations ;
- Des problèmes d'accès et d'entretien à moyen terme du site lorsque les pistes sont laissées à l'abondons.[26]

### **V.4. Précautions en matière de terrassements de la découverte**

Durant les opérations de décapage, il s'agira de préserver au mieux les matériaux de surface constituant la couche arable en vue de leur réutilisation ultérieure optimale.

Pour ceci il faudra procéder au préalable à une reconnaissance de ces matériaux, et pendant le décapage et le transport éviter à tout prix un compactage ou un malaxage. Quant au stockage beaucoup de précautions seront prises dans la constitution des dépôts.

#### **V.4.1. Modalités techniques de réalisation**

Pour reconstituer une surface de sol apte à l'agriculture, certaines règles doivent être respectées [6] :

- aménagement de la plate-forme support, le futur niveau du sol reconstitué devant se trouver hors nappe pour éviter l'inondation
- le remblaiement doit suivre quelques règles simples : rejet de matériaux trop argileux, remblaiement par couches successives, compactage par la seule circulation des camions et perméabilité suffisante du massif de remblai pour permettre la percolation verticale de l'eau.
- l'interface support et couche arable doit être d'une part régulier, ce qui suppose un nivellement préalable et d'autre part être suffisamment perméable pour permettre l'évacuation des eaux.

#### **V.5. Terrassement**

Avant de débiter les travaux de terrassement, il est nécessaire de réaliser une opération de nettoyage sur l'ensemble du site avec démontage et évacuation de toutes les installations et les infrastructures liées à l'exploitation et qui n'ont plus d'utilité.

En premier lieu il faut savoir que les opérations de terrassement sont.[26] :

- Indispensables (pour les carrières alluvionnaires et massives) ;
- Couteuses car elles nécessitent un matériel spécifique qui mobilise des volumes de matériaux souvent considérables ;
- À planifier rigoureusement pour éviter les opérations inutiles ;

Au point de vue technique les terrassements répondent a plusieurs objectifs [26] :

- Mettre le site en sécurité en évitant les ruptures de topographie, les risques d'éboulement, de chutes de blocs...etc. ;
- Affirmer la nouvelle topographie du site en brisant les lignes géométriques des fronts de taille, en créant des talus en pente douce et en redistribuant harmonieusement les volumes importants de matériaux stériles restant du site originel ;

- Restituer le site au milieu naturel environnant, en mettant en place les terres végétales pour créer les conditions pédologiques favorables à la revégétalisation du site, facilitant ainsi la réintégration du site dans l'environnement paysager préexistant ;
- Faciliter l'écoulement de la circulation des eaux, qu'elles soient de surface ou souterraines.

### **V.6. Reconstitution des sols**

L'une des conditions indispensables à la reprise de la végétation et la reconstitution préalable de sol qui comporte.[26] :

- Le décompactage ou, au moins en sol dur, la scarification du fond de forme et des banquettes afin de les ameublir ;
- La mise en place d'une couche meuble composée de stérile puis de terre. Il est conseillé de répartir la terre végétale sur une épaisseur minimale de 20 cm pour un ensemencement de 50 cm pour la plantation d'arbustes et de 80 cm pour la plantation d'arbres.

Dans notre cas la couche supérieure composée de terre végétale et d'argile a une épaisseur de 1 m .

### **V.7. Préparation du site et du trou de plantation:**

Une fois que l'arbre a été choisi (dans notre cas l'arbre choisi est l'olivier), on peut creuser le trou de plantation. Celui-ci doit permettre une rapide croissance racinaire, sans aucune restriction. Le trou doit avoir un diamètre beaucoup plus grand que celui de la masse racinaire de l'arbre. Si le sol est compacté, le trou doit avoir une largeur deux à trois fois plus grande que celle de la masse racinaire. En général, la régénération des racines est peu profonde et horizontale. Un trou de plantation large avec des côtés inclinés favorise une propagation optimale des racines.

Un trou de plantation peut agir comme une cuvette et retenir l'eau, plus particulièrement dans les sols argileux. En pareil cas, il peut y avoir un manque d'oxygène au fond et par conséquent la croissance des racines est mauvaise.

Placez l'arbre délicatement dans le trou de plantation.

Assurez-vous que le collet ne soit pas en-dessous du niveau du sol. Nous avons tous tendance à planter trop profondément et ceci peut faire mourir lentement l'arbre. Si le drainage est mauvais, il est conseillé de planter l'arbre de 1 à 4 pouces plus haut que le niveau naturel.

En général, il est préférable d'utiliser la même terre pour remblayer le trou. Les recherches démontrent que les amendements de sol n'aident pas nécessairement à bien établir un arbre. Néanmoins, si le sol existant est extrêmement pauvre, il vaut mieux en modifier les propriétés ou même le remplacer.

Le type de remblai doit par contre correspondre le plus possible au type de sol du site choisi.

Si on doit amender le remblai, on peut utiliser un agent organique, comme la tourbe de mousse ou le compost, dans le but d'améliorer la structure et la fertilité du sol. Ajoutez environ 25% d'amendement par volume et traitez la plus grande surface possible de façon à respecter la texture du sol. Lorsque le sol présente des textures fortes différentes, la circulation naturelle de l'eau peut être entravée.

Remuez le sol autour de la masse racinaire de façon à éliminer toutes les poches d'air. Le sol au fond du trou de plantation, autour de la base de la masse racinaire, doit être tassé fermement pour aider à supporter l'arbre. De grosses poches d'air peuvent entraîner l'assèchement de l'arbre.

Arrosez abondamment et par étapes lors du remblayage. Il est parfois utile de créer une espèce de soucoupe autour de l'arbre de façon à recueillir l'eau au-dessus de la zone racinaire, plus particulièrement dans les endroits en pente. Les gros arbres ont besoin de plus de temps que les petits pour régénérer leurs racines. Il n'est pas rare de voir un arbre transplanté à une grosseur moindre récupérer et dépasser un autre arbre plus gros et transplanté à la même période. Approximativement, pour se rétablir un arbre a besoin d'un an par chaque pouce de son diamètre.

Certains arbres se transplantent plus facilement que d'autres. En creusant autour d'un arbre dans le but de le transplanter, on peut enlever jusqu'à 95% de ses radicelles. Par conséquent, si un arbre est difficile à transplanter, on devrait le déplacer lorsque les conditions sont à leur mieux. En général, le temps le plus propice pour déplacer la plupart des arbres se situe au début du printemps ou à l'automne. Bon nombre d'arbres à feuillage caduque peuvent être déplacés juste après la chute des feuilles à l'automne.

