

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR 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**  
**Filière : Génie Minier**  
**Option : Exploitation des Mines**

**Présenté par ASTOUATI Amar**  
**AZZI Badreddine**

## Thème

***Etude de réhabilitation de la carrière d'Adrar  
Oufarnou(W.BEJAIA)***

Soutenu le 20 / 06 / 2023 devant le jury composé de:

Président	TOUNSI Hassina	MCB	U.A.M.Bejaia
Encadrant	DJEZAIRI Omar	MAA	U.A.M.Bejaia
Examineur	LARACHI Nassim	MAA	U.A.M.Bejaia

**Promotion: 2022-2023**

# REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu **Allah** de nous avoir donné du courage et de la détermination pour mener à terminer ce travail qui nécessite un grand effort et beaucoup de volonté.

Et on tient à remercier notre encadrant monsieur **DJEZAIRI Omar** de nous avoir fait l'honneur de nous avoir orienté sur la bonne voie pour faire un bon travail, il nous a apporté des conseils, grâce à lui que ce travail a pu voir le jour par son soutien durant tout au long de l'année.

Et on tient à remercier les membres de jury, Nous tenons à remercier notre maître de stage l'**ingénieur** des mines Mr H.LAKHADAR, le **topographe** Mr S.HADJ, la **géotechnicienne** Mm M.BELBASSE et tout **fonctionnaire** de la carrière d'Adrar Oufarnou qui ont apporté leur aide et conseil à la réalisation de ce travail et permis d'effectuer notre stage dans les meilleures conditions.

# Dédicaces



*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, Pilier de la famille, qui a été mon ombre  
durant toutes les années des études, que dieu les garde et les protège.*

*A mes très chers frères et sœurs et toute ma famille qui nous  
ont soutenu et encouragé de loin ou de près et apporté de la force et  
un soutien moral durant notre formation universitaire.*

*Et je voudrai remercier mon binôme **ABZJ**  
**Badreddine** qui m'a permis de me soulager dans la conception  
de notre projet de fin d'étude.*

*Et en dernier, je tiens à remercier mon chers ami et  
camarade **AOUGALIAE Allal** qui s'est porté  
volontaire à nous aidé moi et mon binôme à finaliser notre  
mémoire dans il été d'une aide précieuse.*



**Amar -**

*Je dédies ce modeste travail,*

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



*À mon père, Pilier de la famille, qui a été mon ombre  
durant toutes les années des études, que dieu les garde et les protège.*

*À mes très chers frères et sœurs et toute ma famille qui nous  
ont soutenu et encouragé de loin ou de près et apporté de la force et  
un soutien moral durant notre formation universitaire.*

*Et je voudrai remercier mon binôme  
ASTOUATI Amar qui m'a permis de me soulager  
dans la conception de notre projet de fin d'étude.*

*Et en dernier, je tiens à remercier mon chers ami et  
camarade AOUZALLAË Allal qui s'est porté  
volontaire à nous aidé moi et mon binôme à finaliser notre  
mémoire dans il été d'une aide précieuse.*



**- Badr -**

# Sommaire

---

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste d'abréviation

Liste des formules

Introduction générale

## Chapitre I : Généralité sur la carrière

Introduction.....	1
I.1. Situation géographique.....	1
I.2. Climatologie.....	1
I.3. Géologie du gisement.....	2
I.4. Réserves géologique et exploitable du gisement.....	3
I.5. Caractéristiques de la roche.....	5
I.6. Caractéristiques physico-mécaniques.....	7
I.7. Caractéristiques chimique.....	8
Conclusion.....	8

## Chapitre II : Technologie d'exploitation

Introduction.....	9
II.1. Méthode d'exploitation de la carrière.....	9
II.1.1. Caractéristiques de la piste.....	9
II.1.2. Principaux éléments du système d'exploitation.....	11
II.1.3. Travaux préparatoires.....	14
II.1.4. Travaux d'abattage.....	14
II.1.5. Mode de forage.....	15
II.1.6. Les explosifs utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou.....	16
II.1.7. Accessoires de tir utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou.....	17
II.1.8. Paramètres du plan de tir de la carrière Adrar Oufarnou.....	18
II.1.9. Chargement et transport de la matière première.....	18
II.1.10. Préparation mécanique des granulats.....	20
II.2. Développement des travaux d'exploitation.....	22
II.3. Elaboration du plan de la phase finale de la carrière.....	25
II.3.1. Etat d'avancement des travaux d'exploitation.....	25

## Sommaire

---

II.3.2. La superficie de la zone exploitée.....	25
Conclusion.....	28

### Chapitre III : Etude de la stabilité du talus

Introduction.....	29
III.1. Facteurs influençant la stabilité des talus.....	29
III.1.1. Les déformations dans les mines à ciel ouvert.....	29
III.1.2. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain.....	30
III.1.3. Autres facteurs naturels.....	31
III.2. Techniques de stabilisation.....	32
III.2.1. Stabilisation du talus.....	32
III.2.2. Stabilisation des gradins.....	35
III.3. Détermination du facteur de sécurité.....	37
III.3.1. Coefficient de sécurité.....	37
III.4. Méthodes calculs à la rupture.....	39
III.4.1. Méthodes des tranches.....	39
III.4.2. Méthode des blocs.....	41
III.4.3. La méthode des éléments finis (MEF).....	43
III.5. Choix des paramètres.....	44
III.5.1. Début de modélisation.....	44
III.5.2. Interprétation des résultats.....	48
Conclusion.....	48

### Chapitre IV : Etude de remise en état des lieux

Introduction.....	48
IV.1. Législation minière et exploitation en « Algérie ».....	50
IV.1.1. Protocole de l'ANAM.....	52
IV.1.2. Compte séquestre ou Dépôts bancaire.....	54
IV.2. Plan de réhabilitation et de restauration.....	54
IV.2.1. Les différents impacts de la carrière d'adrar Oufarnou.....	56
IV.2.2. Solutions proposés.....	57
IV.3. Terrassement et aménagement des fronts.....	58
IV.3.1. Types d'engins aux travaux nécessaires.....	58
IV.3.2. Terrassement.....	59

## Sommaire

---

<b>IV.3.3. Le nivellement (déblai et remblai)</b> .....	59
<b>IV.4. Choix de réhabilitation du site minier « Adrar Oufarnou »</b> .....	60
<b>IV.4.1. Reconstitution du site minier « Adrar oufarnou »</b> .....	60
<b>IV.4.2. Réaménagement de la carrière</b> .....	70
<b>Conclusion</b> .....	71

**Conclusion générale**

**Référence bibliographique**

**Annexes**

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Les coordonnées du gisement d’Adrar Oufarnou.....	1
<b>Tableau I.2</b> : Réserves exploitables et géologiques en 2023.....	4
<b>Tableau I.3</b> : Caractéristiques physico-mécaniques des granulats de la carrière.....	7
<b>Tableau I.4</b> : Composition chimique de la roche.....	8
<b>Tableau II.1</b> : La hauteur des gradins des niveaux en cours d’exploitation (2023).....	12
<b>Tableau II.2</b> : Paramètres des explosifs utilisés dans la carrière d’Adrar Oufarnou (2023)...	16
<b>Tableau II.3</b> : Explosifs et accessoires nécessaire (2023).....	17
<b>Tableau II.4</b> : Données préliminaires (2023).....	17
<b>Tableau II.5</b> : Paramètres techniques du plan de tir (2023).....	18
<b>Tableau II.6</b> : Rendement de matériel utilisé dans la carrière d’Adrar Oufarnou (2023).....	19
<b>Tableau II.7</b> : Rendement des camions utilisés dans la carrière d’Adrar Oufarnou (2023)....	20
<b>Tableau II.8</b> : Capacité et taux d’utilisation de la station de concassage (2023).....	21
<b>Tableau II.9</b> : Paramètres des différentes phases d’exploitation (2023).....	23
<b>Tableau II.10</b> : Données utilisées pour la modélisation du plan final.....	26
<b>Tableau III.1</b> : Paramètres de sécurité des ouvrages techniques en fonction de Fs.....	37
<b>Tableau III.2</b> : Caractéristique physico-mécanique.....	44
<b>Tableau III.3</b> : Les valeurs du coefficient de sécurité.....	47
<b>Tableau IV.1</b> : Engins nécessaire et leurs rôles aux travaux mécaniques.....	58
<b>Tableau IV.2</b> : Les richesses spécifiques de chaque espèce.....	61
<b>Tableau IV.3</b> : Espèces d’animaux protégé dans le parc Gouraya.....	63
<b>Tableau IV.4</b> : Arbres et plantes choisie pour la renaturalisation.....	65
<b>Tableau IV.5</b> : Exemple d’application.....	68



## Liste des figures

---

### Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Extrait de la carte géologique (ENOF).....	2
<b>Figure I.2</b> : Levée topographique de la carrière d'Adrar Oufarnou au 31/12/2022.....	5
<b>Figure I.3</b> : Calcaire organogène.....	6
<b>Figure I.4</b> : Calcaire détritique (grés et arkose).....	6
<b>Figure I.5</b> : Roche carbonaté (craie).....	7
<b>Figure II.1</b> : Schéma de la largeur de la piste.....	10
<b>Figure II.2</b> : Schéma de la plate-forme de travail lors de l'abattage à l'explosif.....	13
<b>Figure II.3</b> : Vue générale de la station de concassage de l'unité Adrar Oufarnou.....	21
<b>Figure II.4</b> : Schéma technologique de l'installation de traitement d'Adrar Oufarnou.....	22
<b>Figure II.5</b> : Plan d'exploitation de la carrière d'Adrar Oufarnou (ENOF 2023).....	24
<b>Figure II.6</b> : Plan de développement de la phase final de la carrière d'Adrar Oufarnou.....	27
<b>Figure III.1</b> : Classification des déformations dans les mines à ciel ouvert.....	30
<b>Figure III.2</b> : Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain.....	31
<b>Figure III.3</b> : Stabilisation de talus par aplatissement.....	33
<b>Figure III.4</b> : Phases de réalisation de parois clouée.....	33
<b>Figure III.5</b> : Stabilisation de talus par ancrages.....	34
<b>Figure III.6</b> : Tirant précontraint ancré au terrain par injection de scellement.....	34
<b>Figure III.7</b> : Stabilisation de talus par boulonnage.....	35
<b>Figure III.8</b> : Illustration de réduction de l'inclinaison d'un talus.....	36
<b>Figure III.9</b> : Illustration de la réduction dans notre cas d'étude.....	37
<b>Figure III.10</b> : Stabilisation de talus par drainage.....	37
<b>Figure III.11</b> : Illustration de découpage par la méthode suédoise de Fellenius.....	39
<b>Figure III.12</b> : Forces considérées dans la méthode de Janbu.....	40
<b>Figure III.13</b> : Schéma de rupture plane.....	42

## Liste des figures

---

<b>Figure III.14</b> : Schéma de rupture plane infinie.....	43
<b>Figure III.15</b> : Profil modélisé par le logiciel Slide.....	44
<b>Figure III.16</b> : Coefficient de sécurité obtenu de la méthode Fellenius ( $F_s=1.053$ ).....	45
<b>Figure III.17</b> : Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par Fellenius.....	45
<b>Figure III.18</b> : Coefficient de sécurité obtenu de la méthode Junbu ( $F_s=1.072$ ).....	46
<b>Figure III.19</b> : Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par Junbu simplifié.....	46
<b>Figure III.20</b> : Coefficient de sécurité obtenu de la méthode bishop ( $F_s=1.002$ ).....	47
<b>Figure III.21</b> : Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par bishop simplifié.....	47
<b>Figure IV.1</b> : Le développement hypothétique d'un écosystème, basé sur le modèle de transition d'état (modifié à partir de Grant 2006 et Doley & Audet 2014).....	55
<b>Figure IV.2</b> : Photo de la carrière d'Adrar Oufarnou proximité d'une forêt (2023).....	56
<b>Figure IV.3</b> : Impact de la carrière Adrar Oufarnou sur la nature.....	57
<b>Figure IV.4</b> : Dessin représentant l'ensemble des engins des travaux mécaniques.....	59
<b>Figure IV.5</b> : Carte de situation du parc national GOURAYA de Bejaïa.....	61
<b>Figure IV.6</b> : Composition floristique et faunistique du parc national du Gouraya.....	62
<b>Figure IV.7</b> : Etapes d'ensemencement d'un arbuste.....	63
<b>Figure IV.8</b> : Types de boutures.....	64
<b>Figure IV.9</b> : Illustration de plantation d'un olivier.....	64
<b>Figure IV.10</b> : Illustration d'une revégétalisation.....	65
<b>Figure IV.11</b> : Climat du parc de Gouraya en 2022 (Algérie météo).....	67
<b>Figure IV.12</b> : Quantité de précipitation en 2022 (Algérie météo).....	67
<b>Figure IV.13</b> : La disposition en carre est simple à mettre en œuvre.....	69
<b>Figure IV.14</b> : Exemple d'un dessin de revégétalisation de la carrière d'Adrar Oufarnou....	69
<b>Figure IV.15</b> : Indication de l'emplacement de construction du complexe architectural.....	70

---

## **Abréviation**

**ANAM** : Agence Nationale des Activités Minières.

**ENOF** : Entreprises national des produits miniers non ferreux et substance utile.

**Km** : Kilomètre.

**U.T.M** : Universelle Transverse Mercator.

**ONEX** : Office national des substances Explosives.

**ALGRAN** : Algérie des Granulats.

**SW** : Sud West.

**RN** : Route nationale numéro.

**CETIM** : Centre D'Etudes et de services Technologiques de L'Industrie des Matériaux de construction.

**D.M.R** : Digital mobile radio.

**D.R.I**: Drilling Rate Index.

**Hg** : La hauteur du gradin.

**Vi**: Le volume du corps compris entre de deux coupes successives.

**L** : Largeur de piste.

**Lpt** : Plateforme de travail.

**Rp** : Rendement des camions.

**$\rho_a$**  : La masse volumique absolue.

**$\tau$**  : La résistance au cisaillement.

**$\varphi$** : L'angle de frottement interne.

**$\alpha$** : L'angle d'inclinaison du gradin.

**P** : La porosité.

**E**: Module de Young.

**ABR** : L'indice d'abrasivité du matériau ou bien du sol.

**Rc**: La résistance à la compression.

**Rt**: La résistance à la traction.

**Sr** : Le degré de saturation.

**LA** : Le coefficient Los Angeles.

**Fs** : Le coefficient de sécurité.

**MEF** : Méthode des éléments finis.

**PNG** : Parc national Gouraya.

**UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.

## Liste des formules

### Liste des formules

$V_i = \frac{((S(i+1)+S_i)*L)}{2} \dots S_i: \frac{((S(i+1)+S_i))}{S(i+1)} < 40\% \dots \dots \dots (I.1)$	calcul des réserves géologiques.....3
$V_t = n * V_i \dots \dots \dots (I.2)$	volume totale des réserves.....3
$Q = V_i \times \gamma \dots \dots \dots (I.3)$	quantité des réserves globales en tonne.....3
$L = 2 \times (a + c) + x + R \dots \dots \dots (II.1)$	La largeur de la chaussée de la piste.....10
$C = 0,5 + 0,005v \dots \dots \dots (II.2)$	largeur de la bande de sécurité.....10
$X = 2 \times c \dots \dots \dots (II.3)$	distance entre bennes des camions.....10
$L_{pt} = A + y + C + T + Z \dots \dots \dots (II.4)$	largeur de la plate-forme de travail.....12
$A = w + (n - 1) \times b \dots \dots \dots (II.5)$	largeur d'enlevure.....13
$X = A \times \left( \frac{2K_f \times H_g}{H_t} - 1 \right) \dots \dots \dots (II.6)$	largeur.....13
$H_t = 0.9 * H_g \dots \dots \dots (II.7)$	hauteur du tas.....13
$C = 0,2 \times H_g \dots \dots \dots (II.8)$	distance entre l'arête inférieur du gradin et de la berme de transport.....14
$Z = H_g \times \left( \frac{1}{\tan \gamma} - \frac{1}{\tan a} \right) \dots \dots \dots (II.9)$	largeur du prisme d'éboulement.....14
$RS = 60 \times T_p \times K_d \times V_f \dots \dots \dots (II.10)$	rendement de la sondeuse.....15
$R_s = R_{sson}/j_r \times N_p \times N_j/a_n \dots \dots \dots (II.11)$	rendement de la sondeuse hydraulique.....15
$RG_p = 60 \times T_p \times K_d \times V_f \dots \dots \dots (II.12)$	rendement du chariot de foration.....16
$RCF_p = RG_p/j_r \times N_j \dots \dots \dots (II.13)$	rendement du groupe de foration.....16
$R_p = \frac{(c \times T_p \times K_u \times 60 \times K_g)}{T_c} \dots \dots \dots (II.14)$	rendement de chaque camion.....20
$F_s = \frac{M_t(\text{resist})}{M_t(\text{moteur})} \dots \dots \dots (III.1)$	facteur de sécurité.....39
$FB_{ish} = \left( \frac{\Sigma(c/b + (W - ub) \tan \phi')}{(\cos a) (1 + \tan a \tan \phi'/F) \Sigma W \sin a} \right) \dots \dots \dots (III.2)$	facteur de sécurité avec la méthode bishop.....40
$F_{s0} = \frac{\Sigma_{n=1}^m (b_n \frac{\tan \phi' [c_i + \frac{W_n}{b_n} - u]}{n a})}{\Sigma_{n=1}^m W_n \tan a} \dots \dots \dots (III.3)$	facteur de sécurité avec la méthode Janbu.....41
$\sigma_\eta = \lambda \gamma h + \mu \sin \left( \frac{\pi (X - X_0)}{X_1 - X_0} \right) \dots \dots \dots (III.4)$	facteur de sécurité avec la méthode de Bell...42
$F(a) = \frac{c/L + W \cos a \tan \phi'}{W \sin a} \dots \dots \dots (III.5)$	facteur de sécurité avec la méthode des blocs rupture plane d'un talus.....42

## Liste des formules

---

$$F = \frac{c' + h \cos \beta \gamma \tan \phi'}{\gamma h \cos \beta \sin \beta} \dots \dots \dots \text{(III.6)} : \text{facteur de sécurité avec la méthode des blocs}$$

rupture d'une pente infinie.....43

$$F = \frac{((\gamma h - \gamma_w (h - h_w))}{\gamma h (\tan \phi' - \tan \beta)} \dots \dots \dots \text{(III.7)} : \text{facteur de sécurité avec la méthode des blocs rupture}$$

d'une pente infinie avec  $c'=0$ .....43

## Introduction générale

---

Un projet minier est composé de plusieurs phases, allant des prospections minières à la période post-clôture de la mine, chaque phase de projet est associée à différents impacts environnementaux, une fois que leurs ressources sont épuisées ou que la rentabilité de l'exploitation diminue, les sites miniers sont fermés, laissant derrière eux une "friche minière" qui présente des risques pour l'environnement, ces risques comprennent des impacts sur les milieux biologiques et physiques, notamment, des risques de stabilité de terrain, connus sous le terme d'après-mine, l'après-mine est l'évolution du site d'une activité minière après son interruption, et des conséquences de divers ordres de cette fermeture : sociaux, écologiques, économiques et sécuritaires, dans l'après mine.

Afin d'étudier les différentes conséquences causées par la cessation d'une activité minière, les entreprises minières doivent établir et actualiser un plan de réhabilitation des sites miniers et la gestion de l'ensemble des risques qui peuvent impacter sur l'environnement pendant toute les phases de projet minier l'objectif du plan de réhabilitation et de fermeture d'un site minier doit toujours viser à retourner le site à une condition qui ressemble le plus possible à la condition d'avant exploitation.

Le choix de la réhabilitation est dépendu :

- 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).

La carrière d'Adrar Oufarnou (W. Bejaia) est une unité de production de granulats appartenant au groupe ENOF, avec une production annuelle de plus d'un million de tonnes, elle couvre une superficie de 48 hectares et a commencé son exploitation en 1978, les réserves exploitables de la carrière sont en grande partie épuisées, ce qui nécessite que l'entreprise entame une étude de réhabilitation de la carrière.

Les projets de restauration pour le développement comprendront la recréation de terres agricoles après la restauration d'une topographie appropriée, avec des pentes basses et

## Introduction générale

---

des connexions avec les terres environnantes, ou avec un plan de réaménagement du site afin d'envisager un projet de réalisation d'un endroit touristique qui apportera des retombés économiques positive à la wilaya de Bejaia.

Dans ce contexte, nous avons volontairement proposé une étude visant à élaborer un plan de réhabilitation et de fermeture de la carrière d'Adrar Oufarnou, cette étude est structurée de la manière suivante :

Dans le premier et deuxième chapitre, nous allons présenter une généralité sur la carrière d'Adrar Oufarnou avec l'élaboration d'un plan d'exploitation de la phase final de la carrière à partir de données rassemblées.

Dans le troisième chapitre, nous allons étudier et exposé la problématique de stabilité des talus des gradins et du talus général de la carrière en phase finale.

Dans le quatrième chapitre, nous examinerons la réhabilitation ainsi que ses aspects juridiques afin de proposer des solutions adéquates pour la remise en état de la carrière d'Adrar Oufarnou.

Notre étude se terminera par une conclusion générale.

# Chapitre I

---

## Chapitre I : Généralité sur la carrière

### Introduction

Le gisement d'Adrar Oufarnou est un gisement de calcaire appartenant à l'unité structurale Berk-Gouraya, la carrière représente la partie Est du grand synclinal de direction sub-méridionale, il est limité à l'Ouest par l'accident d'Aghbalou qui le sépare d'Adrar Imoula d'âge crétacé, dans la partie Est, une faille importante d'orientation Nord Est le sépare du massif calcaireux de djebel Gouraya. [1]

Les travaux d'exploitation de la carrière et la production d'agrégats ont débuté en 1978. [28]

### I.1. Situation géographique

La carrière d'Adrar Oufarnou est située à une distance de 06 km au Nord de la ville de Bejaia, il est limité au Nord et au Nord-est par la mer méditerranéenne, au Sud par la RN24, à l'Est par Djebel Gouraya et Adrar Tabourt à l'Ouest, la carrière est accessible à partir de la route nationale RN24 par un accès de 02 km passant par le village d'Adrar Oufarnou. [28]

Les coordonnées du gisement d'Adrar Oufarnou suivant la projection UTM fuseau 31, sont les suivantes :

**Tableau I.1** : Les coordonnées du gisement d'Adrar Oufarnou. [28]

<b>Coordonnées du gisement</b>					
Point	X	Y	Point	X	Y
1	681200	4073100	7	681700	4072800
2	681500	4073100	5	682000	4072800
3	681500	4073000	9	682000	4072300
4	681600	4073000	10	681400	4072300
5	681600	4072900	11	681400	4072600
6	681700	4072900	12	681200	4072600

**La superficie du gisement est de 46 hectares**  
**Titre minier N° 1016 PM du 25/12/2013**

### I.2. Climatologie

La région fait partie du bassin versant de l'oued Soummam, Bejaïa et la vallée de la Soummam inférieure bénéficient d'un climat méditerranéen, il est généralement humide avec un léger changement de température saisonnier, les températures moyennes en 2022 sont

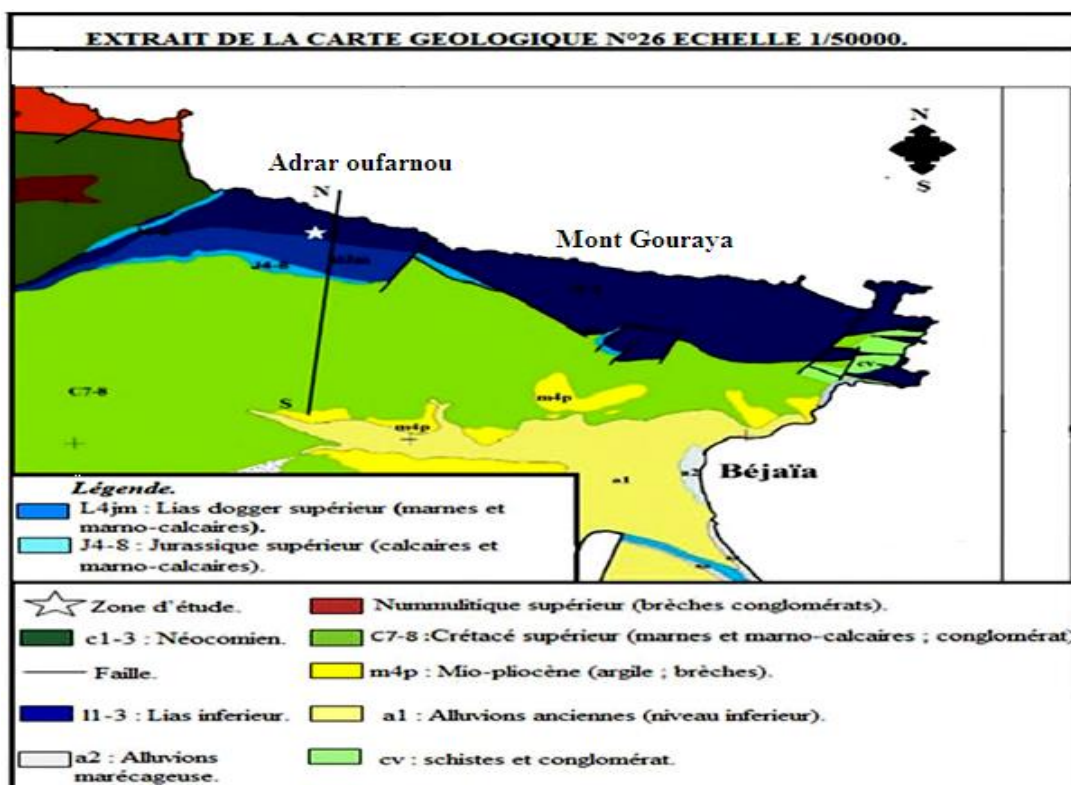


## Chapitre I

globalement douces et varient de 10.4 °C en hiver à 26,7 °C en été et la pluviométrie mensuel moyenne en 2022 est de 66.01 mm en hiver et de 23.83 mm en été. [24]

### I.3. Géologie du gisement

Le gisement d'Adrar Oufarnou forme un anticlinal de direction E-W à flanc nord érodé, il est formé de terrains d'âge jurassique inférieur et moyen, il est constitué essentiellement de calcaire massif du lias inférieur, il est limité par deux accidents tectoniques, un à l'Est qui le sépare du Djebel Gouraya et l'autre à l'Ouest qui le sépare d'Adar Imoula. [1]



**Figure I.1 :** Extrait de la carte géologique (ENOF).

Les calcaires du gisement ont un pendage monoclinal vers SW, les roches sont régulières suivant la direction et le pendage, l'étude géophysique a mis en évidence deux petites failles dans la partie centrale et Est du gisement.

Aussi, deux types de fissures sont observés :

a- Fissure parallèle à la stratification.

b- Fissures perpendiculaires au premier type et remplies par des filonnets de calcite ayant une puissance moyenne de 1m.

Le gisement est caractérisé aussi par la présence du phénomène karstique qui est observé sur toute l'assise exploitable, il est plus développé dans sa partie ouest, l'exploitation

## Chapitre I

---

des niveaux inférieurs (240m, 230m et 220m) a mis en évidence la présence d'une poche importante à remplissage de calcite.

