

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

**Plan de développement de l'exploitation  
d'une carrière de calcaire et  
homogénéisation de tout-venant pour  
l'alimentation d'une cimenterie**

**Mohamed Ikbal SERRAI**

Sous la direction de

**Mr. Djamel BENKACI Maître Assistant B**

Présenté et soutenu publiquement le le 08/07/2019

**Composition du Jury :**

Président	Mr. Sami YAHYAOUI	Maître de Conférences A	ENP
Promoteur	Mr. Djamel BENKACI	Maître Assistant B	ENP
Examineur	Mr. Rachid GACEM	Maître Assistant A	ENP

**ENP 2019**



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

**Plan de développement de l'exploitation  
d'une carrière de calcaire et  
homogénéisation de tout-venant pour  
l'alimentation d'une cimenterie**

**Mohamed Ikbal SERRAI**

Sous la direction de

**Mr. Djamel BENKACI Maître Assistant B**

Présenté et soutenu publiquement le le 08/07/2019

**Composition du Jury :**

Président	Mr. Sami YAHYAOUI	Maître de Conférences A	ENP
Promoteur	Mr. Djamel BENKACI	Maître Assistant B	ENP
Examineur	Mr. Rachid GACEM	Maître Assistant A	ENP

**ENP 2019**

## ملخص:

يتطلب تصنيع الأسمنت رقابة صارمة ودقيقة خلال جميع مراحل العملية التكنولوجية يستلزم نوعية جيدة من المواد الخام.

الهدف من هذا المشروع هو وضع خطة لتطوير محجر الحجر الجيري من أجل الحفاظ على تجانس خلط مكونات الأسمنت مع احترام المتطلبات الصناعية.  
الكلمات المفتاحية: الاستغلال ، الحجر الجيري ، التجانس.

## Abstract:

The manufacture of cement requires a rigorous and precise control during all the stages of the technological process and requires a good quality of the raw materials.

The objective of this project is to make a plan for the development of a limestone quarry in order to maintain a homogenization of the mixing of the cement constituents while respecting the industrial requirements.

Keywords: Exploitation, limestone, homogenization.

## Résumé:

La fabrication du ciment nécessite un contrôle rigoureux et précis durant l'ensemble des étapes du processus technologique et exige une bonne qualité des matières premières.

L'objectif de ce présent projet est de faire un plan de développement d'une carrière de calcaire afin de maintenir une homogénéisation de mélange des constituants de ciment tout en respectant les exigences industrielles.

Mots clés: Exploitation, calcaire, homogénéisation.

# Dédicace

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*À vous mes frères,*

*À vous ma sœur,*

*À vous grands pères et mères,*

*À vous mes oncles et tantes,*

*À tous mes cousins,*

*À toute ma famille*

*À tous mes amis,*

*À toute personne qui était à mon côté,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*Mohamed Ikbal*

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à adresser toute ma gratitude à mon cher professeur Mr Djamel BENKACI qui m'a toujours orienté, et qui a accepté d'encadrer ce travail. Son regard critique m'a permis de structurer ce travail, et de l'améliorer au fil des jours.

A Mr HADJI, Mr SELLAMI ainsi que toute l'ensemble de l'équipe de SPA BISKRIA CIMENT qui m'ont dirigé durant tout ce projet,

Je veux remercier mes amis AMROUNI Farah Nour El Houda et BENLAHRECH Mohamed Mustapha qui n'ont pas hésité à m'aider à réaliser ce projet .

Mes remerciements vont aussi à ma famille, qui a su toujours me remonter le moral quand ce dernier flanchait.

Enfin mes remerciements, vont pour mes ami(e)s et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des Abréviations

<b>Introduction Générale</b>	<b>12</b>
<b>1 Présentation de la carrière de Djebel Mohar</b>	<b>13</b>
1.1 Données générales sur la région du gisement . . . . .	14
1.1.1 Situation géographique . . . . .	14
1.1.2 Infrastructure . . . . .	14
1.1.3 Topographie . . . . .	15
1.2 Caractéristiques géologiques du gisement . . . . .	16
1.2.1 LITHO-STRATIGRAPHIE . . . . .	16
1.2.2 Structure géologique et tectonique . . . . .	20
1.2.3 Cadre structural du périmètre étudié . . . . .	20
1.3 Travaux d'exploration . . . . .	22
1.3.1 Travaux d'échantillonnage et de laboratoire . . . . .	24
<b>2 Travaux réalisés sur le site de Djebel Mohar</b>	<b>25</b>
2.1 Travaux d'exploitation . . . . .	26
2.1.1 Conditions techniques de la carrière . . . . .	26
2.1.2 Travaux de découverte . . . . .	27
2.1.3 Foration . . . . .	29
2.1.4 Abattage . . . . .	34
2.1.5 Chargement . . . . .	37
2.1.6 Transport . . . . .	43
<b>3 Systèmes d'exploitation</b>	<b>48</b>
3.1 Travaux topographiques . . . . .	49
3.2 Conditions d'exploitation du gisement . . . . .	50
3.3 Réserves exploitables . . . . .	57
3.3.1 Volumes des réserves exploitables . . . . .	63
3.3.2 Durée de vie . . . . .	63
3.4 Stabilité des talus . . . . .	64
3.4.1 Rappel des modes de rupture potentiels . . . . .	64
3.4.2 Etude de stabilité des talus d'une carrière . . . . .	66
3.5 Patron de forage . . . . .	72
3.5.1 Mise à feu . . . . .	73

3.5.2	Moyens de foration . . . . .	73
3.5.3	Moyen de chargement . . . . .	74
3.5.4	Moyens de transport . . . . .	74
<b>4</b>	<b>Technologie du ciment et planification de l'homogénéisation</b>	<b>76</b>
4.1	Le ciment . . . . .	77
4.1.1	les cinq types de ciment et leur composition . . . . .	77
4.1.2	La chimie du ciment . . . . .	78
4.2	Les exigences industrielles . . . . .	78
4.3	Préhomogénéisation des calcaires . . . . .	79
4.4	Calcul des mélanges cru . . . . .	83
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>88</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>89</b>
	<b>Annexe A Analyses Chimiques</b>	<b>90</b>

# Liste des tableaux

1.1	Coordonnées UTM Nord Sahara du périmètre d'exploitation (390 ha) .	14
1.2	Paramètres des sondages (Première Phase)[2] . . . . .	23
1.3	Paramètres des sondages (Deuxième Phase)[2] . . . . .	23
2.1	Régime de travail . . . . .	26
2.2	Production annuelle . . . . .	27
2.3	Caractéristiques techniques du bulldozer Komatsu D 375A . . . . .	28
2.4	Caractéristiques techniques de la brise roche LIEBHERR . . . . .	28
2.5	Fiche Technique de la Pelle LIEBHERR 910 . . . . .	29
2.6	Paramètres de Foration . . . . .	29
2.7	Caractéristiques techniques de la sondeuse hydraulique FlexiROC D50	30
2.8	Caractéristiques techniques de la sondeuse hydraulique FlexiROCT35	31
2.9	Temps de cycle de la sondeuse hydraulique FlexiROC D50 . . . . .	32
2.10	Caractéristiques techniques des types d'explosifs utilisées . . . . .	34
2.11	Caractéristiques techniques du cordeau détonant . . . . .	34
2.12	Paramètres de tir . . . . .	37
2.13	Fiche Technique de la Chargeuse Komatsu WA-700 3A . . . . .	38
2.14	Fiche Technique de la Pelle LIEBHERR 9100 . . . . .	39
2.15	Fiche Technique de la Pelle HITACHI EX 1200 . . . . .	40
2.16	Temps de Cycle de la chargeuse KOMATSU WA700 . . . . .	41
2.17	Fiche Technique du Dump Truck-HITACHI EH1100 . . . . .	44
2.18	Fiche Technique du Dump Truck – TEREX TR70 . . . . .	45
2.19	Temps de Cycle du Camion TEREX TR70 . . . . .	46
3.1	Planification de l'extraction sur 10 ans (I. Serrai, 2019) . . . . .	63
3.2	Paramètres de gradin . . . . .	69
3.3	Paramètres de talus final . . . . .	71
3.4	Paramètres de tir par volée . . . . .	73
4.1	Les exigences industrielles sur les matières premières à ciments [5] .	78
4.2	Les limites de facteurs de clinker [5] . . . . .	79
4.3	Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 580 . . . . .	80
4.4	Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 566 . . . . .	80
4.5	Mélange des couches géologiques de niveau 566 . . . . .	80
4.6	Proportions des réserves dans les niveaux 580 et 566 . . . . .	80
4.7	Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 550 . . . . .	81
4.8	Mélange des couches géologiques de niveau 550 . . . . .	81
4.9	Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 536 . . . . .	81
4.10	Mélange des couches géologiques de niveau 536 . . . . .	82
4.11	Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 520 . . . . .	82
4.12	Mélange des couches géologiques de niveau 520 . . . . .	82

4.13 Mélange de cru pour le niveau 580 . . . . .	83
4.14 Mélange de cru pour le niveau 566 . . . . .	84
4.15 Mélange de cru pour le niveau 550 . . . . .	85
4.16 Mélange de cru pour le niveau 536 . . . . .	86
4.17 Mélange de cru pour le niveau 520 . . . . .	87
1.1 Teneur des composantes d'un échantion a partir d'un sondage (S31) .	90
1.2 Teneur des composantes d'un échantion a partir d'un sondage (S27) .	91

# Liste des figures

1.1	Carte de situation de la zone d'étude (Image Google Earth) . . . . .	15
1.2	position de la cimenterie (Image Google Earth)) . . . . .	15
1.3	Vue en relief du gisement de calcaire étudié. (Image Google Earth) . .	16
1.4	Carte géologique de région de Biskra[1] . . . . .	22
2.1	Bulldozer Komatsu D 375A . . . . .	27
2.2	Brise Roche LIEBHERR . . . . .	28
2.3	Pelle LIEBHERR 910 . . . . .	29
2.4	Sondeuse hydraulique (FlexiROC D50) . . . . .	30
2.5	Sondeuse hydraulique (FlexiROC T35) . . . . .	31
2.6	Chargeuse Komatsu WA-700 3A . . . . .	38
2.7	Pelle LIEBHERR 9100 . . . . .	39
2.8	Pelle HITACHI EX 1200 . . . . .	40
2.9	Dump Truck – HITACHI EH1100 . . . . .	44
2.10	Dump Truck – TEREX TR70 . . . . .	45
3.1	Levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019) . . . . .	49
3.2	Positionnement des sondages sur levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019) . . . . .	50
3.3	Lignes de coupes sur levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019) . . . . .	50
3.4	Coupe A-A' (I.Serrai, 2019) . . . . .	51
3.5	Coupe B-B' (I.Serrai, 2019) . . . . .	52
3.6	Coupe C-C' (I.Serrai, 2019) . . . . .	52
3.7	Coupe D-D' (I.Serrai, 2019) . . . . .	53
3.8	Coupe E-E' (I.Serrai, 2019) . . . . .	53
3.9	Coupe G-G' (I.Serrai, 2019) . . . . .	54
3.10	Coupe I-I' (I.Serrai, 2019) . . . . .	54
3.11	Coupe M-M' (I.Serrai, 2019) . . . . .	55
3.12	Coupe N-N' (I.Serrai, 2019) . . . . .	55
3.13	Coupe O-O' (I.Serrai, 2019) . . . . .	56
3.14	Coupe P-P' (I.Serrai, 2019) . . . . .	56
3.15	Légende des coupes . . . . .	57
3.16	Extrait de la planche d'exploitation Niveau 580, (I. Serrai, 2019) . . .	58
3.17	Extrait de la planche d'exploitation Niveau 566, (I. Serrai, 2019) . . .	59
3.18	Extrait de la planche d'exploitation Niveau 550, (I. Serrai, 2019) . . .	60
3.19	Extrait de la planche d'exploitation Niveau 536, (I. Serrai, 2019) . . .	61
3.20	Extrait de la planche d'exploitation Niveau 520, (I. Serrai, 2019) . . .	62
3.21	les quatre modes de ruptures circulaire, planaire, dièdre et par basculement . . . . .	64

3.22 Paramètres d'un talus minier . . . . .	66
3.23 Angle général d'un talus . . . . .	67
3.24 Équations d'équilibre le long de la discontinuité . . . . .	68
3.25 Facteur de sécurité d'un seul gradin . . . . .	70
3.26 talus final de la carrière . . . . .	70
3.27 Facteur de sécurité du talus Nord (3 gradins) . . . . .	71
3.28 Facteur de sécurité du talus Est (2 gradins) . . . . .	72

## Listes Des Abréviations

HT: Haut Titre

LSF: Lime Saturation Factor

MF: Module Alumino Ferrique

MS: Module Silicique

PAF: Perte Au Feu

SIG: Système d'Information Géographique

UTM: Universal Transverse Mercator

# **Introduction générale et problématique**

La société BISKRIA CIMENT est une entreprise de fabrication et ventes des ciments au Capital social : 4284.000.000,00 DA. La cimenterie possède 3 lignes de productions avec une capacité totale de 6 millions T/an. Le ciment est un élément essentiel dans la construction qui intervient dans la composition du béton. Ce matériau joue le rôle de liant au contact de l'eau. Le ciment est composé de plusieurs éléments, dont le clinker. Il s'agit du composant de base du ciment, qui provient de la calcination de calcaire et d'argile. La production de ciment nécessite des matières premières; ils sont le calcaire, l'argile, le sable et le minerai de fer. Notre but d'étude dans ce rapport est le calcaire qui est le principal élément.

Après la réalisation de 2 lignes additionnels de production, les besoins en matières premières ont devient plus importantes. Cela fait une nécessite de faire une extension du périmètre de la carrière de calcaire de Djbel Mohar.

Notre but a la fin de ce projet est d'arriver de réaliser un plan d'exploitation afin de faire la procédure d'homogénéisation de Cru. Ce qui nous permettre de minimiser les stocks de stériles tout en respectant les exigences industrielles de clinker.

Pour les besoins de mon travail un stage de un (01) mois à l'unité de SPA BISKRIA CIMENT du 17 Mars au 18 Avril 2019 a été nécessaire pour prendre connaissance d'une part de la documentation technique disponible et d'autres part s'imprégner de la réalité du terrain et de visiter les travaux qui se déroulent dans la carrière de Djbel Mohar. Des chronométrages de cycle, de foration, de chargement et de transport ont été réalisés.

# **Chapitre 1**

## **Présentation de la carrière de Djbel**

### **Mohar**

## 1.1 Données générales sur la région du gisement

### 1.1.1 Situation géographique

La wilaya de Biskra constitue un trait d'union phare entre le nord, le sud, et l'ouest du fait de sa situation de côte sud-est de l'Algérie. La wilaya est située au sud - est de l'Algérie aux portes du Sahara. Avec une altitude de 112 m au niveau de la mer. Ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie. Le chef-lieu de la wilaya est situé à 400 km au sud-est de la capitale, Alger. La wilaya de Biskra est limitée au :

- Nord par la wilaya de BATNA.
- Nord-est par la wilaya de KHENCHELA.
- Nord-ouest par la wilaya de M'SILA.
- Sud-ouest par la wilaya de DJELFA.
- Sud par EL OUED.

Le gisement de calcaires de Djebel Mohar objet de la présente étude est situé au lieu-dit Dar Arousse, Commune de Branis Wilaya de Biskra. //Les coordonnées des bornes du périmètre délimitant le gisement en système U.T.M fuseaux 31 sont illustrées dans les tableaux ci-dessous, pour une superficie totalisant 390 ha :

Table 1.1: Coordonnées UTM Nord Sahara du périmètre d'exploitation (390 ha)

Point	X	Y
1	748 300	3876 500
2	748 700	3876 500
3	748 700	3876 800
4	750 000	3876 800
5	750 000	3876 500
6	751 000	3876 500
7	751 000	3875 200
8	748 300	3875 200

### 1.1.2 Infrastructure

L'accès à la carrière se fait en empruntant une piste à partir de la route nationale RN°87 qui se trouve au Sud de gisement.