Si la terre est suffisamment chaude, les racines peuvent pousser et commencer à s'établir avant que le sol ne gèle.[1]

## **V.8. Répartition de la culture de l'olivier en Algérie**

L'olivier occupe une place de choix dans le processus de relance économique de notre pays. L'olivier, par ses fonctions multiples de lutte contre l'érosion, de valorisation des terrains agricoles et de fixation des populations dans les zones de montagne, constitue une des principales espèces fruitières cultivées en Algérie. L'oléiculture à base de l'olivier est une des cultures caractéristiques du bassin méditerranéen. En effet, l'olivier occupe à l'échelle nationale environ 45 pour cent de la surface arboricole avec plus de 245.500 ha repartis sur tout le territoire national en particulier au Nord de l'Algérie.[39]

## **V.9. Les exigences de vie des oliviers**

### **V.9.1. Le climat**

#### **V.9.1.1. La température**

La culture de l'olivier est associée à la zone méditerranéenne caractérisée par la douceur et l'humidité de l'hiver et la chaleur sèche de son été. L'olivier peut résister à des températures de l'ordre de (- 8 C°) et il n'est pas sensible aux températures élevées (+40C°) lorsque son alimentation en eau est assurée ;

La sensibilité de l'olivier aux basses températures est en fonction:

- l'état végétatif de l'arbre;
- de la rapidité de la chute des températures ;
- de la durée de ces basses températures;
- de l'état sanitaire de l'arbre. [31]

#### **V.9.1.2. Pluviométrie**

L'olivier est connu pour sa résistance à la sécheresse et son adaptation aux milieux chauds arides des régions méditerranéennes. Pour des raisons de rentabilité, il a besoin d'une pluviométrie de 315 à 324 mm pour les variétés à huile, et de 530 à 570 mm pour l'olivier exploité en variété de table. La période la plus sensible pour l'arbre, est celle qui se situe entre le mois de juillet et la fin du mois de septembre car si elle est très sèche, elle peut provoquer la chute des fruits qui sont en phase de croissance et de durcissement du noyau.

Les précipitations hivernales permettent au sol d'emmagasiner des réserves en eau, qui seront cédées à l'arbre en fonction de ces besoins végétatifs. Les pluies de fin hiver printemps assurent un pourcentage élevé de nouaison et une bonne tenue des fruits après la fécondation. Les pluies automnales favorisent le grossissement et la maturité du fruit. Sous les conditions du régime irrégulier du climat subaride, la production d'olive sera aléatoire et marginale (faible production, alternance marquée).[31]

### **V.9.1.3. L'humidité**

L'olivier redoute des taux d'humidité élevé de l'air, ce qui interdit sa culture à proximité de la mer. Une humidité excessive et permanente favorise le développement de certaines maladies cryptogamiques.

La grêle provoque des plaies favorisant le développement des maladies et la propagation de la tuberculose, aussi la chute prématurée de la récolte. [31]

### **V.9.2. Altitude**

Les limites à ne pas dépasser sont de 700 à 800 m pour les versants exposés au nord et de 900 à 1000 m pour les versants exposés au sud.[31]

### **V.9.3. Sol**

Les critères des choix du sol pour la plantation des oliviers tiennent compte d'une part des exigences propre de l'arbre, d'autre part du contexte géomorphologique et bioclimatique.

Généralement l'olivier s'adapte à tous les types de sols sauf les sols lourds compacts humides ou se ressuyant mal. Les sols calcaires jusqu'à pH 8.5 peuvent lui convenir, par contre les sols acides pH 5.5 sont déconseillés.

D'après LOUSSERT et BROUSSE, dans les zones arides les sols sablonneux conviennent mieux pour la culture de l'olivier car ils ont une grande perméabilité (l'eau de pluie arrive rapidement aux racines), ainsi, ils ont une faible capacité de rétention, ce qui signifie que l'évaporation est très réduite.

Par contre, dans les zones qui ont des sols lourds, moins perméables et a une grande capacité de rétention en eau, l'olivier à besoin d'une pluviométrie très élevée.[31]

## **V.10. Les exigences culturales**

La culture de l'olivier exige des techniques culturales appropriées suivantes [30] :

### **V.10.1. Le travail du sol**

Qui consiste essentiellement en façons superficielles dont le rôle est d'ameublir le sol, de l'aérer, d'éliminer les plantes adventices et enfin d'incorporer des matières organiques et des engrais. Dans notre cas, la carrière EL-Hadjeb est récemment remblayée, ce qui favorise sont aération envers les oliviers nouvellement implantées.

### **V.10.2. Les amendements**

Il s'agit le plus souvent de fumure du fond incorporée au moment de labour de défoncement précédent l'hiver et de fumure d'entretien. Cette dernière est apportée tous les deux ans en fonction de la qualité du sol et de la vigueur de la plantation.

### **V.10.3. L'irrigation d'appoint**

Elle est appliquée à la sortie de l'hiver ou au début de printemps pour favoriser un bon départ végétatif (développement des rameaux, fécondation des fleurs assimilation des fertilisants). Les besoins en eau de l'olivier sont estimés à 2000 m<sup>3</sup>/an et en fonction de l'étage bioclimatique dans lequel se situe notre oliveraie.

### **V.10.4. les traitements phytosanitaires**

Correspondant à la lutte contre les ennemis de l'olivier par emploi de nombreuses méthodes dont chimique.

## **V.11. La densité de plantation des oliviers**

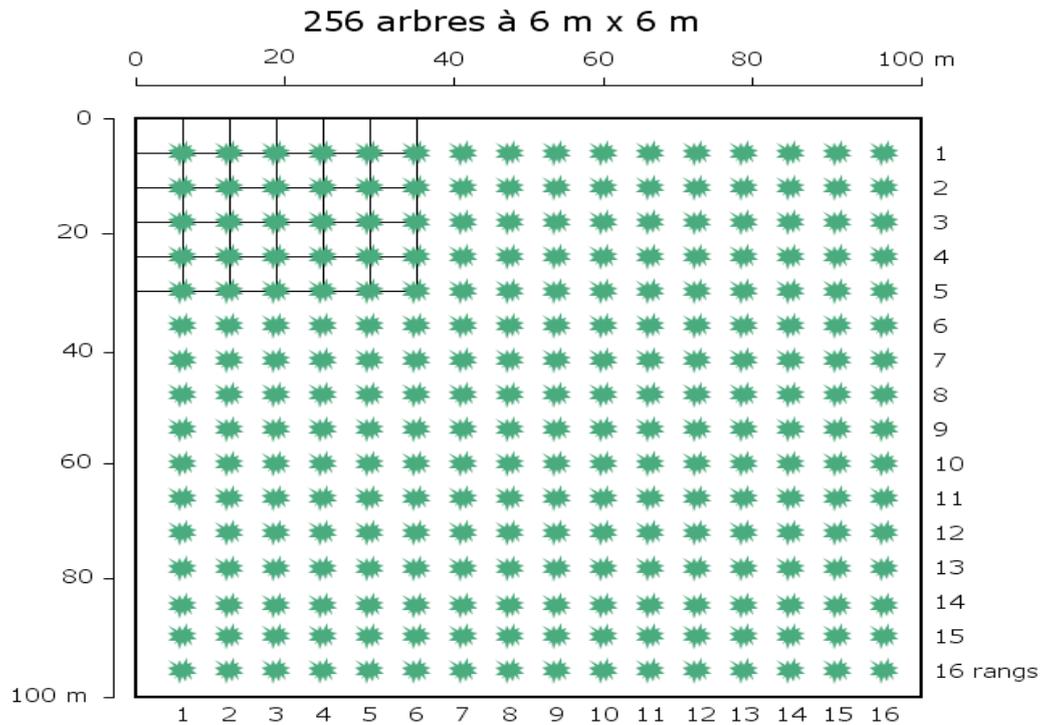
Une distance minimale de 6 m doit être conservée entre les rangs. Elle est portée à 7 m pour l'Olivère. La distance entre arbres sur le rang est modulable selon les variétés entre 5 et 7 m.