On distingue trois variétés de calcaires :

- Calcaire organogène (calcaire mudstone) ;
- Calcaire détritique à débris fossilifères ;
- Pseudo-brèche à carbonates : cette dernière est prédominante. [1]

### I.4. Réserves géologique et exploitable du gisement

La zone d'exploitation de la carrière d'Adrar Oufarnou couvre une surface de 28 hectares, elle est constituée de 18 gradins, du niveau 375m jusqu'au niveau 210m. [28]

L'estimation des réserves est déterminée à partir d'un plan d'exploitation qui a réalisé dans un levé topographique, faite par les ingénieurs de la carrière.

Les surfaces topographiques ont été déterminées à l'aide du logiciel Autocad-Covadis.

- Les réserves du gisement sont calculées par la méthode des coupes géologiques.
- Les formules adaptées pour calculer les réserves sont les suivantes :

$$V_i = \frac{((S(i+1)+S_i)*L)}{2} \dots S_i : \frac{((S(i+1)+S_i))}{S(i+1)} < 40\% \quad (I.1)$$

$$V_i = \frac{\left( \left( (S(i+1) + S_i) + \sqrt{(S(i+1) + S_i)} \right) * L \right)}{3} \dots S_i : \frac{(S(i+1) + S_i)}{S(i+1)} > 40\%$$

$V_i$ : Le volume du corps compris entre de deux coupes successives, en (m<sup>3</sup>) ;

$S_i, S_{i+1}$ : les surfaces des coupes successives, en (m<sup>2</sup>), tel que  $S_{i+1}$  est la plus grande surface;

$L$ : La distance entre les deux coupes successives, en (m) ;

Le volume total des réserves est:

$$V_t = n * V_i \quad (I.2)$$

Et la quantité des réserves globales en tonne est :

$$Q = V_i \times \gamma \quad (I.3)$$

$\gamma$  : La densité, tel que :  $\gamma = 2,69 \text{ g/cm}^3$  pour le calcaire. [2]

## Chapitre I

---

**Tableau I.2 : Réserves exploitables et géologiques en 2023. [28]**

Courbes des niveaux	Réserves			
	Exploitable (m3)	Exploitable (tonnes)	Géologiques (m3)	Géologiques (tonnes)
<b>210</b>	555588	1500087,6	890798	2405154,6
<b>220</b>	502062.5	1355568,8	816248.5	22038709,5
<b>230</b>	466272	1258934,4	759434	2050471,8
<b>240</b>	443276	1196845,2	715414	1931617,8
<b>250</b>	407664	1100692,8	656720	1773144
<b>260</b>	389723	1052252,1	617634	1667611,8
<b>270</b>	324168	875253,6	531556	1435201,2
<b>280</b>	242716.5	655331,85	430878.5	11633719,5
<b>290</b>	207964.5	561504,15	376486.5	10165135,5
<b>300</b>	198899	537027,3	345109	931794,3
<b>310</b>	183912	496562,4	307594	830503,8
<b>320</b>	166728	450165,6	269704	728200,8
<b>330</b>	137448	371109,6	219448	592509,6
<b>340</b>	120960	326592	181543	490166,1
<b>350</b>	108007.5	291620,25	149073.5	4024984,5
<b>360</b>	35084	94726,8	56361	152174,7
<b>370</b>	22392	60458,4	31784	85816,8
<b>380</b>	9840	26568	11376	30715,2
<b>Total</b>	<b>4522705</b>	<b>12211304</b>	<b>7367162</b>	<b>19891337,4</b>

La zone d'exploitation est limitée au :

- Nord par une falaise abrupte et la mer méditerranée ;
- Est par la zone fissurée, altérée et traversée par un talweg de direction NS ;
- Sud par le niveau topographique 380m ;
- Ouest par un talweg et les limites finales du gisement. [28]

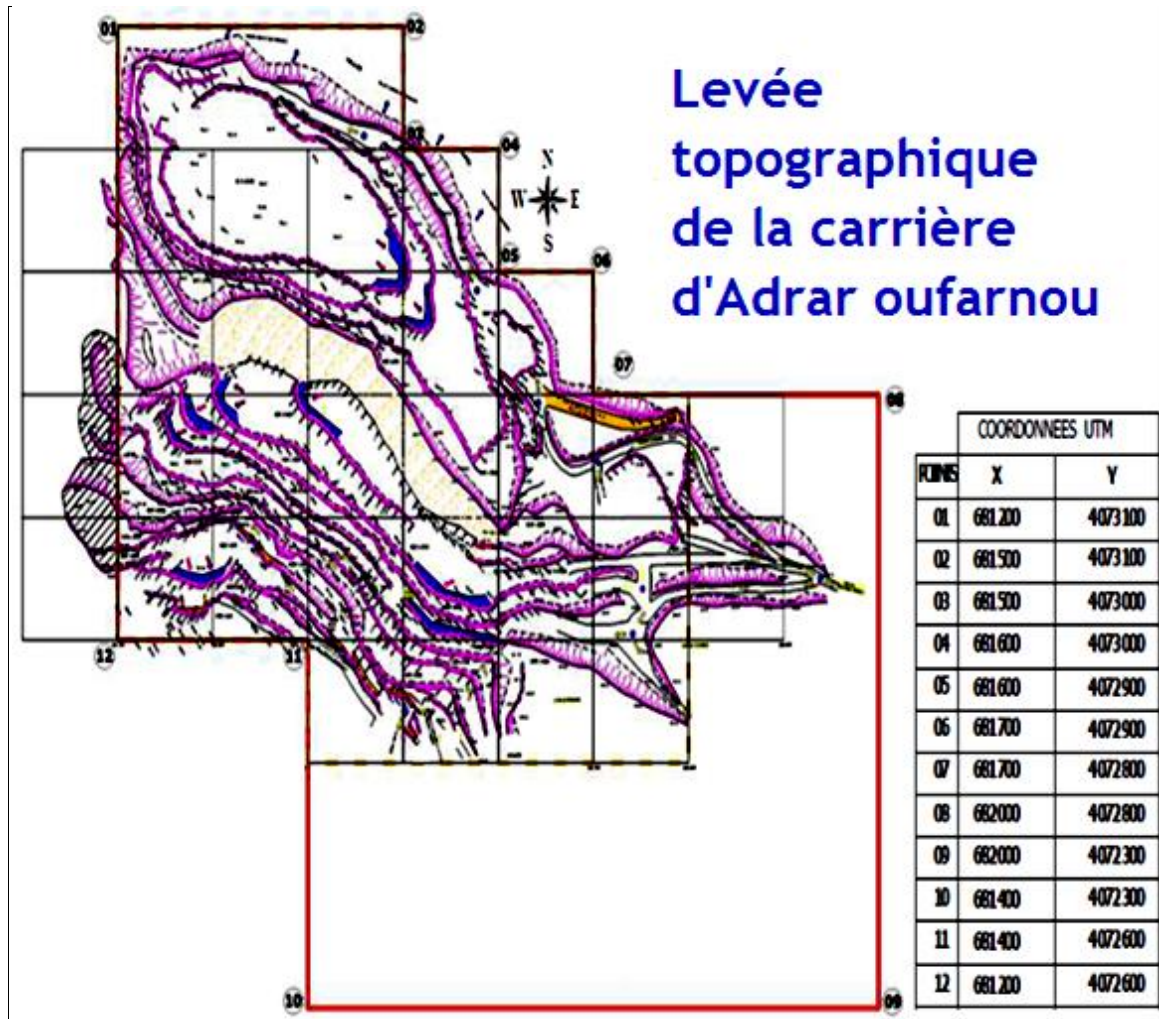


Figure I.2 : Levée topographique de la carrière d'Adrar Oufarnou au 31/12/2022. [28]

## I.5. Caractéristiques de la roche

### I.5.1. Pétrographie

L'étude des échantillons prélevés sur toute la surface du gisement ont permis d'identifier la roche sédimentaire et distingué trois variétés de calcaires :

-Calcaire organogène (calcaire mudstone)

Mudstone est un terme anglais utilisé en pétrologie sédimentaire ayant deux significations :

-Il est utilisé en français dans la classification de Dunham : il désigne une texture composé de boue calcaire lithifiée avec moins de 10 % d'éléments non-jointifs et au moins 90 % de matrice micritique ;

## Chapitre I

---

-Plus largement, le terme désigne une texture fine de roche sédimentaire composée à l'origine d'argile ou de boue (mudrock), la granulométrie est si petite qu'elle ne peut être distinguée sans microscope optique.

C'est une roche chimique. [14]



**Figure I.3 :** Calcaire organogène. [14]

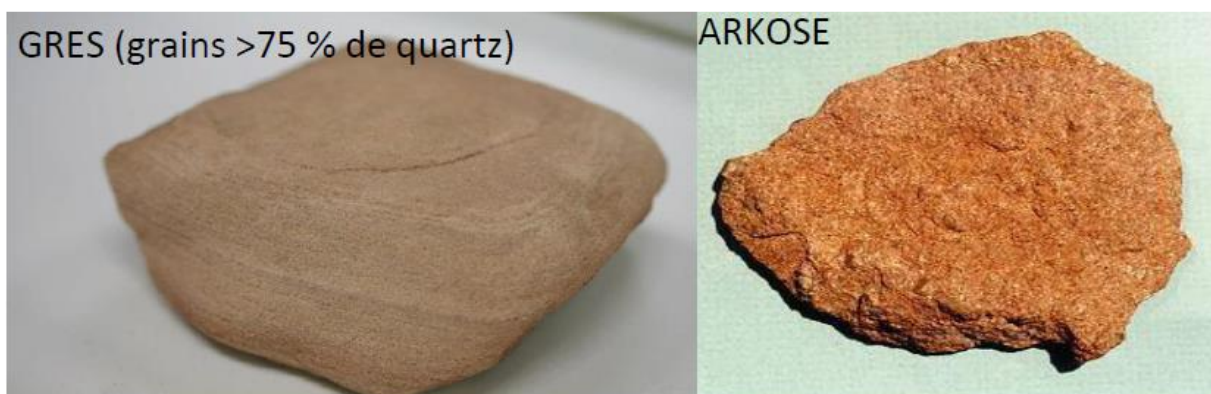
-Calcaire détritique a débris fossilifères

Une roche détritique ou roche clastique est une roche sédimentaire composée d'au moins 50 % de débris.

Si les débris sont issus de l'érosion d'autres roches, alors on la qualifie de roche détritique terrigène, si au contraire les débris sont formés par des squelettes d'organismes vivants alors la roche est qualifiée de bio détritique, biogénique ou bioclastique.

Les roches détritiques correspondent à environ 80 % des roches sédimentaires.

C'est une roche meuble et cohérente. [14]



**Figure I.4 :** Calcaire détritique (grés et arkose). [14]

## Chapitre I

---

-Pseudo-brèche à carbonates : (cette roche est prédominante)

Résultant de la compaction de sédiments carbonatés et composés d'au moins 50 % de carbonates, leur processus de formation dépend du taux de la concentration en  $Ca^{++}$  et  $Co3--$  dans l'eau et de la quantité d'apport détritiques et elles sont de faible dureté et attaquées par les acides, avec dégagement de  $CO_2$ .

C'est une roche chimique. [14]



**Figure I.5** : Roche carbonaté (craie). [14]

### I.6. Caractéristiques physico-mécaniques

Les résultats des essais physico-mécaniques réalisés sur les échantillons prélevés aux différentes profondeurs sont illustrés dans le tableau ci-après :

**Tableau I.3** : Caractéristiques physico-mécaniques des granulats de la carrière. [2]

Niveaux du gisement	Résistance à la compression simple (MPa)	Masse volumique absolue (t/m <sup>3</sup> )	Micro- Deval (MDE)	Los Angeles (LA)
Inférieur	125	2.69	19	31
supérieur	130	2.69	18	26

-La résistance à la compression, varie de 125 MPa à 130 MPa caractérisant des roches duretés nécessitant l'utilisation d'explosifs pour leur abattage.

-La valeur moyenne du Los Angeles (LA) égale 28.5 %. Alors les granulats de la carrière sont aptes à une utilisation avantageuse dans la confection des bétons pour la construction et peuvent également être utilisés dans les routes. [2]

### I.7. Caractéristiques chimique

Les résultats d'analyses chimiques effectuées au niveau de laboratoire du CETIM sur des échantillons prélevés à différents endroits de la carrière (voir le tableau I.4) ont montré que la roche a une composition principale présentée par l'oxyde de calcium (CaO) avec une teneur de 51,90 % et 55,54 % au niveau supérieur et inférieur respectivement, tandis que la teneur en MgO est 1,1 % et 0,83 % au niveau supérieur et inférieur de la carrière respectivement.

Ces résultats indiquent que l'origine de cet agrégat est attribuée à une roche sédimentaire carbonatée de calcaire. [2]

**Tableau I.4 :** Composition chimique de la roche. [2]

Oxydes		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF
Teneur (%)	Niveau Sup	4.3	0.45	0.33	51.9	1.1	0.11	0.1	0.02	0.06	0.02	41.61
	Niveau Inf	0.2	0.07	0.09	55.54	0.38	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	43.68

### Conclusion

Les roches du site d'Adrar Oufarnou font partie des formations géologiques sédimentaires massives qui ont le potentiel de fournir des granulats de bonne qualité répondant aux spécifications requises dans la construction.

L'estimation des réserves minières de la carrière sont assez satisfaisantes pour justifier son exploitation à long terme, les réserves du gisement sont de l'ordre de 19891337,4 tonne de réserves géologique et 12211304 tonnes de réserves exploitable en 2023.

### Chapitre II : Technologie d'exploitation.

#### Introduction

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les stériles de recouvrement et à accéder au gisement à partir du jour, on l'appelle également découvertes.

Une carrière à ciel ouvert est exploitée à l'air libre, soit à flanc de colline, soit dans une fosse qui va en s'approfondissant et en s'élargissant, le profil d'une telle carrière montre des gradins constituant le front de taille et progressant horizontalement dans le matériau.

En effet, dans le cas de roches dures, les procédés d'extraction continus ne sont pas possibles, à partir d'une succession d'opérations a priori simples, implantation et foration de trous, chargement et amorçage des explosifs ;

L'abattage à l'explosif doit avoir différents objectifs, à savoir :

- Assurer la sécurité, c'est à dire pas de projections et pas de tirs bloqués ou pas de blocs non abattus ;
- Abattre un grand volume de roche, avec :
  - Une granulométrie adaptée aux installations, avec une proportion de blocs et de fines la plus réduite possible ;
  - Un épanchement du tas et un foisonnement adapté aux engins de reprise du tas ;
- Assurer une bonne géométrie des fronts sur la carrière, avec :
  - Une bonne sortie du pied ;
  - Un bon alignement des fronts et de la plateforme ;
  - Des effets arrière réduits. [3]

#### II.1. Méthode d'exploitation de la carrière

D'après les données topographiques et géologiques, il est donné que le gisement d'Adrar Oufarnou est situé dans un relief montagneux avec un angle de pendage égale à 25°.

La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière d'Adrar Oufarnou est à flanc de couteau qui se fera en partant au niveau 385 m et exploité le gisement de calcaire de haut vers le bas niveau 200 m par des gradins de hauteur qui varie de 10m jusqu'à 14m. [28]

##### II.1.1. Caractéristiques de la piste

###### II.1.1.1. Longueur de piste

Le schéma général de la piste principale (tracé) dans la carrière montagneuse est de forme serpentine. (Voir la figure II.5)



## Chapitre II

---

La longueur de la piste principale varie entre 800m à 1500m ; est estimé à :

- D'une longueur de 800m jusqu'au niveau supérieur,
- D'une longueur de 1400m jusqu'au niveau inférieur. [28]

### II.1.1.2. Largeur de piste

La largeur de la chaussée de la piste, dépend des paramètres techniques des camions utilisés pour le transport, pour double voie elle est donnée par la formule suivante :

$$L = 2 \times (a + c) + x + R \quad (\text{II.1})$$

a : largeur de la benne du camion, a= 3,8m

C : largeur de la bande de sécurité déterminée par la relation :

$$C = 0,5 + 0,005v \quad (\text{II.2})$$

V : la vitesse moyenne de circulation des camions.  $V= 20 \text{ km/h}$ ;

Donc :  $C= 0,6\text{m}$

X : distance entre bennes des camions,

$$X = 2 \times c X = 1,2 \text{ m} \quad (\text{II.3})$$

R : largeur de la rigole d'évacuation d'eau  $R=0,5\text{m}$

A.N :

$$L = 2 \times (3,8 + 0,6) + 1,2 + 0,5$$

$$L = 10,5 \text{ m}$$

Donc, la largeur de la piste pour une circulation à double voie est  $L=10,5 \text{ m}$ .

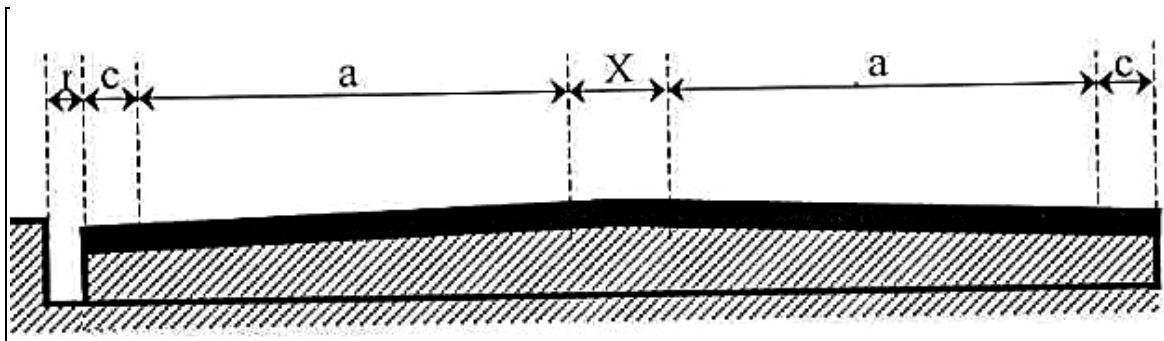


Figure II.1 : Schéma de la largeur de la piste. [2]

### II.1.1.3. Pente de la piste

Le profil des pistes doit permettre l'évacuation des eaux de pluies pour cela, les pistes doivent être légèrement inclinées, la pente de la piste est de :

- 8 à 10% en ligne droite.
- 5 à 6% dans les virages. [28]

### II.1.2. Principaux éléments du système d'exploitation

Tous les systèmes d'exploitation à ciel ouvert ont des éléments communs, qui sont :

- Le gradin ;
- Le front des travaux du gradin et de la carrière ;
- La plate-forme de travail ;
- La zone de travail ;
- La vitesse d'avancement ;
- Longueur du bloc. [4]

#### II.1.2.1. La hauteur du gradin

Des facteurs interviennent dans la détermination de la hauteur du gradin, qui sont :

- Caractéristiques des excavateurs employés ;
- Stabilité des roches ;
- Nécessité d'exécuter des tirs d'abattage ;
- Règles de sécurité ;
- Production annuelle.

Dans la législation minière Algérienne la hauteur du gradin ne doit pas dépasser 15 m, pour la carrière d'Adrar Oufarnou, la hauteur des gradins varie entre 10 et 14 m ce qui est conforme à la hauteur de sécurité (voir le tableau II.1). [22]

**Tableau II.1** : La hauteur des gradins des niveaux en cours d'exploitation. [28]

Niveaux d'exploitation	Hauteur de gradin (m)	Observation
375-361	14	En ouverture
365-353	12	En exploitation
350-338	12	En préparation pour l'exploitation
300-288	12	En exploitation
290-278	12	En exploitation
280-268	12	En préparation pour l'exploitation
245-235	10	En exploitation
230-220	10	En exploitation
220-210	10	En exploitation

### II.1.2.2. L'angle de talus du gradin

L'angle de talus des gradins dépend des paramètres physico-mécaniques de la roche et des engins miniers, pour les roches dures et moyennement dures, cet angle varie entre  $60^\circ$  et  $80^\circ$  par rapport à l'horizontale ; dans notre cas l'angle de talus  $\alpha = 70^\circ$ . [28]

### II.1.2.3. Plate-forme de travail

C'est la banquette sur laquelle sont disposés les engins d'exécution des travaux miniers, elle est déterminée par les dimensions des engins du chargement ; du transport ; ainsi que la technique d'abattage (largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure).

Les paramètres de ce dernier dépendent des propriétés physico-mécaniques des roches, des paramètres de l'explosif (consommation spécifique), et des éléments du système d'exploitation, la largeur minimale de la plate-forme de travail doit permettre un déplacement libre des engins. [2]

Lorsque l'abattage se fait par explosif ; la largeur minimale de la plate-forme de travail (figure II.2) est déterminée par la formule suivante :

$$L_{pt} = A + y + C + T + Z \text{ (m)} \quad (II.4)$$

$L_{pt}$ : Largeur de la plate-forme de travail, (m);

$A$  : Largeur de l'enlevure en massif, (m) ;

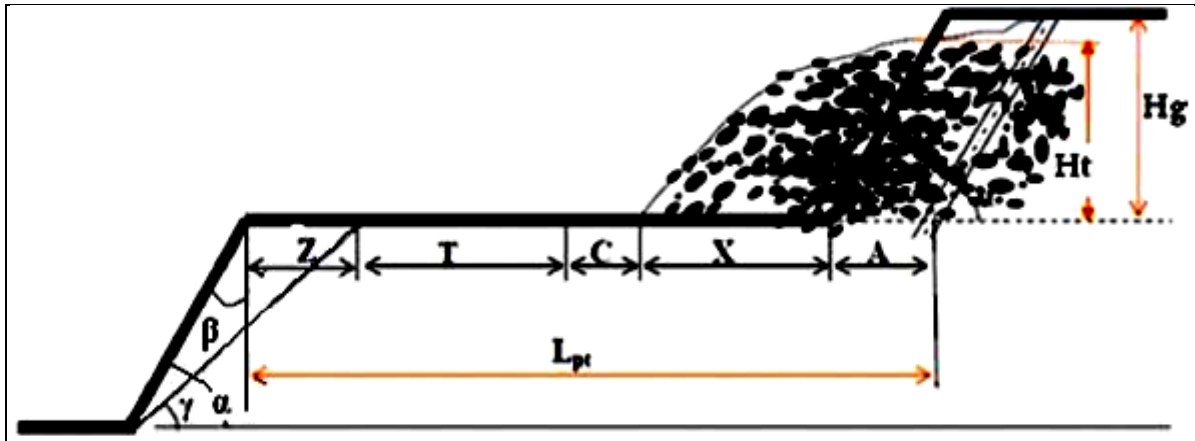
## Chapitre II

y : Largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure en massif, (m) ;

C : Berme de sécurité, c'est la distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de Transport, (m) ;

T : Largeur de la voie de transport, (m) ;

Z : Largeur du prisme éventuel d'éboulement, (m).



**Figure II.2** : Schéma de la plate-forme de travail lors de l'abattage à l'explosif. [2]

Largeur de l'enlevure en massif A est déterminée par la formule suivante :

$$A = w + (n - 1) \times b \quad (\text{II.5})$$

W : Ligne de moindre résistance, la variation de la ligne de moindre résistance est due aux différentes structures du front d'abattage,  $W = 2,6$  m, B : distance entre les rangées,  $b=2,8$  m, N : nombre de rangée,  $n= 2$

$$A = 5,4m.$$

La largeur X (m) est calculée par la relation suivante :

$$X = A \times \left( \frac{2K_f \times H_g}{H_t} - 1 \right) \quad (\text{II.6})$$

Kf : Coefficient de foisonnement de la roche, (1,6) ;

Hg : La hauteur de gradin, (m) ;  $H_g = 11$  (m) ;

Ht : La hauteur de tas  $(0,5 \text{ à } 0,9) \times H_g$  (m) ; et pour les calcaire.

$$H_t = 0,9 \times H_g \quad (\text{II.7})$$

$$X = 5.4 \times \left( \frac{2 \times 1.6 \times 11}{10} - 1 \right)$$

$$X = 13.6 \text{ (m)}$$

La valeur de C (m) est donnée par la formule suivante :

$$C = 0,2 \times Hg \quad (\text{II.8})$$

$$C = 2.2 \text{ (m)}$$

La valeur de Z (m) est donnée par la formule suivante :

$$Z = Hg \times \left( \frac{1}{\tan \gamma} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \quad (\text{II.9})$$

$\gamma$  : L'angle de talus de gradin en liquidation, ( $35^\circ - 60^\circ$ ), on prend  $\gamma = 60^\circ$  ;  $\alpha$  : L'angle de talus de gradin en exploitation,  $80^\circ$ ;  $Z = 4,4\text{m}$ .

La largeur de la voie de transport est de :  **$T = 8,5 \text{ m}$** .

Donc, la largeur minimale de la plate-forme est :

$$L_{pt} = 34,1 \text{ m}$$

### II.1.3. Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires servent au dégagement des stériles et la préparation des zones et des fronts pour l'extraction du minerai, et cela se fait par moyen purement mécanique en utilisant le bulldozer pour la préparation, et parfois par la chargeuse et les camions pour l'évacuation des stériles vers les zones de déchargement. [28]

### II.1.4. Travaux d'abattage

La préparation des roches à l'extraction (abattage des roches) consiste à la destruction des roches au niveau du massif en carrière jusqu'à l'obtention des morceaux de dimensions nécessaires et admissibles pour le travail rationnel et efficace de tous les processus complexes d'extraction, chargement et de transport.

Lors de l'exploitation des gisements composés de roches dures et mi-dures, l'utilisation de la méthode de forage est recommandée comme le cas de la carrière d'Adrar Oufarnou dont la dureté est égale à 6, dans cette carrière la préparation des roches à l'extraction s'effectuent par des travaux de forage et de tir.

Ces derniers sont en fonction de la dureté de la roche ( $f=6$ ). [10]

## Chapitre II

---

### II.1.5. Mode de forage

Le choix du mode de forage dépend des propriétés physico-mécaniques des roches, de la profondeur du forage à réaliser et de son diamètre.

Les engins de forage utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou sont deux types : la sondeuse ATLAS COPCO 580Y et le chariot de forage, les deux ont le mode de forage roto-percutant, la sondeuse est utilisée pour la foration des trous inclinés sur des plates formes de travail bien nivelées. [28]

#### II.1.5.1. Rendement du la sondeuse ATLAS COPCO

Le rendement par poste de la sondeuse ATLAS COPCO est déterminé par la formule suivante :

$$RS = 60 \times Tp \times Kd \times Vf \quad (II.10)$$

TP : la durée de travail par poste ( $Tp= 7h$ ) ;

Kd : coefficient de disponibilité ( $Kd= 0,49$ ) ;

Vf : vitesse de foration ( $Vf= 0,35$ ).

$$Rs \text{ son/jr} = 60 \times 7 \times 0,49 \times 0,35$$

$$Rs \text{ son/jr} = 72,03 \left( \frac{m}{\text{poste}} \right)$$

Rendement du la sondeuse hydraulique en (m/an) :

$$Rs = Rs \text{ son/jr} \times Np \times Nj/\text{an} \quad (II.11)$$

$Np$  : nombre de poste (2 poste).