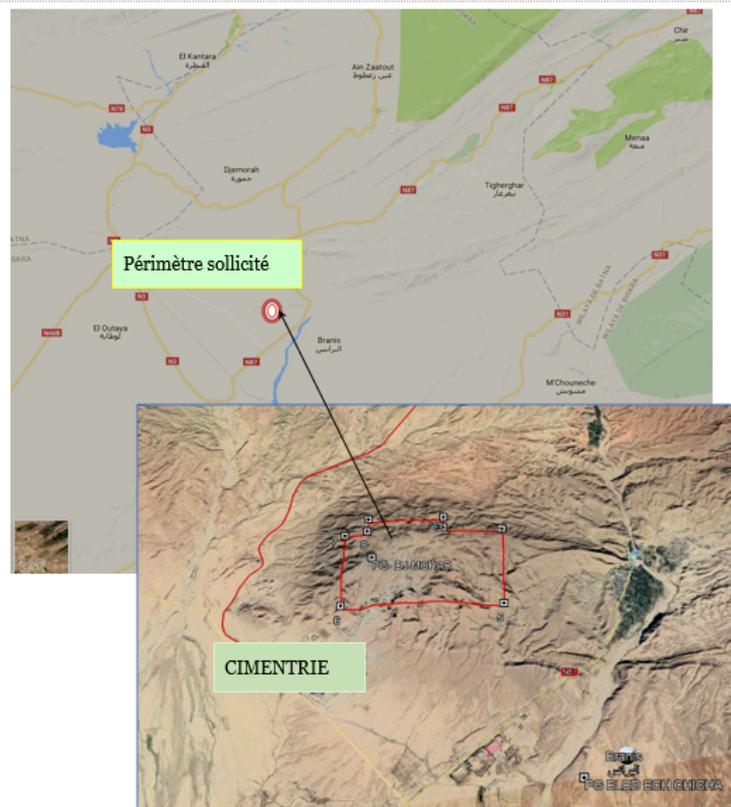


Figure 1.1: Carte de situation de la zone d'étude (Image Google Earth)

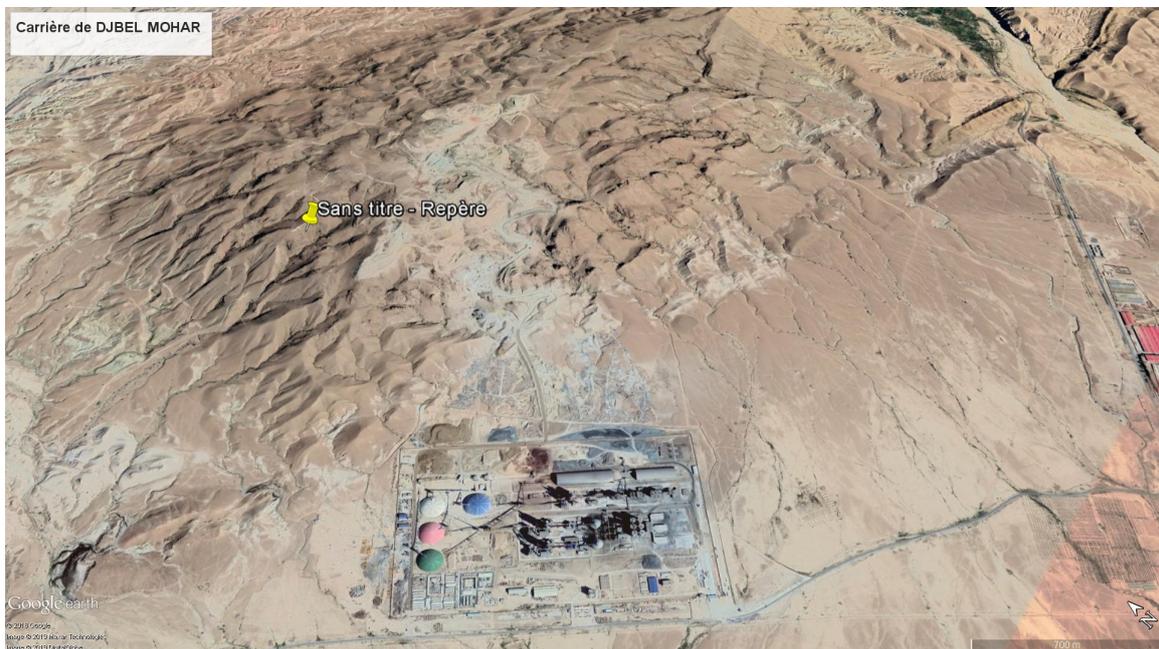


Figure 1.2: position de la cimenterie (Image Google Earth)

### 1.1.3 Topographie

IL s'agit d'une vaste élévation à relief très escarpé sur le flancs et plateaux au sommet s'étendant sur plus de mille hectares qui émerge au Nord-ouest du chef-lieu

de la commune.



Figure 1.3: Vue en relief du gisement de calcaire étudié. (Image Google Earth)

## 1.2 Caractéristiques géologiques du gisement

### 1.2.1 LITHO-STRATIGRAPHIE

La région de du gisement fait partie d'une zone de transition tectonique et sédimentaire. L'ensemble des formations sont de nature carbonatées et argileuses avec quelques intercalations de couches d'évaporites.

#### **Trias (t) :**

Les évaporites triasiques percent leur couverture mésozoïque et cénozoïque à la faveur d'accidents importants dans deux secteurs situés sur les bordures des Djebel El Mellah (Nord et Sud) emballés dans ces montagnes de sel ou sur leurs bordures on rencontre des copeaux de roche diverses de calcaires dolomitiques, marnes et grès, et des dolomies noires au trias moyen.

## **Crétacé**

### **Crétacé moyen (Cm)**

- Cénomaniens inférieur : Il est représenté par des marnes grises verdâtres, très riches en microfaunes à nombreux passées lumachelliques. L'épaisseur de ces marnes peut être estimée entre 200 à 250 mètres.
- Cénomaniens moyen : Il est représenté par une alternance de calcaires gris, jaunâtres ou violacées, de calcaires argileux et de marnes à passées lumachelliques. L'épaisseur de ces formations varie de 300 à 400 m et elles affleurent partiellement à la base de la série de Dra El Zemla.
- Cénomaniens supérieur : Il est représenté par une corniche de dolomies saccharoïdes blancs à rudistes. L'épaisseur de cette formation est d'une soixantaine de mètres.
- Turonien : Il est essentiellement constitué par des calcaires blancs massifs à rudistes intercalés par quelques couches partiellement marneuses riches en faune : Oursins, Gastéropodes et Ammonites. Sur les flancs du Djebel Metlili, le turonien est représenté par trois ensembles lithologiques :
  - Les calcaires à Rudistes et à Silex parfois bréchoïdes à la base.
  - Des alternances marneuses calcaires
  - Des calcaires graveleux ferrugineux.

### **Crétacé Supérieur (Cs)**

- Coniacien : Il correspond à une puissante formation marneuse avec de rares intercalations calcaires sur le flanc méridionale du Dj metlili mais beaucoup plus importantes au voisinage de Dra-Ez-Zemla et du Dj Mekriane.
- Santonien : Il est formé par une alternance sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur des marnes grises et des calcaires à silex et Inocérames et par ailleurs la présence de quelques intercalations gypseuses et de granule glauconieux très peu épaisse.
- Campanien, Mæstrichtien inférieur : Les calcaires de Mæstrichtien surmontent une très puissante formation marneuse dont l'épaisseur diminue lorsqu'on se déplace de la partie Nord orientale de la région en direction de la partie Sud occidentale, cette formation comporte également quelques passées gypseux ou carbonatés.

- Mæstrichtien supérieur : Le crétacé se termine par des calcaires massifs dont la puissance tend à diminuer d'Est en Ouest dans cette partie Nord de la région de Biskra (épaisseur maximale de 350 m environ).

## **Eocene**

**Eocène inférieur (ei)** Il correspond essentiellement à une formation calcaire-marneuse qui comporte parfois de fines passes argilo-gréseuses. La plupart des niveaux carbonates sont fossilifères et fournissent des gastéropodes et Lamellibranches. Quelques bancs renferment des alvéolaires. C'est la majeure partie de la formation qui présente donc une origine marine. Il existe cependant quelques intercalations lacustres. La série éocène débute par une formation à dominance marneuses. Très peu épaisse ses niveaux très rubéfiés au voisinage du Djebel Metlili admettent quelques passées carbonatées gréseuses et conglomératiques. Il y a lieu de signaler en particulier la présence à ce niveau de brèches très grossières conservées localement au Sud du Djebel El Guetoul. **Eocène moyen (em)** La série se termine par une puissante formation conglomératique grossière rougeâtre non datée. Des intercalations argileuses gréseuses apparaissent vers la base de la série ou elles deviennent rapidement très dominantes. On note également la présence de minces horizons gypseux.

## **Miocène (m)**

Le miocène débute souvent par de puissantes séries conglomératiques reposant en discordance nette sur les terrains plus anciens. Ces formations détritiques sont généralement grossières suivies par une puissante série de marnes gris violacées, renfermant une microfaune d'âge Langhien à Tortonien, qui surmonte une dalle de calcaire à algues, Oursins, etc. . . . . Cette dalle recouvre presque la totalité de la partie nord de la région de Biskra, fossilisant ainsi une surface d'érosion au-dessus de laquelle se substituent que de très rares reliefs (Djebel El Fedj, Djebel Haouidja). La série miocène se termine par des marnes brunes et rougeâtres. Dans le bassin de Djemmorah les marnes deviennent très gypseuses, annonçant ainsi les faciès évaporitiques du Miocène terminal de Branis.

## **PLIOCENE (P)**

Dans le bassin de Djemmorah, la série néogène se termine par une formation à dominance gréseuses, épaisse de plusieurs dizaines de mètres et tronquée à son sommet par suite de l'avance tectonique du Djebel Melou-Youcef. Cette formation débute par quelques bancs de grès relativement tendres blancs rosâtres à petits galets qui alternent avec des passés de marnes gréseuses rougeâtres.

## **Quaternaire**

- **Travertins** : Il existe quelque amas anciens dans l'Aouinnet El Araïes, le seul gisement cartographié et celui de Beni Ferah.
- **Les éboulis** : Ils sont très développés au pied des escarpements de calcaires Maestrictiens très diaclasés du Djebel Haouidja-Nador El Koléa. Le plus souvent ils sont polygéniques et polychroniques.
- **Les glacés polygéniques** Il n'en existe que deux forts différents. Le premier, au Sud d'El Kantara recouvert par des alluvions de glacis et de terrasse « Soltaniens » ; Et le second entre les Djebels Hachichina et Gueraat El Guetoul, se localise à la ligne de partage des eaux entre Oued Biskra et Bled Daya.
- **Saletien** Il couvre une glacie ayant nivelé les grès calcaires de l'éocène. Les alluvions ne dépassent pas 50 cm d'épaisseur mais comprend des blocs plats qui atteignent 03 m de Long la matière sablo -limoneuses a partiellement disparue par lavage ; un témoin peu étendu s'observe d'ailleurs en bordure du bled Salaouine.
- **Amirien** Très rares il se localise étroitement dans les piedmonts. Il est caractérisé par des galets non stratifiés et grossiers.
- **Tensiftien** Ces dépôts forment la couverture alluviale du glacis fondamental, ils comprennent essentiellement des galets peu roulés non stratifiés, parfois éclatés par le gel.
- **Soltanien** Il forme la couverture alluviale du dernier glacis et la terrasse principale le long d'Oued El Haï- Biskra.
- **Rharbien et actuel** Ils sont étroitement localisés dans le lit majeur des oueds, ils sont constitués de gros galets peu roulés et de lentilles argilo-sableuses.

## 1.2.2 Structure géologique et tectonique

La partie Nord de la région de Biskra se situe entièrement dans le domaine atlasique. Elle montre le passage des structures de l'Aurès à celle de la région de M'DOUKAL BISKRA.

En effet, il est aisé de constater la disparition des plis amples et réguliers de l'Aurès tronqué au niveau d'une importante zone de fracture d'orientation générale NW-SE.

Les structures Aurassies occupent l'essentielle du territoire de l'étude du Nord-ouest vers le Sud-est, on rencontre ainsi successivement :

- Le flanc méridional de l'anticlinal du Djebel Métlili, qui dessine ici une amorce de plis coffrés.
- Le synclinal du d'El Kantara.
- L'Anticlinal du Dra El Zemla.
- Le repli synclinal de Beni Ferah Oued Tahrit.
- Le synclinal très pincé qui s'interrompt au voisinage de Guedilaet se poursuit vers le Nord Est en direction de Bouzia.
- L'amorce de periclinal très tectonisé de l'anticlinal du Djebel El Azreg.

Quelques plis s'observent également ailleurs, ils correspondent au péri anticlinal du Djebel Mekrizane, au Nord duquel se développe le synclinal du Djebel El Guetoul et enfin le synclinal néogène de l'Oued Djemmorah dont le flanc méridional est localement renversé ou tronqué.

De nombreuses failles découpent les zones méridionales de la région et Djebel Métlili. Les plus importantes s'orientent selon les directions NW-SE, certains accidents ayant joués à plusieurs reprises et de façon variable.

Le Djebel El Mellah d'El Outaya comme celui de Métlili correspond à des extrusions de type pseudo-diapirique localiser dans la zone de convergence de plusieurs accidents importants.

## 1.2.3 Cadre structural du périmètre étudié

Du point de vue structural, le massif de djebel Mohar étudié dans le cadre de la campagne de l'étude géologique du site se présente sous forme d'un anticlinal d'axe allongé Est-Ouest sur plus de trois kilomètres et deux kilomètres dans la direction

Nord Sud.

Cet anticlinal a subi une fracturation très intense ce qui a provoqué parfois des déplacements de blocs avec de fortes amplitudes. La plupart des failles sont de direction Nord sud.

A travers la campagne de sondages menée au cours de trois zones, on peut remarquer que la partie Nord de l'anticlinal de même que le côté Est sont hétérogènes avec des manifestations de couches de dolomies et calcaires dolomitiques importantes qui rendent difficile toute exploitation sélective rentable techniquement et économiquement .

La partie Ouest s'étalant de la ligne Nord-sud 748200 à 749800 est plus homogène et présente au départ des couches de bonne qualité débutant à la surface déjà jusqu'à une profondeur moyenne de 50 mètres.

A partir de la ligne Nord-Sud 750000 l'épaisseur des couches de calcaires pouvant servir comme matériau surdosé deviennent plus minces et alternent avec des couches dolomitiques ainsi que des argiles pouvant aisément servir de matériau sous dosé.

Le côté sud de l'anticlinal et aussi du périmètre constituant l'extension ne présente que la série supérieure très morcelée d'ailleurs mais importante sur une épaisseur de plus de 40 mètres en moyenne qui peut être exploitée.

Les couches inférieures sont très gênées par les alternances de couches argileuses et les calcaires dolomitiques qui doivent être considérées comme stériles.

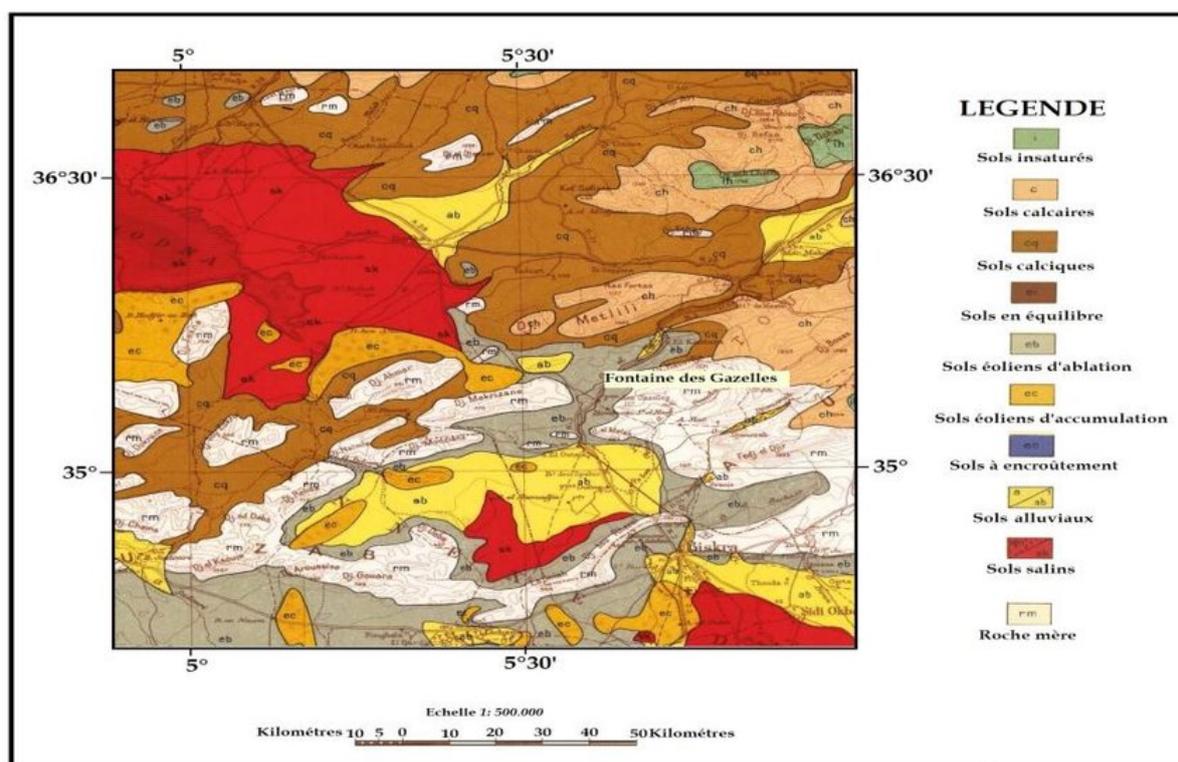


Figure 1.4: Carte géologique de région de Biskra[1]

### 1.3 Travaux d'exploration

Le site de Djebel Mohar a fait l'objet d'une étude assez détaillée à travers deux phases de sondages. Cette dernière s'est focalisée sur l'extension de la zone rocheuse. Les échantillons prélevés soumis à une étude en laboratoire ont témoigné d'une forte hétérogénéité du gisement.

L'étude effectuée en 2009 s'est traduite en deux phases de sondages carottés pour une surface s'étendant sur 2500 mètres. La première phase comportait 17 sondages concernant un périmètre de 103 hectares pour une somme globale des profondeurs comptant 918 mètres linéaires. La seconde phase comportait 18 sondages concernant une superficie de 286 hectares. Les paramètres des sondages réalisés durant les deux phases sont donnés par les tableaux suivants

### Sondages Phase une

Table 1.2: Paramètres des sondages (Première Phase)[2]

N° Sondage	Xutm	Yutm	Z	Profondeur
S8	748922,8	3876526,5	541.75	51.8
S9	749177,03	3876514,2	536.43	44.7
S10	749419,4	3876492,7	561.74	60
S11	749782,5	3876574,98	568.38	70.3
S12	749910,4	3876494,1	540.2	43.7
S14	748933,7	3876285,3	539.24	59
S15	749189,97	3876291,6	557.1	62
S16	749394,6	3876365,5	561.61	77
S17	749703	3876392,7	565.89	67
S18	749971,4	3876332,3	567.35	88
S20	748854	3876055,9	535.92	34
S21	749209,03	3876091,06	550.52	80.03
S22	749395,3	3876111	552.67	31.2
S23	749703	3876060	568.45	23
S23B	749703	3876060	568.45	50
S24	749994,7	3876107,6	570.34	37.7
S24B	749939,7	3876001,5	556.85	38.7
Total				918.13

### Sondages Phase deux

Table 1.3: Paramètres des sondages (Deuxième Phase)[2]

N° Sondage	Xutm	Yutm	Z	Profondeur
S25	748495	3875789	496.46	85
S26	748636	3875858	509.68	80.15
S27	748853	3875919	531.76	58
S28	748873	3875823	517.4	50
S29	749600	3875900	548.31	100
S30	749835	3875964	545.92	111.5
S31	750024	3875881	554.93	100.2
S32	750300	3876000	556.17	100
S33	750300	3876300	564.3	100
S34	750600	3876336	555.19	57
S35	750947	3876300	552.6	100
S36	748595	3876020	509.47	70
S37	748500	3876500	498.57	70
S38	748716	3875553	438.84	102.5
S40	748684	3875652	448.88	119.5
S41	749366	3875572	486.7	83
S42	750401	3876498	544.58	80
S43	750184	3876499	552.48	100
Total				1569.85

Les résultats des analyses chimiques réalisées sur les échantillons des carottes de sondages sont présentés en Annexe 01

L'extension vers le sud accordée par l'Agence Nationale des Activités Minières, ANAM, avait pour but de prolonger le périmètre d'étude vers le côté sud, pour pouvoir effectuer plus de prélèvements, augmenter les réserves et satisfaire les besoins des trois lignes de production de ciments gris pour un total de 20 000 tonnes quotidiennement. Les analyses de laboratoires ont toutes été axées sur la détermination de la composition chimique des formations traversées pour déterminer les couches aptes à servir comme matière Surdosée pour la production de clinker et les conditions de leur exploitation. Au total, plus de mille échantillons ont été prélevés et soumis aux analyses.