Dans notre cas on a choisi une distance de 8 m entre deux arbres voisins. [18]

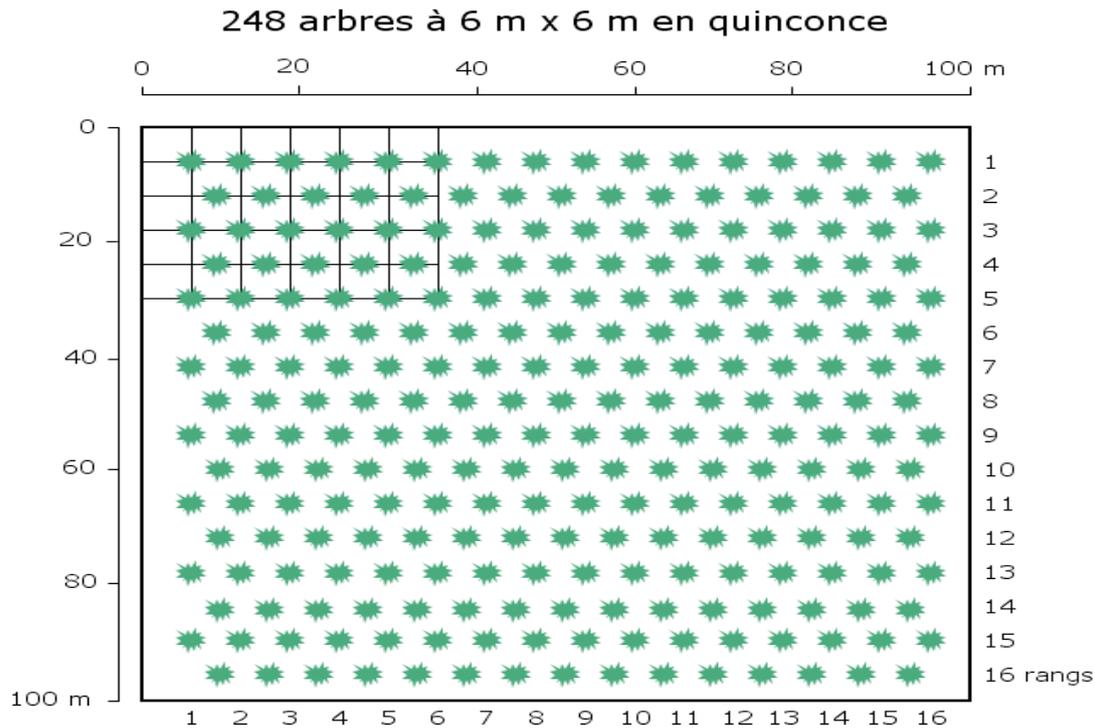
## **V.12. Le plan de plantation**

Il faut conserver une distance d'au moins 6 m entre le dernier arbre du rang et le bord du champ. Dans notre cas on a choisi cette distance entre 8 et 10 m.

Cette distance s'appelle la tournière. Elle sera utilisée pour la circulation des engins. Les deux implantations suivantes sont les plus utilisées dans ce domaine. [18]



**Figure V.I :** La disposition en carré est simple à mettre en œuvre. [18]



**Figure V.II** : La disposition en quinconce est celle qui permet à la lumière de bien circuler, quelle que soit l'orientation des rangs. [18]

Dans notre cas on a choisi la disposition en carre.

### V.13. Calcul des volumes de remblai

Dans notre cas on a choisi de mettre trois couches de remblai :

- Une couche de sterile (parvenue du stirile de la carrière) ;
- Une couche d'argile de 0.7 m d'épaisseur ;
- Une couche supérieure de terre végétale de 0.3 m.

#### V.13.1. Calcul de volume total

C'est le volume pour la quelle la surface de la carrière prend une décoration visant à affecter aux terrains réaménagés leur topographie finale.

Le volume de vide est calculé par covadis (voir l'annexe )

$$V_{\text{vide}} = 2501172\text{m}^3$$

### V.13.2. Calcul de volume de la terre végétale

La surface de la couche supérieure est calculée par covadis (voir l'annexe)

$$S_{\text{terre}} = 507182 \text{ m}^2$$

On prend l'épaisseur de la terre végétale  $E_p = 0.3 \text{ m}$

Donc le volume de cette couche est :

$$V_{\text{terre}} = 152155 \text{ m}^3$$

### V.13.3. Calcul de volume de la couche d'argile

$$S_{\text{argile}} = 507182 \text{ m}^2$$

On prend l'épaisseur de la couche d'argile  $E_{pa} = 0.7 \text{ m}$

Donc le volume de cette couche est :

$$V_{\text{argile}} = 507182 \times 0.7$$

$$V_{\text{argile}} = 355027 \text{ m}^3$$

On prend la masse volumique de la terre végétale  $\rho = 1.25 \text{ t/m}^3$  et celle de l'argile  $\rho = 1.7 \text{ t/m}^3$  (voir l'annexe)

Le volume total de deux couches devient :

$$V_{\text{argile +terre}} = 355027 \times 1.7 + 152155 \times 1.25$$

$$V_{\text{argile +terre}} = 793739 \text{ t}$$

### V.13.4. Calcul de volume de stérile

Après le calcul de volume total des deux couches, le reste de vide sera remblayé avec le stérile stocké dans la carrière :

$$V_{\text{stérile}} = V_{\text{vide}} - V_{\text{argile +terre}}$$

$$V_{\text{stérile}} = 2501172 - 507182$$

$$V_{\text{stérile}} = 1993989 \text{ m}^3$$

On prend la masse volumique de stérile  $\rho = 1.74 \text{ t/m}^3$  (voir l'annexe)

Le volume de stérile devient :

$$V_{\text{sterile}} = 3469542 \text{ t}$$

#### **V.14. Le nombre d'arbre a planté dans la partie réhabilité**

Après l'estimation des volumes de remblai et calcul de la surface on a trouvé le nombre des arbres (N)

$$N = 6376 \text{ arbres}$$

#### **V.15. Estimation des coûts des besoins de l'entreprise pour la réhabilitation**

Après le calcul de volume des différentes couches de remblai et le nombre d'oliviers a planté on peut estimer les coûts de la réhabilitation de la carrière El Hadjeb. ~~des besoins.~~

##### **V.15.1. Le coût total des oliviers**

Le prix unitaire des oliviers dans le marché est de : 150 DA

Donc le coût total des oliviers s'élève à

$$C_{\text{arbre}} = 150 \times 6376$$

$$C_{\text{arbre}} = 956400 \text{ DA}$$

##### **V.15.2. Le coût total de stérile**

Le prix unitaire du stérile existant au niveau de la carrière El-Hachimia (sus à El Hadjeb) est de : 200 DA /t

$$C_{\text{sterile}} = 3469542 \times 200$$

Donc le coût total de stérile est estimé de l'ordre de :

$$C_{\text{sterile}} = 693908450 \text{ DA}$$

### V.15.3. Coût total de la terre végétale

Le prix unitaire de la terre végétale dans le marché algérien est de : 6000DA /m<sup>3</sup>

$$C_{\text{terre}} = 152154.582 \times 6000$$

$$C_{\text{terre}} = 912927492 \text{ DA}$$

### V.15.4. Le Coût total de l'argile

On prend le prix unitaire de l'argile sur le marché algérien est de 450 DA/ t ,donc :