$Nj/\text{an}$  : nombre de jours ouvrable par an (250 jours).

$$Rs = 72,03 \times 2 \times 250$$

$$Rs = 36015 \text{ (m /an)}$$

## Chapitre II

### II.1.5.2. Rendement du chariot de foration

Rendement du chariot de foration en (m/poste) est déterminé par la formule suivante :

$$RGp = 60 \times Tp \times Kd \times Vf \quad (II.12)$$

Tel que :

TP : la durée de travail par poste ( $Tp= 7h$ ) ;

Kd : coefficient de disponibilité ( $Kd= 0,73$ ) ;

Vf : vitesse de foration ( $Vf= 0,14$ ).

$$RCf/jr = 60 \times 7 \times 0,73 \times 0,14 = 42,93 \text{ (m/poste)}$$

### II.1.5.3. Rendement du Groupe de foration en (m/an)

$$RCFp = RGp/jr \times Nj \quad (II.13)$$

$$RCFp = 43 \times 250$$

$$RCFp = 10750 \left(\frac{m}{an}\right)$$

### II.1.6. Les explosifs utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou

D'après la consultation du guide technique des explosifs et accessoires de tir, réalisé par l'O.N.E.X (Office National des Substances Explosives), et aussi compte tenu de la nature et des caractéristiques de la roche : quatre types d'explosif utilisés dans la carrière Adrar Oufarnou:

**Tableau II.2** : Paramètres des explosifs utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou (2023). [28]

Paramètres	Anfomil	Marmanit III	Temex	Samex
Poids de l'explosif (kg)	25	2.5	2.5	2.5
Vitesse de détonation (m/s)	3000	6500	4500-5000	4500-5000
Diamètre d'une cartouche (mm)	/	65	65	/
Longueur de la cartouche (cm)	/	75	80	/
Aptitude de travail ( $cm^3/10g$ )	320	360	320	320
Densité	0.9	1.33	1.22	1.22
Résistance à l'eau	Faible	Moyenne	Excellente	Excellente

## Chapitre II

### II.1.7. Accessoires de tir utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou

Les accessoires du tir utilisés dans la carrière sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau II.3 :** Explosifs et accessoires nécessaire (2023). [28]

Accessoires et Explosifs		Nature	Quantité	Unité
Nature des explosifs	ANFOMIL	Fluide/poudre	2000	Kg
	MARMANIT III	pulvérulent	2000	Kg
	TEMEX			
	SAMEX			
Cordeau détonant		12/20 (Gr)	1800	ML
D.E.I		N° 0	5	/
D.M.R		N° 1 à 12	95	/
Fil électrique		02 Conducteurs	1000	ML

### II.1.8. Paramètres du plan de tir de la carrière d'Adrar Oufarnou

La conception d'un plan de tir s'appuie sur un certain nombre de données variables et d'éléments propres à l'entreprise qu'il faut s'efforcer de connaître ou de définir, les objectifs techniques et économiques et en particulier ceux qui concernent la granulométrie et les coûts.

**Tableau II.4 :** Données préliminaires (2023). [28]

Désignations	Valeurs	Unités
Nature de la roche	Calcaire	-
Capacité d'abattage	800000	t/an
Hauteur de front de taille	11.80	m
L'inclinaison de trou à la verticale	<20	Degré (°)
Diamètre de trou	89	mm
Distance la plus proche du tir	500	m

Le tir se fait sur 115 trous dans une seul volée ou plus / décade; les paramètres techniques de tir sont comme suit :



## Chapitre II

Tableau II.5 : Paramètres techniques du plan de tir (2023). [28]

Désignation	Valeurs	Unités	Symboles
Diamètre	89	mm	Ø
Hauteur de gradin	11	m	Hg
Profondeur de trou de mine	11.80	m	L
Ligne de moindre résistance	2.6	m	W
Distance entre les trous	3	m	A
Distance entre les rangées	2.9	m	B
Excès de foration	0.8	m	Sf
Angle de foration	<20	Degré (°)	£
Hauteur de bourrage	3.5		Hb
Hauteur de la colonne	5	m	Hc
Hauteur de la charge de fond	3.8	m	Hf
Charge la colonne	20	Kg	Qc
Charge de fond	14	Kg	Qf
Charge d'un trou	35	Kg	Qt
Nombre de trous total	115	-	NT
Type d'amorçage	-	-	Electrique
Quantité d'explosif ANFOMIL	2000	Kg	Vrac
Quantité d'explosif MARMANIT	2000	Kg	Ø 65
Quantité d'explosif TEMEX	2000	Kg	Ø 65
Quantité d'explosif SAMEX	2000	Kg	Vrac
Cordeau détonant	1800	20g	MI
Consommation spécifique moyenne	150	g/t	Qs

### II.1.9. Chargement et transport de la matière première

#### II.1.9.1. Le chargement

Le chargement des roches abattues est un processus important contribuant au rendement d'une entreprise, le chargement s'effectue par des engins miniers tel que : les pelles mécaniques et les chargeuses.

Le choix du type d'engin d'excavation et de chargement est basé sur les facteurs naturels :

- La matière des roches ;
- La méthode d'exploitation ;
- La production envisagée ;
- Les mesures de sécurité.

L'adaptation des engins de grandes capacités est conditionnée par les dimensions et les réserves du gisement.

Les travaux de chargement du produit abattu, dans la carrière d'Adrar Oufarnou sont assurés avec la pelle excavatrice marque CATERPILLAR 345D sur chenilles d'une capacité

## Chapitre II

---

de godet de 5 (tonne) et une Pelle J-DEERE sur pneus de capacité d'une capacité de godet de 8 (tonne). [28]

Les paramètres de ces engins de chargement sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.6 :** Rendement de matériel utilisé dans la carrière d'Adrar Oufarnou (2023). [28]

Désignation	Affectation	Année d'acquisition	Coefficient d'utilisation%	Capacité (tonne)	Rendement (tonne)
<b>Pelle J-DEERE</b>	Carrière et station	2013	85	8	5538.36
<b>CATERPILLAR 345D</b>	Carrière	2011	60	5	5225.47

### II.1.9.2. Le transport

C'est l'un des processus les plus importants dans l'exploitation des carrières ou mine à ciel ouvert, le coût du transport atteint 20% à 30% du prix de revient total d'exploitation. [28]

Le but principal du transport consiste à déplacer la masse minière bien fragmentée des chantiers (front de taille) jusqu'aux points de déchargement (concasseur, les trémies de réception, les stocks ou les terrils).

Le choix des moyens de transport dépend des facteurs principaux suivants :

- La production de la carrière ;
- La distance de transport ;
- Du type d'engins de chargement ;
- La nature des roches à transporter ;
- Des dimensions de la carrière.

De nos jours, on applique largement le transport par camion qui est caractérisé par les avantages suivants :

- La simplicité de construction des engins ;
- La possibilité de surmonter la pente élevée allant jusqu'à 15% ;
- La simplicité d'organisation de travail. [28]

Le transport dans la carrière d'Adrar Oufarnou s'effectue par camion dont la distance de transport est de 1,5 km du front du travail jusqu'au concasseur.

Le transport dans la carrière d'Adrar Oufarnou s'effectue par quatre camions (dumpers) :

## Chapitre II

---

- Terex TA 400 : La capacité de la benne est de 40 tonnes.
- Terex TA 35-1 : La capacité de la benne est de 35 tonnes.
- Terex TA 35-2 : La capacité de la benne est de 35 tonnes.
- ASTRA RD 28 : La capacité de la benne est de 28 tonnes. [28]

; Rendement de chaque camion :

$$R_p = \frac{(c \times T_p \times K_u \times 60 \times K_g)}{T_c} \quad (\text{II.14})$$

C : Capacité de la benne du camion ;

T<sub>p</sub> : Temps de poste, T<sub>p</sub> = 8 heures ;

K<sub>u</sub> : Coefficient d'utilisation, K<sub>u</sub>= 0.8 ;

K<sub>g</sub> : Coefficient d'utilisation de la capacité de charge d'1 charge, K<sub>g</sub>= 0.8 ;

T<sub>c</sub> : Temps de cycle, T<sub>c</sub>= 10 min. [28]

**Tableau II.7** : Rendement des camions utilisés dans la carrière d'Adrar Oufarnou(2023). [28]

Désignation	Rendement (tonne/poste)	coefficient d'utilisation (%)	Année d'acquisition
<b>Terex TA 400</b>	761.86	80	2013
<b>Terex TA 35-1</b>	666.63	80	2015
<b>Terex TA 35-2</b>	666.63	80	2015
<b>ASTRA RD 28</b>	533.30	80	2007

### II.1.10. Préparation mécanique des granulats

La station de concassage de la carrière d'Adrar Oufarnou (voir les figures II.3 et II.4) ci-dessous type de « GARNIER » a mâchoire d'une capacité de production théorique de 200 tonnes /heure, a été installées durant l'année 1978 avant de subir au fur et à mesure, des modifications structurelles importantes comme suite :

- En 1986-1988 l'unité a procédé au renouvellement du concasseur tertiaire « GARNIER CAH500 » par des concasseurs de type « ALSTHOM ».
- En 2003, l'unité s'est vue renforcée ses capacités de production par l'acquisition d'un broyeur à sable de marque « KRUPP » pour pouvoir honorer ses engagements face à une demande de plus en plus importante.
- En 2008, un nouveau concasseur à percussion (secondaire) de marque « ARJA », est livré à l'unité pour réhabiliter de façon durable ses capacités de traitement et elle a été mise en

## Chapitre II

---

fonction avec le concasseur primaire « GRANIER » qui subit à son tour une rénovation importante. [28]

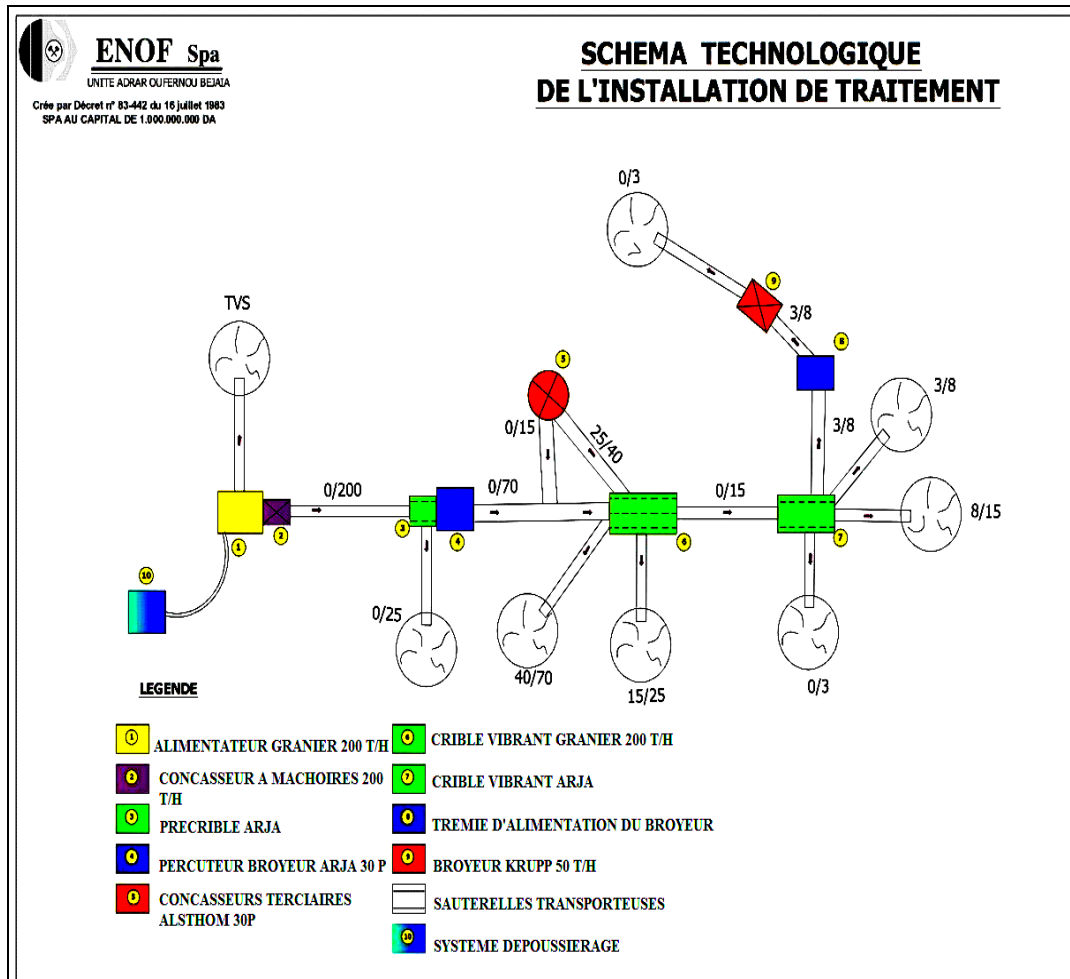


**Figure II.3 :** Vue générale de la station de concassage de l'unité Adrar Oufarnou (2023).

Selon les essais de réévaluation des capacités des installations fixes effectués en 2011, les rendements horaires de la station de concassage sont comme illustrés dans le tableau ci-après:

**Tableau II.8 :** Capacité et taux d'utilisation de la station de concassage (2023). [28]

<b>Machines</b>	<b>Rendement (tonne/an)</b>	<b>Capacité (tonne/heure)</b>	<b>Taux d'utilisation (%)</b>	<b>Année d'acquisition</b>
<b>Broyeur KRUPP</b>	110058	50	68	30/06/2003
<b>Concasseur ARJA</b>	440232	200	68	30/06/2008
<b>Concasseur ALSTHOM</b>	118862.64	54	68	30/10/2010
<b>Concasseur à mâchoire</b>	440232	200	68	30/06/1978



**Figure II.4 :** Schéma technologique de l'installation de traitement d'Adrar Oufarnou. [28]

### II.2. Développement des travaux d'exploitation

Le gisement de calcaire d'Adrar Oufarnou est exploité à ciel ouvert avec 18 gradins de 10 à 14 m de hauteur.

Les niveaux d'exploitation sont :

- 375m, 365m 350met 300 m dans la partie supérieure de la carrière.
- 290m, 280 m dans la partie médiane de la carrière.
- 245m, 230m, 220m dans la partie inférieure de la carrière. [28]

## Chapitre II

---

**Tableau II.9** : Paramètres des différentes phases d'exploitation (2023). [28]

<b>Niveaux</b>	<b>Hauteur de gradin (m)</b>	<b>Situation</b>	<b>Endroit</b>
375	14	En phase d'ouverture	Partie supérieur
365	12	En phase d'activité	Partie supérieur
350	12	En phase de préparation	Partie supérieur
300	12	En phase d'activité	Partie supérieur
290	12	En phase d'activité	Partie médiane
280	12	Travaux de préparation	Partie médiane
245	10	En phase d'activité	Partie inférieur
230	10	En phase d'activité	Partie inférieur
220	10	En phase d'activité	Partie inférieur

; Le tableau ci-dessus représente la situation des travaux pour chaque niveau et son emplacement dans la carrière.

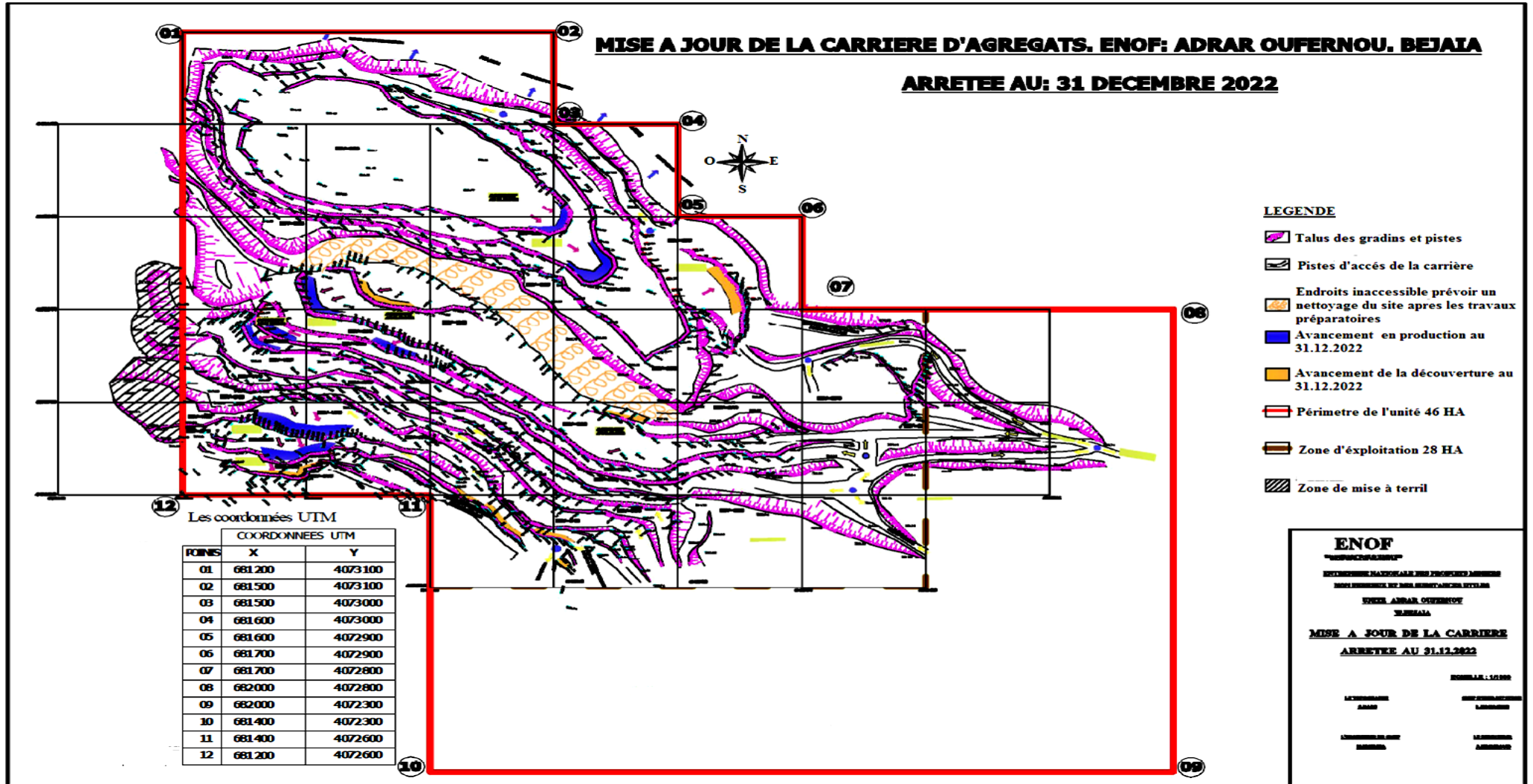


Figure II.5 : Plan d'exploitation de la carrière d'Adrar Oufarnou (ENOF 2023). [28]

### II.3. Elaboration du plan de la phase finale de la carrière

À partir du plan d'exploitation actuel de la carrière, avec la concertation des ingénieurs de la carrière durant notre stage pratique, nous avons déterminé le plan final de la carrière à travers une modélisation à l'aide du logiciel [Autocad: Covadis].

Les choix apportés à la modélisation du plan final de la carrière d'Adrar Oufarnou sont basés sur :

#### II.3.1. Etat d'avancement des travaux d'exploitation

Le développement du front de taille à la fin de son exploitation dans la carrière sera réalisé selon les paramètres suivants :

- La hauteur des gradins,  $H_g = 10$  m.
- La berme de sécurité,  $B_s = 4$  m.
- La pente de la plateforme est entre 3 à 5°.
- Le nombre des gradins est 18.

Comme toute exploitation à ciel ouvert le talus générale a la fin des travaux est délétère, surtout si les gradins présentent des instabilités, cela revient au poids du massif qui perd son point d'équilibre durant son exploitation et une infiltration des eaux de pluies ;

Toutefois, dans la carrière d'Adrar Oufarnou l'irrigation des eaux sera bonne et ne représentera aucun risque d'instabilité et le projet de revégétalisation écartera tout danger, grâce à l'enracinement de la végétation.

#### II.3.2. La superficie de la zone exploitée

La superficie de la zone exploitée est de l'ordre de 28 hectares qui a une grande implication dans la conception du plan de la phase finale de la carrière d'Adrar Oufarnou.

La superficie plate libérée par l'exploitation au bas du talus générale est de 8 hectares approximativement, cet espace sera remis en état d'avant mine ou mis à profit pour un aboutissement de réaménagement architectural, dans le quatrième chapitre on étudiera le sujet minutieusement.

Les données utilisées pour l'exploitation en vue d'une réhabilitation de la carrière d'Adrar Oufarnou sont citées dans le tableau ci-après :



## Chapitre II

---

**Tableau II.10** : Données utilisées pour la modélisation du plan final.

<b>Rubrique</b>	<b>Information</b>
Mode d'exploitation	A ciel ouvert
Méthode d'exploitation	Par gradins successif
Nombre de gradins	18 gradins
Progression des travaux	Vers Sud-ouest
Pente du talus	90° par rapport a l'horizontal
Largeur de la plateforme (berme de sécurité)	4 m
Hauteur des gradins	10 m
Pente de la plateforme	3 à 5°
Superficie de l'unité	46 hectares
Superficie de l'espace exploité	28 hectares
Superficie de l'espace non exploité	18 hectares
Superficie de l'espace vide au bas du talus	Environ 8 hectares

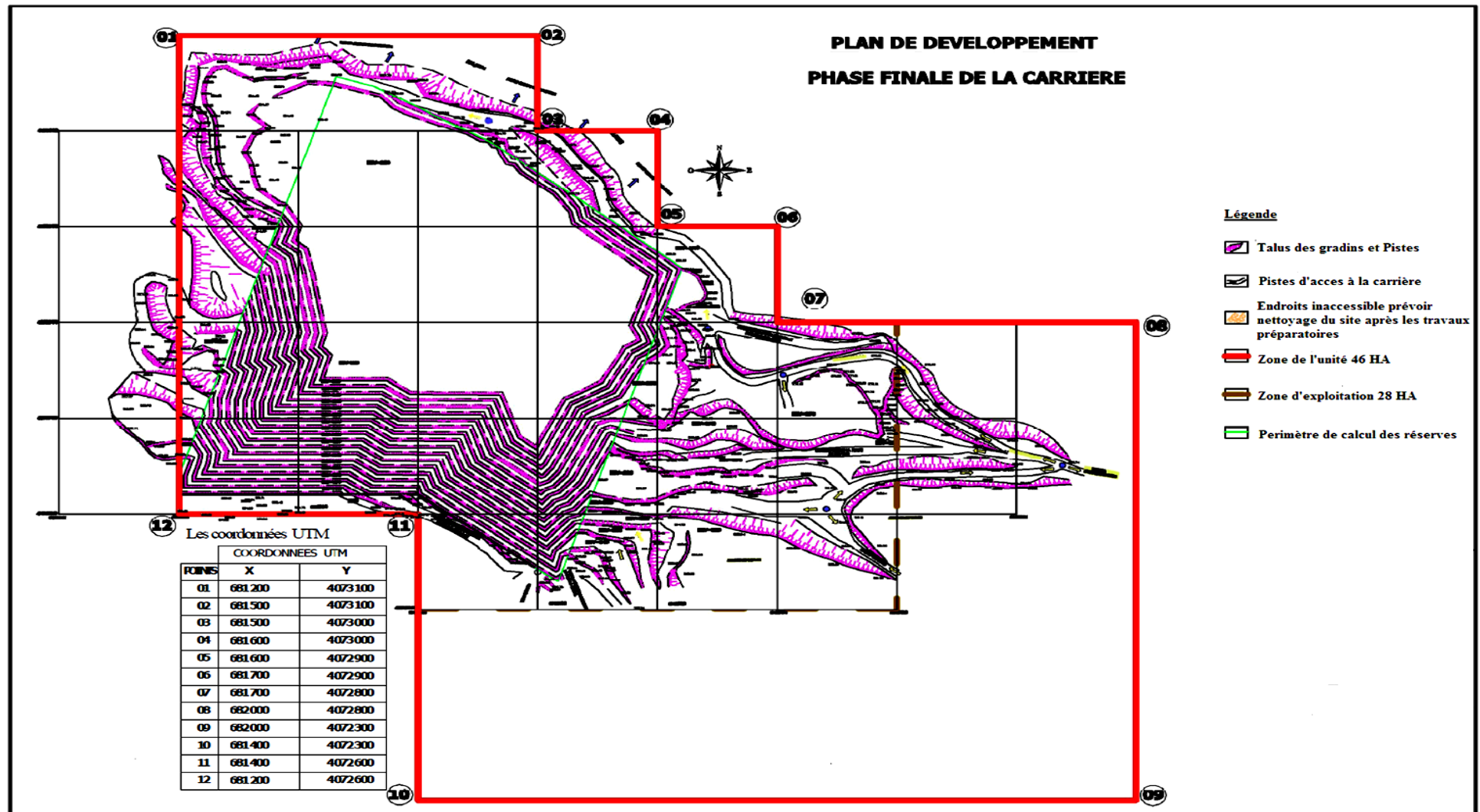


Figure II.6 : Plan de développement de la phase finale de la carrière d'Adrar Oufarnou.

## Chapitre II

---

### Conclusion

À l'aide du logiciel Autocad-Covadis, et à partir du plan actuel on a pu projeter un plan de développement final de la carrière d'Adrar Oufarnou en tenant compte des caractéristiques de la roche ainsi que la géologie et la superficie du périmètre de la carrière.

Suite à la conception de ce plan, l'exploitation engendrera une friche minière significatif, qui aura des répercussions ostensible et immédiat sur le milieu environnement, c'est pourquoi le site minier doit être sujet d'une étude de réhabilitation.

### Chapitre III : Etude de la stabilité du talus

#### Introduction

Une exploitation inadéquate d'un site minier peut engendrer, après sa fermeture, des phénomènes dangereux sur l'environnement minier et la sécurité globale comme les glissements et les éboulements.

L'évaluation de la stabilité d'une pente passe surtout par le choix du coefficient de sécurité qui est associé aux méthodes de calcul, le danger de l'apparition d'un glissement peut être estimé par l'analyse de la variation du facteur de sécurité en fonction de la forme et de la position de la surface possible de glissement pour laquelle le facteur de sécurité a la valeur minimum qui représente la surface critique de rupture. [4]

#### III.1. Facteurs influençant la stabilité des talus

L'analyse des processus de déformation dans les mines à ciel ouvert doit tenir compte de l'influence commune des facteurs naturels et techniques.