### **1.3.1 Travaux d'échantillonnage et de laboratoire**

Tous les sondages ont fait l'objet d'une documentation accompagnée d'une description géologique visuelle ainsi que d'un échantillonnage lithologique.

L'étude initiale menée au niveau de ce périmètre (assez réduit du point de vue réserves) a montré une certaine hétérogénéité du point de vue composition chimique avec la présence de niveaux dolomitiques parfois assez prononcés et des niveaux marneux dans les niveaux inférieurs.

Ces valeurs montrent qu'on a affaire à un Surdosage à fort titre. Du point de vue réserves, avant de lancer les travaux d'étude de détail et d'évaluation de ce gisement, on peut dire que le problème de quantité ne se posera pas.

## **Chapitre 2**

# **Travaux réalisés sur le site de Djebel Mohar**

## 2.1 Travaux d'exploitation

**Production de la carrière** La capacité annuelle de production de la cimenterie sera de 6 000 000 de tonnes de clinker, néanmoins le mélange calcaire/calcaire marneux extrait au niveau de la carrière représente en moyenne 80 % du poids total dans le cru, donc la quantité des calcaires nécessaire dans le clinker sera de 4 800 000 tonnes auxquelles il y a lieu d'associer la perte au feu (en moyenne PAF = 43 %), les pertes d'exploitation ( $p = 2\%$ ) et l'humidité ( $h = 2\%$ ), la quantité totale des calcaires requise sera alors de 8 800 000 tonnes environ. Nous considérons 360 jours de travail effectif par an à raison d'un poste de 8 heures par jour, la quantité totale à charger et à transporter par jour vers la cimenterie sera de 24 444 tonnes.

**Etapes d'exploitation** Afin d'extraire le matériau en question, le procédé d'exploitation passe par les cinq étapes suivantes :

1. Découverte
2. Foration
3. Abattage à l'explosif
4. Chargement
5. Transport

### 2.1.1 Conditions techniques de la carrière

Le régime de travail de la carrière se présente comme suit :

Table 2.1: Régime de travail

Nombre d'heures effectives de travail par poste	8
Nombre de postes par jour	1
Nombre de jours ouvrables par semaine	7
Nombre de jours ouvrables par mois	30
Nombre de mois de travail par an	12
Nombre de jours de travail par an	360

### Capacité annuelle de production, A (T/an)

La tâche technique assignée à cette carrière est d'alimenter la cimenterie Biskria d'un volume de 6 600 000 tonnes /an en calcaires, en tenant compte d'un taux stérile de 10%

Table 2.2: Production annuelle

Production	Volume ( $m^3$ )	Tonnage (t)
Production par poste (8 h)	9401	24 444
Production mensuelle	282 051	733 333
Production annuelle	3 384 615	8 800 000

### 2.1.2 Travaux de découverte

La découverte représente l'opération qui précède l'abattage de la matière utile. Ce procédé vise le décapage des zones d'exploitation moyennant l'utilisation d'engins de terrassement, tels que le bulldozer ou la pelle hydraulique.

Ces travaux sont généralement réalisés au fur et à mesure de l'avancement des fronts. Les produits de découverte, tels que la terre végétale et les roches stériles, seront stockés en dehors des zones exploitables de la carrière.

Les engins qui sont utilisés au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR pour les travaux de découverte sont :

- Trois (03) Bulldozer « Komatsu D 375A »
- Pelle hydraulique Liebherr 954
- Brise roche Liebherr



Figure 2.1: Bulldozer Komatsu D 375A

Table 2.3: Caractéristiques techniques du bulldozer Komatsu D 375A

Paramètre	Valeur
Marque	Komatsu
Modèle	D375A-6
Puissance	391 kW
Longueur (L)	5.4 m
Largeur (l)	2.93 m
Hauteur (H)	3.99 m
Poids opérationnel	71,6 t
MOTEUR	KOMATSU S6D 170E
Vitesse de rotation	1800tr/min
Rayon de braquage minimum	4,2 m
VITESSES MAX Avant	11,8 km/h
VITESSES MAX Arrière	15,8 km/h
Capacité de la lame	22 m <sup>3</sup>



Figure 2.2: Brise Roche LIEBHERR

Table 2.4: Caractéristiques techniques de la brise roche LIEBHERR

Paramètre	Valeur
Marque	Liebherr
Modèle	R920
Puissance	110 kW
Longueur (L)	4.8 m
Largeur (l)	2.93 m
Hauteur (H)	3 m
Poids en ordre de marche	21 000 Kg
MOTEUR	Cummins QSB 6,7
Mode de combustion	diesel 4 temps



Figure 2.3: Pelle LIEBHERR 910

Table 2.5: Fiche Technique de la Pelle LIEBHERR 910

Paramètres	Valeurs
Désignation	Pelles sur chenilles
Marque	LIEBHERR
Type	R 9100
Moteur	Liebherr D9512 565 Kw /757 CV
Puissance nette	550 KW
Vitesse maximum de rotation	6,00 tr/min
Capacité de godet	6.8 m3
Largeur de chenilles	600 mm
Poids en ordre de marche avec équipement	113 t

### 2.1.3 Foration

Dans la carrière de DJBEL MAHAR, le mode de forage existant est le forage roto-percutant en relation avec les données du gisement :

Table 2.6: Paramètres de Foration

Paramètre	Valeur
La dureté de la roche F	8
La densité de la roche Y (t/m3)	2.6
Hauteur du gradin Hg (m)	15
Diamètre du trou Ø (mm)	110

Les engins de forage existants au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR sont :

- Quatre (04) Sondeuses hydraulique (FlexiROCD50)
- Sondeuse hydraulique (FlexiROC T35)



Figure 2.4: Sondeuse hydraulique (FlexiROC D50)

Table 2.7: Caractéristiques techniques de la sondeuse hydraulique FlexiROC D50

Paramètres	Valeurs
Marque	Atlas Copco
Modèle	FlexiROC D50
Domaine d'application	Extraction en carrière
Méthode de forage	Down the hole
Moteur	Diesel-287kw
Cabine	oui
Type de forage	incline/Vertical
Vitesse de déplacement	15km/h
Type de mécanisme de translation	Chenille
Profondeur de forage maximum	45m
Diamètre du trou	90 a 130mm
Longueur de la tige	5 m
Poids total	22.3 t
Puissance	287ch
Angle de forage	75-90°
Vitesse de rotation	200tr/min
Hauteur	3500 mm
Longueur	11 350 mm
Largeur	2500 mm



Figure 2.5: Sondeuse hydraulique (FlexiROC T35)

Table 2.8: Caractéristiques techniques de la sondeuse hydraulique FlexiROCT35

Paramètres	Valeurs
Marque	Atlas Copco
Méthode de forage	Top hammer
Modèle	Air Roc D50
Domaine d'application	Carrières de calcaire agrégat...
Moteur	Diesel-168kw
Cabine	Yes
Type de forage	incline/Vertical
Poussée axiale	6bar
Vitesse de déplacement	3 km/h
Type de mécanisme de translation	Chenille
Profondeur de forage maximum	28 m
Diamètre du trou	64 a 115 mm
Longueur de la tige	3m
Poids total	15,350 t
Puissance	1.05-2.46 Mpa
Angle de forage	75-90°
Type de rotation	Rotative
Hauteur	3500 mm
Longueur	11 970 mm
Largeur	2490 mm

## Calcul de temps de cycle

Table 2.9: Temps de cycle de la sondeuse hydraulique FlexiROC D50

	$F_{t1}$	$M_{t2}$	$F_{t2}$	$M_{t3}$	$F_{t3}$	$M_{t4}$	$F_{t4}$	$D_{t4}$	$D_{t3}$	$D_{t2}$	Déplacement	Total
01	8 :00	00 :29	6 :20	00 :55	06 :19	00 :38	04 :14	00 :34	00 :42	00 :43	01 :23	30 :17
02	05 :03	00 :24	06 :51	00 :25	09 :25	00 :31	04 :51	00 :28	00 :23	00 :44	02 :20	31 :30
03	05 :56	00 :24	06 :54	00 :25	06 :12	00 :23	03 :45	00 :48	00 :37	00 :39	02 :32	28 :41
04	05 :49	00 :30	04 :44	00 :28	03 :22	00 :25	02 :53	01 :04	00 :43	00 :40	02 :10	22 :15
05	02 :04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06	01 :45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NB :

- F : Temps de foration de tige
- M : Temps de montage de tige
- D : temps de démontage de tige

Les trous ont les longueurs suivantes respectivement : 18,20; 18; 18; 19,5. Le 5ème et 6ème trou n'étaient pas valables à la cause des fissurations dans cette zone.

Temps moyen par trou = 1690.75 s 28mn

**Vitesse moyenne (m/h) :**

$$Vf = \frac{L_m}{T_f} = \frac{18.42}{0.469} = 39.27m/h \quad (2.1)$$

**Rendement par poste :**

$$R_s = \frac{T_p \cdot K_u}{T_f} \quad (2.2)$$

Où :

$K_u$  : Coefficient d'utilisation de la sondeuse (0.85 ÷ 0.87); on prend  $K_u = 0.87$

$T_p$  : le temps d'un poste;  $T_p = 8$  heures;

$$R_s = \frac{8 \cdot 0.87}{0.469} = 16.698 \text{trous/poste}$$

**Nombre de sondeuses :**

$$N_s = \frac{P_a \cdot K_r}{R_s \cdot N_{p/j} \cdot N_{j/an} \cdot Q_t} \quad (2.3)$$

Où :

$P_a$  : La production annuelle;  $P_a = 8\,800\,000$  tonne /an

$K_r$  : Coefficient de réserve de la sondeuse; (1.2 ÷ 1.25) en prend : 1.2

$R_s$  : Rendement de sondeuse par poste; trous / poste

$N_{p/j}$  : Nombre de postes par jour;  $N_{p/j} = 1$  poste / jour

$N_{j/an}$  : Nombre de jours ouvrables par an; 360 jours /an

$Q_t$  : La quantité (en tonne) de la roche abattue par trou; tonne / trou

$$Q_t = W \cdot a \cdot H_{gr}$$

$W$  : Ligne de moindre résistance;

$a$  : L'espacement entre les trous;

$H_{gr}$  : la hauteur du gradin;

$$Q_t = 3.5 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 2.6 = 546 \text{ tonnes / trou}$$

$$N_s = \frac{8800000 \cdot 1.2}{16 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 546} = 3.35 \approx 3 \quad (2.4)$$

Ce calcul est correcte lorsque le travail des sondeuses exclut les erreurs de foration (cas parfait) ce qui n'est pas le cas dans la vie réelle où l'on requiert 5 sondeuses.

## 2.1.4 Abattage

Le type d'abattage qui est employé au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR-BISKRA- est l'abattage à l'explosif avec les types d'explosifs suivants :

- La Marmanite
- L'Anfomil

Table 2.10: Caractéristiques techniques des types d'explosifs utilisées

Désignation commerciale	Résistance à l'eau	Densité	Vitesse de détonation (m/s)	Puissance CUP	Utilisation
MARMANITE I	Médiocre	0.95	4000	1.28	Explosif pour les roches de dureté moyenne
ANFOMIL	Médiocre	0.9	3000	1.15	Explosif pour travail à ciel ouvert

Table 2.11: Caractéristiques techniques du cordeau détonant

Vitesse moyenne de détonation	7000 m/s
Diamètre extérieur moyen	5 mm
Résistance à la traction	80 kg
Poids brut moyen	21 g/m

### Paramètres de tir

Cas de 22/03/2019 DJBEL MOHAR – BISKRA

#### Paramètres géométriques

Diamètre du trou :  **$d = 110 \text{ mm}$**

Hauteur du gradin :  **$H = 15 \text{ m}$**

Inclinaison du trou :  $\beta = 90^\circ$

Ligne de moindre résistance : La variation de la ligne de moindre résistance est fonction des différentes structures du front d'abattage la stabilité du gradin  $W \approx 4m$

Banquette pratique : c'est la distance entre les rangées

$$B = d \cdot 40 \approx 4m$$

Espacement : c'est la distance entre les trous, une bonne fragmentation peut être obtenu en variant l'espacement entre (0.8 et 1.5) fois la banquette.

$$E = 1.125 \cdot B = 4.5$$

Rapport de la maille  $E/B$  :  $E/B = 1.125$

Longueur du trou :

$$L_{tr} = \frac{H_{gr}}{\sin\beta} + L_s$$

$L_s$  = longueur de sous-forage

$$L_s = 1/3 * B \approx 1m$$

Longueur de sous foration : 1m

Longueur de bourrage : Le bourrage final a en général une longueur égale à celle de la banquette (**T = 4 m**), la longueur de bourrage en minimum égale

à  $T_{min} = 0.7 * B = 2.8m$

Paramètres d'explosifs

Quantité d'explosifs utilisés :

182 sacs d'ANFOMIL (25 kg par sac)

57 cartonnées de Marmanite 3 (08 cartouches par cartonne) 2.5 kg/cartouche

Quantité d'explosifs dans un trou :

$$Q_{ex} = H_{gr} * B * E * q_s$$

57 cartonnées de Marmanite 3 (08 cartouches par cartonne) 2.5 kg/cartouche

$q_s$  : la consommation spécifique d'explosifs,  $q_s = 0.385 \text{ kg /m}^3$

Donc :

$$Q_{ex} = 15 * 4 * 4.5 * 0.385 \approx 104 \text{ kg /trou}$$

Répartition de la charge :

La charge explosive obtenue est répartie proportionnellement le long du trou comme suit :

Anfomil en vrac : 3.25 sacs par trou (81.25kg) 80%

La Marmanit  $\phi$  80 mm : 08 cartouches par trou (20 kg) 20 % kg/cartouche

La capacité métrique (Anfomil) :

$$P = \frac{\pi \cdot (d)^2}{4} \cdot \Delta_{An}$$

Où

$\Delta_{An}$  : Densité d'explosif (Anfomil),  $0.95 \text{ t/m}^3 = 950 \text{ kg/m}^3$

Donc :

$$P = \frac{3.140.11^2}{4} \cdot 950 = 9.024 \text{ Kg/m}$$

Longueur de la charge (Anfomil) :

$$L_{An} = \frac{Q}{P}$$

Où :

**Q** : Quantité d'Anfomil dans un trou

**P** : capacité d'un mètre de trou en explosif (Anfomil)

$$L_{An} = \frac{80}{9.024} = 8.3 \text{ m}$$

Longueur de la charge explosive :

$$L_{ch} = L_{An} + (N_M L_M)$$

$$L_{ch} = 8.3 + (80.5) = 12.3 \text{ m}$$

$L_M$  : Longueur de la charge Marmanit

$N_M$  : Nombre de cartouche de Marmanit dans un trou

Table 2.12: Paramètres de tir

Paramètre	La valeur
Hauteur de gradin (m)	15
Diamètre de trou (mm)	110
Longueur de sous foration (m)	1
Longueur de trou (m)	16
Distance entre deux trous (m)	4.5
Distance entre deux rangés (m)	4
Longueur de bourrage (m)	4
Longueur de la charge explosive (m)	12
Ligne de moindre résistance au pied de gradin (m)	4
Longueur total foré (m)	863
Angle d'inclinaison d'n trou (m)	90°
Consommation spécifique d'explosif (kg/m3)	0.385
Quantité totale d'explosif (kg)	5690
Quantité total (ANFOMIL) (kg)	4550
Quantité total (MARMANIT 3) (kg)	1140
DMR	46
DEI	5
Cordeau détonant 20g (m)	920
Volume du bloc abattu (m)	13878.69
Densité de la roche (t/m3)	2.6

### 2.1.5 Chargement

Au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR –BISKRA-, les engins de chargement employés sont :

- 03 chargeuses KOMATSU (WA 700 – 3A)
- 03 pelles hydrauliques :
  - 02 pelles sur chenilles LIEBHERR R9100
  - Pelle HITACHI ex1200-6



Figure 2.6: Chargeuse Komatsu WA-700 3A

Table 2.13: Fiche Technique de la Chargeuse Komatsu WA-700 3A

Paramètres	Valeurs
Désignation	Chargeur sur pneus
Marque	KOMATSU
Type	WA 700 – 3A
Moteur	Diesel-SAA6D170E-3
Puissance	672 CV -502KW- a 2000T/min
Capacité réservoir gas-oil	1100 L
Type de transmission	Changement de vitesses assisté
Vitesse maximale en avant	30 km/h
Vitesse maximale vers l'arrière	32 km/h
Capacité de godet	7.2 m <sup>3</sup>
Largeur de godet	4 330 mm
Poids du godet	6 830 kg
Longueur avec godet sur sol	12475 mm
Hauteur au toit conducteur	4 835 mm
Largeur entre les pneus	4182 mm
Poids opérationnel	72080 kg
Hauteur de diversement (m)	5.9



Figure 2.7: Pelle LIEBHERR 9100

Table 2.14: Fiche Technique de la Pelle LIEBHERR 9100

Paramètres	Valeurs
Désignation	Pelles sur chenilles
Marque	LIEBHERR
Type	R 9100
Moteur	Liebherr D9512 565 Kw /757 CV
Puissance nette	550 KW
Vitesse maximum de rotation	6,00 tr/min
Capacité de godet	6.8 m3
Largeur de chenilles	600 mm
Poids en ordre de marche avec équipement	113 t
Rayon de la pelle	13.00