$$C_{\text{argile}} = 603547 \times 450$$

$$C_{\text{argile}} = 271595929 \text{ DA}$$

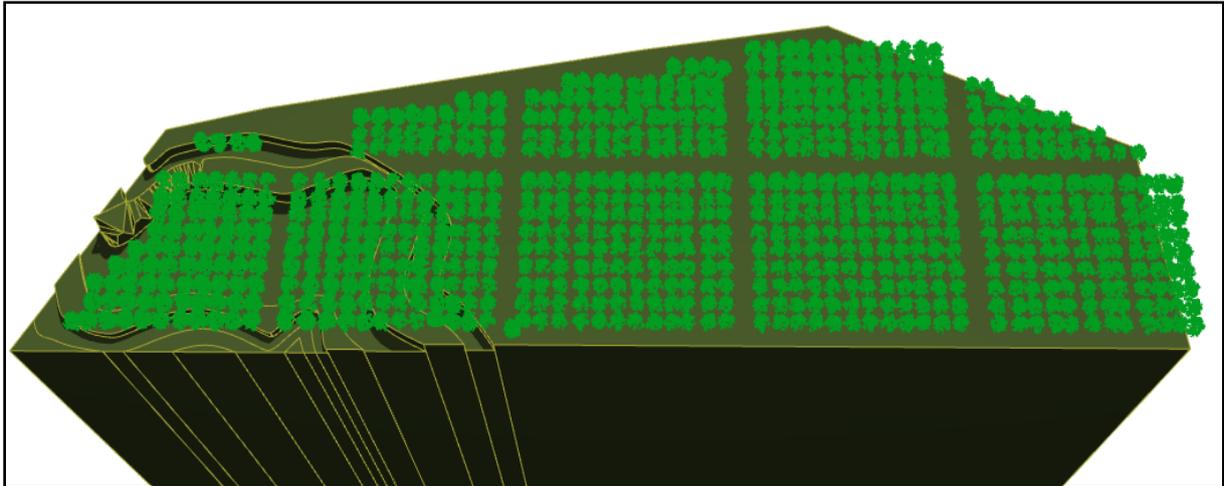
## V.16. Modélisation 2D du plan final de réhabilitation

Après les travaux de stabilisation, remblaiement et boisement des fronts de la carrière et après le calcul de nombre d'oliviers on abouti a un plan final en 2D réalisé sur COVADIS (plans de la carrière 3D sans boisement et plan final de réhabilitation en 2D).

### V.17. Modélisation 3D du plan final de rehabilitation

Le terrain de plan final après les travaux de stabilisation et de remblaiement et montré en 3D dans le plan précédent.

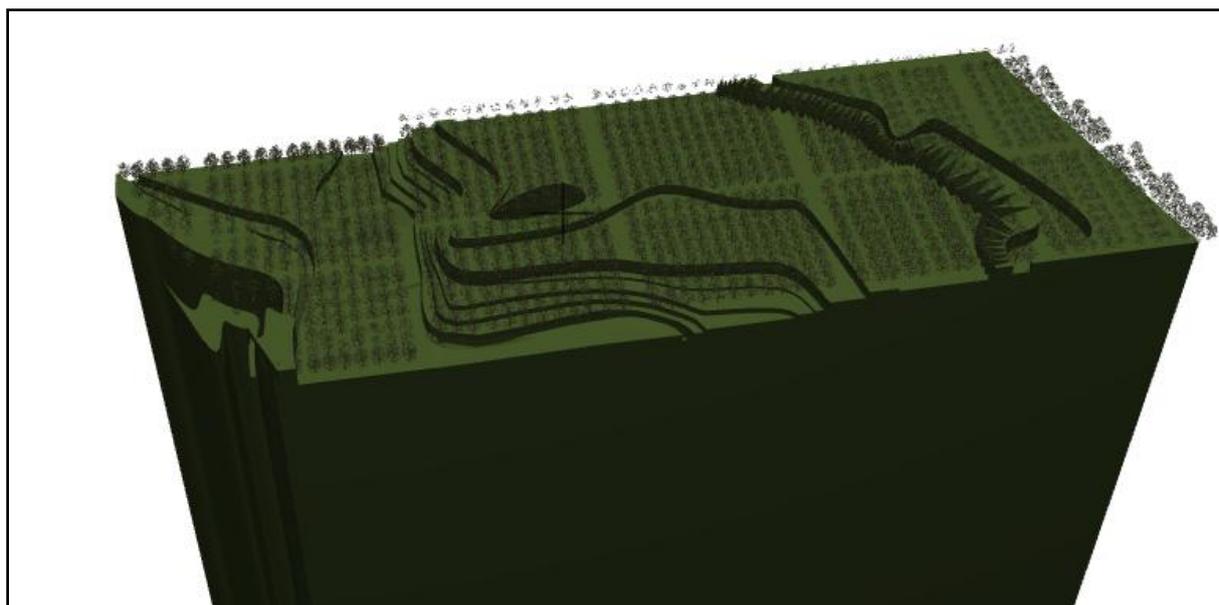
Les parties indiquées dans le plan en 2D sont modelisées en 3D dans les figures suivantes :



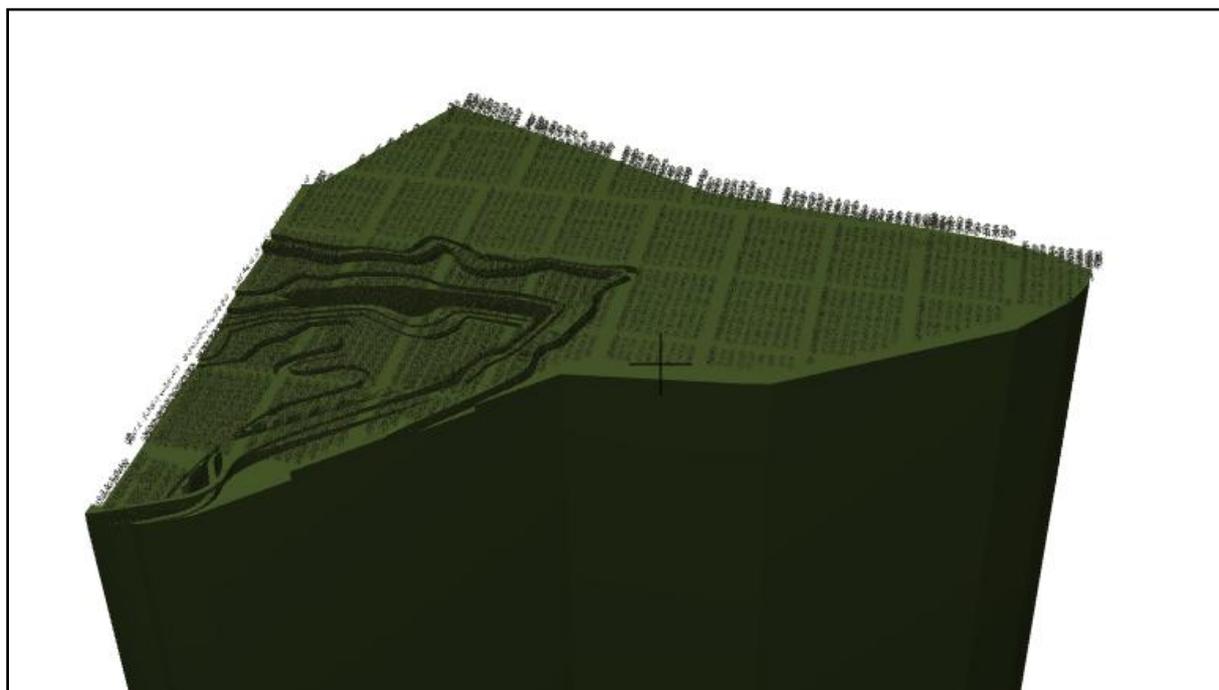
**Figure V.3** :partie 1 du plan final.