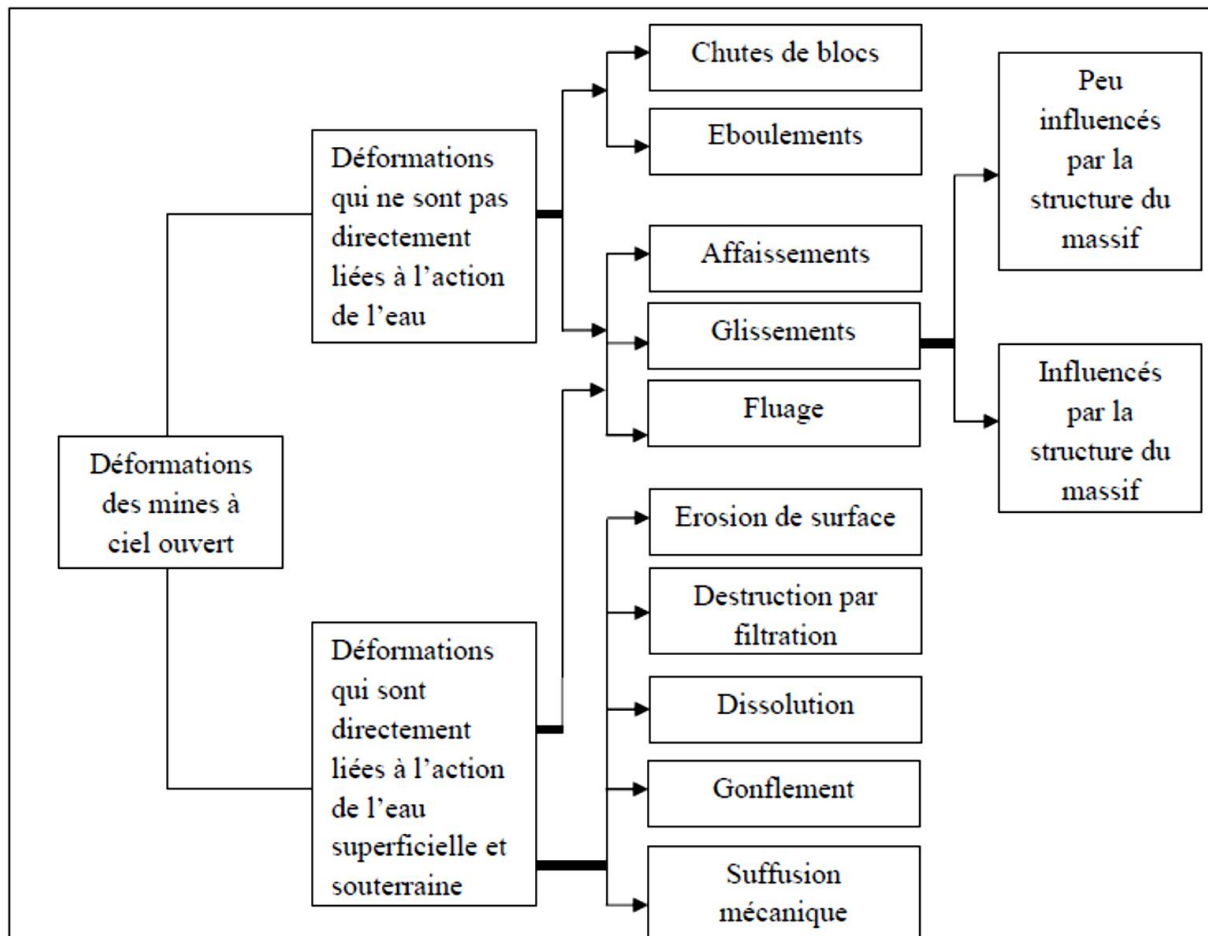
On peut subdiviser les facteurs naturels en trois groupes :

- Topographie 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.
- Etat d'altération des roches : Est sans doute un des facteurs principaux qui peut avoir une influence sur la stabilité des massifs rocheux, le terme de l'altérabilité désigne la capacité d'une roche à s'altérer plus ou moins rapidement (altération physique et chimique), l'altérabilité peut être exprimée par la vitesse de dégradation de différentes caractéristiques pétrographiques, physiques ou mécaniques au cours de l'altération. [5]

##### III.1.1. Les déformations dans les mines à ciel ouvert

Elle contient quatre types principaux de déformations : les chutes de blocs, les éboulements, les glissements et les mouvements de fluage, plus tard on a ajouté à cette classification les déformations par affaissement.

Une classification des déformations et ruptures appliquée aux mines à ciel ouvert est représentée dans le schéma ci-après (Fig.III.1). [5]

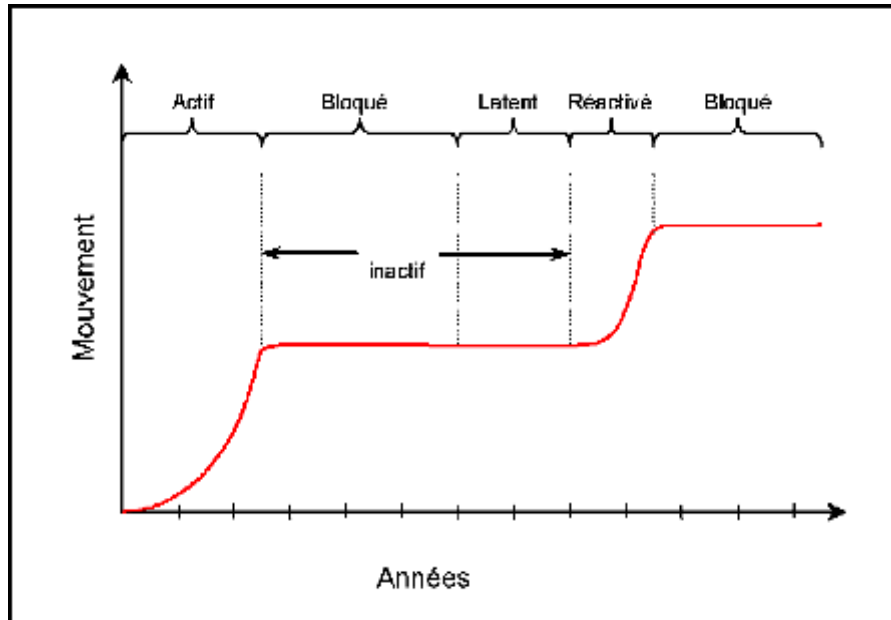


**Figure III.1 :** Classification des déformations dans les mines à ciel ouvert. [5]

### III.1.2. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain

- Glissements de terrain actifs : Un glissement de terrain est considéré comme actif si un mouvement peut être constaté, le déplacement peut être minime, les déformations de moins d'un millimètre étant toutefois difficilement détectables ;  
Les glissements actifs comprennent les glissements présentant des vitesses plus ou moins constantes à long terme tout comme les glissements avec des phases successives d'accélération.
- Glissements de terrain réactivés : Désigne les glissements de terrain qui quittent une phase inactive pour entrer dans une phase active. Habituellement, les glissements de terrain réactivés se déplacent le long d'une surface de glissement existante.
- Glissements de terrain inactifs : Désigne les glissements de terrain restés immobiles pendant plusieurs années, ceux-ci se subdivisent en quatre catégories :
  - Glissements bloqués ;

- Glissements latents ;
- Glissements abandonnés ;
- Glissements stabilisés. [6]



**Figure III.2** : Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain. [6]

### III.1.3. Autres facteurs naturels

Ces facteurs regroupent l'ensemble des éléments externes agissant sur la roche, ils contribuent à plus ou moins long terme à augmenter de façon irréversible le degré d'instabilité du massif (apparition de nouvelles fissures, détérioration/altération des discontinuités existantes...).

On distingue :

- Agents climatiques : La température et la précipitation qui est à l'origine des cycles journaliers et saisonniers qui déforment la roche (dilatation, contraction) ; la présence d'eau accompagnée de températures froides donne naissance à des cycles du gel-dégel particulièrement, actifs mécaniquement dans l'ouverture de discontinuités ;
- La sismicité locale : Les vibrations dues aux séismes peuvent être à l'origine de la propagation des fractures, de la mobilisation de blocs instables ou d'une phase d'accélération du versant pouvant conduire à des ruptures ;
- La végétation : La végétation a un rôle non négligeable car elle intervient au niveau des échanges d'eau (évapotranspiration) et au niveau de la cohésion et de la fixation du sol ;
- La pente : Les pentes qui sont les plus sujettes aux glissements ont une inclinaison qui va de 20 à 30 ° ;

- Discontinuités : On distingue généralement quatre grandes familles de discontinuités tels que : les joints de stratification ; les diaclases ; les failles et les fractures. [7]

### III.2. Techniques de Stabilisation

Afin d'éviter et prévenir tout risque de dangers la stabilité du talus sera assurée à travers différents techniques de protection et réaménagements correspondant à chaque type de phénomènes identifier au préalable.

La méthode de stabilisation choisie doit répondre aux exigences suivantes :

- Aspect résistance : La méthode doit assurer la stabilité du talus, ainsi le mode de renforcement ne génère aucun risque d'augmenter les efforts moteur de notre talus ;
- Aspect économique : Le mode de renforcement doit être le moins coûteux et le plus disponible dans le marché ;
- Aspect technologique (ouvrabilité et maniabilité) : La méthode de renforcement doit être simple et ne demande qu'un minimum d'effort ainsi qu'on peut la réaliser facilement. [6]

#### III.2.1. Stabilisation du talus

##### III.2.1.1. L'aplatissement des talus et mur de soutènement

Cette technique consiste à diminuer le poids du massif rocheux qui a tendance à se glisser, la figure (Fig.III.3) illustre la technique d'aplatissement. [8]

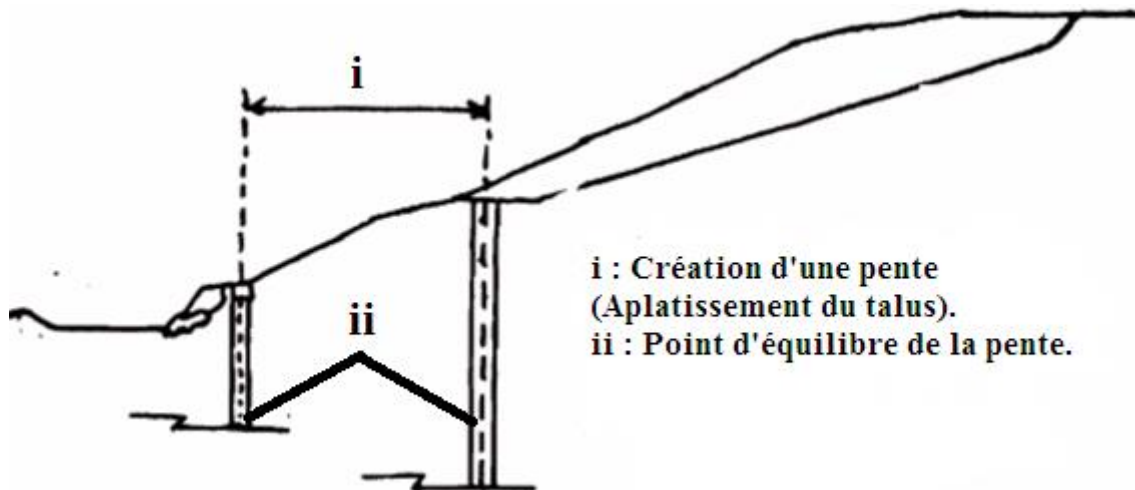


Figure III.3 : Stabilisation de talus par aplatissement. [8]

##### III.2.1.2. Le clouage des parois

Permet de limiter le départ d'éléments rocheux, par des ancrages, injections et boulonnage.

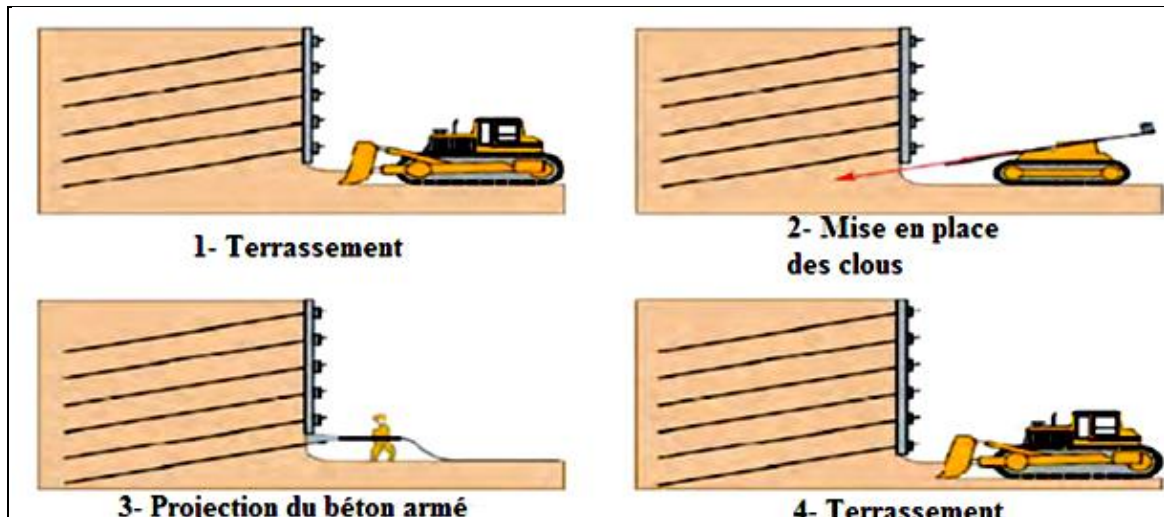


Figure III.4 : Phases de réalisation de parois clouées. [24]

### III.2.1.3. Les ancrages

Ces techniques peuvent retenir des massifs rocheux beaucoup plus importants, vu la profondeur du scellement et les efforts qui peuvent être mobilisés. [5]

La technique de stabilisation des talus par les ancrages est illustrée dans la figure (Fig.III.5) :

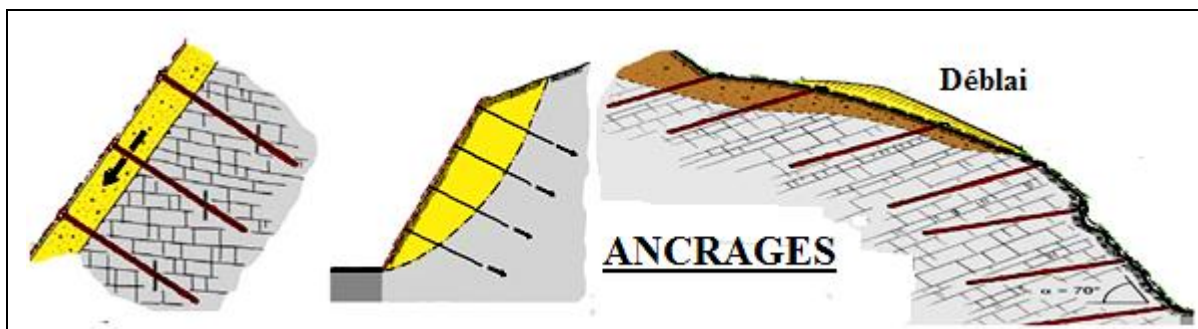


Figure III.5 : Stabilisation de talus par ancrages. [25]

### III.2.1.4. L'injection

Elle consiste à augmenter les caractéristiques de cisaillement par introduction dans les joints d'un coulis d'injection. [5]



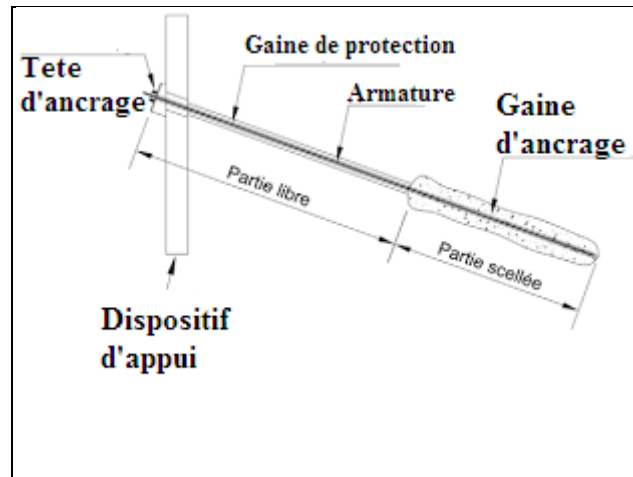


Figure III.6 : Tirant précontraint ancré au terrain par injection de scellement. (Balay, 1988)

### III.2.1.5. Le boulonnage

Cette technique a pour objet de retenir en place des blocs rocheux, l'influence de celle-ci ne s'étend que sur quelques mètres. [5]

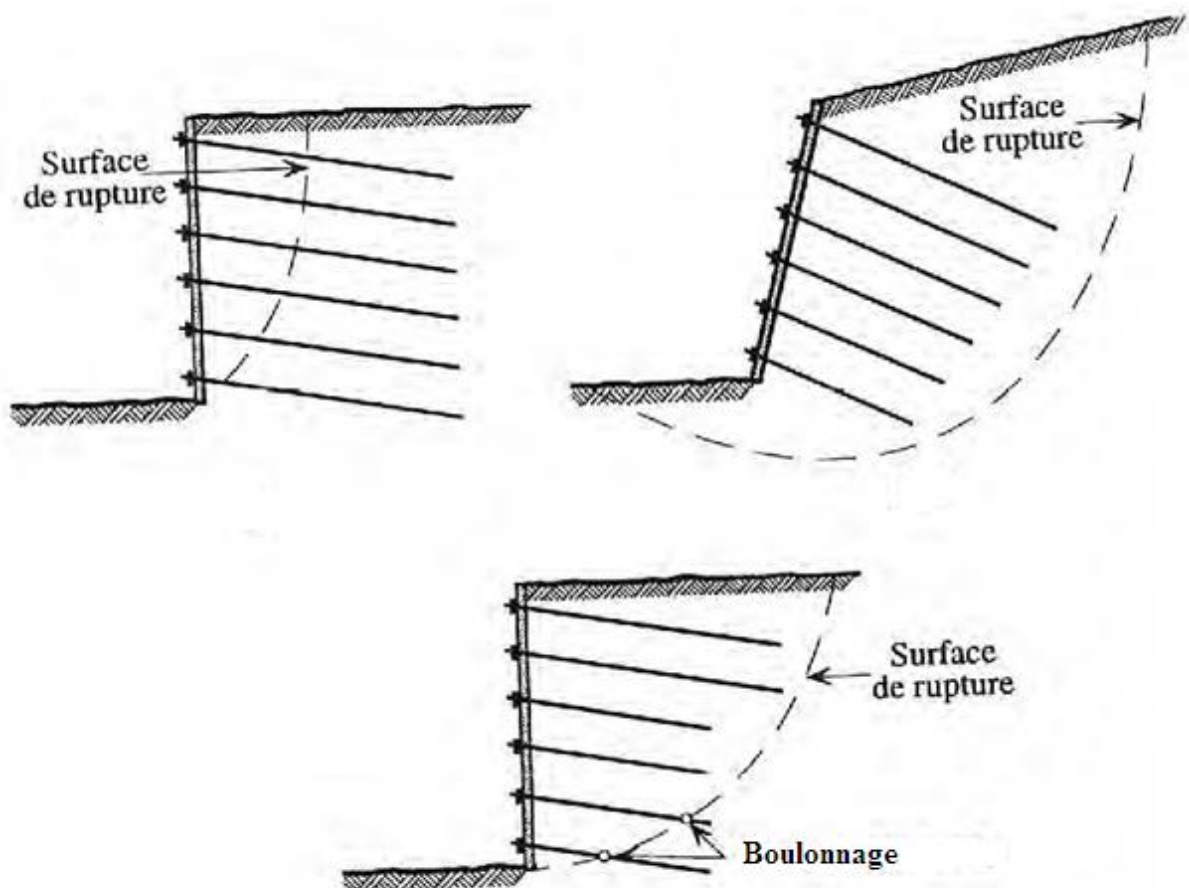


Figure III.7 : Stabilisation de talus par boulonnage. [6]

### III.2.2. Stabilisation des gradins

La hauteur de gradin influe considérablement sur la valeur du coefficient de sécurité et donc sur la stabilité des talus, plus la hauteur de gradin est grande, plus son angle de pente sera faible.

Afin de stabilisé le gradin, l'ingénieur minier doit adopter une méthode d'exploitation approprié qui va minimiser au maximum les potentiels des dégâts qui peuvent nuire à la stabilité du talus et mettre en œuvre un plan de restauration visant a renforcer la stabilisation de talus du gradin à travers des techniques d'affermissements. [7]

#### III.2.2.1. Technologie d'affermissement

La consolidation du talus des gradins se fait durant l'abattage du stérile et l'extraction du minerai et après l'épuisement des réserves minières. [7]

#### III.2.2.2. 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), et ont pour objectif de couper la roche suivant le plan des trous, sans effet arrière, donc pas de déplacement notable des terrains.

Ces trous de pré-découpage sont rapprochés et ne comportent qu'une faible quantité d'explosif. [7]

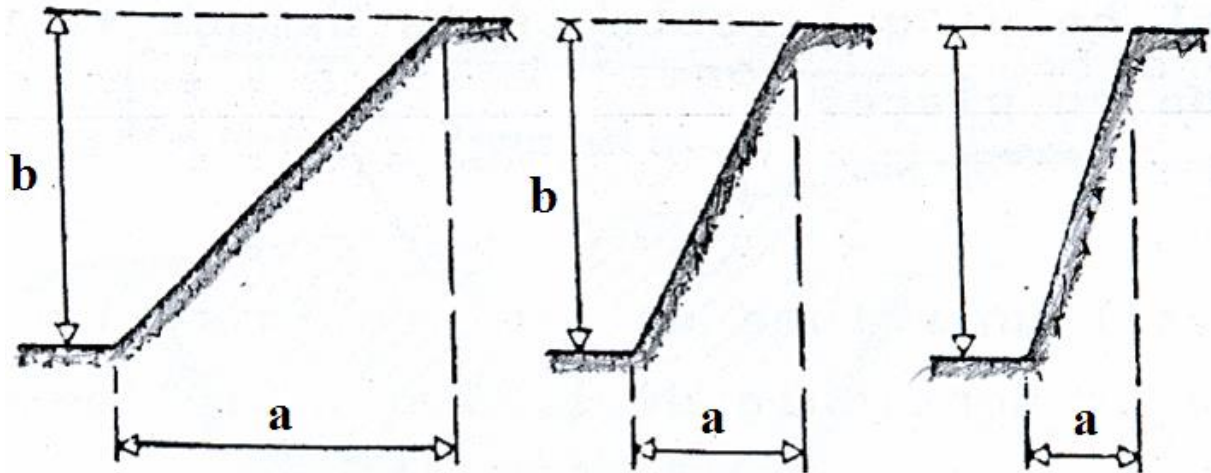
#### III.2.2.3. Post-découpage

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.

Dont, le dégagement des produits abattus est généralement réalisé. [7]

#### III.2.2.4. Réduction de l'inclinaison des talus

Pour assurer la sécurité de la carrière après la fermeture il faut réduire l'inclinaison des talus des gradins jusqu'à l'état la plus stable. [8]



**a:** L'inclinaison du talus.  
**b:** Réduction de la pente.

Figure III.8 : Illustration de réduction de l'inclinaison d'un talus.

### III.2.2.5. Réduction de la hauteur des gradins

La hauteur des gradins est généralement divisée en deux mais pour notre cas d'étude on ne peut pas utiliser cette méthode car la distance entre le dernier gradin et le contour (sommets) de la carrière est court. [8]

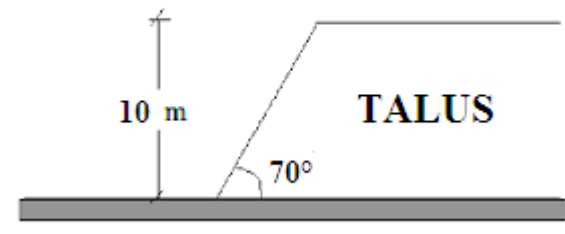


Figure III.9 : Illustration de la réduction d'un gradin.

### III.2.2.6. Système de drainage

Les pressions peuvent être responsables de la diminution de  $F_s$ , le drainage peut être utilisé, surtout si la perméabilité des discontinuités est insuffisante, les drains peuvent être mis en place à partir du talus ou à partir d'une galerie de drainage. [5]

La technique de drainage pour la stabilisation des talus est illustrée dans la figure (Fig.III.10) :

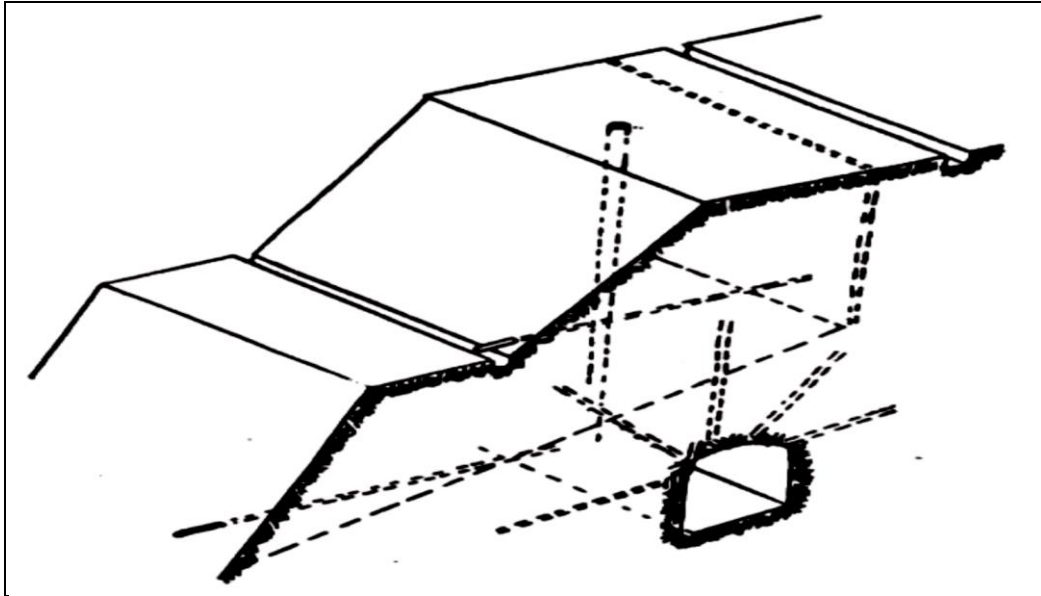


Figure III.10 : Stabilisation de talus par drainage. [5]

### III.3. Détermination du facteur de sécurité

#### III.3.1. Coefficient de sécurité

Le calcul de stabilité des talus est généralement estimé à l'aide d'un coefficient appelé coefficient de sécurité  $F_s$ .

Théoriquement :

- $F_s > 1$ , le talus est stable ;
- $F_s < 1$ , le talus ne peut que glisser ;
- $F_s = 1$ , le talus est en état d'équilibre limite. [6]

Techniquement :

Tableau III.1 : Paramètres de sécurité des ouvrages techniques en fonction de  $F_s$ . [6]

Etat de L'ouvrage	$F_s$
<1	Insécurité
1-1.25	Danger
1.25-1.4	Sécurité contestable
>1.4	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants ; Sécurité contestable quand la rupture serait catastrophique.

Mais dans la pratique, le coefficient  $F_s$  doit tenir compte des facteurs suivants :

- Les erreurs dues à l'exactitude des méthodes de calcul de stabilité du bord ;

- Les incertitudes expérimentales de la détermination des propriétés physico-mécaniques des roches, comme par exemple la valeur moyenne du poids volumique des roches composant le massif.

$$FS = \frac{Mt(\text{resist})}{Mt(\text{moteur})} \quad (\text{III.1})$$

Mt(resist) : moment des forces résistant au mouvement ;

Mt(moteur) : moment des forces provoquant le mouvement.

- Les incertitudes de la détermination de l'influence de la fissuration ;
- L'influence des charges dynamiques provoquées par le tir, par le mouvement des moyens de transport et par l'activité sismique.

Le comportement global de la pente correspond à quatre mécanismes qui se traduisent par des déplacements du sol différemment repartis.

Pré-rupture, ou le comportement du sol ou le massif est un milieu continu, sans zone de discontinuité, les déformations sont quasi homogènes ; rupture, ou une partie du massif se déplace par rapport à l'autre ; le modèle de sol est rigide-plastique ; post-rupture, ou une partie du sol se déplace sur l'autre, comme un écoulement visqueux et avec une vitesse appréciable ; réactivation, quand la partie du sol ayant déjà glissé et s'étant stabilisée, le mouvement reprend sur une surface prédéfinie, suivant un comportement rigide-plastique.