Figure 2.8: Pelle HITACHI EX 1200

Table 2.15: Fiche Technique de la Pelle HITACHI EX 1200

Paramètres	Valeurs
Désignation	Pelles sur chenilles
Marque	HITACHI
Type	EX1200-6
Moteur	QSK23-C
Puissance nette	567 KW /760 CV
Vitesse maximum de rotation	5.6 tr/min
Capacité de godet	6.7m <sup>3</sup>
largeur de chenilles	800 mm
Poids en ordre de marche	114 t
Largeur total	5430 mm
Rayon de la pelle	12.00

### Temps de cycle de la chargeuse $T_c$

$$T_c = T_r + T_{mc} + T_d + T_{mv}; (S) \quad (2.5)$$

Où :

$T_r$  :Le temps de remplissage du godet ;

$T_{mc}$  :Le temps de marche à charge ;

$T_d$  :Le temps de déchargement ;

$T_{mv}$  :Le temps de marche vide ;

Le chronométrage que j'ai fait au niveau de la carrière de GJBEL MAHAR -BISKRA- pour la chargeuse KOMATSU WA700 est représenté dans le tableau suivant :

Table 2.16: Temps de Cycle de la chargeuse KOMATSU WA700

N°	Tr(sec)	Tmc(sec)	Tdé (sec)	Tmv(sec)	Tc(sec)
1	9.5	10.5	6.8	15.9	42.7
2	11	16.7	7.1	14.8	49.6
3	10.2	17.2	9.4	16	52.8
4	9	15.6	10.5	16.6	51.7
5	10	19.6	9.9	15.5	55
6	9.7	13.2	7.7	11	41.6
7	11	14.3	7.9	11.8	45
8	12.2	18	9	16.9	56.1
9	11.6	13.4	9.1	12.1	46.2
10	10	12.1	6.5	12	40.6
11	10.5	14	11	10	45.5
12	7.5	15	10	14.7	47.2
13	13.6	15.4	10.5	11.6	51.1
14	9.8	17.3	8.7	12	48.5
15	11.4	16.4	7.6	18	53.4
Moyenne					48.47

### Nombre de cycles effectué par la chargeuse

$$N_c = \frac{60}{T_c}; Cycle/min \quad (2.6)$$

Donc :

$$N_c = \frac{60}{48.47}; Cycle/min$$

### Rendement d'exploitation postière de la chargeuse

Le rendement de la chargeuse se calcule par la formule suivante :[3]

$$R_{ch/p} = \frac{3600.V.T.K_r.K_u.\rho}{T_c.K_f}; Tonnes/poste \quad (2.7)$$

Où :

$V$  : La capacité du godet de la chargeuse ; (m3)  $V= 7.2$  m3

$T$  : La durée d'un poste de travail ; (h)

$K_r$  :Le coefficient de remplissage du godet de la chargeuse ;

$K_u$  : Le Coefficient d'utilisation de la chargeuse ;[85 ÷ 87%];

$\rho$  :La masse volumique de la roche ;Tonne /m<sup>3</sup>

$K_f$  :Le coefficient de foisonnement ;

$T_c$  : Le temps de cycle de la chargeuse ; (seconde)

$$R_{ch/p} = \frac{3600 \cdot 7.280 \cdot 80.852.6}{48.471.5} = 5042 \text{ Tonnes/poste}$$

### **Rendement journalier de la chargeuse**

Au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR nous avons une seul poste de travail, donc le rendement journalier sera :

$$R_{ch.j} = 5042 \text{ Tonne /jour}$$

### **Rendement annuel de la chargeuse**

$$R_{ch/an} = R_{ch/j} \cdot N_{br/an} \tag{2.8}$$

Où :

$N_{br/an}$  : Nombre des jours ouvrables par an,  $N_{br/an} = 365$  jours.

Donc :

$$R_{ch/an} = 5042 \cdot 360 = 1815120$$

### **Nombre de chargeuses**

Le nombre de chargeuses nécessaire pour assurer la production annuelle souhaitée est donné par la formule suivante :

$$N_{ch} = \frac{P_j \cdot K_i}{R_{ch}} \tag{2.9}$$

Où :

$P_j$  : Production journalière ; Tonne

$K_i$  : Coefficient d'irrégularité de travail (varie entre 0.8 et 1.2 ; on prend 0.9)

$R_{ch}$  :Rendement de chargeuse durant un poste de travail

Donc :

$$N_{ch} = \frac{20.7140.9}{5042} \approx 04$$

### **2.1.6 Transport**

Le transport par camion est le plus répandu en Algérie. Il est rationnel de l'appliquer en cas de gisements compliqués, de l'approfondissement et de la construction de la carrière et de l'exploitation sélective.

#### **Le transport par camion présente les avantages suivants :**

- Une bonne manœuvrabilité.
- Possibilité de circuler par des grandes pentes.
- Autonomie d'alimentation en énergie.
- Simplicité d'organisation de travail à la carrière.

#### **Le choix du type de camion :**

- Le choix du type de transport dépend :
- Des propriétés des minéraux utiles.
- Des roches stériles.
- Des conditions géologiques du gisement.
- De la distance du transport.

Dans la carrière de DJBEL MOHAR -BISKRA- le transport s'effectue par des camions de la marque HITACHI E1100 et TEREX TR70 :

- 20 dump trucks TEREX TR70.
- 07 dump trucks HITACHI E1100.



Figure 2.9: Dump Truck – HITACHI EH1100

Table 2.17: Fiche Technique du Dump Truck-HITACHI EH1100

Paramètres	Valeurs
Marque	HITACHI
Modèle	EH -1100 -3
Mise en Service	2007
Puissance	567kw /760 cv
Longueur	9.45 m
Largeur	4.98 m
Hauteur	4.62 m
Masse	45.81 t
Charge	65 t



Figure 2.10: Dump Truck – TEREX TR70

Table 2.18: Fiche Technique du Dump Truck – TEREX TR70

Paramètres	Valeurs
Marque	TEREX
Modèle	TR 70
Mise en Service	2000
Puissance	522 kw /700 cv
Longueur	9.9 m
Largeur	4.94 m
Hauteur	4.57 m
Masse	47.69 t
Charge	75 t

## Temps de cycle du camion

Camion TEREX TR70 :

Table 2.19: Temps de Cycle du Camion TEREX TR70

N°	Temps de chargement (min)	Temps de Marche à charge (min)	Temps de déchargement (min)	Temps de Marche vide (min)	Temps d'attente (min)	Temps de cycle (min)
1	3.62	15.2	0.56	12.2	1.23	32.81
2	3.13	14.75	0.52	13.4	1.43	33.23
3	3.4	15.61	0.33	10	1.52	30.86
4	3.96	16.5	0.45	11.78	1.11	33.8
5	3.15	14.58	0.54	11.7	1.34	31.31
6	3.7	15.77	0.65	9.52	1.57	31.21
7	3.35	12.58	0.56	9.41	1.83	27.73
moy	3.47	14.99	0.52	11.14	1.43	31.55

## Rendement de camion par poste (distance de 4.5 Km)

$$N_{c/p} = \frac{3600 \cdot Q_c \cdot T_p \cdot K_q \cdot K_u}{T_c} \quad (2.10)$$

Où :

$Q_c$  : Capacité de la benne du camion ; (tonne)

$T_p$  : Temps postière ;  $T_p \approx 9$  heures ;

$K_q$  : Coefficient d'utilisation de charge du camion ;  $K_q = 0.9$

$K_u$  : Coefficient d'utilisation du camion durant un poste ;  $K_u = 0.87$

$T_c$  : Temps de cycle d'un camion ;  $T_c = 1893$  seconds ;

Donc :

$$N_{c/p} = \frac{3600 \cdot 758.50 \cdot 850 \cdot 0.87}{1893} = 896.5 \text{ Tonnes/poste}$$

## Rendement journalier du camion

Au niveau de la carrière de DJBEL MOHAR, nous avons une seul poste de travail, donc le rendement journalier sera :

$$R_{c/j} = 896.5 \text{ Tonne /jour}$$

## Rendement annuel du camion

$$R_{c/an} = R_{c/j} \cdot N_{br/an} \quad (2.11)$$

Où :

$N_{br/an}$  : Nombre des jours ouvrables par an,  $N_{br/an} = 365$  jours

Donc :

$$R_{c/an} = 896.5 \cdot 365 = 327222.5 \text{ Tonne/an}$$

### Nombre des camions

$$N_c = \frac{P_j \cdot K_i}{R_{c/p} \cdot N_{p/j}} \quad (2.12)$$

Où :

$P_j$  : Production journalière,  $P_j = 20\,714$  Tonne.

$K_i$  : Coefficient d'irrégularité.  $K_i = 0.95$

$R_{c/p}$  : Rendement du camion par poste.

$N_{p/j}$  : Nombre de poste par jour.

Donc :

$$N_c = \frac{24000 \cdot 0.95}{896.5 \cdot 1} = 26.1 \approx 27$$

Dans la carrière de DJBEL MOHAR –BISKRA-, il existe 27 camions pour assurer la production planifiée.

# **Chapitre 3**

## **Systemes d'exploitation**

Nous avons effectué des travaux topographiques afin de relever une carte topographique de la zone en question. Nous y avons identifié les points de sondages. On a effectué des coupes topographiques à l'aide d'un SIG (système d'information géographique) . En association avec les résultats des analyses chimiques, nous avons converti les coupes topographiques en coupes géologiques . Le but final est d'effectuer le calcul des réserves exploitables., pour exécuter un plan d'exploitation pour les années à venir.

### 3.1 Travaux topographiques

Les prélèvements de la zone d'étude au niveau de la carrière effectués par une équipe de topographes furent convertis en une carte topographique représentée ci-contre :

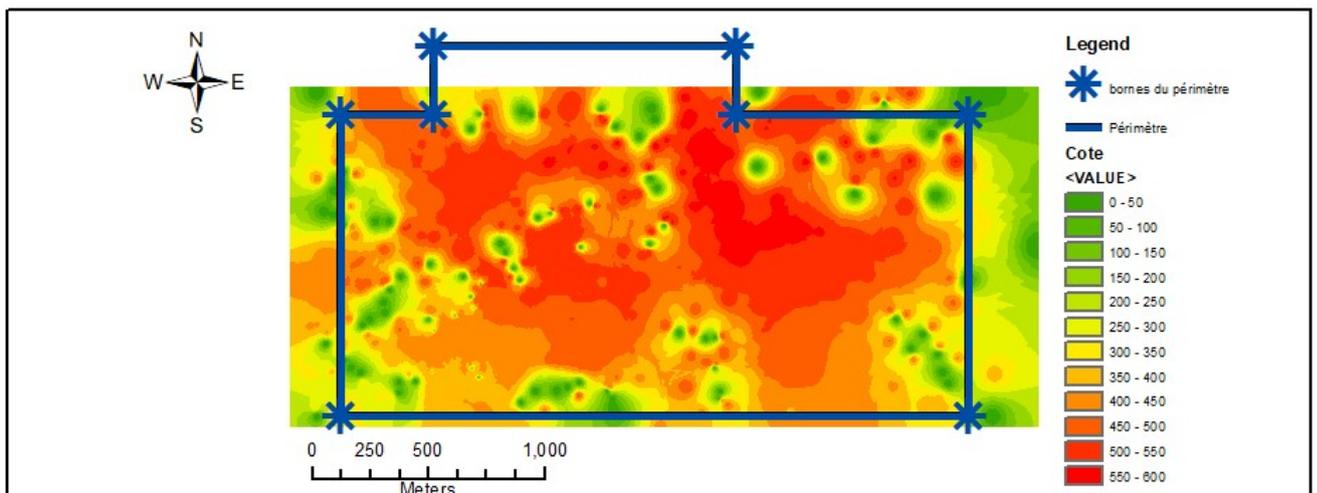


Figure 3.1: Levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019)

Nous avons représenté sur la zone les points de prélèvement de chaque sondage.

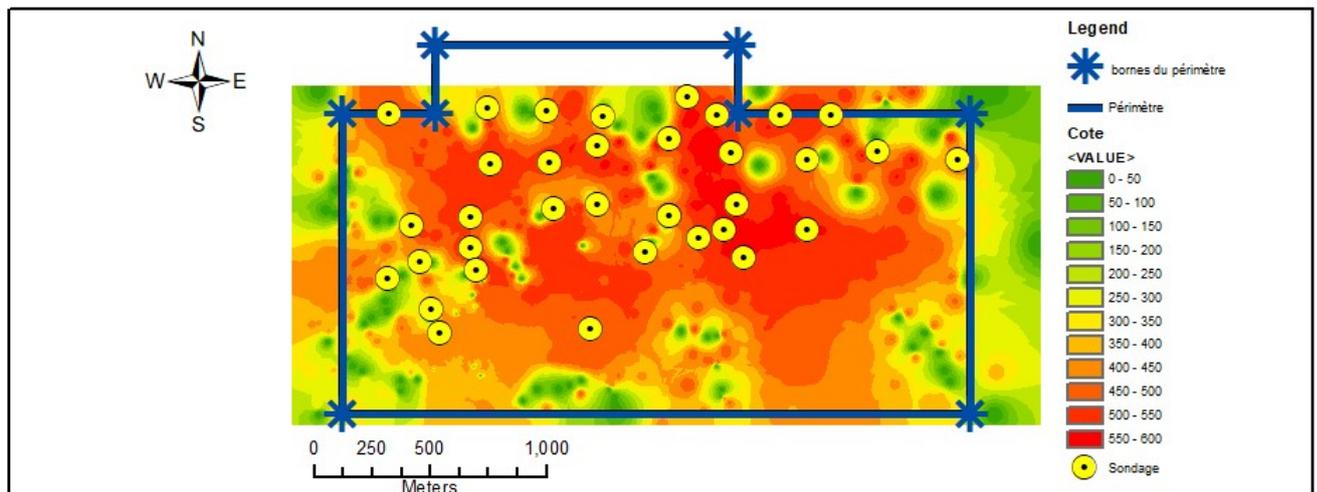


Figure 3.2: Positionnement des sondages sur levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019)

Les coupes topographiques sont représentées par des lignes distantes de 100 mètres les unes des autres. Elles se concentrent sur une seule zone délimitée par les droites  $x=748700$  et  $x=750000$ . Cette dernière uniquement fera le sujet des études à venir

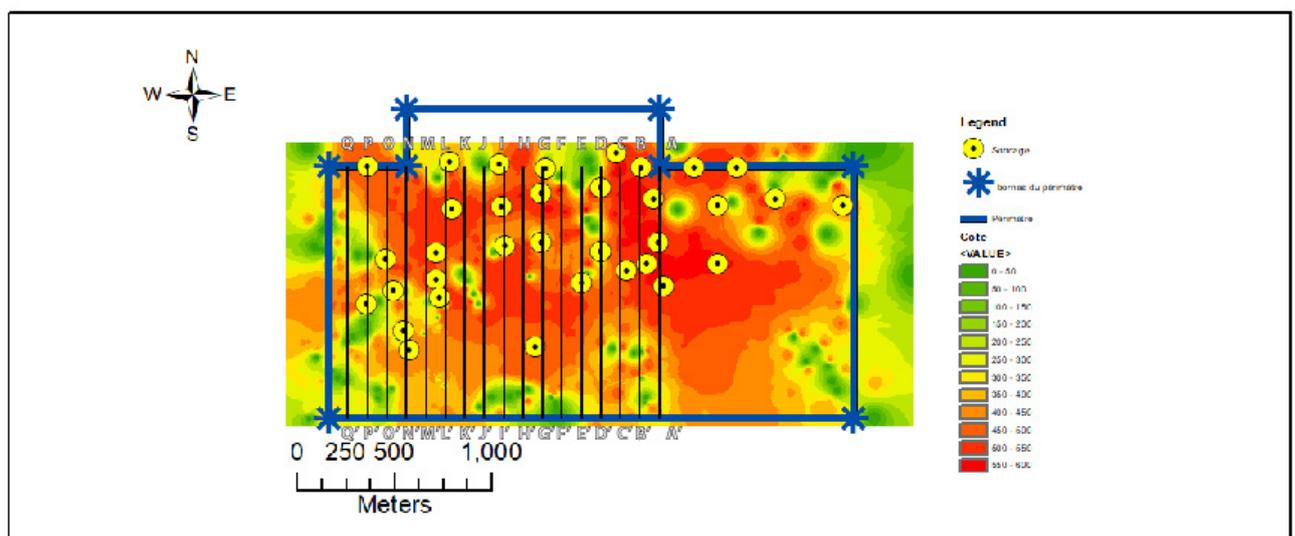


Figure 3.3: Lignes de coupes sur levé topographique mis sous un SIG (I.Serrai, 2019)

## 3.2 Conditions d'exploitation du gisement

Sur la base des résultats des sondages carottés réalisés, on a pu différencier trois types de roches calcaires, deux types de dolomies et un type de calcaires. Ces deux derniers faciès sont considérés comme stériles : Calcaire type 1 (haut titre) Teneur

en CaO Supérieure à 55% Calcaires Type 2 (Moyen titre) Teneur en CaO comprise entre 50 et 55% Calcaires à faible titre Teneur en CaO comprise entre 45 et 50% Dolomies stériles non utilisables MgO > 10% Calcaires dolomitiques 5% < MgO < 10% (à utiliser avec les calcaires à haut titre) Marnes et argiles marneuses MgO < 50% et CaO < 45% stériles.

les figures ci dessous nous illustrent les coupes géologiques transversales Nord-Sud effectuées au niveau du djbel Mohar sur les zones mentionnées dans la partie en haut , ces coupes géologiques ont été réalisées à partir des coupes topographiques transversales insérant les formations géologiques (Calcaires, dolomies, marnes et calcaires dolomitiques) découlant de l'analyse chimique des sondages carottés cités précédemment.