**Figure V.4** :partie 2 du plan final.



**Figure V.5 :** partie 3 du plan final.



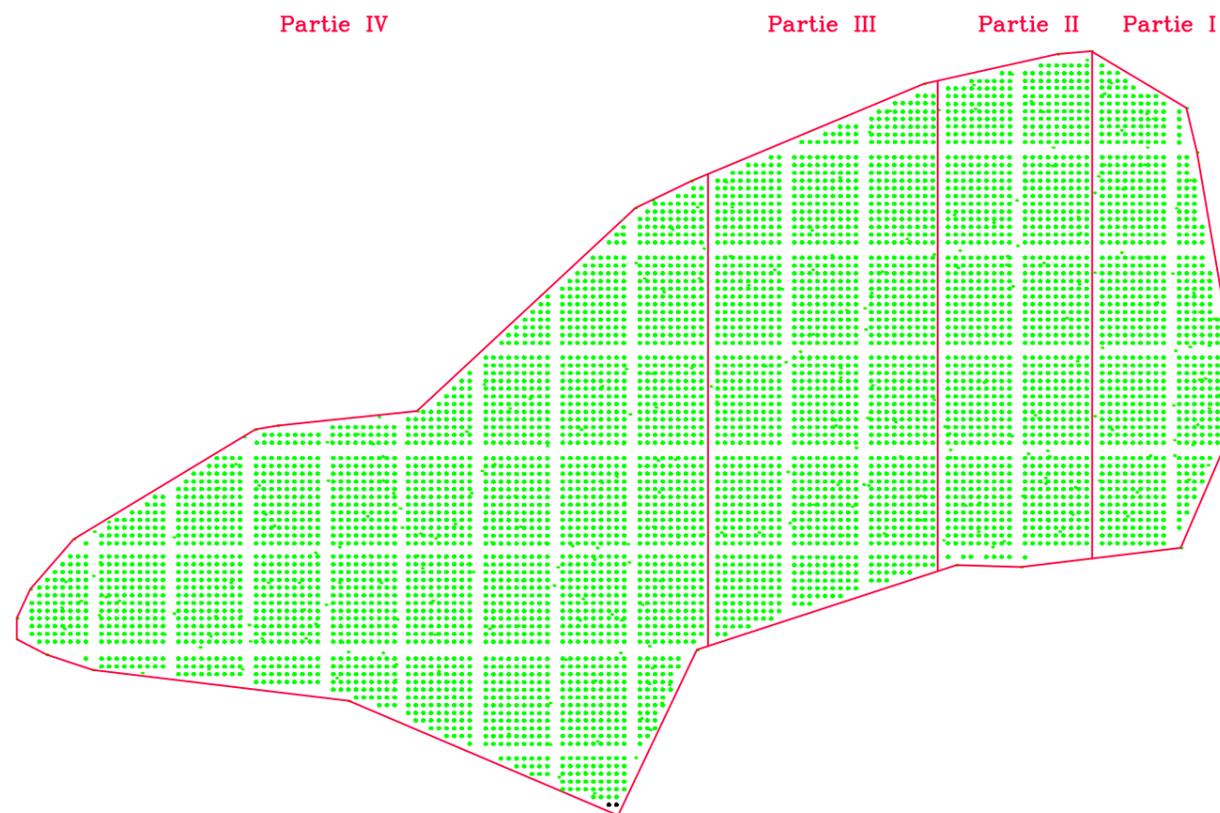
**Figure V.6 :** partie 4 du plan final.

## **Conclusion**

Une fois les remblais mis en place, les matériaux propres au site (stériles et terre végétale) sont régalés respectivement afin de reconstituer un sol agricole ou forestier. Une décoration visant à affecter aux terrains réaménagés leur topographie finale est ainsi effectué. Le couvert végétal peut par la suite être mis en place en fonction de la destination finale des sols.

La réhabilitation par remblaiement s'effectue selon des règles strictes. La qualité des matériaux d'apport est contrôlée, l'exploitant établissant des bordereaux de suivi qui attestent que les matériaux utilisés sont conformes à leur destination.

La réhabilitation de site d'étude exige le choix d'une végétation locale. On a abouti a choisir les oliviers en évaluant leurs frais et ceux des différentes couches de remblai.



PLAN FINAL EN 2D





## Conclusion générale

Le processus d'exploitation des mines et des carrières engendre des problèmes majeurs sur l'environnement. Elle provoque en premier lieu, de la poussière qui gêne toute les espèces vivent quelle que soit humaine, végétale ou animale. En deuxième lieu, le bruit et les vibrations engendrés par les tirs des mines, ont une grande influence sur la stabilité des terrains et des ouvrages urbains situent aux alentours de gisement. À la fin de l'exploitation, les sites restent biodégradés, d'où l'exigence de la remise en état des mines et carrières.

La loi minière algérienne exige la réhabilitation des sites miniers. Afin que cette dernière soit réalisée, il faut d'abord stabiliser le terrain, et après remblayer les vides créés par l'exploitation, pour que les zones exploitées prenne une allure d'une topographie adéquate pour l'agriculture et/ ou une forme d'un ouvrage à construire dans la zone exploitée, et pour finalisé, le type d'une végétation à mettre en place doit être choisi avec précaution pour qu'elle peut supporter le climat et le type des terrains de la région exploitée.

Donc l'objectif de notre projet est de connaître l'état du site à réhabiliter y compris les effets de l'exploitation sur ce site, la classification de notre massif pour pouvoir choisir le moyen de stabilisation des fronts et la préparation de surface de boisement des plantations choisies.

❖ Le choix de la méthode de réhabilitation est fonction :

- De la situation géographique du site (localisation de la carrière),
- Du contexte socio-économique et humain du secteur (environnement agricole, industriel, loisirs et accueil du public, zone naturelle...),
- Des contraintes techniques d'exploitation (profondeur de l'excavation, présence de fronts, de plan d'eau résultant de l'exploitation, présence de la nappe phréatique, stériles d'exploitation, apports de remblais extérieurs inertes),
- Des contraintes de sécurité (stabilité des terrains, fronts après exploitation),
- De l'environnement (paysage),
- Des enjeux écologiques (sensibilité floristique des terrains).

Les ressources économique de la phase d'exploitation des carrières est associée à la phase d'investissement dans la réhabilitation des sites miniers, qui ont été exploités devraient répondre à la limitation et à la réduction ou à l'annulation des nuisances induites, à la protection des ressources en eau, des cours d'eau et des espaces naturels.

À la fin de ce projet et après avoir classifié notre massif, choisi le moyen de stabilisation et le type de remblai et d'après les conditions du site on a pu choisir de planter des oliviers et estimer les couts des différentes opérations.

La qualité de la réhabilitation d'une carrière, c'est-à-dire l'intégration la plus complète possible de l'ancienne excavation dans le milieu environnant, peut s'apprécier au délai que met l'ensemble des êtres vivants (plantes, animaux, humains) à la repeupler.