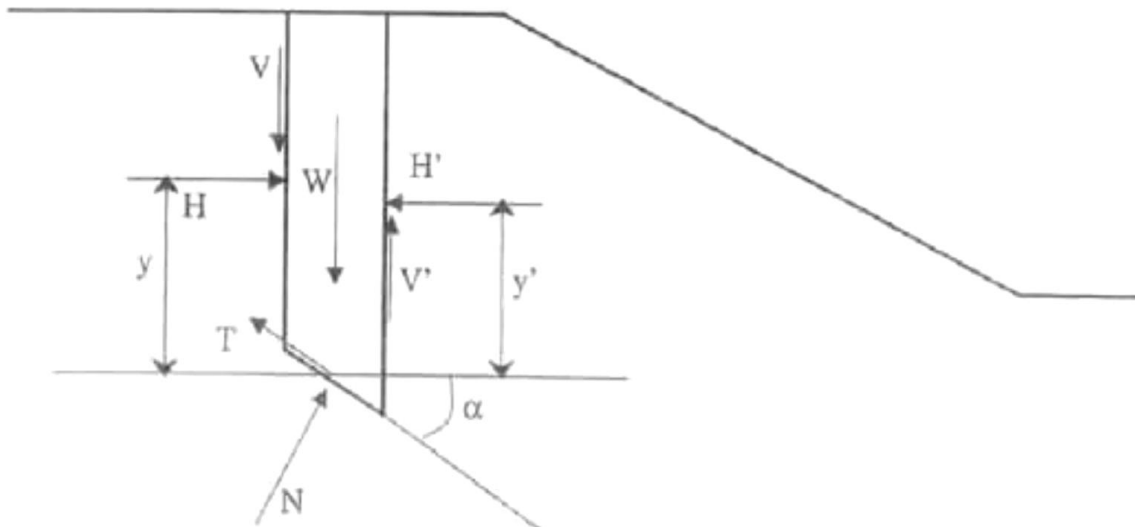
La distinction entre ces quatre mécanismes est fondamentale pour une étude fiable des pentes, et ceci va bien sûr influencer sur le choix d'une méthode de calcul. [6]

### III.4. Méthodes calculs à la rupture

#### III.4.1. Méthodes des tranches

##### III.4.1.1. Méthode Fellenius

Le découpage de la masse en mouvement en tranches verticales a permis le développement d'un très grand nombre de méthodes, symbolisées par la méthode suédoise de Fellenius (1927). [13]



**Figure III.11 :** Illustration de découpage par la méthode suédoise de Fellenius. [13]

### III.4.1.2. Méthode de Bishop (1955)

Bishop ne néglige plus les forces horizontales inter-tranches et obtient une formule implicite dont la programmation pose quelques problèmes :

$$\mathbf{FBish} = \left( \frac{\Sigma(c/b + (W - ub) \tan \phi')}{(\cos \alpha) (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)} \right) \Sigma W \sin \alpha \quad (\text{III.2})$$

En explicitant l'expression de la contrainte à la base de la tranche, on se rend compte qu'elle peut être négative; de même, le terme  $(1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)$  peut devenir nul et l'on obtient des valeurs très grandes de la contrainte, pour pallier ces anomalies numériques, le programmeur introduit des tests qui maintiennent les valeurs dans des fourchettes admissibles. Fellenius est en général la référence choisie, mais il en résulte qu'il ya plusieurs façons de programmer la méthode de Bishop et que certains résultats, par exemple quand le talus est immergé, peuvent différer considérablement suivant la programmation utilisée, pour maîtriser la méthode de Bishop, il faut donc connaître les tests cachés dans sa programmation. [13]

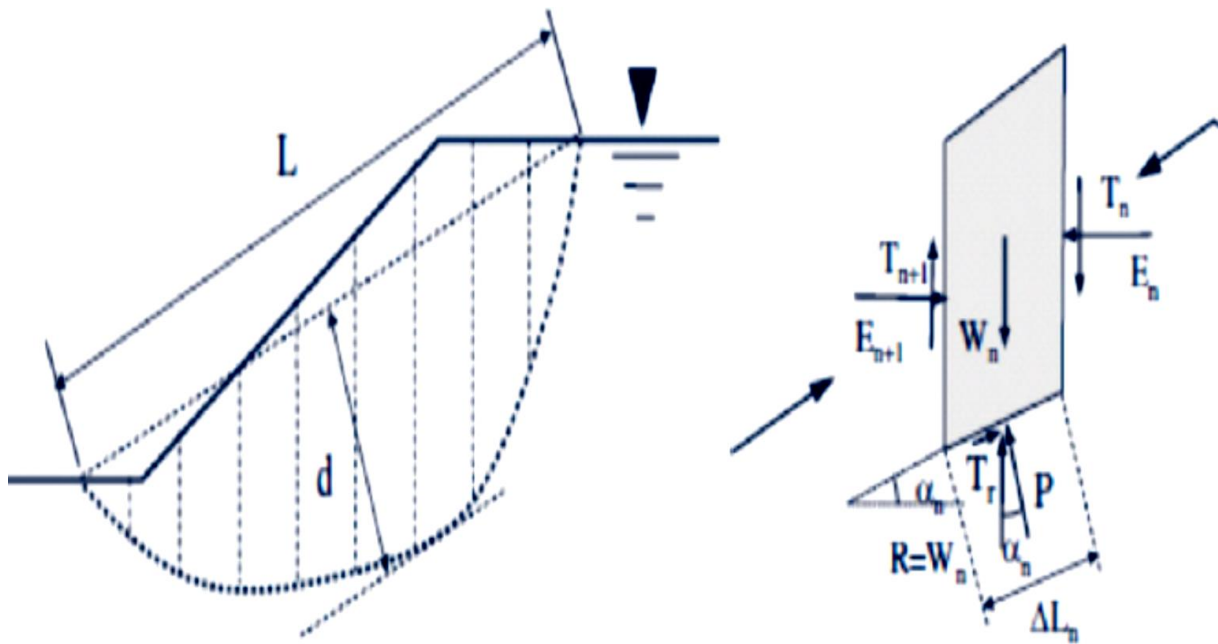
### III.4.1.3. Méthode de Morgenstern et Price (1965)

Morgenstern et Price définissent une fonction donnant l'inclinaison des efforts inter-tranches, la programmation est assez délicate et Fredlund et Krahn(1977) proposent un algorithme de résolution plus stable, cette méthode est très utilisée mais pose toujours quelques problèmes de convergence. [13]

### III.4.1.4. Méthode de JANBU (1956)

La méthode de Janbu détermine le coefficient de sécurité par l'équilibre de forces. Cette méthode considère les forces normales inter-tranche (E), mais néglige les forces de cisaillement (T).

La force normale (P) est déterminée comme dans la méthode de Bishop simplifiée. [13]



**Figure III.12 :** Forces considérées dans la méthode de Janbu. [13]

Janbu calcule d'abord un facteur de sécurité non corrigé  $F_{s0}$  qui est déterminé comme suit :

$$F_{s0} = \frac{\sum_{n=1}^m (b_n \frac{\text{tg}\phi_i [C_i + \frac{W_n}{b_n} - u]}{n\alpha}}{\sum_{n=1}^m W_n \text{tg}\alpha_n} \quad (\text{III.3})$$

Avec :  $n\alpha = \cos^2 (1 + \text{tg}\alpha_n * (\frac{\text{tg}\phi_i}{F_{s0}}))$

$(W_n/b_n)$  est la contrainte verticale totale.

$b_n$  : La largeur de la tranche n.

$\alpha_n$  : L'inclinaison de la surface de glissement au milieu de la tranche n.

$u$  : La pression de l'eau interstitielle.

On peut remarquer que la méthode de Janbu, satisfait l'équilibre des forces et considère les forces normales inter-tranche (E), c'est une méthode indirecte (itérative, puisque

$F_{s0}$  est des deux cotés de l'équation), elle est utilisée généralement pour une surface de cisaillement composée (surface de glissement générale).

Janbu a introduit un facteur de correction. [13]

### III.4.1.5. Méthode de Bell (1969)

Bell propose de prendre une fonction de répartition de la contrainte normale le long de la courbe de rupture définie par deux paramètres  $\lambda$  et  $\mu$  :

$$\sigma_n = \lambda \gamma h + \mu \sin \left( \frac{\pi (x - x_0)}{x_1 - x_0} \right) \quad (\text{III.4})$$

Où  $x$ ,  $x_1$ ,  $x_0$  sont les abscisses curvilignes du point courant et des extrémités de la courbe de rupture, cette fonction de répartition n'a pas permis à la méthode de fournir des résultats probants. [13]

### III.4.2. Méthode des blocs

#### III.4.2.1. Rupture plane d'un talus

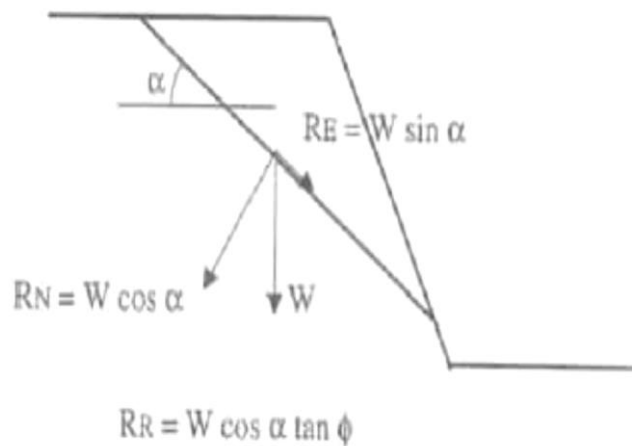
On écrit l'équilibre de la masse potentiellement instable sur un plan incliné d'un angle  $\alpha$  (Fig.III.13) et l'on obtient la formule suivante :

$$F(a) = \frac{c'L + W \cos \alpha \tan \phi'}{W \sin \alpha} \quad (\text{III.5})$$

Où  $W$  est le poids de la masse en mouvement,  $a$  l'angle de la ligne de rupture sur l'horizontale,  $L$  la longueur de la rupture et  $c'$  et  $\phi'$  les paramètres de la loi de Coulomb du sol en contraintes effectives,  $W \sin \alpha$  est la force d'entraînement et  $c'L + W \cos \alpha \tan \phi'$  est la force résistante obtenue par la loi de Coulomb appliquée à la réaction normale de la masse en mouvement sur le sol fixe, on retient la ligne de rupture définie par  $a$  qui minimise  $F$ .

Cette formule surestime généralement le coefficient de sécurité  $F$ , en effet, les simplifications éloignent de la réalité, et on traite un mécanisme plus résistant que le mécanisme réel, qui correspond à un minimum, une analyse critique du résultat peut conduire à le rejeter, si par exemple cette surface de rupture est incompatible avec la structure géologique du terrain. [13]





**Figure III.13** : Schéma de rupture plane. [13]

### III.4.2.2. Rupture plane d'une pente infinie

Le cas de la pente infinie inclinée d'un angle  $\beta$  (Fig.III.4) permet de mettre facilement en évidence le rôle de l'eau, dans le cas d'une pente noyée avec un écoulement parallèle à la pente, on peut calculer le coefficient de sécurité soit par un bilan de forces, soit par sa définition usuelle :  $F = \tau_{max}/\tau$ .

Pour le bilan des forces s'appliquant à un volume  $V$  de sol, on a les quatre forces suivantes :

- Force de pesanteur :  $V \gamma'$  ( $\gamma'$  étant le poids volumique déjaugé) ;
- Force d'entraînement le long de la pente :  $V y_w \sin \beta$  ;
- Force d'écoulement :  $i V y_w$  (ou  $i = \sin \beta$  est le gradient hydraulique de l'écoulement parallèle à la pente) ;
- Force résistante :  $L (c' + (V y \cos \beta) \tan \phi'/L) / F$ .

Ce qui donne en écrivant l'équilibre :

$$F = \frac{c' + h \cos \beta \gamma \tan \phi'}{\gamma h \cos \beta \sin \beta} \quad (\text{III.6})$$

Si on utilise la définition:  $F = \tau_{max}/t$ , il faut se rappeler que le dénominateur correspond à la masse totale, alors que le numérateur, correspondant au frottement, est à exprimer en contraintes effectives, les deux approches conduisent à la même formule.

En considérant un écoulement suivant la pente, mais limité par un toit de nappe à une profondeur  $h_w$ , on obtient la formule pour  $c'=0$  :

$$F = \frac{((\gamma h - y_w (h - h_w))}{\gamma h \times (\tan \phi' \div \tan \beta)} \quad (\text{III.7})$$

Il est facile de voir que si la nappe baisse, alors  $hw$  augmente et  $F$  croit (voir Fig.III.14). [13]

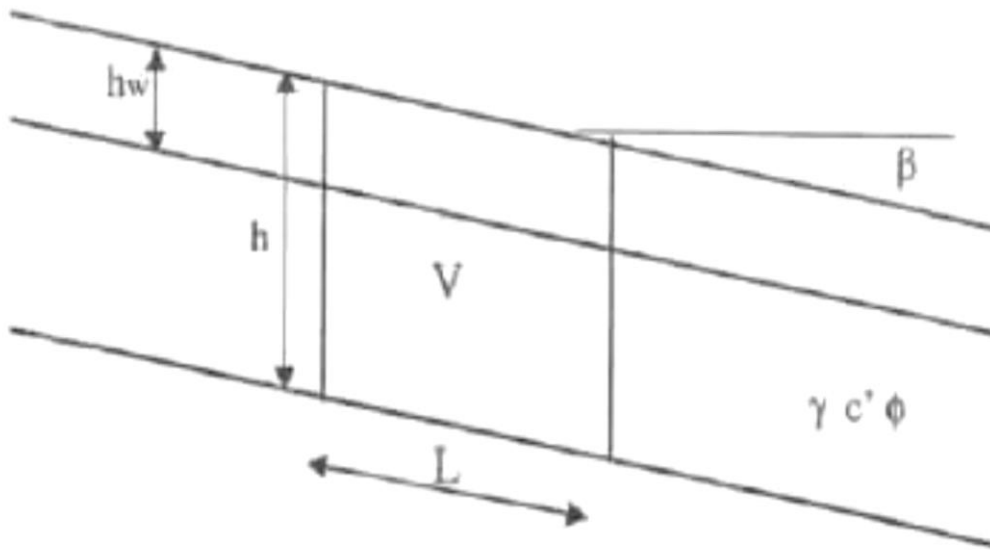


Figure III.14 : Schéma de rupture plane infinie. [13]

### III.4.3. La méthode des éléments finis (MEF)

La méthode des éléments finis est une méthode de calcul numérique qui ayant un profond caractère plus physique qu'abstrait, elle a été inventée plutôt par les ingénieurs que par les mathématiciens, cette méthode a été appliquée pour la première fois dans des problèmes liés à l'analyse des contraintes et depuis elle a été étendue dans d'autres problèmes liés au milieu continu, la MEF représente une modalité d'obtenir une solution numérique correspondant à un problème spécifique. Cette méthode n'offre pas une formule pour une certaine solution et ne résout pas une classe de problèmes, la MEF est une méthode approximative à moins qu'un certain problème puisse être extrêmement simple conduisant ainsi à une formule exacte toujours valable. [7]

### III.5. Choix des paramètres

L'utilisation du logiciel Slide nécessite les différents paramètres des différentes couches de sol constituant le profil d'étude.

Ces derniers sont déterminés par les essais de laboratoire et in situ, ces paramètres d'entrée sont :

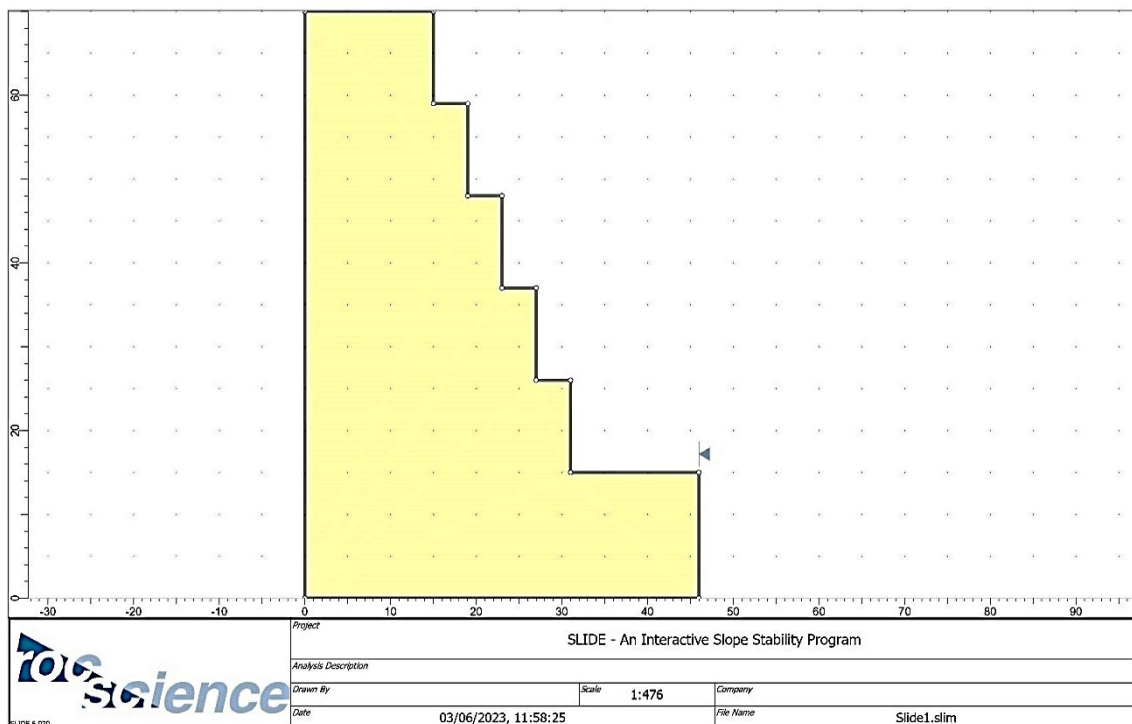
- La masse volumique  $\gamma$  (KN/m<sup>3</sup>) ;
- La cohésion  $c$  (KN/m<sup>2</sup>) ;
- L'angle de frottement  $\phi$  (°).

**Tableau III.2** : Caractéristique physico-mécanique. [28]

Paramètre	Valeur (min)	Valeur (max)
Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	27	
Cohésion (KPa)	400	36000
Angle de frottement interne (°)	37	58

### III.5.1. Début de modélisation

La figure ci-dessous présente le profil du talus étudié, ce profil a été présenté selon les différents tests géotechniques réalisés dans le site et s'accote sur une modélisation statique.



**Figure III.15** : Profil modélisé par le logiciel Slide.

Après que le profil a été tracé, pour la détermination du facteur de sécurité nous avons pris le pire cas c'est-à-dire les valeurs minimales, une fois les paramètres sont introduit, un calcul du facteur de sécurité est effectué avec différentes méthodes de calcul de stabilité, les valeurs du coefficient de sécurité  $F_s$  selon trois méthodes différents sont données dans les figures suivantes :

III.5.1.1. Méthode de Fellenius

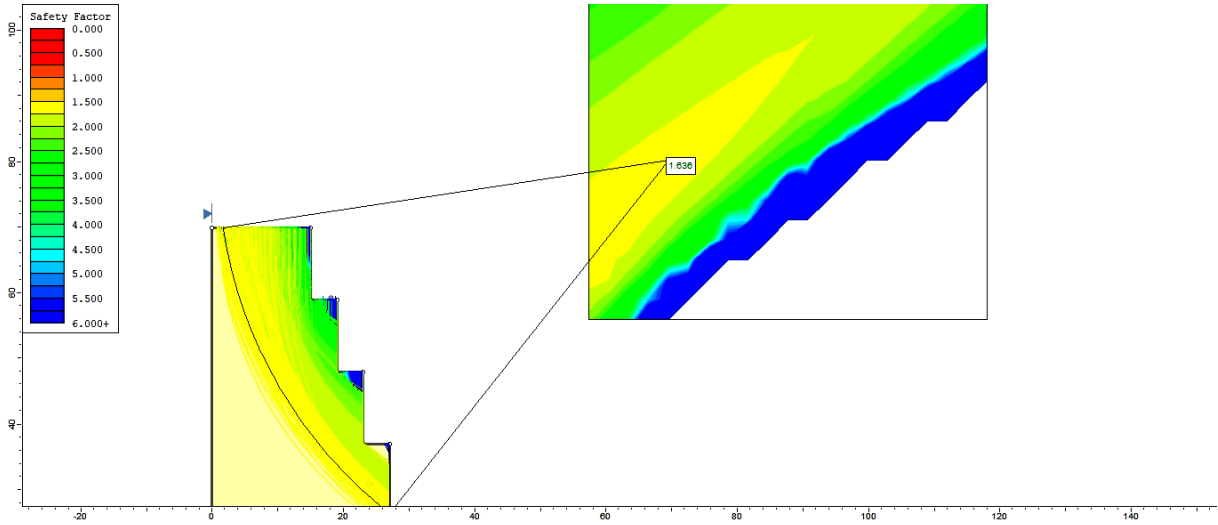


Figure III.16 : Coefficient de sécurité obtenu de la méthode Fellenius (Fs=1.636).

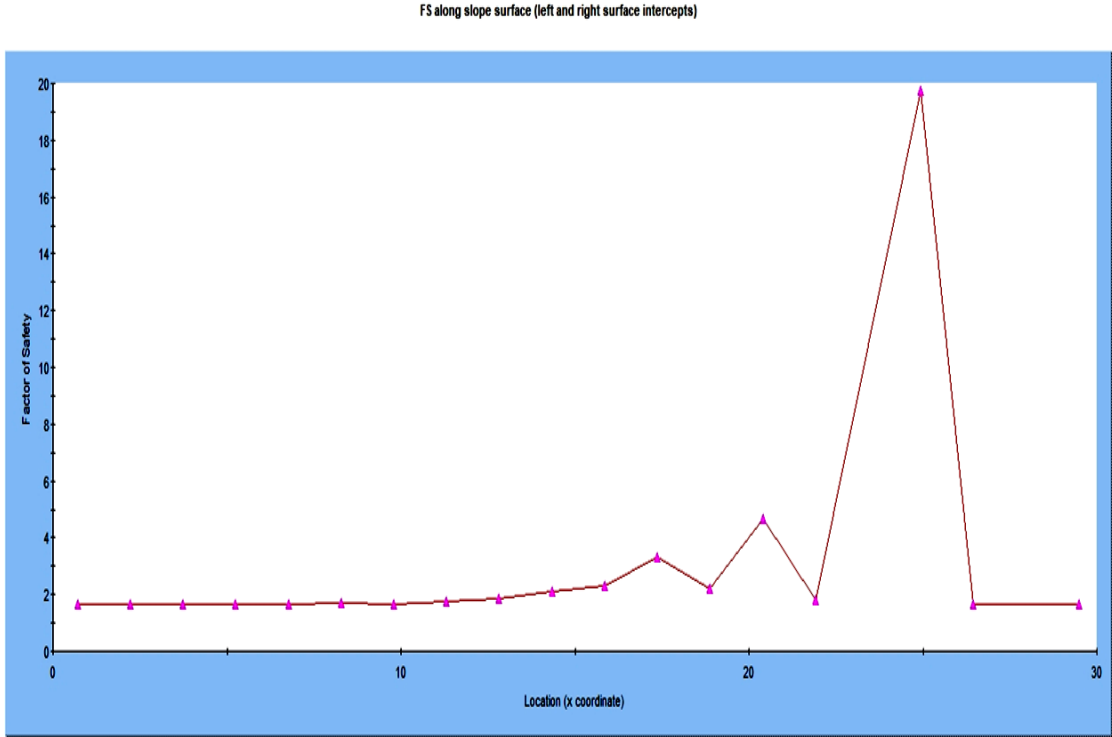


Figure III.17 : Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par Fellenius.

III.5.1.2. Méthode de Junbu simplifié

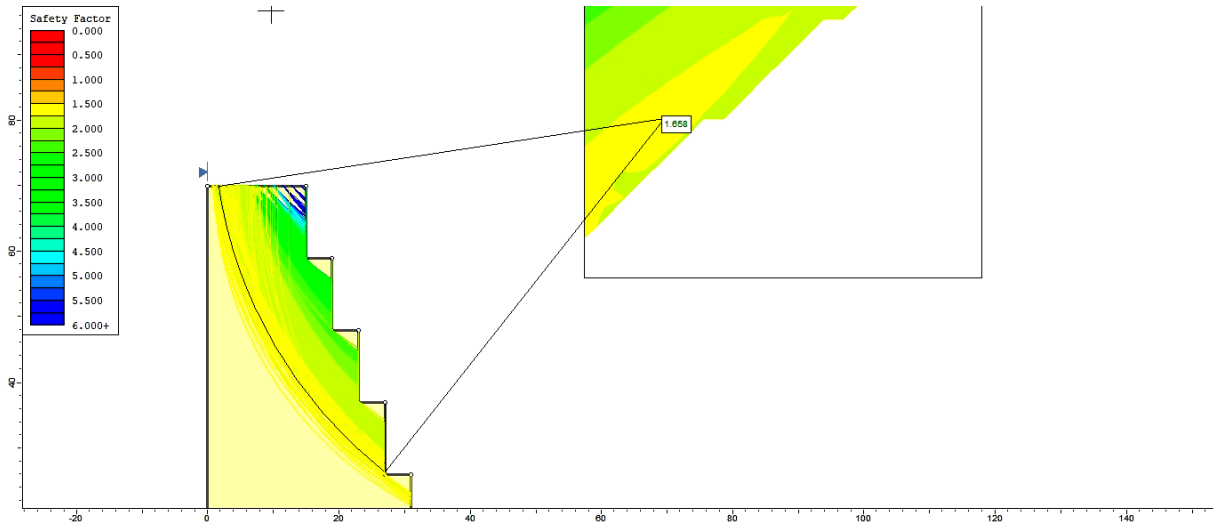


Figure III.18 : Coefficient de sécurité obtenu de la méthode Junbu (Fs=1.658).