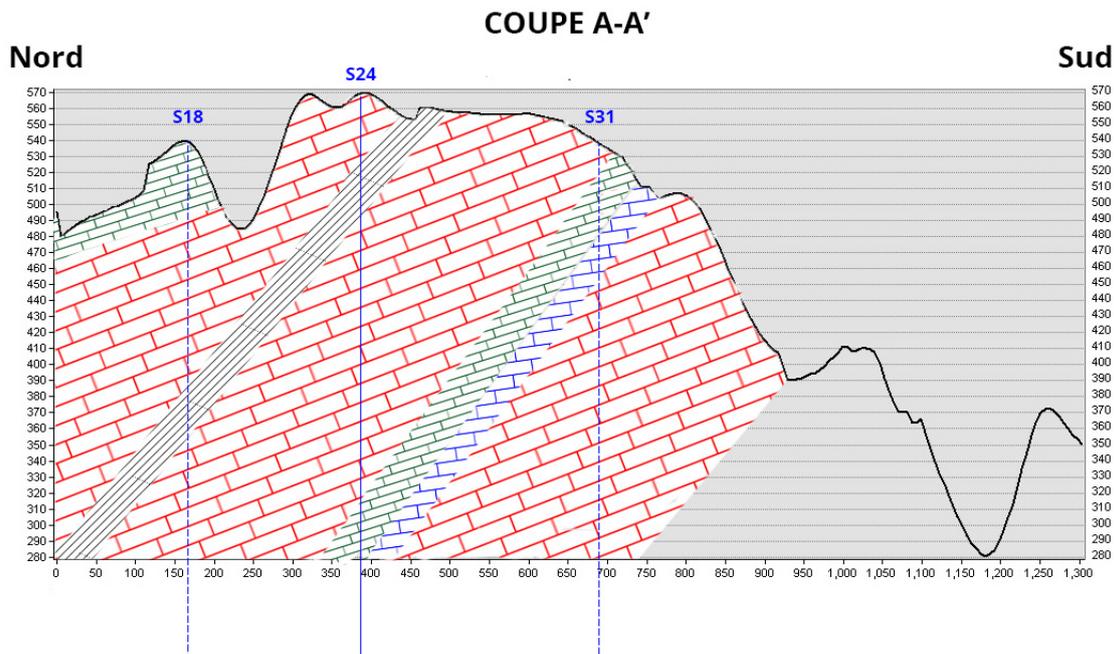


Figure 3.4: Coupe A-A' (I.Serrai, 2019)

On peut distinguer une quantité remarquable de calcaires HT (haut titre) dans deux couches distinctes , une couche assez épaisse de calcaires dolomitiques ainsi qu'un volume élevé de calcaires (Moyen titre) comparé à celui des dolomies stériles.

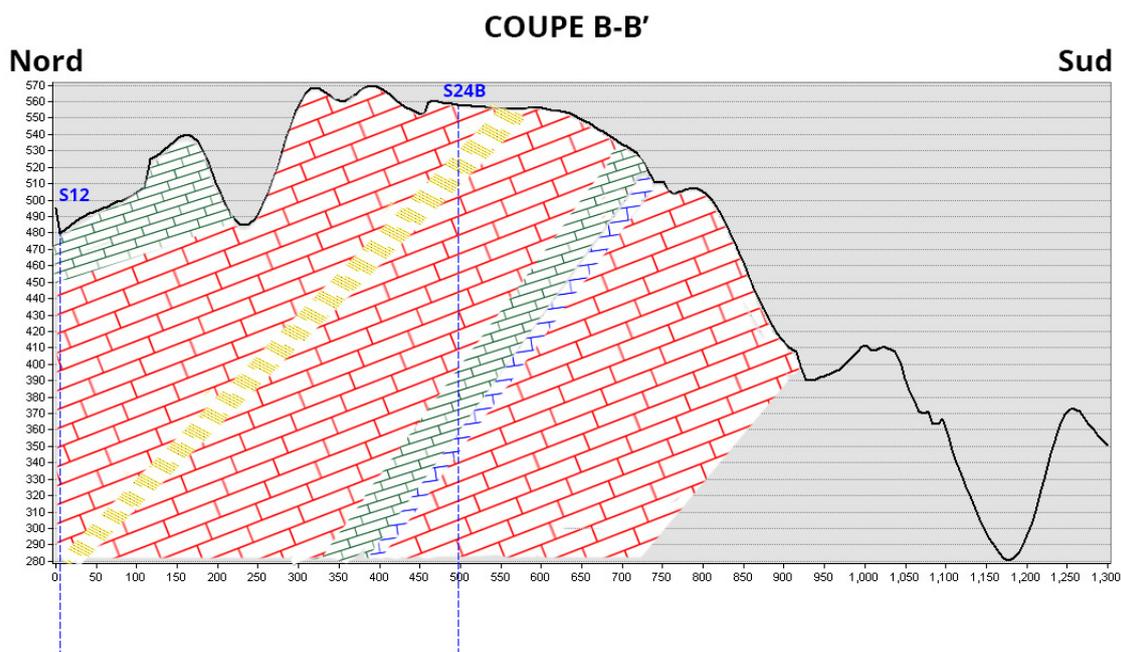


Figure 3.5: Coupe B-B' (I.Serrai, 2019)

On distingue la présence de grandes quantités de calcaires HT (haut titre) accompagnés de deux couches minces d'argiles marneuses et stériles. Ces quantités inexploitablement demeurent négligeables devant l'apport stratégique en calcaire présent

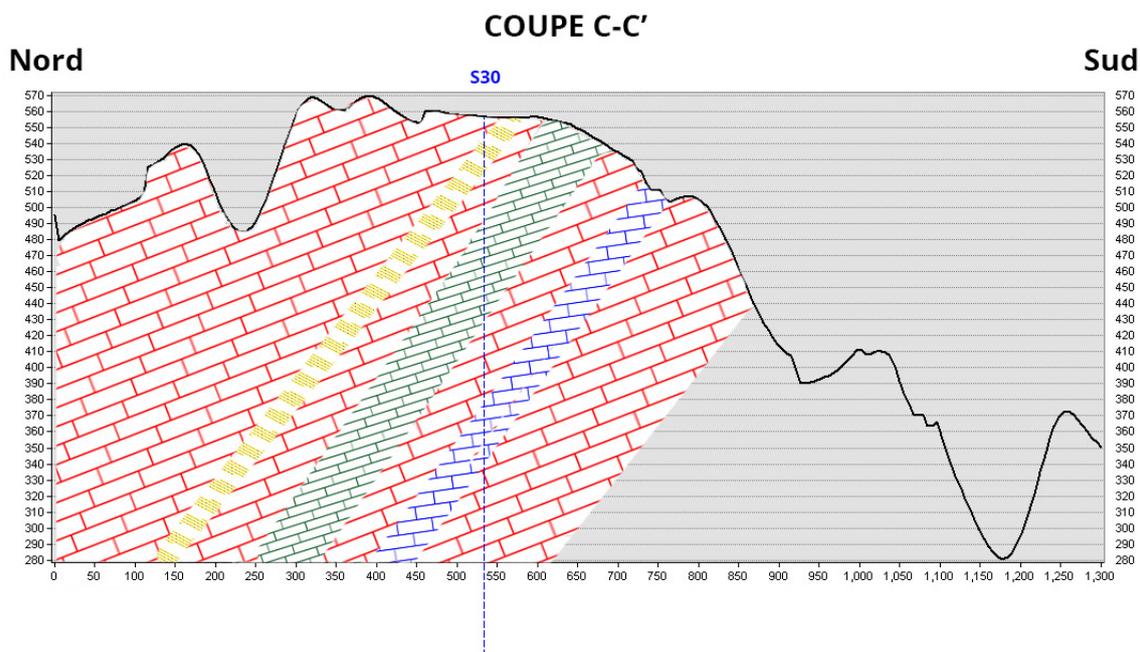


Figure 3.6: Coupe C-C' (I.Serrai, 2019)

Dans cette coupe-ci, on retrouve d'importantes quantités de calcaires et une grosse couche de calcaires HT malgré la présence d'une fine couche d'argiles

marneuses et stériles non exploitables.

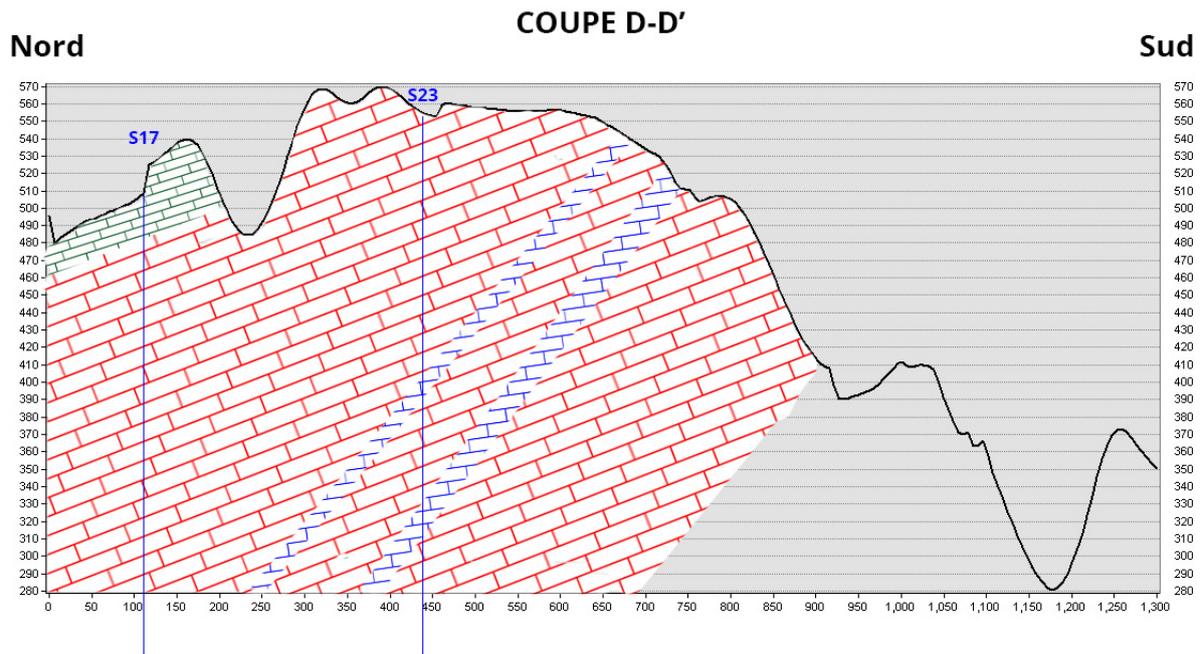


Figure 3.7: Coupe D-D' (I.Serrai, 2019)

Cette coupe-ci représente un véritable atout avec l'absence totale de calcaires dolomitiques et d'argiles marneuses. Un léger taux stérile reste tout de même présent mais négligeable devant l'important volume de calcaires de moyen titre.

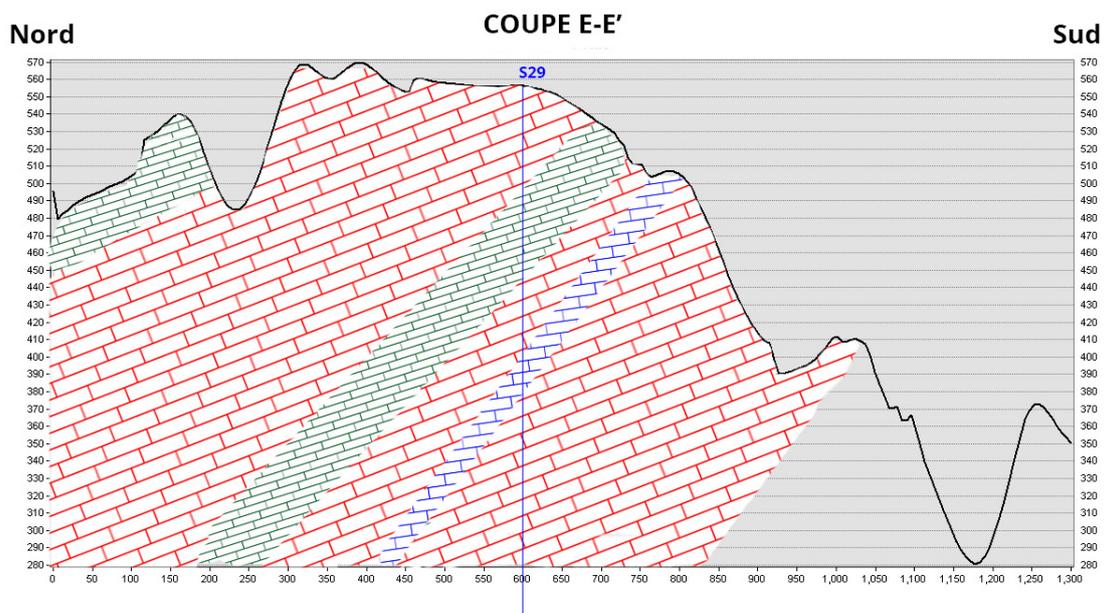


Figure 3.8: Coupe E-E' (I.Serrai, 2019)

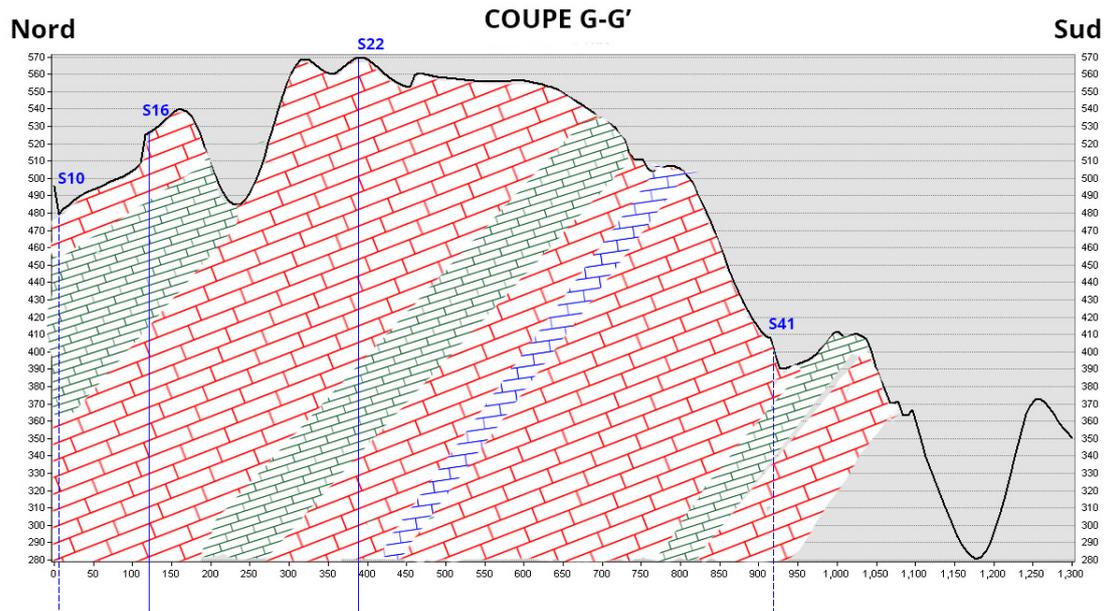


Figure 3.9: Coupe G-G' (I.Serrai, 2019)

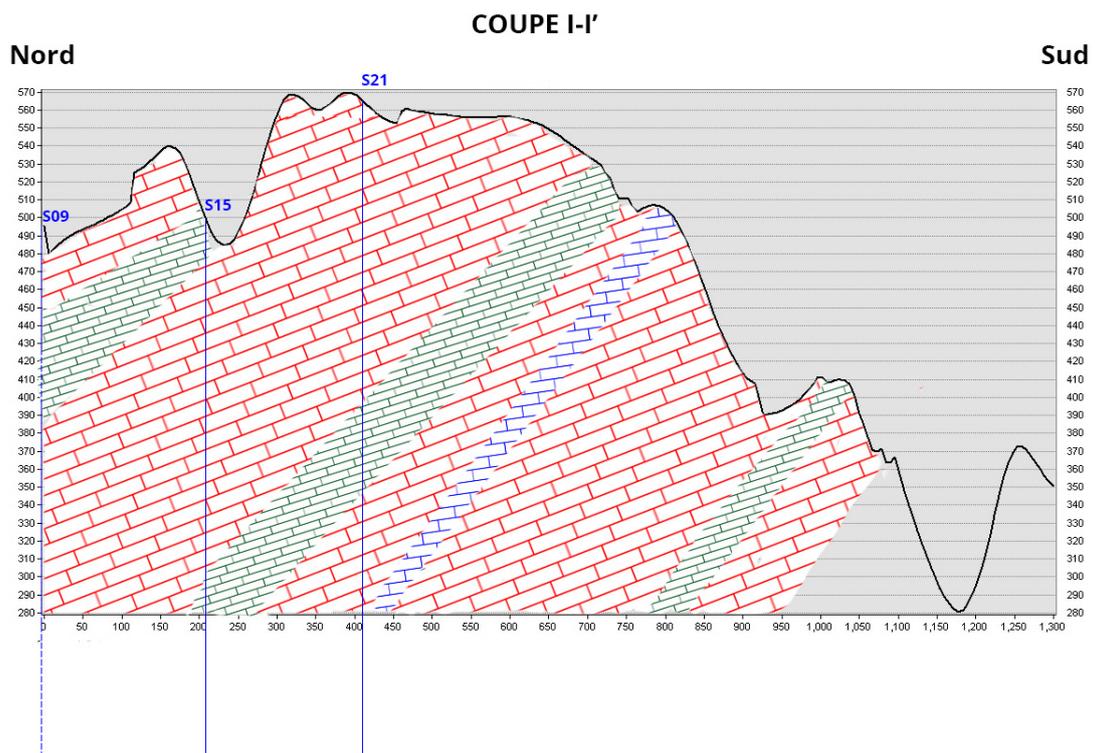


Figure 3.10: Coupe I-I' (I.Serrai, 2019)