**Références bibliographiques**

- [1] Adrien Gallant P.,[2000], “ La plantation et l'entretien des arbres “.
- [2] Aliouche M ., [2008] ,“ Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l’environnement ; Etude de cas dans l’Est Algérien (Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine)“ , mémoire de fin d’études, université Constantine.
- [3] AMARI G. ; [2010] “Projet d'ouverture et d'exploitation du gisement de Kraoula, Sidi Ali Benyoub (Sidi Bel Abbès) “ . Mémoire de fin d’études de l’école nationale polytechnique.
- [4] Amrani S., [2011], “ Etude de Stabilité des Talus de la Carrière de Meftah(Blida) “, mémoire de fin d’étude, Ecole Nationale Polytechnique.
- [5] Antoine C., [2012], “ Exposition aux poussières provenant d’une mine à ciel ouvert: Evaluation des risques et biodisponibilité des métaux“, thèse, Université de Sherbrooke.
- [6] Archimbaud C et al ., [1984], “ Contribution des laboratoires des Ponts et Chaussées au premier symposium international sur les granulats“.
- [7] Baladah F., [2012], “ revalorisation des rejets barytiques issues des jigs et Impact environnemental: cas de la mine d'Ain Mimoune/khenchla“, mémoire de fin d’études, université Annaba.
- [8] Calembert L et al ., [1978], “Géologie de l’Ingénieur et Mécanique des Roches“, Annales des Travaux Publics de Belgique.
- [9] CECILE C. ; [2011] “Analyse et optimisation des pratiques d'abattage a l'explosif dans une carrière de granulats “, thèse, L’école des mines de Paris.
- [10]Cédric J., [2007], “ Modélisation expérimentale de la fracturation d'un milieu sédimentaire “, thèse, Université Nice Sophia Antipolis .

- [11] Chalhoub M ., [2006], “Apports des méthodes d'homogénéisation numériques a la classification des massifs rocheux fracturées“. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- [12] Deere, D. U., [1988], “The Rock Quality Designation (RQD) index in practice“, In Rock classification systems for engineering purposes, edition Kirkaldie L., Philadelphia.
- [13] Direction de l’agriculture (wilaya de Bouira).
- [14] Direction de l’environnement (wilaya de Bouira).
- [15] Djarfour D., [2006], “Projet d'extension de la carrière d'agrégats de calcaire de Djebel Sadjar – Ain Smara, W. Constantine –“, projet de fin d'études, Ecole nationale Polytechnique.
- [16] Document de Nitro-Bickford. , [2002].
- [17] Document interne de l’entreprise nationale des granulats (unité El Hachimia).
- [18] Duriez J M ., [2015] , “guide du planteur d'oliviers“ .
- [19] Gadri L., [2012], “étude de la déformation et de la rupture des massifs fissurés par la méthode des éléments finis (cas de la mine souterraine de Boukhadra) “ ,thèse de doctorat, université Annaba.
- [20] Giafferi J L ., [2003] , “Recommandations relatives a la caractérisation des massifs rocheux utile a l’étude et a la réalisation des ouvrages souterrains » “ .
- [21] HADJADJ A E. ; “ prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions algériennes “ . Thèse de doctorat de l’Université Badji Mokhtar Annaba.

- [22] Hammouda S A Et Mehdid A., [2011], “ Contribution a l'étude des ressources minérales Dans les monts des traras (calcaire, sable et argile) Etat actuel, perspectives et impact sur l'environnement“, mémoire de fin d'études, université de Tlemcen.
- [23] HEINIÖ M. ; [1999] “Rock Excavation Handbook“.
- [24] Iris K K .,[2013] ,“ Caractérisations structurale et mécanique du massif rocheux de la fosse Tiriganiaq du projet Meliadine à l'aide de la modélisation synthétique du massif rocheux “, thèse, Université Laval.
- [25] Journal officiel de la république algérienne n° 28.,[2014].
- [26] Lansiaart M et Odent B ., [1999] ,“La remise en état des carrières : principes généraux ,recommandations techniques et exemples par type d'exploitation“ .
- [27] MACIEJA., [2012], “Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheux schisteux“, thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de MONTREAL, spécialité de génie minéral,
- [28] M'zoughem K et Chenafa W., [2006], “Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain El Kebira (Sétif), “ projet de fin d'étude, université de Setif .
- [29] Michel M C et al ., [2008] ., “Guide de mise en œuvre des produits explosifs en milieu subaquatique“.
- [30] Missat L ., [2012] ,“ Perspectives de développement de l'olivier dans les Monts des Ksour», mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen.
- [31] Mourida A ., [2014], “ contribution a l'étude des maladies cryptogamiques d'olivier dans la région Hennaya – Tlemcen», mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen.
- [32] NEFIS M. ; [2010] “ Modèle d'un plan de tir “. Mémoire de Magister, l'Université Badji Mokhtar Annaba.

[33] OFFICE NATIONAL DES SUBSTANCES EXPLOSIFS (ONEX), “ Techniques d’utilisation des explosifs “

[34] OLOFSSON S.O., [2002] “Applied explosives technology for construction and mining“.

[35] Porokhovoï E ., [1995] ,“ Stabilité à long terme des talus de mines à ciel ouvert dans les massifs de roches basiques et ultrabasiqes», thèse de doctorat, l’école nationale des ponts et chaussées .

[36] Renard Y et al ., [2015] ,“Eléments géologiques“.

[37] Roche V., [2011], “Architecture et croissance des failles dans les alternances argilo-calcaires Exemples dans les alternances du Bassin du Sud-Est (France) et modélisation numérique “, thèse, université de Paris.

[38] Roger C et Martine A., [2011], “géologie de l’ingénieur“.

[39] Saad D ., [2009] , “ étude des endomycorhizes de la variété Sigoise d’olivier et essai de leur application a des boutures semi-ligneuses “, mémoire de magister, université d’Oran.

[40] Schroeder Ch., [2010], “Etude de stabilité des parois rocheuses“, Revue de société Belge de géologie de l’ingénieur et de mécanique des roches (SBGIMR).

[41] Stephanie T ., [2012] ,“ méthodes de végétalisation dans la restauration écologique de sites miniers : comparaison entre le Québec et le Pérou“, thèse, Université de Sherbrooke.

[42] Zhao J ., [2008], “Propriétés des discontinuités“, part 3, cours de mécanique des roches, l’école polytechnique fédérale de Lausanne.

[43] Zhao J ., [2008], “Roches et massifs rocheux“, part 1, cours de mécanique des roches, l’école polytechnique fédérale de Lausanne.

## Annexe 1 :

### Présentation de l'entreprise nationale des granulats

L'Entreprise Nationale des Granulats (ENG) a vu le jour le premier Janvier 1987 à la suite de la restructuration de la société nationale de matériaux de construction "SNMC".

L'ENG est chargée de la gestion des activités de production, de commercialisation et de développement des granulats, carbonate de calcium et de pierres ornementales et/ou marbre.