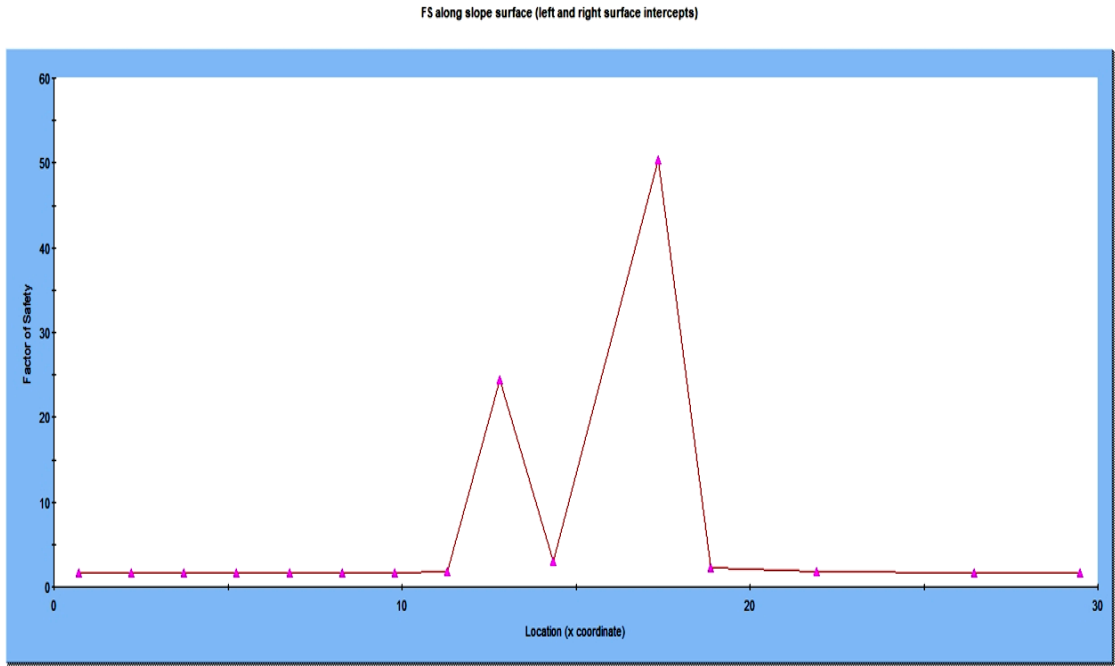
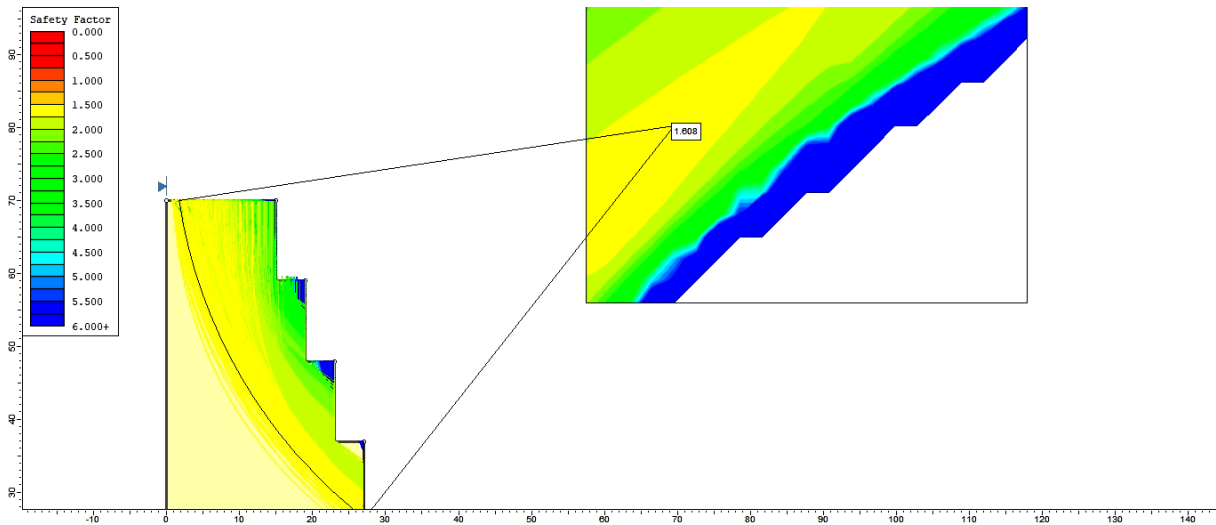
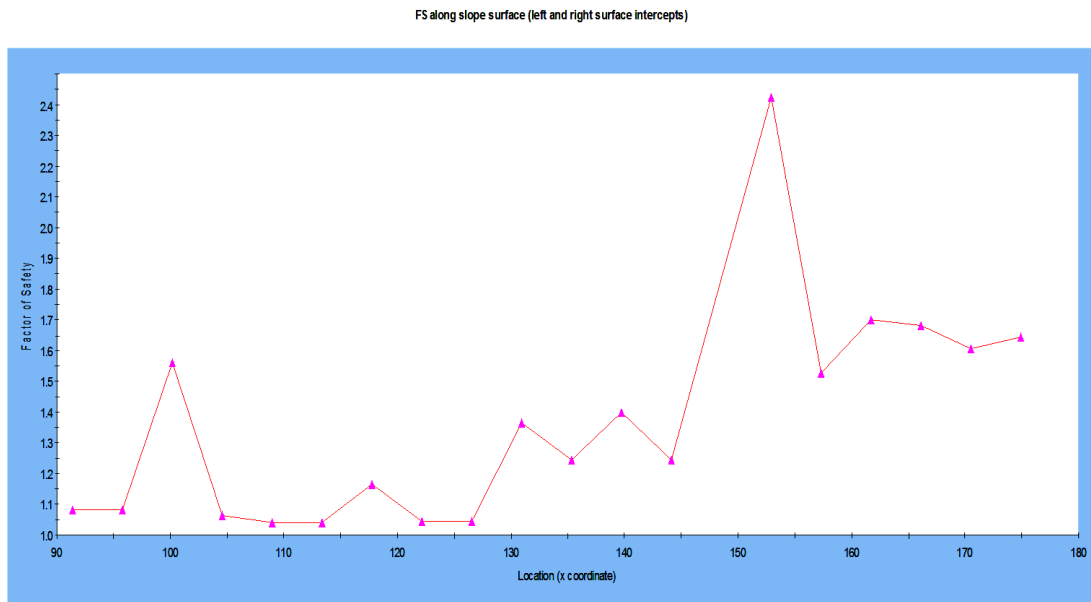


Figure III.19 : Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par Junbu simplifié.

## III.5.1.3. Méthode de Bishop simplifié



**Figure III.20 :** Coefficient de sécurité obtenu de la méthode Bishop ( $F_s=1.608$ ).



**Figure III.21 :** Variation du coefficient de sécurité le long de la surface du talus par bishop simplifié.

Une fois que le calcul du facteur de sécurité est effectué avec ces différentes méthodes de calcul de stabilité, les valeurs du coefficient de sécurité  $F_s$  sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.3 :** Les valeurs du coefficient de sécurité.

Méthode de calcul	Coefficient de sécurité
Fellenius	1.636
Junbu simplifié	1.658
Bishop simplifié	1.608

## Chapitre III

---

### III.5.2. Interprétation des résultats

Théoriquement, le coefficient de sécurité est estimé à  $F_s \approx 1.6 > 1$ , alors le terrain est stable et indique aucun risque qui engendrera des phénomènes d'instabilité à long terme.

Techniquement, le coefficient de sécurité  $F_s > 1.4$ , la stabilité du terrain sera satisfaisante, en cas où les gradins seront aménagés d'un projet d'ouvrage de construction, ça n'affectera point le talus général.

### Conclusion

Dans le cadre de la remise en état du site minier le chargé d'étude a pour mission de trouver des solutions aux différents facteurs d'instabilité du talus qui peuvent causer des complications écologiques et être potentiellement dangereux.

Selon les résultats de l'étude géotechnique qu'on a faite, démontre que le terrain du site minier sera sans risque d'instabilité à sa fin d'exploitation, et avec la revégétalisation de la friche et une technique de protection, éliminera tout danger possible et écartera tout soupçon d'instabilité de terrain en avenir.

### Chapitre IV : Etude de remise en état des lieux

#### Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la réglementation concernant la fermeture d'une mine à ciel ouvert et les différentes techniques et étapes de plan réhabilitation de la carrière d'Adrar Oufarnou.

Un plan de réhabilitation et de fermeture d'une mine doit refléter les normes et les principes de l'entreprise, ainsi que les directives réglementaires, et fournir une base convenable pour estimer le coût de fermeture.

Ce plan doit aussi comprendre une description des activités planifiées pour la fermeture du site, et il doit également inclure les objectifs et les critères de base de l'évaluation des options proposées pour la fermeture, les objectifs d'un plan de fermeture de mine consistent à :

- Permettre à toutes les parties prenantes de voir leurs intérêts pris en compte lors de la fermeture de la mine et d'aboutir à un accord sur l'utilisation du terrain de l'après-mine.
- Veiller à ce que le processus de fermeture soit réalisé de façon méthodique, rentable et en temps voulu.
- Veiller à ce que le coût de la fermeture soit représenté de façon adéquate dans les comptes de la société et à ce qu'aucune obligation de réparer ne soit laissée à la communauté.
- Assurer que le projet de fermeture et de réhabilitation soit respectueux au code minier et l'environnement du site exploité.
- Assurer la stabilité des terrains intégrant du champ minier.

Dans un cadre écologique et une perspective de la conservation de la biodiversité du parc naturel de Gouraya, nous avons l'intention de présenter un plan de restauration écologique « Revégétalisation », visant à favoriser l'auto-réparation d'un écosystème naturel ou semi-naturel dégradé ou détruit.



### IV.1. Législation minière et la remise en état des lieux

La fermeture et la remise en état des lieux sont effectuées conformément à la réglementation en vigueur, ci-dessus quelques articles de loi n° 01-10 du 3 juillet 2001 portant loi minière et ses texte d'applications:

**Art.48.** Nul ne peut abandonner un puits, une galerie, une tranchée, un siège d'extraction, un carreau mine, une digue à stériles, verses, terrils, haldes miniers, sans avoir été préalablement autorisé par l'agence nationale des activités minières, sous peine des sanctions prévues à l'article 146.

Le titulaire du permis minier est tenu, à la fin du permis minier, d'exécuter immédiatement, à ses frais, les travaux prescrits expressément par l'autorité administrative compétente, en vue notamment, de la restauration et de la remise en état des lieux, de la conservation du gisement, de la protection des nappes d'eau et des écoulements superficiels ainsi que de la préservation de la sécurité publique, la durée durant laquelle la responsabilité du titulaire du permis minier est engagée est fixée par l'autorité administrative compétente ayant délivré le permis minier après avis des services habilités du ministère chargé de l'environnement. [22]

**Art. 49.** Le titulaire du permis minier est tenu de mettre en œuvre des mesures préventives pour supprimer, réduire et/ou compenser les nuisances qui sont du fait de son exploitation. [22]

**Art. 50.** Tout puits, galerie ou travaux d'exploitation en souterrain ou à ciel ouvert, en infraction aux prescriptions de la présente loi et des textes pris pour son application, sont interdits par le wali territorialement compétent, sur proposition de l'agence nationale des activités minières, sans préjudice des poursuites civiles et pénales. [22]

**Art. 85.** En cas de fermeture du site minier suite à épuisement des réserves de substances minérales ou fossiles et ou à décision de le placer dans la situation de surface fermée, le titulaire est tenu de procéder à l'enlèvement de toutes les installations se trouvant sur le périmètre minier, autant que faire se peut, le site doit retrouver l'aspect proche de son état initial, acceptable par l'agence nationale des activités minières et les services habilités de l'environnement, le titulaire du permis minier demeure redevable du paiement des droits et taxes dus et du respect des obligations qui lui incombent relativement à la restauration et à la

## Chapitre IV

---

remise en état des lieux et des autres obligations prévues par la présente loi et ses textes d'application ainsi que dans le cahier des charges. [22]

**Art. 123.** Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières doit joindre à sa demande, 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. [22]

**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. [22]

**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. [22]

## Chapitre IV

---

**Art. 139.** Les investissements d'exploitation minière notamment ceux destinés à la création, l'extension de capacités, la réhabilitation ou la restructuration, sont soumis aux dispositions prévues par la législation et la réglementation relatives au développement de l'investissement. [22]

**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, à 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. [22]

## Chapitre IV

---

### IV.1.1. Protocole de l'ANAM

Les directives de l'ANAM sur la réhabilitation, sont :

#### a) Cas de remise en état graduelle

Dans le cas où la remise en en état des lieux est obligatoire (danger imminent, atteinte à l'environnement...etc).

-Il est demandé à l'opérateur de déposer le plan de restauration de cette partie ;

-Le suivi des autres phases de cette remise en état partielle notamment du respect des délais de réalisation doit être rigoureux ;

-Une fois la restauration acceptée, l'opérateur peut récupérer une partie du montant du compte séquestre (selon une procédure de compte séquestre qu'il y a lieu d'apporter) ;

-La superficie remise en état peut être libérée et soustraite de la superficie globale du périmètre minier, ce qui permettrait à l'opérateur de bénéficier de la réduction du montant de la taxe superficielle. [23]

#### b) La stabilisation des terrains

L'opérateur doit démarrer les opérations relatives à la stabilisation des terrains, conformément aux délais mentionnés dans son dossier et approuvés par l'ANAM. [23]

La loi minière en Algérie est claire, et stipule a toute entreprise minière à apporter un intérêt écologique et avoir une vision de responsabilité d'après mine, ces décrets gouvernementaux relève de l'éthique et la déontologie de la patrie et du peuple, le non-respect ou l'omission de ces derniers aura par conséquences des sanctions pénales (économiques et/ou la prison).

Conformément à ce cadre législatif, la réhabilitation des surfaces exploitées à la fermeture de la carrière d'Adrar Oufarnou, la restauration du site est une obligation de la compagnie minière qu'elle doit réaliser avec ses propres fonds, les compagnes minières doivent réaliser des « dépôts bancaires », une fois que l'activité d'extraction commence, comme garantie pour la réhabilitation.

Mais en cas d'échec de l'entreprise minière dans l'entame de ce projet, la réhabilitation devient une obligation du ministère de l'énergie et des mines, à travers les

## Chapitre IV

---

directions départementales de spécialité comme la police des mines et l'ENOF et l'ANAM, avec des fonds provenant du budget de l'état.

### IV.1.2. Compte séquestre ou Dépôts bancaire

C'est une provision obligatoire qui est placée dans un compte de consignation, compte-séquestre, ouvert auprès du Trésor au nom du titulaire du permis minier.

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 la provision du compte séquestre est fixé à 0.2% pour l'activité de la carrière d'Adrar Oufarnou.

Depuis le début de l'exploitation jusqu'à en 2023, la carrière d'Adrar oufarnou à thésauriser un montant actuel au 31-12-2022 de **40.799.567.21 DA**. [28]

#### IV.1.2.1. Bilan provisionnel de la carrière « Adrar oufarnou »

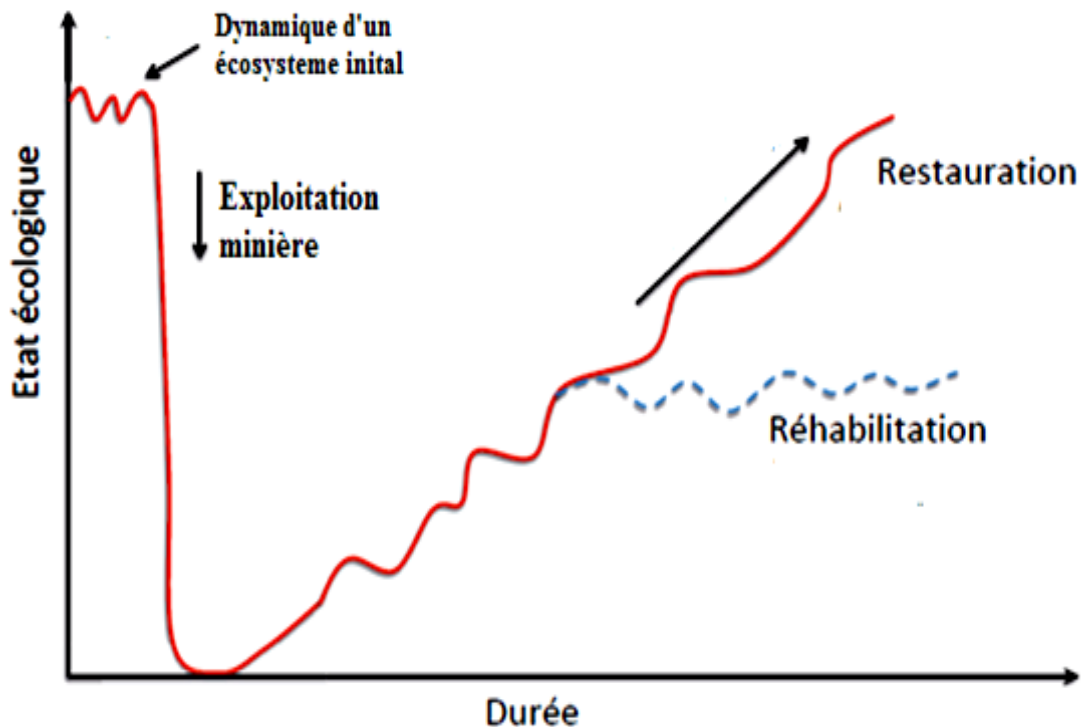
Bilan prévisionnel sur le taux de la remise en état du site minier à partir de 2023 est égale aux gains de la production planifiée multiplié fois 0.2% ;

Le montant du compte séquestre final est égale à **42.533.767.90 DA**. [28]

## IV.2. Plan de réhabilitation et de restauration

La gestion de l'après mine quand bien même est la dernière étape de l'exploitation minière , néanmoins elle est la plus importante; dans cette phase l'entreprise minière se doit respecter les lois international et local de protection de l'environnement et mettre un plan stratégique visant à la réhabilitation et la restauration du site minier au préalable de la fermeture de la mine, la stratégie de réhabilitation s'appuie sur plusieurs résolutions des problèmes et bonnes pratiques visant à la réduction optimale des polluants et des effets nuisibles.

Afin d'assurer le bon déroulement de cette phase, on doit étudier les impacts résultants de la mine concerné « Adrar Oufarnou » pour mieux limiter ou supprimer leurs nuisances sur l'environnement qui l'entoure. [9]



**Figure IV.1 :** Le développement hypothétique d'un écosystème, basé sur le modèle de transition d'état (modifié à partir de Grant 2006 et Doley & Audet 2014). [17]

Afin que le projet de réhabilitation et de restauration soit une réussite, ces critères ci-après doivent être mesurés :

- Diversité et structure de l'écosystème similaire à celui des sites de référence ;
- La présence d'espèces indigènes ;
- La présence de groupes fonctionnels nécessaires à la stabilité à long-terme ;
- La capacité de l'environnement physique à supporter les populations reproductrices ;
- Fonctionnement normal ;
- Intégration au paysage ;
- Elimination des dangers potentiels ;
- Résilience aux perturbations naturelles ;
- Autonomie. [17]

### IV.2.1. Les différents impacts de la carrière d'Adrar oufarnou

#### IV.2.1.1. Impact sur la flore

Il s'agit de la suppression de la végétation ainsi que le sol de couverture, le déplacement de la faune, le dégagement de polluants et la génération de bruit.



**Figure IV.2 :** Photo de la carrière d'Adrar Oufarnou proximité d'une forêt (2023).

### **IV.2.1.2. Impact sur la faune**

L'effet le plus direct sur la faune est la destruction ou le déplacement des espèces dans les zones d'excavation et d'accumulation des déchets miniers, les espèces mobiles de la faune, comme le gibier, les oiseaux et les prédateurs, quittent ces zones, les animaux plus sédentaires, comme les invertébrés, de nombreux reptiles, les rongeurs fouisseurs et les petits mammifères, peuvent être plus sévèrement affectés. [18]

### **IV.2.1.3. Impact visuel « Modification du paysage »**

L'exploitation de cette carrière a entraîné une transformation du paysage avec la surélévation naturelle des reliefs produisant des impacts visuels, tel que :

- La forme de l'excavation ;
- L'aspect des fronts de taille ;
- Le stockage des remblais en particulier laisse des cicatrices dans le paysage ;
- La position de l'installation de traitement ;
- Le déboisement. [7]



**Figure IV.3 :** Impact de la carrière Adrar Oufarnou sur la nature. (Google Maps)

#### **IV.2.1.4. Impacts liés à la stabilité du terrain**

Dans le troisième chapitre, ces impacts sont étudiés d'une façon approfondie et avec la proposition d'un ensemble de solutions, qui sont :

- Les chutes de blocs ;
- Les éboulements ;
- Les coulées de boues ;
- Les glissements de terrains ;
- Fluage. [5]

#### **IV.2.2.Solutions proposés**

##### **IV.2.2.1. Limiter les impacts sur la biodiversité**

- S'engager à recycler les matériaux inertes sur site ou en dehors du site ;
- Limiter le défrichage au strict besoin ;
- En cas de revégétalisation du site, favoriser l'insertion de plantes et arbres d'essence locale.

[19]



## Chapitre IV

---

### IV.2.2.2. Réduire l'impact visuel

- Réaménager et remettre en état le site au fur et à mesure de l'exploitation (dans la mesure du possible) ;
  - Prévoir la réduction de l'impact visuel en anticipant la plantation d'arbres d'essence locale pour servir d'écran ;
  - Réduire la taille et le nombre des sites de stockage de stériles et de résidus miniers en surface ;
  - Privilégier les méthodes d'exploitation qui permettent un autorembayage partiel ou total.
- [19]

### IV.3. Terrassement et aménagement des fronts

Avant d'entamer le projet de revégétalisation et d'implantation, la réhabilitation nécessite au préalable des travaux mécaniques sur les terrains pour remodeler le relief et contrôler l'écoulement des eaux : le nivellement des terrains et Aménagement des fronts et remblaiement des banquettes des gradins.

#### IV.3.1. Types d'engins aux travaux nécessaires

Dans ces travaux, l'utilisation de certain nombre d'engins sont nécessaire pour assurer la réussite de travaux, qui seront cité dans le tableau ci-dessous

**Tableau IV.1** : Engins nécessaire et leurs rôles aux travaux mécaniques. [15]

Types engins	Rôle de l'engin
Décapeuse (scraper)	Poussé par un bulldozer, il passe et repasse sur le sol jusqu'à en avoir retiré tout les matériaux et ne reste après son passage que le sol dur et transporte les matériaux sur quelques centaines de mètres puis les dépose
Pelle mécanique	Elle extrait les matériaux des déblais puis les charges dans le tombereau
Dumper (tombereau)	C'est un camion benne de grande taille, qui transport les matériaux extraite par la pelle mécanique, ces déblais serviront à former les remblais ainsi que les aménagements paysagers
Bulldozer (bouteur)	Il étale les matériaux transportés par les tombereaux ou les décapeuses
Niveleuse	Il aplatit le terrain pour former une plateforme
Compacteur	C'est un rouleau compresseur qui compacte les matériaux lors de la création des remblais



**Figure IV.4 :** Dessin représentant l'ensemble des engins des travaux mécaniques. [25]

### IV.3.2. 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.

L'objet des terrassements est double :

- Modifier le terrain naturel pour l'amener au niveau prévu par le projet ;
- Préparer une plate-forme support de la chaussée répondant aux critères de qualité nécessaire d'ordres géométrique et mécanique.

Les travaux comprennent :

- L'exécution des déblais ;
- L'exécution des remblais.

Les terrassements représentent une phase délicate d'un chantier, car ils impliquent en permanence une adaptation à la qualité des terrains rencontrés et des conditions climatiques au moment de l'exécution des travaux. [26]

### IV.3.3. Le nivellement (déblai et remblai)

Les terrains accidentés doivent être nivelés pour résoudre le problème de désordres de terrains, les monticules sont déblayés pour remblayer les petites dépressions, les matériaux sont déposés des particules les plus grossières aux plus fines, assurant ainsi une meilleure stabilité des couches de terrain (blocs rocheux, sables, terre). [26]

### IV.3.3.1. Exécution des déblais

Les techniques requises dépendent des sols rencontrés :

- Les terrains meubles compacte : Peuvent être extraits par tranches verticales au moyen de chargeuses ou de pelles, le transport est alors effectué par des camions ;
- Les terrains meubles non compacte : Ne peuvent être extraits, ils exigent d'être préalablement ameublis par le passage d'un engin équipé de dents « Bulldozer » ;
- Les terrains rocheux compacts (dures) : Exigent, en général, d'être fragmentés par l'usage de l'explosif. Ce travail est très délicat et doit être conduit par des spécialistes. [26]

### IV.3.3.2. Exécution des remblais

L'objectif principal est d'obtenir un remblai stable et qui seraient préjudiciables à sa bonne tenue, pour atteindre cet objectif, il convient de respecter les règles ou dispositions particulières de mise en œuvre et qui se résument comme suit :

- Exécuter le remblai par couches successives au moyen de boteurs ;
- Apporter un soin particulier à l'exécution.

Quant au choix des matériaux pour la construction d'un remblai, ceux qui sont insensibles à l'eau, et doit par contre correspondre le plus possible au type de sol du site choisi. [26]

## IV.4. Choix de réhabilitation du site minier « Adrar Oufarnou »

Vu les conditions physiques, ainsi que la localisation géographique, deux propositions pour la réhabilitation de la carrière sont étudiées :

### IV.4.1.Reconstitution du site minier « Adrar Oufarnou »

La réhabilitation de la carrière d'Adrar Oufarnou est la revégétalisation car le champ minier de la carrière appartient à un parc protégé reconnu par l'Unesco, la carrière d'Adrar Oufarnou se situe en plein milieu d'un parc naturel protégé, dont l'équilibre de faune et la flore est fragile, cette réserve de biosphère est surveillée de près et sauvegarder par un organisme étatique.



**Figure IV.5 :** Carte de situation du parc national GOURAYA de Bejaïa. [20]

### IV.4.1.1. La faune

L'exiguïté du Gouraya n'a pas permis le développement de grands animaux, en revanche, certaines espèces y trouvent un véritable refuge, en effet, en plus du fait qu'il constitue l'aire naturelle par excellence du singe Magot et certains mammifères, le parc est considéré comme un véritable sanctuaire ornithologique favorable aux oiseaux sédentaires ou migrateurs, il existe au parc national de Gouraya plusieurs espèces protégées d'une importance nationale et internationale. [1]

**Tableau IV.2 :** Les richesses spécifiques de chaque espèce. [1]

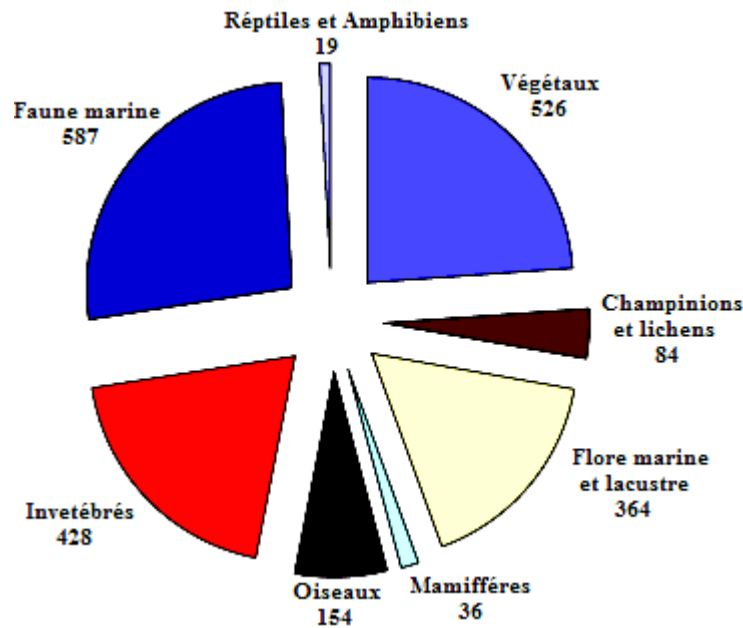
Taxons	Nombre
Mammifères	36
Oiseaux	154
Reptiles	13
Amphibiens	06
Insectes	420

## Chapitre IV

---

### IV.4.1.2. La flore

Les sols superficiels du Gouraya accueillent 526 espèces végétales communes aux régions siliceuses méditerranéennes, mais aussi certaines espèces rares spécifiques à la région, certaines espèces sont d'une importance nationale à l'image de la région à « Euphorbia dendroïdes » et du « Bupleurum plantagineum », d'autres présentent un intérêt d'ordre médicinal voire économique. [15]



**Figure IV.6 :** Composition floristique et faunistique du parc national du Gouraya. [1]

### IV.4.1.3. Revégétalisation

La faune sauvage dans le parc naturel Gouraya comprend des animaux unique et protégé en voie d'extinction, alors la renaturalisation du site minier se fera avec un esprit de conservation de cette biodiversité fragile et en faveurs de ces espèces par la réimplantation d'arbres fruitiers sauvages et une flore dont les plantes bénéfiques sont rarissimes dans toute cette région. [27]

## Chapitre IV

Tableau IV.3 : Espèces d'animaux protégé dans le parc Gouraya. [1]

Animal	Espèces
Mammifères	Singe magot – Renard roux – Chat sauvage – Mangouste – Belette – Genette
oiseaux	Faucon crécerellette – Faucon pèlerin – Outarde –Canepetière – Ibis chauve.
Rongeurs	Hérisson d'Algérie – Lérot – Porc épic.
Reptiles	Couleuvre vipérine – Couleuvre à collier méditerranéen.
Amphibiens	Salamandre d'Algérie – Pleurodèles d'Algérie – Crapaud de barbarie.
Insectes	Coccinelle à 7 point – Coccinelle 2 point-Machaon – Argus bleu – Vulcain.