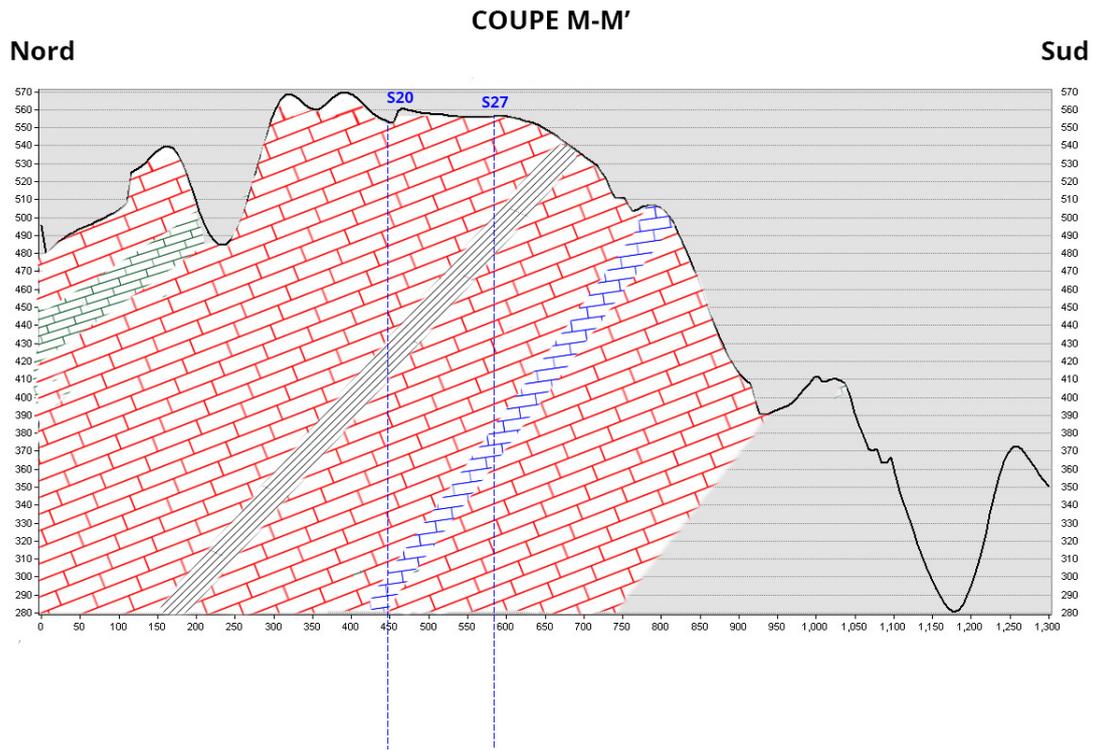


Figure 3.11: Coupe M-M' (I.Serrai, 2019)

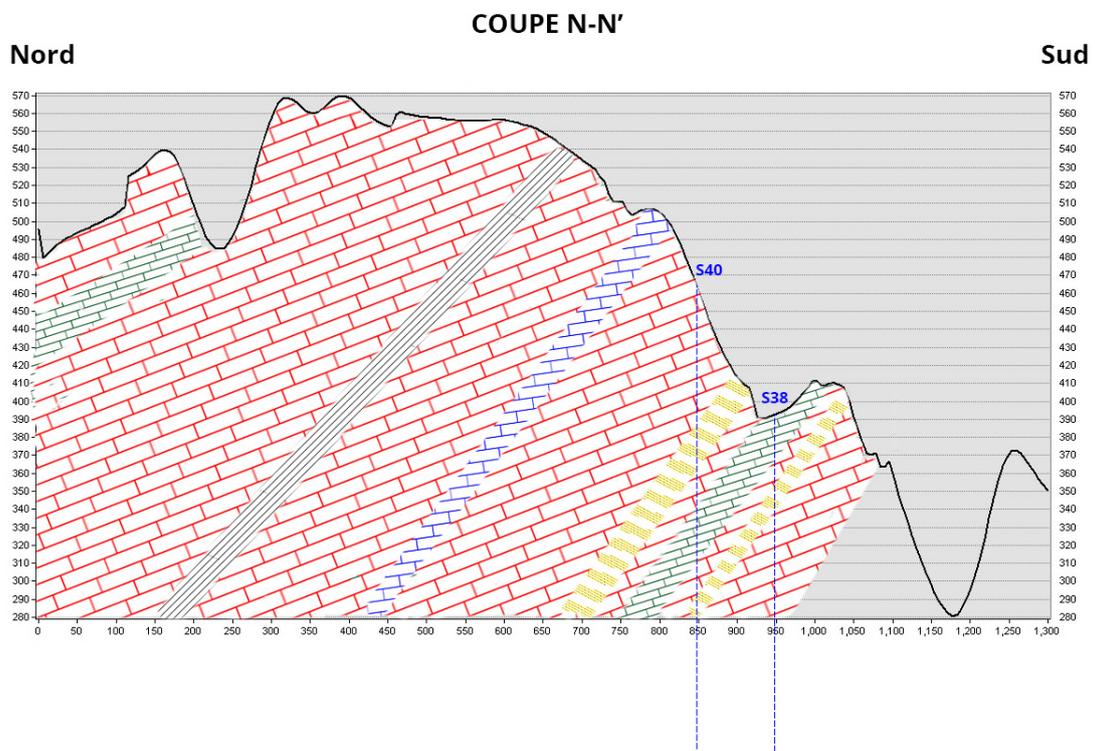


Figure 3.12: Coupe N-N' (I.Serrai, 2019)

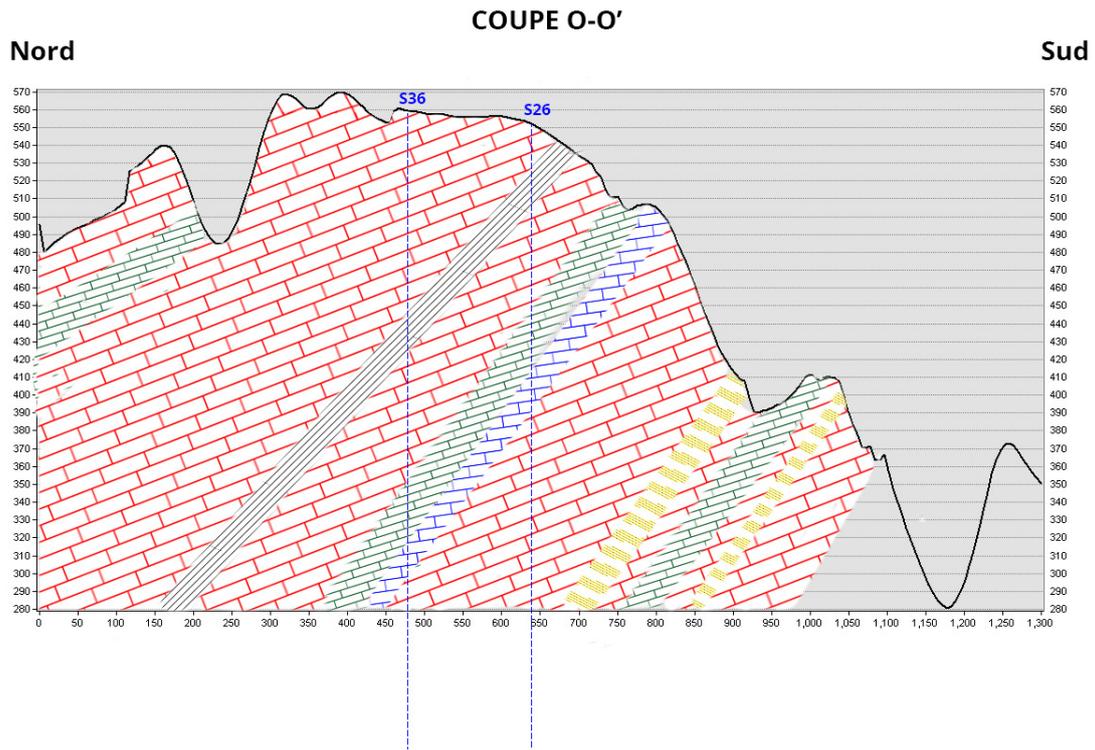


Figure 3.13: Coupe O-O' (I.Serrai, 2019)

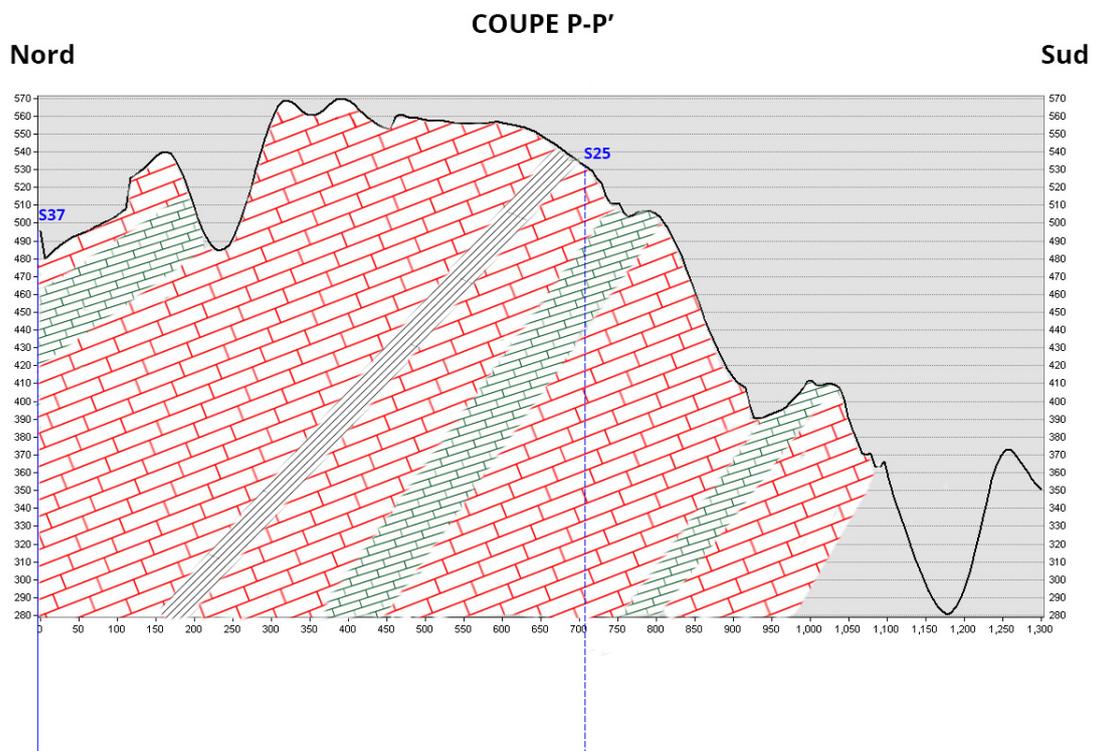


Figure 3.14: Coupe P-P' (I.Serrai, 2019)

# Légende

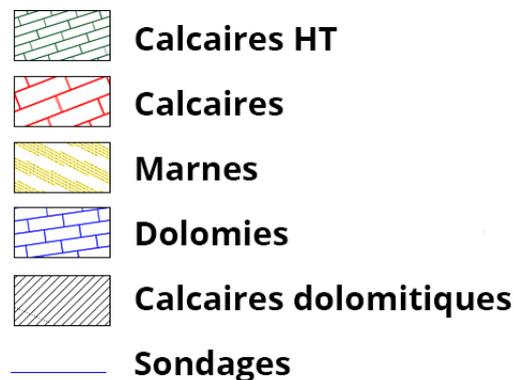


Figure 3.15: Légende des coupes

## 3.3 Réserves exploitables

L'étude des niveaux de la zone des calcaires a démontré que les ressources existantes sont suffisantes pour subvenir aux besoins de la cimenterie pour les 10 années à venir (pour une production annuelle maintenue à 6 000 000 tonnes de clinker).

Les figures montrées ci-dessous, représentent les cartes géologiques effectuées par niveau d'exploitation, en descendant 15m chacune dans la zone de Djbel Mohar, montrant clairement un contraste dans les formations géologiques présentes dans le gisement à exploiter. Ces cartes géologiques nous ont permis de faire les calculs de réserves exploitables détaillés dans les prochains paragraphes ; et qui par la suite s'avère essentiel pour estimer la durée de vie du gisement à exploiter jusqu'au niveau 520m.

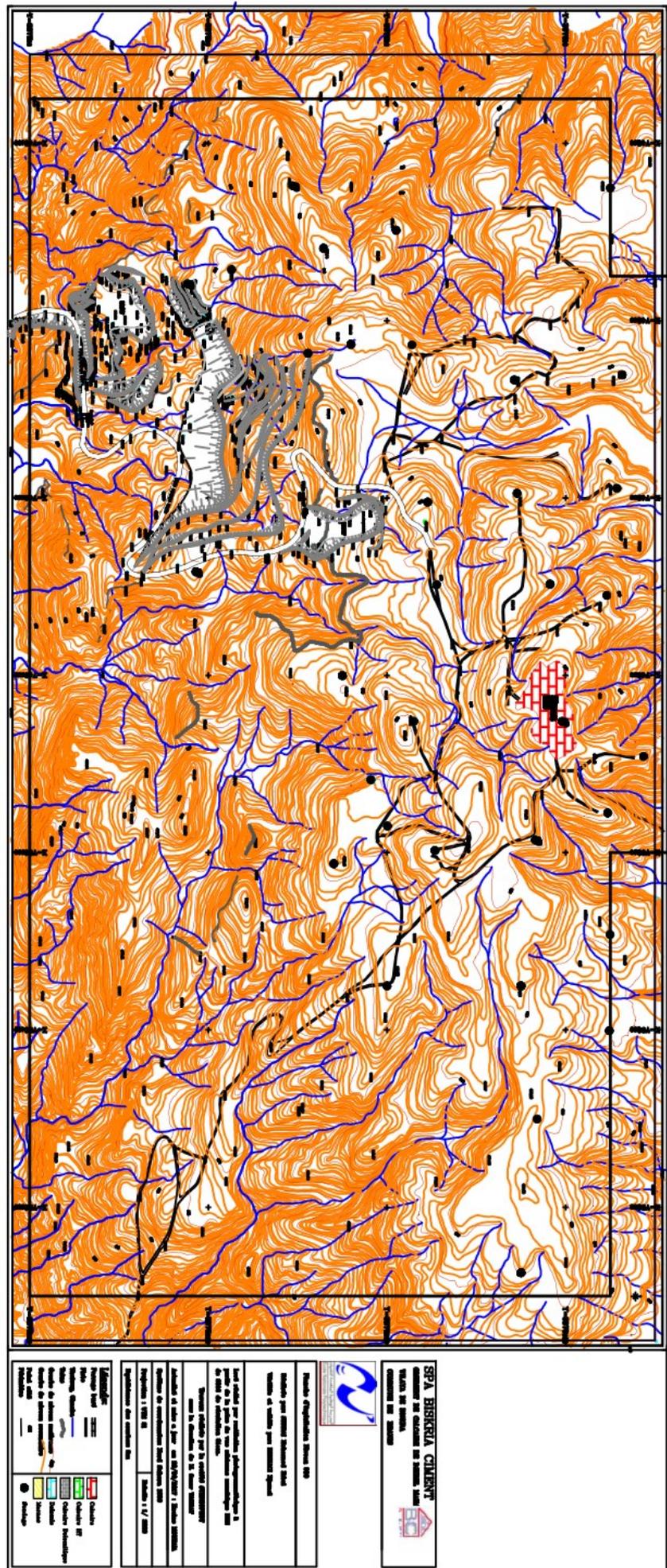


Figure 3.16: Planche d'exploitation Niveau 580, (I. Serrai, 2019)









### 3.3.1 Volumes des réserves exploitables

Le calcul des réserves exploitables a été effectué à l'intérieur des limites de la zone des calcaires (une superficie de 390 hectares), par la méthode des blocs par niveaux, sur la base du plan topographique à l'échelle 1/500. Il a résulté de ce calcul des volumes suivant les différentes couches calcaires comme suit :

- 2 771 019.32  $m^3$  de calcaires (HT) destinés à l'alimentation de la cimenterie, ce qui correspond à 7 204 650.23 tonnes.
- 34 233 497.26  $m^3$  de calcaires destinés à l'alimentation de la cimenterie, ce qui correspond à 89 007 092.88 tonnes
- 14 731.26  $m^3$  de calcaires dolomitiques destinés à l'alimentation de la cimenterie, ce qui correspond à 38 301.27 tonnes.

Ces réserves sont accompagnées de 2 204 746.53  $m^3$  de marnes argileuses et 1 172 230.64  $m^3$  de dolomies considérées comme stériles, ce qui représente un taux de découverte global de  $K_d = 9.12\%$ .

### 3.3.2 Durée de vie

Les réserves exploitables du mélange calcaires HT, calcaires et calcaires dolomitiques sont de l'ordre de 96 250 044.38 tonnes pour le ciment et assureront une durée de vie de la carrière d'approximativement 10 ans à raison de 8 800 000 tonnes par an ( $96\,250\,044.38 / 8\,800\,000 \approx 10$  ans). Nous noterons que cette durée de vie est suffisante pour un investissement de la taille d'une cimenterie conçue pour produire 6 000 000 tonnes de clinker. C'est donc grâce à l'extension réalisée vers le nord que nous avons pu subvenir aux besoins de la cimenterie.