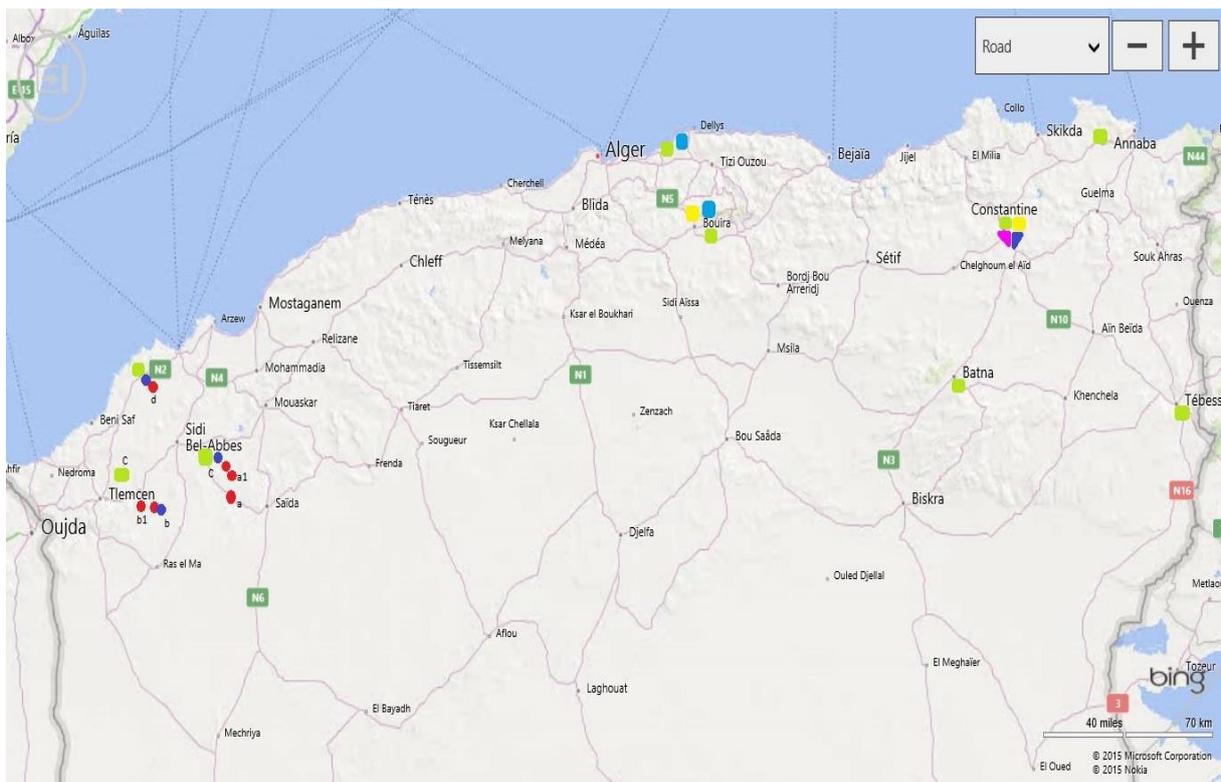
Le patrimoine de l'ENG est constitué de :

Neuf (9) unités de granulats en exploitation réparties sur le territoire national.

Une (1) unité de pierres ornementales composée de six (6) carrières et d'une usine et de (2) ateliers de sciage.

Une (1) usine de carbonate de calcium.

Un (1) laboratoire central pour le contrôle de la qualité des produits de l'entreprise.



- Sidi Abdelli – Telemcen
- Sidi Ali Benyoub – Sidi Belabbes
- El Maleh – Ain Témouchent
- Takbalet (b) – Telemcen
- Sidi Lahcen(c) – Sidi Belabbes
- Chaabat (d) – Ain Témouchent

- 
- El Khroub – Constantine
  - Dhaya(a)– Sidi Belabbes
  - Takbalet (b) – Telemcen
  - Sidi Lahcen(c)– Sidi Belabbes
  - Tenira (a1) – Sidi Belabbes
  - El Khroub – Constantine
  - ◀ Laboratoire contrôle qualité
  - Chaabat (d) – Ain Témouchent
  - Sidi Abdelli (b1) –télemcen
  - Si Mustapha – Boumerdes
  - El Hachimia – Bouira
  - Bouzegza – Boumerdes
  - El Hachimia–Bouira
  - Ain Touta – Batna
  - Ben Azzouz - Skikda
  - ElmaLabioud – Tébessa
  - El Khroub 1 – Constantine

Carte des unités de l'entreprise nationale des granulats.

## Annexe 2 :

<b>E. INDICATIONS POUR LA NOTATION "NATURE DES DISCONTINUITES"</b>					
Longueur des discontinuités	< 1 m	de 1 à 3 m	de 3 à 10 m	de 10 à 20 m	> 20 m
<b>Notation</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Ouverture des discontinuités	aucune	< 0,1 mm	de 0,1 à 1 mm	de 1 à 5 mm	> 5 mm
<b>Notation</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Rugosité des épontes des discontinuités	Très rugueuse	Rugueuse	Légèrement rugueuse	Lisse	Lustrée
<b>Notation</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Altération des épontes	Non altéré	Légèrement altéré	Moyennement altéré	Très altéré	Décomposé
<b>Notation</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Matériau de remplissage des discontinuités	Aucun	Remplissage dur < 5 mm	Remplissage dur > 5 mm	Remplissage mou < 5 mm	Remplissage mou > 5 mm
<b>Notation</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Nota :</b> Certaines conditions sont mutuellement exclusives. Par exemple, si du matériau de remplissage est présent, il n'est plus pertinent de considérer la rugosité dans la mesure où son effet sera effacé par celui du remplissage. Dans ce cas utiliser directement la notation du tableau A 4.					
<b>F. INFLUENCE DE L'ORIENTATION ET DU PENDAGE DES DISCONTINUITES POUR LA STABILITE DES TUNNELS</b>					
Horizontale du plan de discontinuité perpendiculaire à l'axe longitudinal du tunnel (creusement en travers bancs)		Horizontale du plan de discontinuité parallèle à l'axe longitudinal du tunnel (creusement en direction)			
Creusement dans le sens du pendage		Pendage 45° à 90° : très défavorable		Pendage 20° à 45° : moyen	
Pendage 45° à 90° : très favorable	Pendage 20° à 45° : favorable				
Creusement contre le sens du pendage		Pendage 0° à 20° et orientation quelconque : moyen			
Pendage 45° à 90° : moyen	Pendage 20° à 45° : défavorable				



**Annexe 3 :**

➤ Nom du dessin : Dessin1

Ecriture du listing le 13/06/2016 à 14:42:06

Caractéristiques des modèles numériques
---

Calque MNT1	TN_MNT1
Calque MNT2	TN_MNT2

	MNT 1	MNT 2
Nombre de faces	690	894
Altitude mini	740.000 m	739.040 m
Altitude maxi	770.000 m	804.770 m
Surface totale 2D	506872.00 m <sup>2</sup>	580994.72 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	515706.79 m <sup>2</sup>	610080.15 m <sup>2</sup>
Surface utile 2D	503187.07 m <sup>2</sup>	503187.07 m <sup>2</sup>
Surface utile 3D	511947.82 m <sup>2</sup>	530446.15 m <sup>2</sup>

Résultats du calcul de cubatures MNT1 □ MNT2
--

Surfaces 2D	
Avec déblai	: 153240.53 m <sup>2</sup>
Avec remblai	: 349946.54 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 503187.07 m <sup>2</sup>

Volumes	
Déblai	: 816729.779 m <sup>3</sup>
Remblai	: 3317901.539 m <sup>3</sup>
Total	: 4134631.319 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
Avec déblai	: 158539.59 m <sup>2</sup>
Avec remblai	: 353408.22 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 511947.82 m <sup>2</sup>

➤ **Tables des masses volumiques de diverses substances**

Sauf indications contraires, les masses volumiques sont données pour des corps à la température de 20 °C, sous la pression atmosphérique normale.