Il existe trois techniques de revégétalisation :

-L'ensemencement : Consiste à implanter manuellement ou mécaniquement des graines d'herbacées sur des surfaces dénudées. [27]

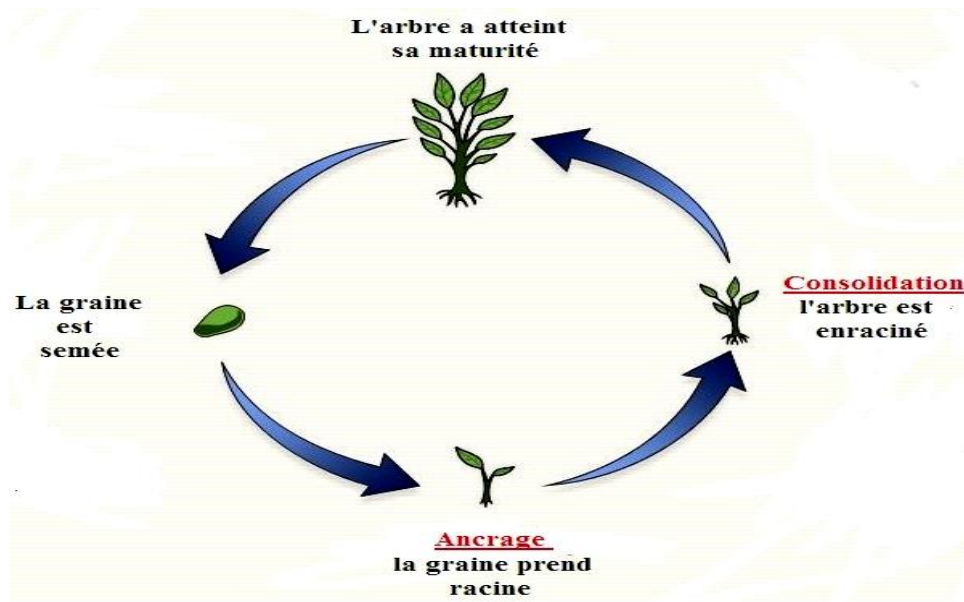


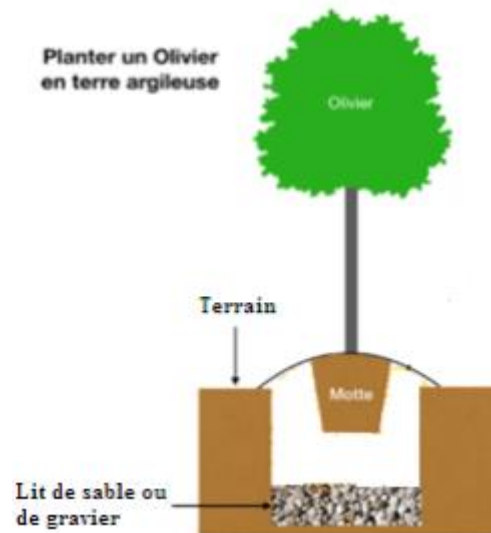
Figure IV.7 : Etapes d'ensemencement d'un arbuste. [27]

-Les boutures : Désignent un segment de tige ligneuse provenant d'espèces à forte capacité de reproduction végétative, qu'on enfonce dans le sol pour implanter un nouvel arbuste. [27]



**Figure IV.8** : Types de boutures. [27]

-La plantation : La plantation consiste à remettre en végétation les terrains à l'aide d'espèces ligneuses produites en racines nues, en contenants multicellulaires ou en pots. [27]



**Figure IV.9** : Illustration de plantation d'un olivier. [25]

Afin de bien sélectionner les végétaux, on doit prendre en compte les différentes élévations associées aux types de sol, en effet, ceux-ci ont un niveau d'humidité particulier.

#### IV.4.1.4. Sélection des espèces végétales

Pour la réhabilitation de la carrière d'Adrar Oufarnou, plusieurs espèces d'arbres et de plantes vont être proposées.

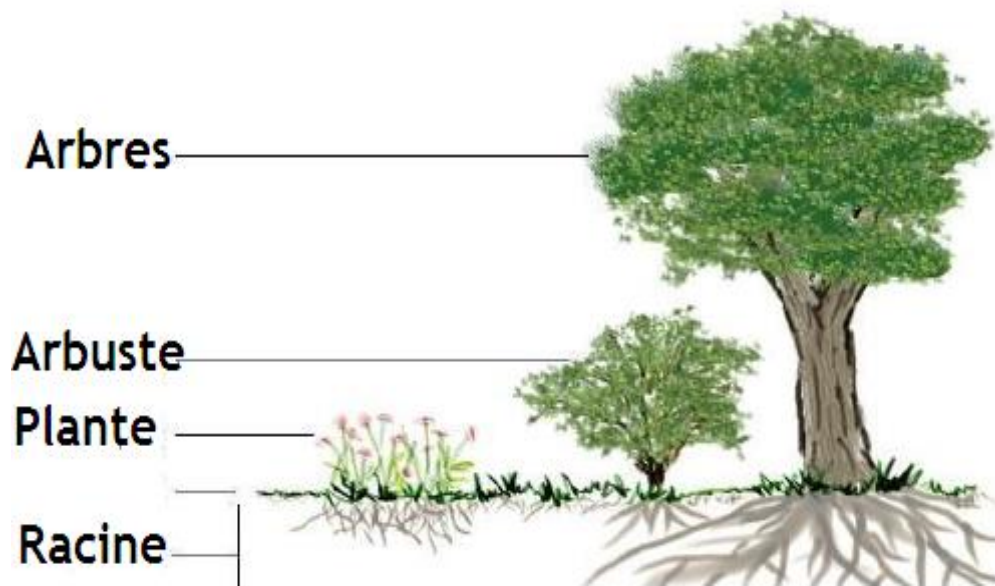
## Chapitre IV

---

**Tableau IV.4** : Arbres et Plantes choisie pour la renaturalisation. [20]

Arbres	Plantes
Pins d'Alep	Euphorbia dendroïdes
Olivier sauvage	Bupleurum plantagineum
Prunelier	Serapias stenopetala
Caroubier	Viola munbyana
Arbousier	Lythrum salicaria

Le choix de ces derniers est basé sur les bénéfices que peuvent rapporter à l'écosystème du mont Gouraya, les arbres sauvages fruitiers et plantes choisie sont comestible ou médicinale pour les animaux ou d'ordre de conservation d'espèce.



**Figure IV.10** : Illustration d'une revégétalisation. [12]



### IV.4.1.5. Conditions d'application de la revégétalisation

C'est dans ce contexte que nous avons souhaité proposer des mélanges types adaptés aux travaux de remise en état de décharge qui tiendraient compte des paramètres principaux :

**Les objectifs d'aménagement :** Visés par le maître d'ouvrage : écologiques/ paysagers ou espaces verts/aires récréatives.

La revégétalisation 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'abandons.

En tout état de cause, il ne faut pas oublier qu'il reste primordial de veiller à semer le mélange dans les périodes favorables définies pour le bioclimat considéré et sur un substrat apte à être ensemencé au sens des règles de l'art :

- Propriétés agronomiques suffisantes ;
- Erosion superficielle maîtrisée ;
- Propriétés du sol ;
- Facteurs climatique : La température, l'humidité, la précipitation, la pression atmosphérique et le vent ;
- Facteurs géologique : L'influence maritime et l'altitude. [21]

**Le bioclimat local :** Le site à revégétaliser, qui est méditerranéen dans le parc de Gouraya, les températures sont assez bonnes, et la pluviométrie est acceptable.

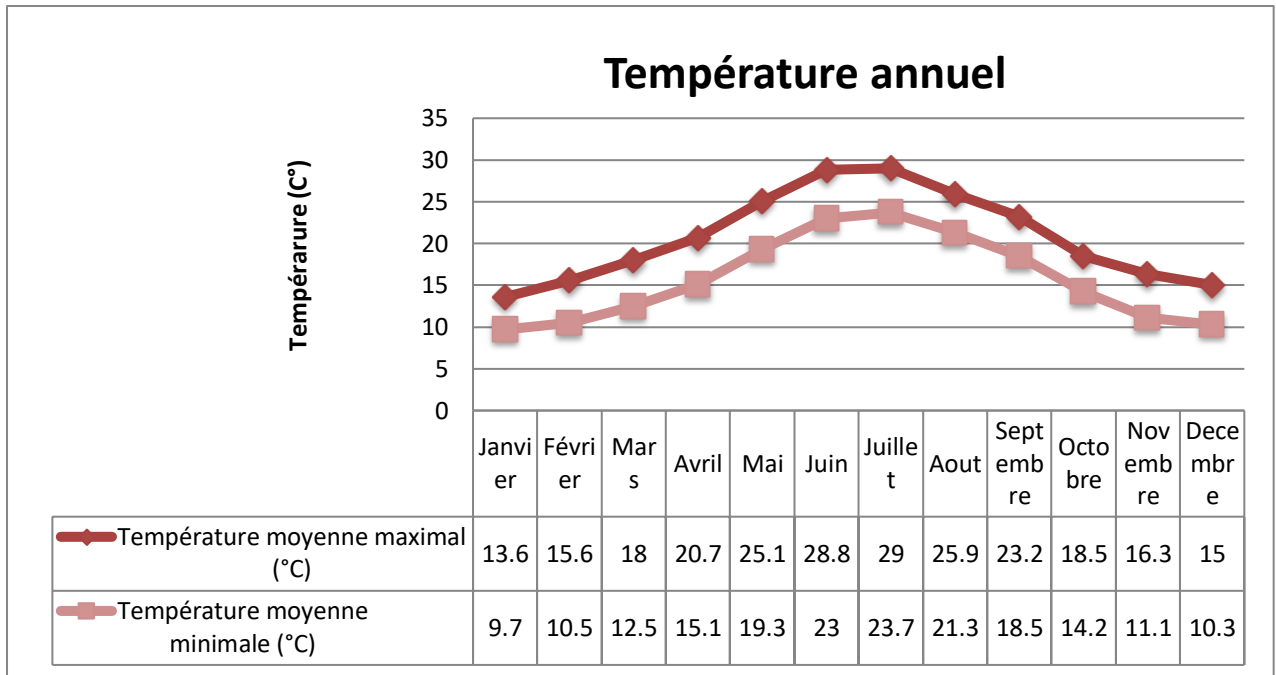


Figure IV.11 : Climat du parc de Gouraya en 2022. [24]

**Le pH des sols :** Les sols calcaires jusqu'à pH 8.5 peuvent lui convenir, par contre les sols acides pH 5.5 sont déconseillés, dans le cas de la carrière d'Adrar Oufarnou, le problème du ph est absent parce que la bonne précipitation permet une irrigation de l'eau dans les terres. [7]

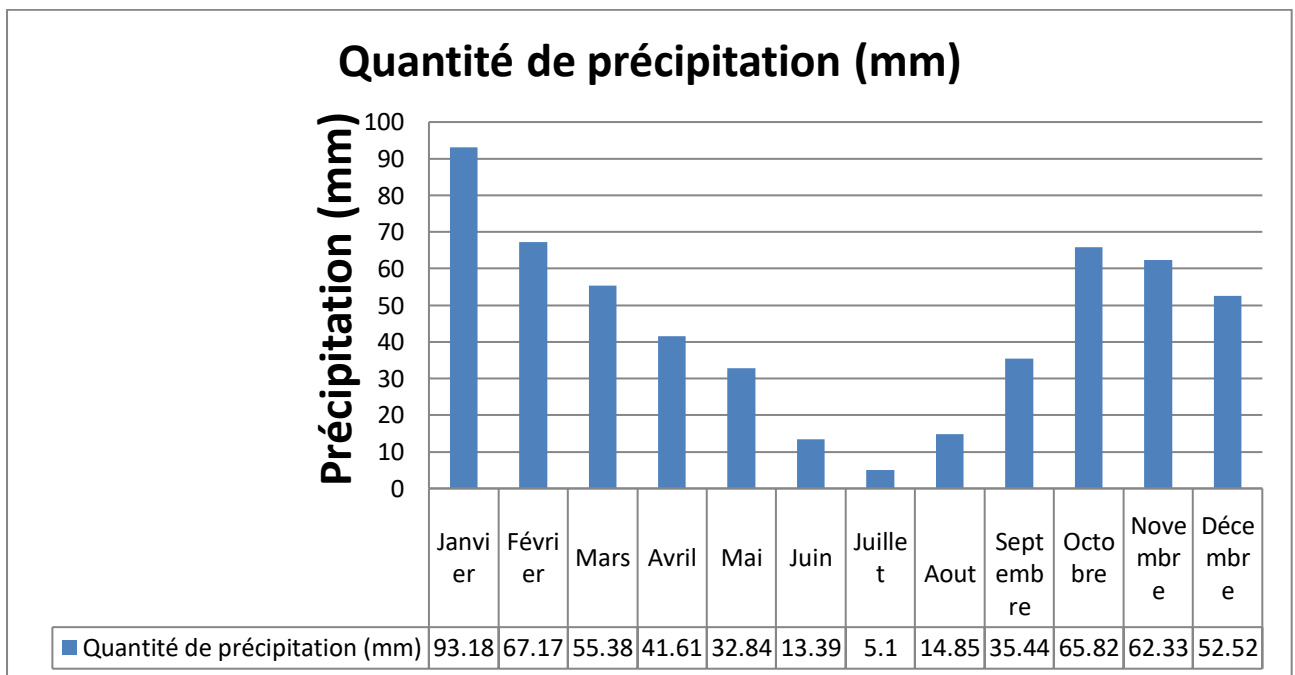


Figure IV.12 : Quantité de précipitation en 2022. [24]

## Chapitre IV

---

**L'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. [7]

**L'humidité :** Certain arbres et plantes ne supporte mal l'humidité mais les espèces choisies précédemment sont des végétations indigène propres au milieu de vie du parc Gouraya.

**Tableau IV.5 :** Exemple d'application. [27]

	<b>Olivier sauvage</b>	<b>Bupleurum plantagineum</b>
<b>Bioclimat</b>	Méditerranéen	Méditerranéen
<b>Résistance à l'humidité</b>	Résistant	Résistante
<b>Résistance à la température (°c)</b>	-8°c à 40°c	-4°c à 40°c
<b>Altitude</b>	Adapté à régions montagneuse	Adapté à régions montagneuse
<b>Pluviométrie (mm)</b>	315mm à 524mm	350mm à 400mm
<b>Résistance au pH</b>	pH 5.5 à pH 8.5	pH 6 à pH 7.5

### IV.4.1.6. Les exigences culturales

La culture exige des techniques culturales appropriées suivantes :

**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. [7]

**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. [7]

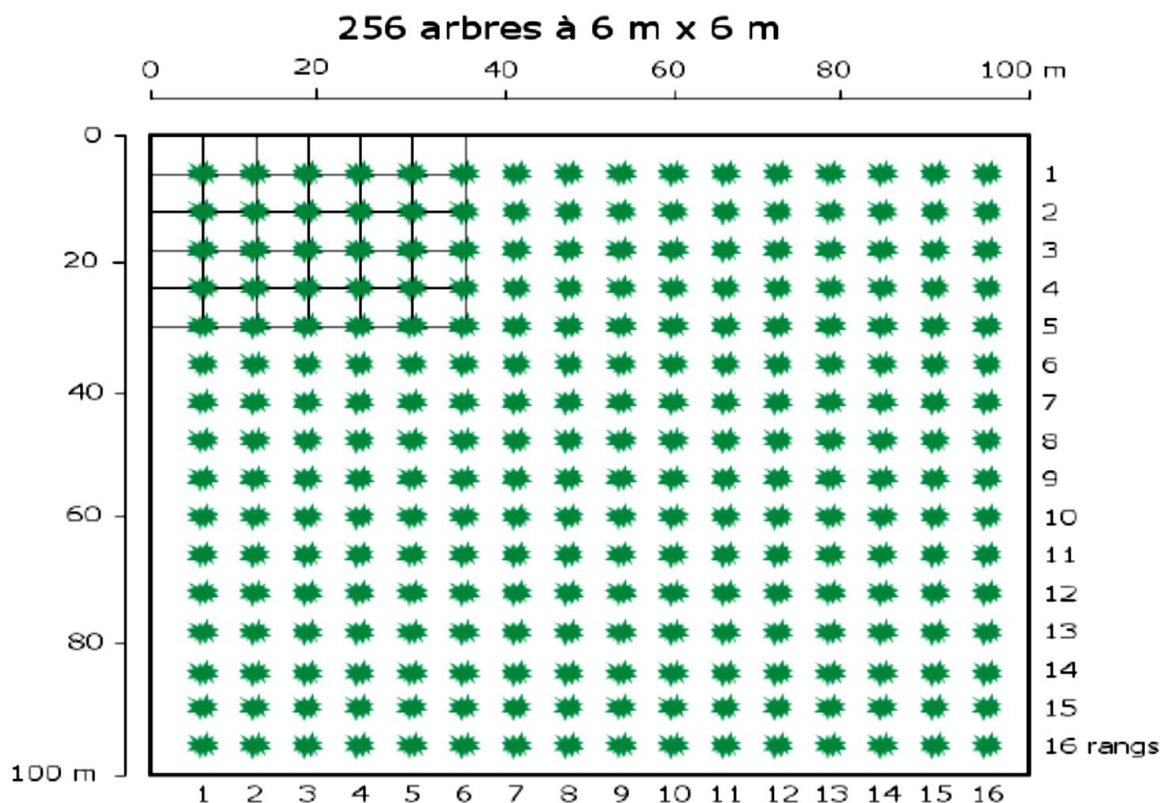
**L'irrigation d'appoint :** Elle est appliquée à la sortie de l'hiver ou au début de printemps pour favoriser un bon départ végétatif (développement des rameaux, fécondation des fleurs assimilation des fertilisants). Les besoins en eau de l'olivier sont estimés à 2000 m<sup>3</sup>/an et en fonction de l'étage bioclimatique dans lequel se situe notre oliveraie. [7]

**Les traitements phytosanitaires :** Correspondant à la lutte contre les ennemis nocifs aux plantations par emploi de nombreuses méthodes dont chimique. [7]

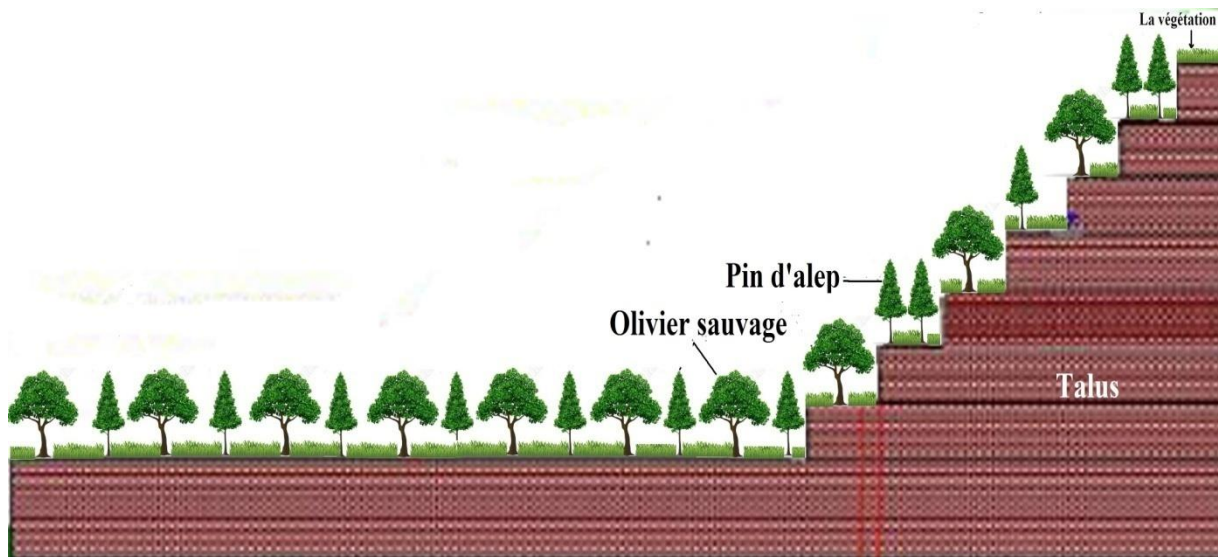
**La densité de plantation des arbres :** Une distance minimale de 6 m doit être conservée entre les rangs. [7]

### IV.4.1.7. Plan d'implantation des arbres

À titre d'exemple on prendra l'olivier sauvage, il faut maintenir une distance d'au moins 6 m entre le dernier arbre du rang et le bord de l'arbre, cette distance s'appelle la tournière qui sera utilisé pour le mouvement mécanique, comme illustré dans la figure (Fig. IV.13) un exemple d'implantation. [7]



**Figure IV.13 :** La disposition en carré est simple à mettre en œuvre. [7]



**Figure IV.14 :** Exemple de revégétalisation de la carrière d'Adrar Oufarnou.

### IV.4.2. Réaménagement de la carrière « Adrar oufarnou »

Dans un autre cas de figure si les autorités et l'organisme de protection du parc Gouraya trouvent un accord sur l'exploitation du terrain à des fins touristiques et économiques, une fois l'exploitation de la carrière terminée nous pouvons utiliser cet espace pour créer plusieurs installations, notamment:

- En tant que la zone côtière, cet espace peut être utilisé pour créer une auberge de jeunesse et des restaurants pour les touristes, en particulier en été ;
- Nous pouvons également créer un camp d'été familial ou un complexe touristique pour promouvoir le secteur du tourisme dans la wilaya de Bejaïa.

La décision de délaier le réaménagement forestier sera justifier par le fait que la wilaya de Bejaia est une ville touristique qui a attire des millions de visiteurs dans la saison estivale, et des personnes recherchent la tranquillité et le repos au bord de la mer en autre saisons.

Ce projet aura non seulement des retombés économiques positive et participera à la création de l'emploi et pourra freiner le chômage conséquent dans la région.

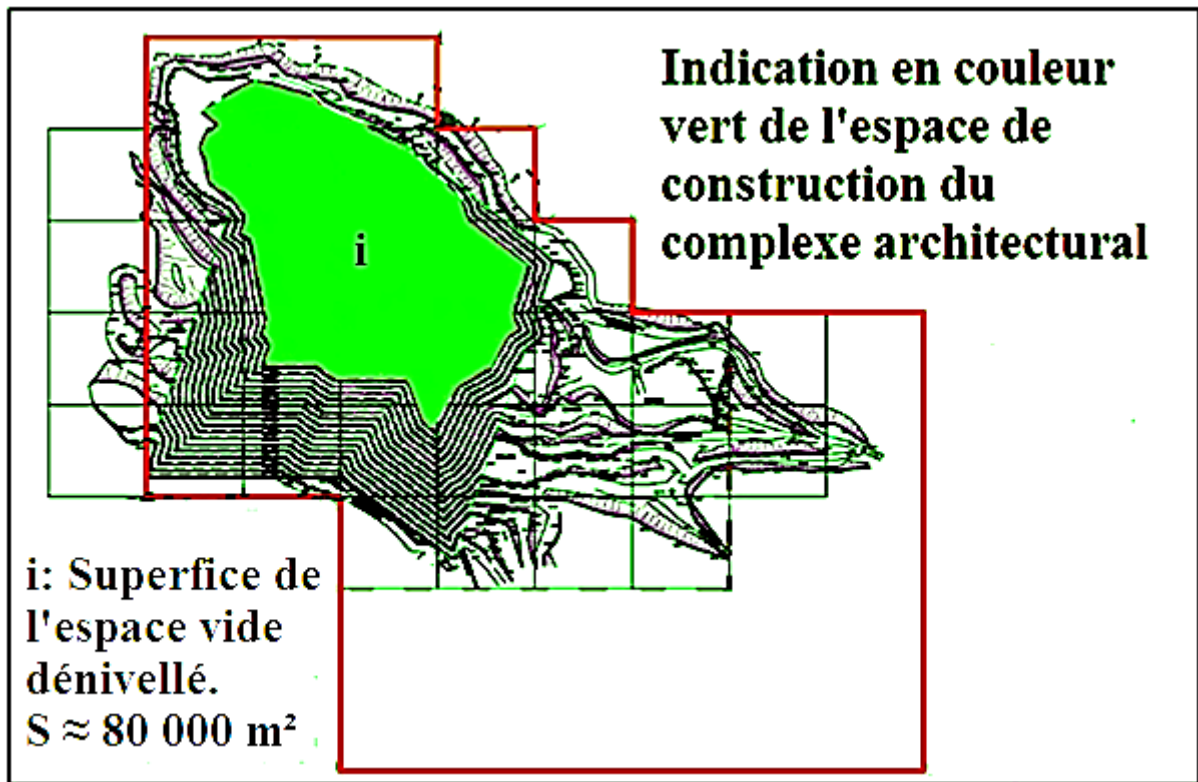


Figure IV.15 : Indication de l'emplacement de construction du complexe architectural.

### Conclusion

Les deux choix de réaménagement du site minier d'Adrar Oufarnou proposé sont des bonnes techniques de réhabilitation, mais la décision finale du projet de la remise en état des lieux dépend des règles juridiques et de la volonté des principaux acteurs (ONG, gouvernement et population) impliqué dans cette étude de réhabilitation.

Dans notre étude de réaménagement forestier nous avons constaté que la revégétalisation des terrains défrichés, dépend :

- Des conditions bioclimatiques de la région ;
- L'implication de la faune sauvage du parc protégé de Gouraya.

Et un réaménagement en vue d'une construction d'un complexe touristique est un bon investissement à long terme qui produira des gains économique important pour cette région.

## Conclusion générale

---

Afin d'aboutir à une bonne exploitation de la carrière d'Adrar Oufarnou au tout début jusqu'à la fin des travaux d'extraction, l'entreprise « ENOF » est consciente qu'il lui faut veiller à ce que la fermeture complète de la carrière se fasse dans le respect des lois politiques sur l'exploitation des mines et la préservation de l'environnement en Algérie,

La carrière doit prévoir un plan de développement des travaux à sa phase finale, dans l'intention de mieux étudier les impacts de l'exploitation sur l'espace environnement et planifier un projet de restauration du site qui aura pour objectif en premier lieu la réduction ou l'annulation des nuisances et lésiné aucun effort pour remettre en état d'avant mine.