Nous avons effectué un étude des réserves exploitables par niveau en fonction de leurs durée de vie, ce qui nous a permis d'identifier la durée de vie de chaque niveau ainsi que les pourcentages de calcaires HT, calcaires, calcaires dolomitiques et stériles. Le tableau ci-joint résume le résultats obtenus :

Table 3.1: Planification de l'extraction sur 10 ans (I. Serrai, 2019)

Niveau	Volumes (m3)						Tonnages			Durée de vie (mois)
	C (HT)	C	C-D	D	M	Kd	C (HT)	C	C-D	
580	0	44957.66	0	0	0	0	0	116889.916	0	0.16
566	109543.37	1435382.34	14731.26	0	0	0	284812.762	3731994.084	38301.276	5.53
550	580574.24	5748801.77	0	48632.53	96421.17	2.29%	1509493.024	14946884.6	0	22.44
536	770382.83	10172133.58	0	226319	667476.24	8.17%	2002995.358	26447547.31	0	38.80
520	1310518.88	16832221.91	0	897279.11	1440849.12	12.89%	3407349.088	43763776.97	0	64.32
Total	2771019.32	34233497.26	14731.26	1172230.64	2204746.53	9.12%	7204650.232	89007092.88	38301.276	131.25

## 3.4 Stabilité des talus

L'exploitation et le développement des travaux de la carrière de calcaires de Djbel Mohar dans la wilaya de Biskra pourrait constituer un risque non négligeable d'instabilité des talus de la carrière. Pour cette raison, la présente étude de stabilité des talus de la carrière est faite, afin de déterminer les différents paramètres qui sont en relation directe avec la stabilité totale du talus. Par ailleurs, l'exploitation du gisement sera caractérisée par un développement quatre (4) niveaux d'exploitation de 15 m de hauteur, du niveau 580 m au niveau de base 520 m, avec des banquettes de 5 m et un angle du talus des gradins de  $85^\circ$ . Ainsi l'objectif de l'étude est de mesurer et de faire ressortir les risques de glissement à moyen et à long terme.[4]

### 3.4.1 Rappel des modes de rupture potentiels

Quatre modes de rupture importants peuvent se produire dans une exploitation à ciel ouvert. Il est fondamental lors de l'étude de stabilité de comprendre les mécanismes de ces modes de rupture et les conditions de leur occurrence afin de pouvoir mettre en œuvre un dimensionnement qui permet de les éviter.[4]

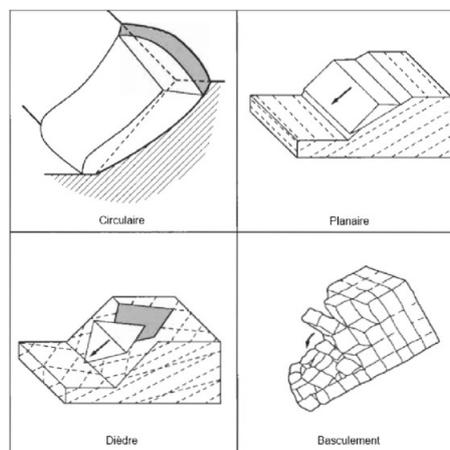


Figure 3.21: les quatre modes de ruptures circulaire, planaire, dièdre et par basculement

#### Rupture plane

Cette rupture se produit par glissement le long d'une discontinuité majeure (faille en particulier) ou d'une famille de fissures parallèle au talus et présentant une inclinaison défavorable dans le sens du talus.

C'est l'un des modes de rupture le plus dangereux surtout lorsqu'il se produit le

long d'une faille principale. Des volumes de roche importants peuvent être déplacés dans ce cas.

### **Rupture circulaire**

Cette rupture se produit dans un terrain homogène de faible résistance mécanique (faible cohésion). Le massif ne présentant pas de directions préférentielles de glissement, la rupture se fait par cisaillement du terrain le long d'une loupe de glissement (ligne circulaire).

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

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

### **Rupture de dièdres**

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

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

### **Rupture par basculement**

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

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

La rupture se produit par décollement des plaques et leur basculement. On verrait ainsi une dégradation progressive des gradins qui pourrait conduire à l'instabilité du talus.

Tous ces modes de rupture sont dus à des phénomènes de cisaillement : glissement le long des fissures (rupture plane, rupture de dièdres et rupture par basculement) ou cisaillement du terrain en l'absence de fissuration orientée (rupture circulaire).

A la lumière de ces conclusions, l'étude de stabilité d'une exploitation à ciel ouvert passe par une bonne caractérisation géotechnique du massif rocheux.

### 3.4.2 Etude de stabilité des talus d'une carrière

#### Positionnement du problème

Du point de vue de la stabilité, l'étude d'une exploitation à ciel ouvert se ramène au dimensionnement des talus de la fosse.

Une fosse possède plusieurs talus qui ont des orientations différentes et qui souvent rencontrent des terrains pouvant avoir des caractéristiques géotechniques différentes. Son dimensionnement consiste donc à définir les angles de ces talus de manière à assurer la stabilité générale.

Dans le cas du gisement de calcaire de Djbel Mohar, tous les talus sont construits dans des calcaires, de même formation et donc de caractéristiques géotechniques semblables.

Un talus minier est défini par les paramètres illustrés par la figure suivante.

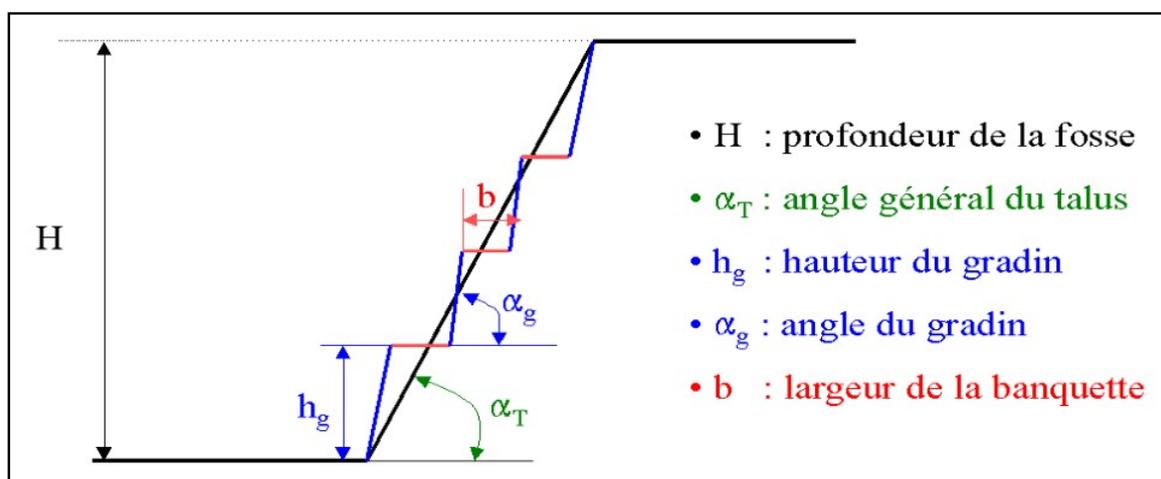


Figure 3.22: Paramètres d'un talus minier

Le dimensionnement d'un talus consiste tout d'abord à définir l'angle général pour la profondeur ultime de la fosse H. Une fois cet angle défini, les autres paramètres du talus (gradins, banquettes, rampe d'accès) seront choisis de manière à respecter l'angle général. Un gradin est analysé comme un talus de faible hauteur. Son angle est donc défini de la même façon qu'un talus. La hauteur du gradin  $h_g$  est déterminée en prenant en compte essentiellement des considérations techniques (équipements disponibles, critères de sélectivité, ...). La figure ci-dessus montre que pour un talus donné, il y a une relation géométrique entre la profondeur H, l'angle général, la hauteur  $h_g$ , l'angle et la largeur des banquettes (avec éventuellement la rampe).

La largeur des banquettes est généralement définie en dernier lieu. Elle doit permettre la circulation et le croisement des engins utilisés dans l'exploitation.

Le problème fondamental dans la stabilité d'une exploitation à ciel ouvert se ramène au dimensionnement des angles des talus.

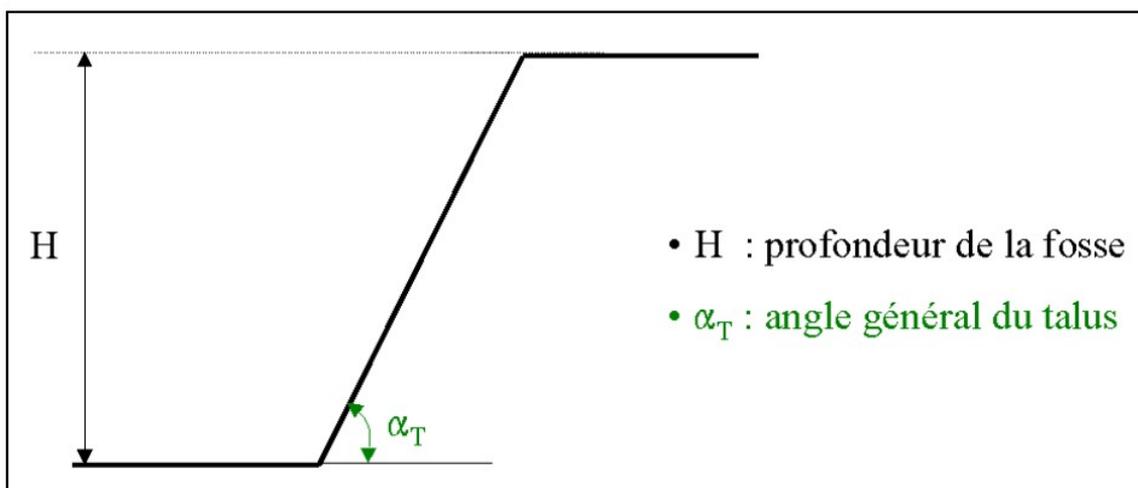


Figure 3.23: Angle général d'un talus

### Dimensionnement du talus et facteur de sécurité

**Considérations théoriques** : Le dimensionnement des talus dans une exploitation à ciel ouvert doit être effectué de manière à éviter tous les modes de rupture potentiels.

La profondeur ultime H de la fosse est une donnée généralement déterminée en fonction des données techniques et économiques. Partant de cette donnée, il s'agit de définir l'angle général du talus pour assurer la sécurité.

La résistance au cisaillement de la discontinuité est donnée par le critère de

Coulomb :

$$\theta_p = C + \phi_n \operatorname{tg}(\phi) \quad (3.1)$$

(une cohésion C est prise en compte dans ce cas).

L'étude de stabilité se ramène à l'établissement des équations d'équilibre le long de la ligne de glissement AC. La division des efforts par la surface cisailée en considérant une tranche unitaire conduit aux contraintes. Il y a cisaillement et glissement lorsque la contrainte active dépasse la résistance au cisaillement.

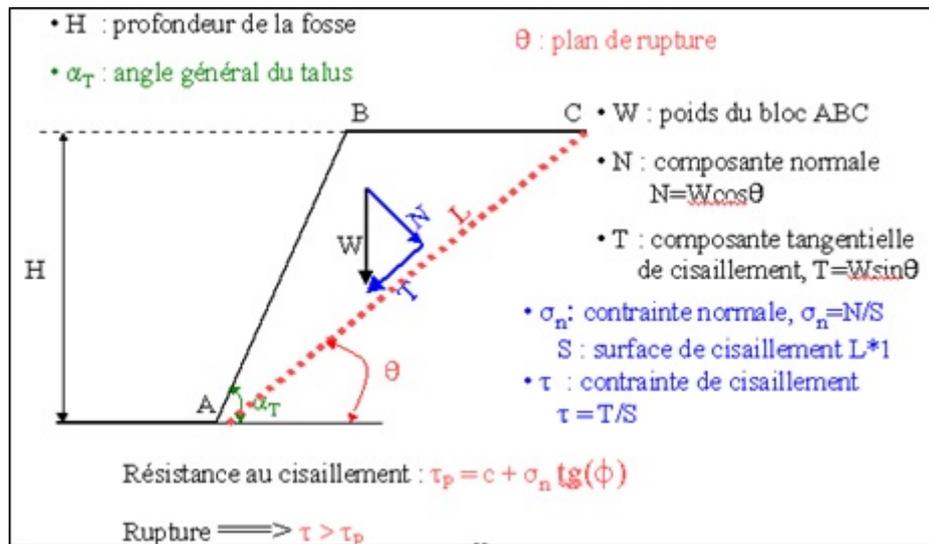


Figure 3.24: Équations d'équilibre le long de la discontinuité[4]

Le facteur de sécurité ( $F_s$ ) est défini comme étant le rapport entre les forces de résistance et les forces actives :

$$F_s = \frac{\sum_1^n \text{Forces de résistance}}{\sum_1^n \text{Forces actives}} \quad (3.2)$$

Appliqué à notre cas, l'expression du facteur de sécurité ci-dessus devient :

$$F_s = \frac{\tau_p}{\tau} = \frac{C + \sigma_n \operatorname{tg}(\phi)}{\tau} > 1 \quad (3.3)$$

Dans les exploitations à ciel ouvert, pour s'assurer d'une stabilité générale de la fosse le coefficient de sécurité  $F_s$  doit être supérieur à 1.5 soit  $F_s > 1.5$ . Si on remplace les différents paramètres du facteur de sécurité par leur valeur, on aboutit

à une valeur de  $F_s$  de :

$$F_s = \frac{tg(\phi)}{tg(\theta)} = \frac{2c}{\gamma H \sin^2 \theta \left( \frac{1}{tg(\theta)} - \frac{1}{tg(\alpha_T)} \right)} \quad (3.4)$$

**Considérations pratiques** Le dimensionnement des talus dans une exploitation à ciel ouvert doit être effectué de manière à éviter tous les modes de rupture potentiels.

Le projet d'exploitation de la carrière de Djbel Mohar a retenu une architecture minière de telle sorte à avoir une fosse de 60 m de profondeur du côté Nord et qui va en réduisant jusqu'à 15 m de profondeur à l'Est du périmètre. L'exploitation concernera 4 Niveaux de production de 580 m à 520 m du haut vers le bas avec un angle du talus des gradins de 85° et des banquettes de liquidation de 5 m. Ainsi la profondeur finale maximale de la fosse est de  $H = 60$  m. Les paramètres entrant dans la détermination du coefficient de stabilité sont :

**Pour un gradin de 15 m :**

Table 3.2: Paramètres de gradin

Paramètres	Un seul gradin
Angle du gradin	85°
Densité.	2,6
Angle de frottement	40°
Coefficient de cohésion C	20 Mp
Hauteur du gradin hg	15m

En faisant varier  $\theta$ ,  $F_s$  prend différentes valeurs qui sont représentées par la courbe ci-dessous et atteint un minimum de 3.029.

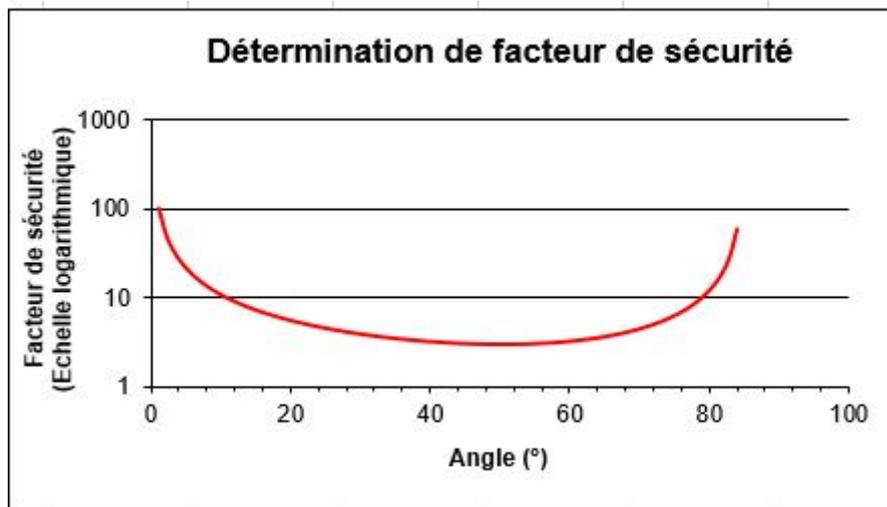


Figure 3.25: Facteur de sécurité d'un seul gradin

$$F_s = 3.029$$

Le facteur de sécurité  $F_s$  étant supérieur à 1.5 , la stabilité du gradin est assurée.

**Pour le talus final de la carrière :**

A l'épuisement de la carrière, la forme finale de la fosse est représenté par la figure ci-dessous

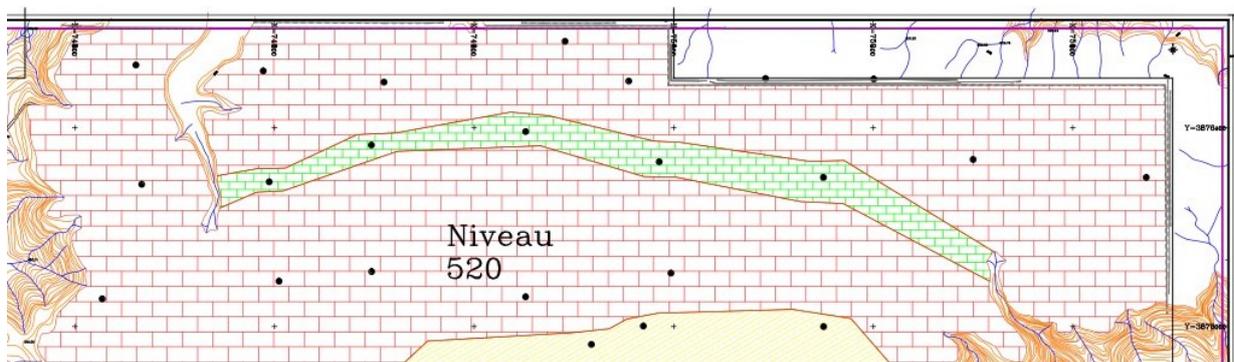


Figure 3.26: talus final de la carrière

Le talus final de la carrière est stable avec les paramètres suivants :

Table 3.3: Paramètres de talus final

Paramètres	Talus final Nord	Talus final Est
Nature	Calcaires	Calcaires
Densité.	2,6	2,6
Angle de frottement	40°	40°
Coefficient de cohésion c	20 Mp	20 Mp
Hauteur de la fosse H	45 m	30 m
Angle général du talus	72.3°	76°
Largeur de la banquette B	5 m	5 m

Les facteurs de sécurité  $F_s$  étant totalement supérieurs à 1,5 ; les talus finaux de la carrière sont effectivement stables.