Roches, minéraux corps usuels	masse volumique
	kg/m <sup>3</sup>
ardoise	2 700 - 2 800
amiante	2 500
argile	1 700
béton	2 300 (armé 2 400)
calcaire	2 600 - 2 700
craie	1 250
granite	2 600 - 2 700
Grès	2 600
kaolin	2 260
marbre	2 650 - 2 750
quartz	2 650
Pierre ponce	910
porcelaine	2 500
sable	1 600
terre végétale	1 250
verre à vitres	2 530

## Annexe 4 :

### ➤ Dossier préliminaire de fermeture

Dans e cadre de déclaration de fermeture (article 64 de la loi minière), l'opérateur minier doit transmettre à l'ANGCM, trois mois avant l'arrêt des travaux d'exploitation, un dossier préliminaire, en vue d'assurer la prise en charge des risques laissés pas les travaux d'exploitation et la situation juridique et financière de 'exploitation en vue de sa fermeture. Ce dossier est composé des pièces suivantes :

- **Document administratifs et juridiques**

1. Déclaration de la fermeture définitive de a carrière, en précisant les raisons de la fermeture du site minier.
2. une copie de la demande de renonciation adressé à l'ANPM (art 30 du décret 02-65 du 06/02/2002) ou à la wilaya, s'i y a lieu.
3. une copie conforme de la demande, adressé par l'exploitant au propriétaire ou au gestionnaire du foncier, l'informant de la fermeture prévue du site et sollicitant son avis sur la proposition technique du réaménagement et éventuellement ses propositions.
4. la copie du document justifiant la décision du propriétaire ou du gestionnaire du foncier à prendre en charge e réaménagement du site minier, s'il y a lieu.
5. l'engagement de prendre en charge toute pollution résiduelle ou accident quelque soit sa nature, dus à l'exploitation ou au perces de traitement, qui pourrait apparaitre après les travaux de fermeture.
6. le justificatif du bénéfice de l'occupation du terrain.

- **Documents financiers**

1. Les justificatifs de l'acquittement des paiements de la redevance pour toute la durée de l'activité.
2. Les justificatifs de l'alimentation du compte séquestre.
3. Le justificatif de l'acquittement de la taxe superficiaire.

- **Document sécuritaires**

Un mémoire sur les mesures préliminaires prises relatives à la protection à la sécurisation des zones exploitées.

- **Document Techniques**

- ✓ Un plan de situation a l'échelle appropriée des éléments suivants :
  - Structures et infrastructures implantées sur le site : e réseau de circulation et édifices (habitations individuelles, unité de concassage et/ou de traitement, magasins, digues, base de vie, etc...)
  - Ouvrages miniers : gradins, excavations pour l'exploitation à ciel ouvert.
  - Ouvrages miniers : puits, galerie et descenderies, travers banc pour l'exploitation souterraine.
  - Dépôt : terres de découverte, déchets solides, stériles et rejets de la digue.

- Oueds, inventaire de tous les produits chimiques utilisés dans le processus de traitement.
- ✓ mémoire et plan de l'ensemble des travaux effectués dans le cadre de la remise en état graduelle (parcelles et installations).

### **Phase II : prise en charge du dossier préliminaire**

Après exploitation du dossier, l'ANGCM adressera une notification à l'opérateur minier relative à l'acceptation de son dossier préliminaire comprenant de mise en œuvre des mesures préliminaires de fermeture et prise en charge des insuffisances potentielles constatées.

### **Phase III : mise en œuvre du dossier préliminaire**

Immédiatement après réception de la notification relative à l'acceptation de son dossier préliminaire, l'exploitant est tenu de mettre en œuvre les mesures préliminaires de fermeture. Les mesures de sécurisation et de protection du périmètre, prévues dans ce cadre, doivent être prises en charge aussitôt après le dépôt de la déclaration de fermeture.

### **Phase IV : dossier final de fermeture**

Dans les trois mois qui suivent l'arrêt définitif des travaux d'exploitation, l'opérateur minier dit transmettre à l'ANGCM le dossier de fermeture. La composition de ce dossier est axée sur les quatre points spécifiés dans l'article 59 de la loi 01/10, portant loi minière, à savoir la remise en état des lieux, la conservation du gisement, la protection des nappes et des eaux superficielles et la préservation de la sécurité publique.

## Annexe 2 : Classification RMR

PARAMETRES		COEFFICIENTS					
1	Résistance de la roche (MPa)	> 10	4- 10	2-4	1- 4	Indice Franklin non utilisable (MPa)	
	Résistance à la compression (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1	
Note		15	12	7	4	2 1 0	
2	R.Q.D.	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	
	Note	20	17	13	8	3	
3	Espacement des joints	>2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m	
	note	20	15	10	8	5	
4	Nature des joints	Surfaces très rugueuses non continues Eponte en contact Eponte non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur <1 mm Eponte non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur <1 mm Eponte altérées	Surfaces lustrées ou remplissage <5 mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joints continus	Remplissage mou>5 mm ou joints ouverts>5 mm joints continus	
	Note	30	25	20	10	0	
5	Ventes d'eau	Débit sur 10 m	Aucune venue d'eau	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
		Pression d'eau contrainte principale	0	<0,1	0.1 0.2	0.2-0.5	> 0.5
	Hydro-géologie	Complètement sec	Humide	Suintements (eau interstitielle)	Pression d'eau modérée	Problèmes sérieux de ventes d'eau	
note		15	10	7	4	0	

Qualité du massif rocheux selon le RMR

Note globale	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe du massif rocheux	I	II	III	IV	V
Description du massif rocheux	très bon rocher	bon rocher	rocher moyen	rocher médiocre	rocher très médiocre

## ملخص

وحدة الهاشمية من أهم وحدات المؤسسة الوطنية للحصى، تتربع على مساحة تقدر بعدة كيلومترات مربع في وسط الجزائر ولاية البويرة. هذا المشروع من شأنه إعادة تأهيل الموقع القديم (الحاجب)، الذي يبعد بـ19 كلم جنوب البويرة 7 كلم شمال شرق قرية الهاشمية .

و بهذا الخصوص ،أقيمت دراسات متعلقة بالتأثيرات المؤثرة على استغلال المحجرة و استقرارها مع ذكر الشروط المحيطة بالموقع ، من أجل اختيار طريقة ملائمة و فعالة لضمان صيانة مثلى.

هذه المذكرة عبارة عن اقتراح وسيلة لاستقرار المحجرة، مع وضع مخطط نهائي له لتمثيل ما تؤول إليه محجرة الحاجب .

**الكلمات الرئيسية:**إعادة التأهيل،لونجفور،التأثير،استقرار،التشجير،الردم،أشجار الزيتون.

## Résumé

L'unité d'El Hachimia est l'une des plus grandes unités de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG), Elle couvre une superficie de plusieurs kilomètres carrés dans la région centre d'Algérie (W. Bouira) .Ce projet consiste a réhabiliter l'ancien site (El Hadjeb) situé à 19 km au sud de Bouira et à 7 km au Nord-est du village EL-Hachimia.

A cet effet des études sur les impacts liées a l'exploitation de gisement, la stabilité des fronts de taille et les conditions de l'environnement du site ont été faites pour choisir le procédé favorable et efficace pour une parfaite réhabilitation de la carrière.

Il s'agit de proposer un moyen de stabilisation des fronts et une espèce végétale à mettre en place ainsi qu'un plan final présente la devenir de la carrière.

**Mots clés :** réhabilitation, Langefors , impact , stabilité ,boisement ,remblai , oliviers.

## Abstract

The unit of El Hachimia is one of the largest units of the National Company of Aggregates (ENG), covers an area of several square kilometers in the center region of Algeria ( Bouira W. ). This project is to rehabilitate the old site ( El Hadjeb ) located 19 km south of Bouira and 7 km Northeast EL-Hachimia village. To this end studies on the impacts related to the exploitation of the deposit, the stability of working faces and the conditions of the site environment have made to choose the favorable and efficient method for perfect rehabilitation of the quarry.

These fronts provide a stabilizing medium and a plant species to set up and a final plan has become the quarry.

**Keywords:** Rehabilitation, Langefors, impact, stability, afforestation, embankment, trees.