Le choix de la réhabilitation dans la carrière d'Adrar Oufarnou est en fonction de :

- De la situation géographique du site (localisation de la carrière) : Qui est situé à proximité d'un parc protégé à l'échelle nationale et internationale,
- De l'environnement (paysage) : Vue l'emplacement du site minier, l'exploitation nuit considérablement à la nature, en modifiant le paysage et laissant une friche,
- Des enjeux écologiques : L'exploitation perturbe l'état de cycle biologique (la faune et la flore) du parc protégé,
- Du contexte socio-économique de la région,
- Des contraintes techniques : Le site ne peut être remis à son état d'origine de façon optimale,
- Des contraintes de sécurité (La stabilité du terrain) : Le terrain dans la carrière Adrar Oufarnou ne présente aucun signe d'instabilité à sa clôture à la faveur des caractéristiques de la roche et les paramètres choisie dans l'exploitation des gradins au développement de la phase final des travaux d'exploitation.

La revégétalisation est le premier projet entrepris pour la remise en état de la carrière d'Adar Oufarnou, passe par la mise en œuvre d'un plan de fermeture planifié et évolutif par rapport à l'activité de l'exploitation, pour cela la carrière à thésauriser un capital suivant le cadre législatif de la loi minière pour ce projet de revégétalisation, la réussite de ce projet se mesure par la bonne réinsertion paysagère et environnemental de la friche.

Et nous proposons un autre plan de réhabilitation de la carrière d'Adrar Oufarnou, par un réaménagement du site avec un projet bénéfique à la communauté de la région, qui aura pour ambition :

- La promotion touristique,
- Amortir le chômage,
- Apporter des gains économiques.

## Références bibliographique

---

### Mémoire :

- [1] Essai de synthèse des données sur la biodiversité dans les parcs nationaux du Djurdjura, de Gouraya et de Taza, (Boumar Houssein Eddine et Boussenna Sofiane) Université de Bejaia, 2014.
- [2] Etude technico-économique de l'exploitation minière à ciel ouvert de la carrière d'Adrar Oufarnou Bejaia (W.Bejaia), (YOUCEF KHODJA REDHA et YETTOU OUISSAM) Université de Bejaia, 2022.
- [3] Amélioration de la fragmentation de la roche à l'explosif dans les conditions de la carrière des granulats d'Adrar Oufarnou, (Khelifa Mouaad et Yekhlef Souhib) Université de Bejaia, 2015.
- [4] Etude de stabilité du talus de la mine de Rouina (wilaya d'Ain Defla) Par l'utilisation de logiciel Slide, (BENMBAREK Mounya) Université de Bejaia, 2015.
- [5] Caractérisation d'un massif rocheux et étude de stabilité des talus ; cas de la carrière d'Adrar-Oufarnou (w) Béjaia, (BESSAOUDI Bachir et DJELLALI Med Nadir) Université de Bejaia, 2015.
- [6] LE CLOUAGE DANS LES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT, (kiyyour sami) Université de Constantine I, 2014.
- [7] Réhabilitation et fermeture de la carrière de l'ENG sise à El Hachimia-Bouira, (MERDOUD Amina et RADJALA Hamida) Université de Bejaia, 2016.
- [8] Etude de la remise en état des lieux graduelle de la carrière d'agrégat sise au lieu-dit Temoulga W de Ain Defla, (LAHOUS Mohamed et KOLLA Ahmed) Université de Bejaia, 2018.
- [9] PROPOSITION D'UN PLAN DE REHABILITATION DE LA MINE A SYSTEME DE « HEAP LEACHING » DU PROJET BOULY, (BEREHOUDOUYOU Aicha) Université d'Ouagadougou « 2iE », 2016.



## Références bibliographique

---

### Thèse :

[10] ANALYSE ET OPTIMISATION DES PRATIQUES D'ABATTAGE A L'EXPLOSIF DANS UNE CARRIÈRE DE GRANULATS, (Cécile Coulombe) Ecole des mines Paris, 2007.

[12] STRATEGIE DE REHABILITATION D'UNE CARRIERE DE GRANITE APRES EXPLOITATION, (RAJAONARISON Lanja Maminirina) Université d'Antananarivo Madagascar, 2020.

[13] STABILITÉ À LONG TERME DES TALUS DE MINES À CIEL OUVERT DANS LES MASSIFS DE ROCHES BASIQUES ET ULTRABASIQUES, (Evgueni POROKHOVOÏ) École d'ingénieur à Champs-sur-Marne France, 1995.

### Cours :

[14] Chapitre 2 : Les roches, (Jean-Yves MASSENET).

[15] Equipement miniers à ciel ouvert, (Zakari AITHABIB).

### Livre scientifique :

[16] La réhabilitation des mines et carrières à ciel ouvert, (Christine LEROUX).

[17] RÉHABILITATION DE SITES MINIERS Programme des bonnes pratiques pour le développement durable de l'industrie minière, (Phill McKenna et Dr Elizabeth Williams).

[18] Restauration écologique et intégration paysagère de la carrière de campagne, (VERNYNCK Louis).

[19] Collection « La mine en France » : Exploitation minière et le traitement des minerais, (Poulard F, Daupley X, Didier C, Pokryska Z, D'Hugues P, Charles N, Dupuy J. et Save M).

[20] Développement durable au sein des aires protégées algériennes, cas du Parc National de Gouraya et des sites d'intérêt biologique et écologique de la région de Béjaïa, (REBBAS Khellaf).

## **Références bibliographique**

---

[21] RECOMMANDATION D'UNE STRATÉGIE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE POUR LA REMISE EN ÉTAT DES CARRIÈRES ET SABLÈRES EN MILIEU AGRICOLE : LE CAS DE L'ESKER DE MERCIER, (Samuel Loïselle-Prince).

### **Document Gouvernemental :**

[22] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 28 Joumada El Oula 1435 30 mars 2014 « Loi n° 14-05 du 24 Rabie Ethani 1435 correspondant au 24 février 2014 portant loi minière ».

[23] Procédure de fermeture des sites miniers, ANAM.

### **Site web:**

[24] [https://voyageforum.com/guides/parc\\_national\\_de\\_gouraya/](https://voyageforum.com/guides/parc_national_de_gouraya/)

[25] <https://fr.123rf.com/images-libres-de-droits/>.

[26] <https://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/>.

[27] <http://banderiveraine.org/choisir-les-vegetaux/criteres-de-base-dans-le-choix-des-vegetaux/repartition-vegetale/>.

### **Document professionnelle :**

[28] Documents relatifs livrée au niveau des bureaux d'étude de l'entreprise :

- Rapport d'exploitation ;
- Rapport géologique ;
- Rapport topographique ;
- Rapport géotechnique ;
- Rapport financiers.

## Annexes

### Annexes 1 :

Tabaleau : Les différents explosifs fabriqués par L'ONEX

Désignation commerciale	Resistance a l'eau	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Vitesse de détonation (m/s)	Coefficient de self excitation (cm)	Volume gaz L/KG
GEONIT	Très bonne	1.50	5800	18	733
GELANIT I	Bonne	1.40	6300	8	865
GELANITII	Bonne	1.45	6000	6	808
CARRINIT	Médiocre	1.00	4500	10	892
MARMANIT I	Médiocre	0.95	4000	5	842
MARMANITII	Médiocre	0.98	4100	2	868
MARMANITIII	Médiocre	0.95	3800	2	907
N. 18 BIS	Médiocre	0.95	2500	4.5	
ANFO	Médiocre	0.90	3000	0	975
TEMEX1	Très bonne	1.22	4500	5	/
TEMEX2	Très bonne	1.22	4000	4	868

### Annexes 2 :

- **Document administratifs et juridiques**

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.

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 apparaître après les travaux de fermeture.

Le justificatif du bénéfice de l'occupation du terrain.

- **Documents financiers**

Les justificatifs de l'acquittement des paiements de la redevance pour toute la durée de l'activité.

Les justificatifs de l'alimentation du compte séquestre.

- **Document sécuritaires**

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 : le réseau de circulation et édifices (habitations individuelles, unité de concassage et/ou de traitement, etc...)
- Ouvrages miniers : gradins, excavations pour l'exploitation à ciel ouvert.
- Dépôt : terres de découverte, déchets solides et stériles.
- Planification de l'ensemble des travaux qui seront effectués dans le cadre de la remise en état graduelle (parcelles et installations).

### Annexes 3 :

- **Logiciel AutoCAD :**

AutoCAD, est un logiciel de dessin et conception assistée par ordinateur (CAO), créé en 1982 par Autodesk et fonctionnant exclusivement sous Microsoft Windows et récemment sur Mac, AutoCAD est utilisé pour la conception de plans en 2D et 3D, il est développé et commercialisé par Autodesk Inc et a été l'un des premiers programmes de CAO qui pourraient être exécutés sur des ordinateurs personnels.

AutoCAD est un logiciel de dessin assisté par ordinateur utilisé pour créer des plans en architecture, dessin industriel, construction des ponts ou les circuits d'ordinateur, entre autres

- **Logiciel COVADIS :**

COVADIS (développé par GEOMEDIA) est un logiciel fonctionnant sous AutoCAD, il s'agit d'un applicatif de topographie, de terrassement et d'infrastructure VRD dédié aux géomètres, aux bureaux d'études, aux entreprises de BTP et aux collectivités.

### Annexes4 :

- **Le choix de la technique de confortement :**

L'étude géotechnique et la configuration des terrains nous permettent de choisir la solution convenable et le type de confortement à adopter, cette solution doit tenir compte de la faisabilité des travaux liée à l'investissement consenti, l'accessibilité de site, la période de l'année choisie pour l'exécution des travaux, la cinématique du glissement, et les moyens en matériels et la technicité des entreprises locales.

Le choix de la technique de la stabilisation devra être le fruit d'un compromis entre trois aspects qui sont :

- L'analyse des paramètres techniques de site,
- La connaissance des techniques de stabilisation,
- Les impératifs technico-économique.

## Annexes

---

- **Calcul de la stabilité par logiciel :**

L'ingénieur choisit l'outil de calcul qui lui paraît adapté ; il opère seul la modélisation de l'objet réel (processus de réduction d'un objet réel à un objet virtuel simple) ; il décide seul de prendre en compte le résultat obtenu sur l'objet virtuel simple pour définir le comportement de l'objet réel.

- **Présentation de logiciel SLIDE**

Slide est un programme 2D qui permet de faire une analyse de stabilité des talus en deux dimensions, par la méthode de l'équilibre limite, pour des surfaces circulaires ou non circulaires dans les roches et dans les sols. Les approches déterministe (calcul du facteur ou coefficient de sécurité) ou probabiliste (détermination de la probabilité de rupture) peuvent y être développée.

Slide est le seul logiciel de stabilité des pentes avec l'analyse de la stabilité des pentes par la méthode des éléments finis

Les données nécessaires à saisir et les résultats livrés par le logiciel sont résumés dans le tableau suivant :

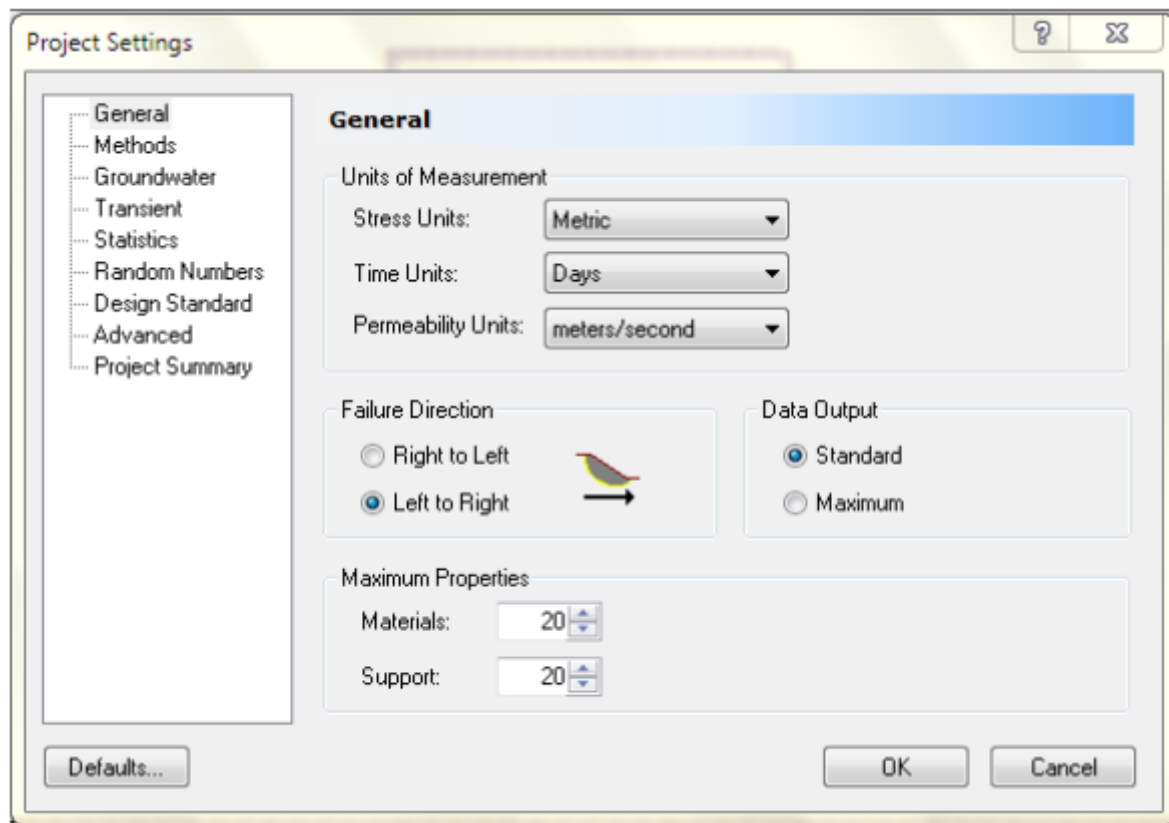
Donnée fournies au logiciel	Données livré au logiciel
<ul style="list-style-type: none"><li>- La méthode de calcule</li><li>- Les paramètres géotechniques de chaque couche :</li><li>1) La masse volumique (KN/m<sup>3</sup>)</li><li>2) La cohésion (KN/m<sup>2</sup>)</li><li>3) L'angle de frottement (°)</li><li>- Les surcharges si nécessaire.</li><li>- Géométrie du talus.</li><li>- La grille du centre de rupture.</li><li>- Le niveau de la nappe phréatique.</li><li>- Le type de confortement et ce après l'analyse de stabilité.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le Facteur de sécurité avant et après confortement.</li><li>- Les cercles de rupture.</li><li>- Les sollicitations sur les tranches.</li><li>- La résistance au cisaillement en fonction de la longueur de talus.</li></ul>

- **Paramètres du projet :**

La boîte de dialogue Paramètres du projet est utilisé pour configurer les principaux paramètres d'analyse pour votre modèle, comme les unités de mesure, les méthodes d'analyse de stabilité et des eaux souterraines...etc. Les Paramètres du projet sont organisés en plusieurs pages qui sont accessibles en sélectionnant le nom de la page dans la liste à gauche de la fenêtre (par exemple général, méthodes, Groundwater, etc.) Sur la page Général, assurez-vous que l'option unités. Cela détermine les unités de longueur, le temps et l'unité de perméabilité qui utilisées dans les analyses



Analysis => Project setting



**Figure 1 :** Boîte de dialogue du paramètre du projet « Project Settings ».

### Discrétisation géométrique :



### Entering Boundries

La première limite qui doit être définie pour chaque modèle de Slide est la frontière externe, la frontière externe dans la Slide est une poly ligne fermée englobant la région du sol que vous souhaitez analyser.

En général :

- Les segments supérieurs de la frontière externe représentent la surface de la pente que vous analysez.
- La gauche, à droite et à des degrés inférieurs de la frontière externe sont arbitraires et peuvent être étendues aussi loin que l'utilisateur juge nécessaires à une analyse complète du problème.

Pour ajouter la frontière externe, sélectionnez Ajouter des limites externes de la barre d'outils ou le menu de délimitation.



### Boundaries → Add External Boundary

Entrez les coordonnées suivantes dans la ligne de commande en bas à droite de l'écran. Lorsque vous entrez les coordonnées, notez que les limites d'affichage sont automatiquement mis à jour pour inclure les coordonnées que vous entrez.



### Propreties → Define material

Après avoir conçu le modèle à assigner aux matériaux rocheux leurs caractéristiques physico-mécaniques (la cohésion, l'angle de frottement interne et le poids volumique).

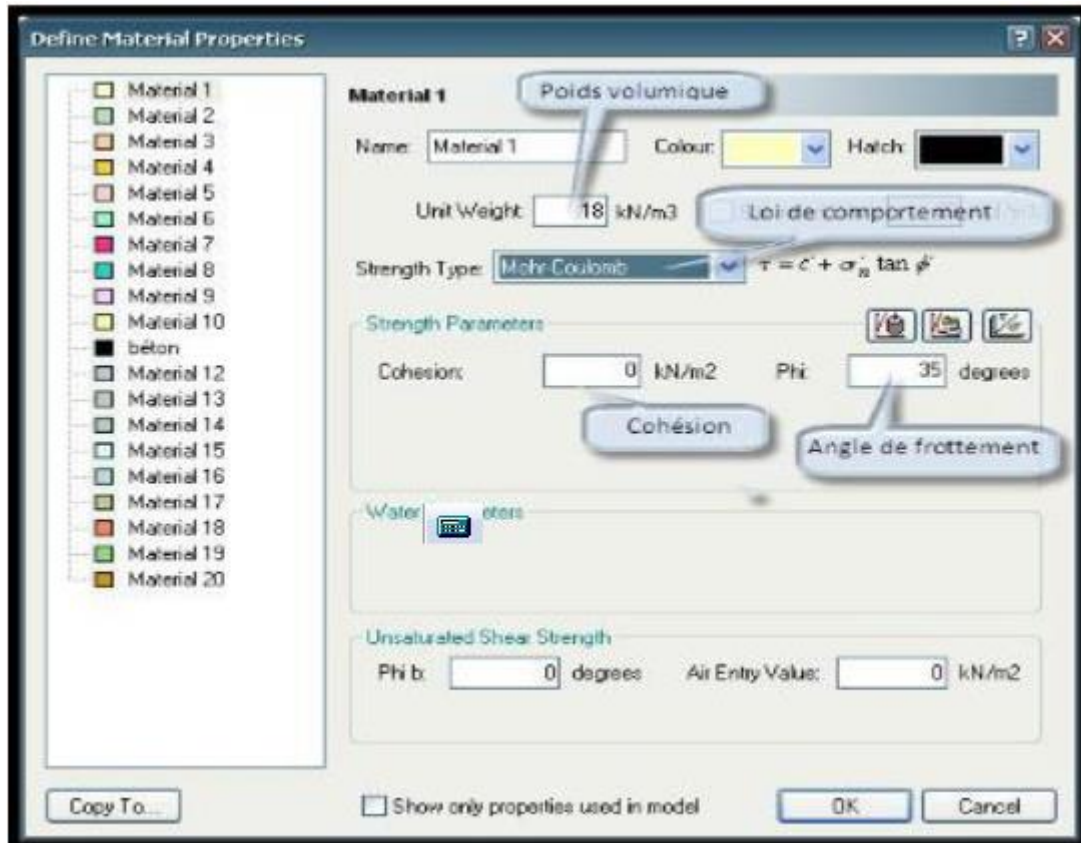



Figure 2 : Fenêtre de dialogue des propriétés des couches de sols.

- **Exécution les analyses de talus :**

Lorsque toutes les conditions aux limites et les propriétés des matériaux ont été définies, alors nous sommes prêts à exécuter l'analyse de la stabilité de talus. Le moteur de l'analyse de la stabilité dans Slide est un programme distinct du moteur d'analyse de la stabilité des pentes.


Pour exécuter l'analyse:

Sélectionnant l'option **Compute**  dans le menu de l'analyse ou de la barre d'outils. Cela va faire tourner le moteur d'analyse des talus.

- **Interprétation des résultats :**

Les résultats d'analyse de la stabilité des pentes (**surfaces de glissement, des facteurs de sécurité, etc.**) sont entièrement intégrés dans la Slide programme interpréter.



Pour exécuter le programme interpréter, sélectionnant l'option **Interpréter**  dans le menu de l'analyse ou de la barre d'outils, après avoir calculé l'analyse de la stabilité avec l'option **Compute**.

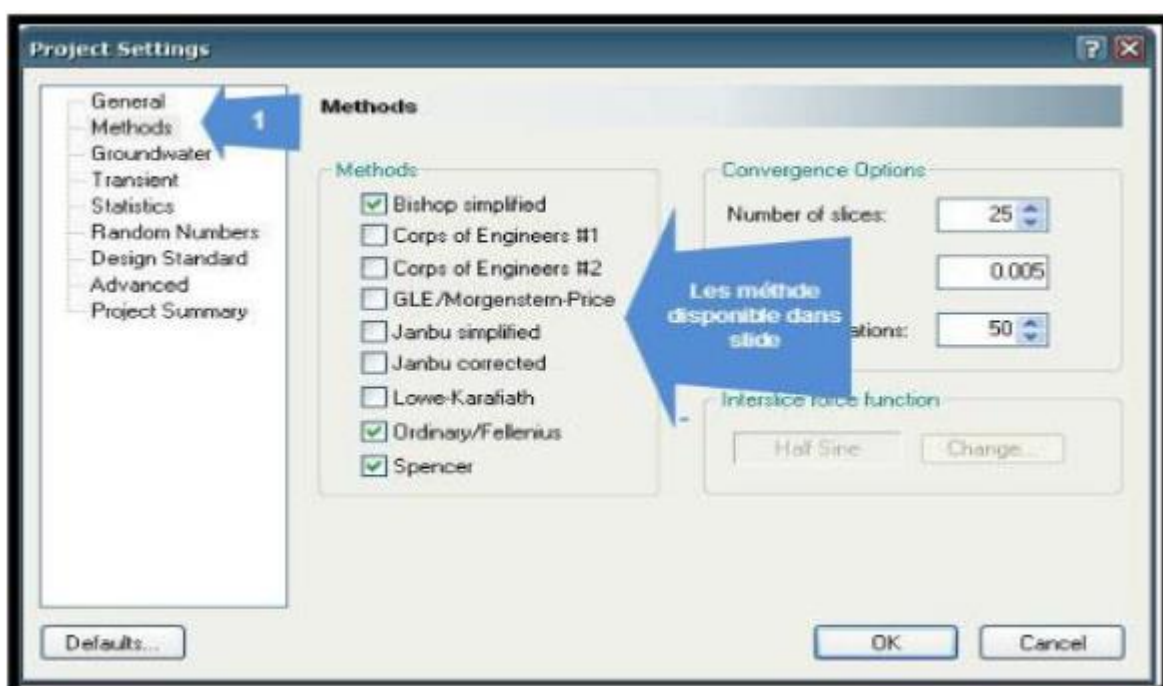
- **Les méthodes d'analyse :**

Avant de lancer l'analyse, nous allons examiner les méthodes d'analyse qui sont disponibles dans la Slide.



### Analysis → Project settings

Sélectionnant sur la page Méthodes dans la boîte de dialogue Paramètres du projet.



**Figure 3 :** Méthodes d'analyse dans les paramètres du projet.

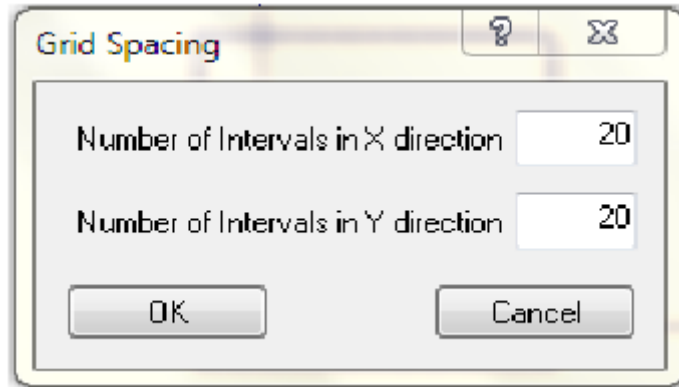
- **Surfaces de glissement :**

Slide peut analyser la stabilité de surface du glissement soit circulaire ou non circulaire. Les Surfaces individuelles peuvent être analysées, ou la recherche de surface critique peut être effectuée, pour tenter de trouver la surface de glissement avec le facteur le plus bas de la sécurité. Grilles des centres de glissement peuvent être définis par l'utilisateur (Add Grid) ou automatiquement créé par Slide (Auto Grid).



## Surfaces → Auto Grid

Nous allons utiliser le numéro de l'espacement de surface de glissement par défaut d'intervalles (20 x 20), donc il suffit de sélectionner **OK**, et la grille sera créée.



**Figure 4 :** Grille de dialogue Espacement.

---

---

## Résumé

La carrière d'Adrar Oufarnou (W. Bejaia) est une unité de production de granulats appartenant au groupe ENOF, avec une production annuelle de plus d'un million de tonnes. Elle couvre une superficie de 48 hectares et a commencé son exploitation en 1978. Les réserves exploitables de la carrière sont en grande partie épuisées, ce qui nécessite que l'entreprise entame une étude de réhabilitation de la carrière.

Compte tenu de la localisation géographique critique de la carrière, deux propositions ont été étudiées : la première concerne la végétalisation du site afin de le réintégrer dans son environnement d'origine, et la deuxième proposition envisage la transformation du site en complexe touristique.

Mots clés : Exploitation, Topographie, stabilité, Géotechnique, Réhabilitation, Réaménagement.

## Abstract

The Adrar Oufarnou quarry (W. Bejaia) is an aggregate production unit owned by the ENOF group, with an average annual production exceeding one million tons. It covers an area of 48 hectares and started production in 1978. The quarry's exploitable reserves have largely been exploited, which means that the company needs to undertake a study to rehabilitate the quarry.

Considering the quarry's critical geographical location, two proposals have been studied: the first involves revegetating the site in order to reintegrate it into its original environment, and the second involves converting the site into a tourist complex.

Keywords: Operation, Topography, Stability, Geotechnical, Rehabilitation, Redevelopment.

## ملخص

محجرة أدرار أوفرنو (لولاية بجاية) هي وحدة انتاج لمجمع ENOF، هي بمتوسط انتاج سنوي يتجاوز المليون طن. و تغطي مساحة 48 هكتار وبداة الإنتاج في عام 1978. وقد تم استغلال احتياطات المحجرة بشكل كبير، مما يعني ان الشركة بحاجة الى اجراء دراسة لإعادة تأهيل المحجرة.

بالنظر الى الموقع الجغرافي الحرج للمحجرة، تمت دراسة مقترحين : الأول يتضمن إعادة تحضير الموقع لاستعادته الى بيئته الاصلية، والثاني يتضمن تحويل الموقع الى مجمع سياسي.

الكلمات الرئيسية : الاستغلال، الطبوغرافيا، الاستقرار. الجيوتقنية. إعادة التأهيل. إعادة التطوير.

# Introduction générale

Chapitre I :

**Généralités**

**sur la**

**carrière**

# Chapitre II :

# Technologie d'exploitation

Chapitre III :  
Etude de la  
stabilité du  
talus

Chapitre IV :

**Etude de  
remise en état  
des lieux**



# Conclusion générale

# Références bibliographiques

# Annexes