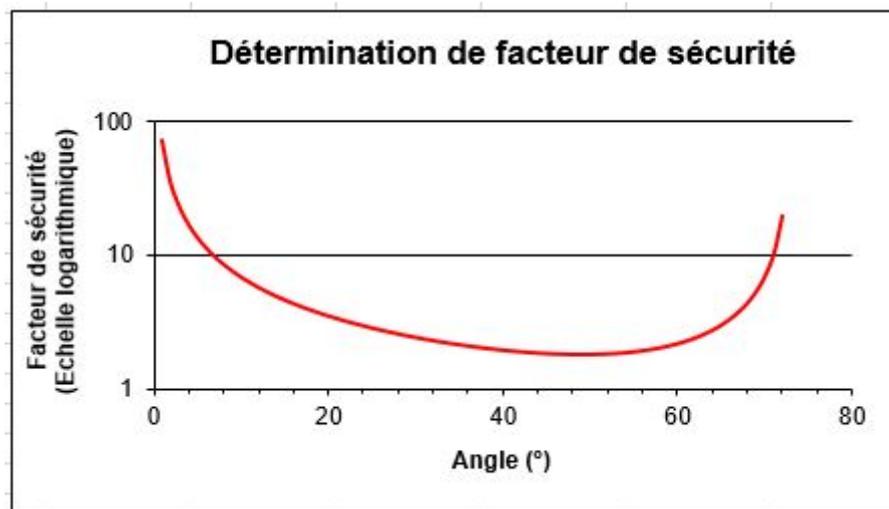


Figure 3.27: Facteur de sécurité du talus Nord (3 gradins)

$$F_s = 1.7945$$

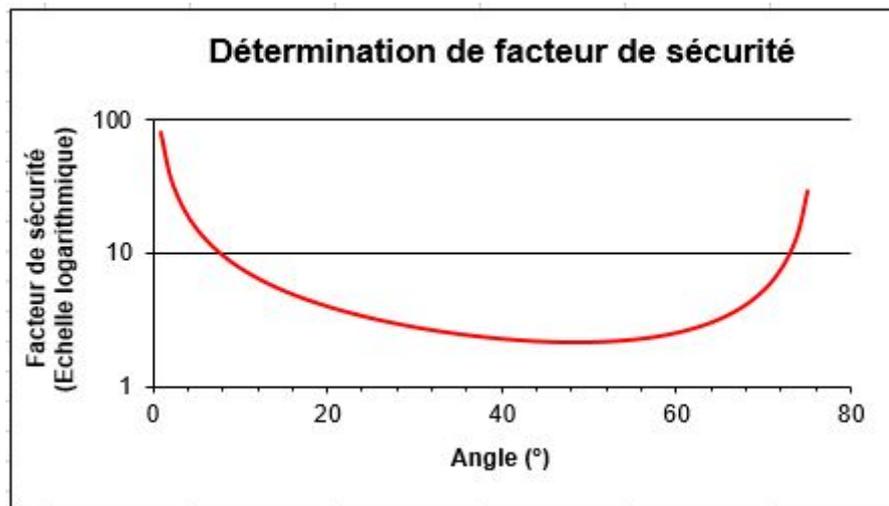


Figure 3.28: Facteur de sécurité du talus Est (2 gradins)

$$F_s = 2.18$$

En conclusion, l'architecture minière finale de la carrière de Djbel Mohar, exploitée par la Cimenterie Biskria, avec les paramètres indiqués ci-dessus, est stable ou à la limite de la stabilité suivant toutes les directions.

### 3.5 Patron de forage

Après le calcul des réserves et l'étude de stabilité on a constaté que pour assurer la production on recommande une exploitation du haut vers bas avec des gradins de 15 m de hauteur avec une banquette de 5m et une angle d'inclinaison de 85°. Ainsi, les mines seront chargées en continu sur toute la longueur du trou, avec du cordeau détonant sur lequel sera fixée la cartouche de base. Partant de l'hypothèse de quatre tirs par mois, les résultats de calcul du patron de forage sur 2 volées sont présentés dans le Tableau ci-après :

Table 3.4: Paramètres de tir par volée

Rubrique	Volée 1	Volée 2	Unité
Ligne de moindre résistance	4.4	4.4	m
Profondeur du sous forage	1.32	1.32	m
Profondeur du trou	17.14	17.14	m
Ligne de moindre résistance pratique	3.84	3.84	m
Espacement entre les trous de mines	4.79	4.79	m
Charge explosive de fond	6.3	6.3	Kg/m
Hauteur de charge de fond théorique	5.32	5.32	m
Poids de charge de fond	32.5	32.5	Kg
Charge explosive de colonne	11.4	11.4	Kg/m
Hauteur charge de colonne	8.1	8.1	m
Poids de charge de colonne	92.33	92.33	Kg
Hauteur de bourrage	3.84	3.84	m
Poids total d'explosif par trou	124.83	124.83	Kg
Consommation spécifique d'explosif	169	169	g/T
Quantité de roche abattue/trou	737	737	T
Nombre de trous/rangée	62	62	//
Nombre de rangées	4	4	//
Volume de roche abattue/volée	184,158	184,158	T
Nbre de cartouches théorique	13.3	13.3	//
Nbre de cartouches réel	13	13	//
Hauteur charge de fond réel	5.2	5.2	m

### 3.5.1 Mise à feu

La mise à feu sera au cordeau détonant (20 g/m) au moyen de détonateur électrique relié à une source d'énergie (exploseur).

### 3.5.2 Moyens de foration

Selon les études effectuées de rendement des engins miniers ,on constate q'un bulldozer, deux pelles hydrauliques et un brise roche sont largement suffisants pour les travaux préparatoires (traçage de piste, ouverture de gradins, aménagement des plates-formes de travail...) Pour la foration des trous de mine pour les travaux d'abattage, il existe déjà 5 sondeuses hydrauliques répartis comme suit :

- Quatre (04) Sondeuses hydraulique (FlexiROCD50)
- Sondeuse hydraulique (FlexiROC T35)

Avec un rendement de 16 trous/poste, on conclut que le matériel déjà existants est largement suffisant pour maintenir l'opération de foration.

### 3.5.3 Moyen de chargement

Le chargement des roches abattues sera assuré par des pelles chargeuses d'une capacité de godet de 7 m<sup>3</sup>. Le rendement de la chargeuse se calcule par la formule suivante :

$$R_{ch/p} = \frac{3600.V.T.K_r.K_u.\rho}{T_c.K_f}; Tonnes/poste$$

Où :

V : La capacité du godet de la chargeuse ; (m<sup>3</sup>) V= 7.2 m<sup>3</sup>

T : La durée d'un poste de travail ; (h)

K<sub>r</sub> : Le coefficient de remplissage du godet de la chargeuse

K - u : Le Coefficient d'utilisation de la chargeuse [85 ÷ 87%]

ρ : La masse volumique de la roche ;Tonne / m<sup>3</sup>

K<sub>f</sub> : Le coefficient de foisonnement

T<sub>c</sub> : Le temps de cycle de la chargeuse

$$R_{ch/p} = \frac{3600 \cdot 7.2 \cdot 80 \cdot 80 \cdot 852.6}{48.471.5} = 5042 \text{ Tonnes/poste}$$

Le nombre de chargeuses nécessaire pour assurer la production annuelle souhaitée est donné par la formule suivante :

$$N_{ch} = \frac{P_j.K_i}{R_{ch}} \text{ Où :}$$

P<sub>j</sub> : Production journalière

K<sub>i</sub> : Coefficient d'irrégularité de travail (varie entre 0.8 et 1.2 ; on prend 0.9)

R<sub>ch</sub> : Rendement de chargeuse durant un poste de travail

$$N_{ch} = \frac{20.7140.9}{5042} \approx 04$$

Quatre (04) pelles chargeuses seront nécessaires pour assurer le chargement quotidien.

### 3.5.4 Moyens de transport

Le transport devra assurer le déplacement de 24 444 tonnes/jour par des camions à benne de 70 tonnes de charge utile par la piste principale reliant la plate forme de réception à la trémie d'alimentation du concasseur primaire de la cimenterie, étant en charge en pente descendante et à vide en pente ascendante. Considérant un coefficient de remplissage de 0.9, le rendement de camion est de 824 tonnes/poste Pour un temps de cycle (Tc de 32 mn) pour l'alimentation du concasseur, on

a constaté d'après les calculs du rendement et du temps de cycle qu'il faut approximativement 22 camions , dans notre cas , la carrière de Djbel Mohar est équipée par 27 camions, ce qui est largement suffisant au cas de pannes ou/ et maintenances .

# **Chapitre 4**

## **Technologie du ciment et planification de l'homogénéisation**

Le clinker est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 75 % de calcaire (qui apporte le calcium), de 20 % d'alumino silicates (notamment des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium), de 5% de minerai de fer (qui apporte l'oxyde de fer) et le sable qui apporte la silice. La « farine » ou le « cru » est formée du mélange de poudre de calcaire, d'argile, de minerai de fer et du sable. Cette cuisson, la clinkérisation, se fait à une température d'environ 1 450 °C qui explique la forte consommation énergétique de ce processus.

## **4.1 Le ciment**

Le mot ciment vient du latin « caementum », qui signifie mortier ou liant des maçonneries. C'est un liant hydraulique, autrement dit une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Poudre minérale fine, il est obtenu par broyage et cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile. Les différents types de ciments correspondent à des applications spécifiques : la construction résidentielle, la construction d'ouvrages d'art, les travaux souterrains ou encore la réalisation de bétons soumis à des milieux agressifs.

### **4.1.1 les cinq types de ciment et leur composition**

On distingue cinq types de ciments, selon les constituants utilisés et leurs proportions.

Le Ciment Portland contient au minimum 95% de clinker et au maximum 5 % de constituants secondaires.

Les Ciments Portland

Le ciment de haut-fourneau de type A-B contient entre 20 et 64 % de clinker et 36 à 80 % de laitier de haut-fourneau. Le ciment de haut-fourneau de catégorie C contient quant à lui entre 5 et 19 % de clinker et au minimum 81 % de laitier.

Le ciment pouzzolanique est composé de 65 à 89 % de clinker dans sa version A et de 45 à 64 % dans sa version B..

Les ciments composés contiennent de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier de haut-fourneau.

D'autres éléments peuvent être ajoutés aux mélanges tels que : Fumée de silice,

Cendres volantes, Laitier de haut fourneau, Tuf, Pouzzolane

### 4.1.2 La chimie du ciment

Pour la fabrication du ciment, Le constituant principal du ciment classique et le clinker. Il est obtenu à partir de la cuisson à 1 450 °C du cru qui est composé à 80 % de calcaire et 20 % d'argile.

La communauté scientifique a créé une notation abrégée dite « notation cimentière » afin de désigner les différentes phases cimentières. Elle consiste à utiliser l'initiale des oxydes à la place des symboles chimiques classiques : C pour CaO (Chaux), S pour SiO<sub>2</sub> (silice), A pour Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumine), M pour MgO (Oxyde de magnésium ou périclase) et F pour Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hématite).

## 4.2 Les exigences industrielles

Des calculs de cru ont été réalisés suivant les différentes analyses chimiques des échantillons de sondages pour la phase calcaires, Les exigences industrielles sur les matières premières à ciments utilisées se focalisent essentiellement sur les éléments utiles (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et sur les éléments nocifs (MgO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup>, ...) affichées dans le tableau suivant :

Table 4.1: Les exigences industrielles sur les matières premières à ciments [5]

	Minimum	Maximum
PAF	0.2	1.1
SiO <sub>2</sub>	20	24.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.7	7.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.7	5.7
CaO	61	68.1
MgO	1.7	4
SO <sub>3</sub>	0.05	1.3
K <sub>2</sub> O	0.05	1.4
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.7
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.4
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	1.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.6
Cl	0	0.1
F	0.01	0.3
CaO libre	0.6	2.8
Module silicique	1.8	3.9
Module aluminoferrique	0.7	2.8
Indice de saturation	84.8	100.8

Les mélanges de crus ont donc été calculés en respectant ces exigences ainsi que les intervalles des différents paramètres technologiques suivants :

- - Le Coefficient de saturation de en chaux (KH) qui est calculé avec la formule suivante :

$$KH = \frac{CaO}{(2.8 \cdot SiO_2 + 1.2 \cdot Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3)}$$

- Le module silicique (MS) dont on le calcule avec :

$$MS = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

- Le module alumino-ferrique (MAF) avec :

$$MF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Les limites de ces facteurs sont affichées dans le tableau ci-dessous :

Table 4.2: Les limites de facteurs de clinker [5]

Inférieur ou égal	Plage de variation acceptable	Supérieur ou égal
0.85	Indice de saturation	0.95
1.5	Module silicique	3.5
1.5	Module aluminoferrique	2.5

Nous réalisons des mélanges des différents types de calcaires en respectant des pourcentages bien définis des éléments cités ci-haut. Un plan d'avancement d'exploitation est mis en place en respectant les pourcentages de ces mélanges (calcaires , calcaires dolomitiques, calcaire HT, Dolomies) afin de minimiser les pertes en stériles.

### 4.3 Préhomogénéisation des calcaires

Le mélange de calcaires est effectué dans le hall de préhomogénéisation où on obtient le mélange homogène de calcaires HT, calcaires, calcaire dolomitiques, dolomies et marnes en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide de roue-pelle ou chargeuse sur pneus.

**Niveau 580 m :**

— Exploitation de 44957.66 m3 de Calcaire HT soit 116889.916 tonnes.

Table 4.3: Teneurs moyennes des formations géologiques de niveau 580

Niveau	formation	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	Cl	PAF
580	Calcaire	2,04	0,47	0,36	48,98	4,04	0,08	0,09	0,13	0,03	0,02	0.03	43,40

**Niveau 566 m :**

- Exploitation de 109543.37 m3 de calcaires HT soit 284812.762 tonnes.
- Exploitation de 1435382.34 m3 de calcaires soit 3731994.084 tonnes.
- Exploitation de 14731.26 m3 de calcaires dolomitiques soit 38301.276 tonnes.

Table 4.4: Teneurs moyennes des formations géologiques de niveau 566

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	Cl	PAF
Calcaire HT	0,64	0,17	0,07	55,35	0,58	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	6	43,00
Calcaire	2,50	0,29	0,38	48,70	3,77	0,09	0,13	0,11	0,02	0,04	12	43,75
Calcaire dolomitique	3,37	0,69	0,61	45,66	6,49	0,14	0,01	0,12	0,04	0,04	17	42,78

Les pourcentages de mélange est affiché dans le tableau suivant :

Table 4.5: Mélange des couches géologiques de niveau 566

Teneur moy proportions	Calcaire	Calcaire HT	Calcaire Dolomitique	Dolomies	Marnes	Mélange
SiO2	2.50%	0.64%	3.37%			2.38%
Al2O3	0.29%	0.17%	0.69%			0.29%
Fe2O3	0.38%	0.07%	0.61%			0.36%
CaO	48.70%	55.35%	45.66%			49.13%
MgO	3.77%	0.58%	6.49%			3.57%
SO3	0.09%	0.02%	0.14%			0.09%
K2O	0.13%	0.07%	0.01%			0.12%
Na2O	0.11%	0.03%	0.12%			0.10%
P2O5	0.02%	0.02%	0.04%			0.02%
TiO2	0.04%	0.02%	0.04%			0.04%
Cl	0.12%	0.60%	0.17%			0.15%
PAF	43.75%	43.00%	42.78%			43.68%
Total	99.90%	100.57%	100.12%	0.00%	0.00%	99.94%

Après avoir faire les mélanges pour chaque niveau, on doit calculer les proportions entre les réserves qui se trouvent Niveaux 580 et 566 d'exploitation.

Table 4.6: Proportions des réserves dans les niveaux 580 et 566

Niveaux 580 + 566	Niv 580	Niv 566	Total deux NIV	Proportions
Calcaire HT	116890	284813	401703	55,42%
Calcaire		284813	284813	39,29%
Calcaire D		38301	38301	5,28%
Dolomie				0,00%
Marne				0,00%
		Total	724817	

**Niveau 550 m :**

- Exploitation de 580574.24 m3 de calcaires HT soit 1509493.024 tonnes.
- Exploitation de 48632.53 m3 de dolomies.
- Exploitation de 96421.17 m3 de marnes.

Table 4.7: Teneurs moyennes des formations géologiques de niveau 550

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	Cl	PAF
Calcaire HT	0,15	0,08	0,05	55,66	0,45	0,01	0,09	0,03	0,02	0,02	4	43,25
Calcaire	1,79	0,53	0,14	52,03	2,15	0,07	0,08	0,04	0,04	0,10	5	43,07
Dolomies	1.46	0.49	0.29	45.2	7.59	0.08	0.07	0.07	0.03	0.05	0.001	44.59
Marnes	5.69	1.7	0.59	41.12	1.73	0.2	0.11	0.05	0.11	14.12	0.035	34.61

Table 4.8: Mélange des couches géologiques de niveau 550

Teneur moy	Calcaire	Calcaire HT	Calcaire Dolomitique	Dolomies	Marnes	Mélange
	88.79%	8.97%	0.00%	0.75%	1.49%	100.00%
SiO2	1.79%	0.15%		1.46%	5.69%	1.70%
Al2O3	0.53%	0.08%		0.49%	1.70%	0.51%
Fe2O3	0.14%	0.05%		0.29%	0.59%	0.14%
CaO	52.03%	55.66%		45.20%	41.12%	52.14%
MgO	2.15%	0.45%		7.59%	1.73%	2.03%
SO3	0.07%	0.01%		0.08%	0.20%	0.07%
K2O	0.08%	0.09%		0.07%	0.11%	0.08%
Na2O	0.04%	0.03%		0.07%	0.05%	0.04%
P2O5	0.04%	0.02%		0.03%	0.11%	0.04%
TiO2	0.10%	0.02%		0.05%	14.12%	0.30%
Cl	0.05%	0.04%		0.01%	0.04%	0.05%
PAF	43.07%	43.25%		44.59%	34.61%	42.97%
Total	100.09%	99.85%		99.93%	100.07%	100.07%

**Niveau 536 m :**

- Exploitation de 770382.83 m3 de Calcaires HT soit 2002995.358 tonnes.
- Exploitation de 10172133.58 m3 de calcaires soit 26447547.31 tonnes.
- Exploitation de 226319 m3 de dolomies.
- Exploitation de 667476.24 m3 de marnes.

Table 4.9: Teneurs moyennes des formations géologiques de niveau 536

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	Cl	PAF
Calcaire HT	0,30	0,17	0,10	55,22	0,60	0,01	0,09	0,04	0,02	0,04	5	43,37
Calcaire	0,96	0,53	0,21	53,29	1,10	0,06	0,10	0,07	0,03	0,02	15	43,41
Dolomies	9.48	0.92	0.21	35.47	12.01	0.08	0.1	0.04	0.05	0.05	0.025	41.48
Marnes	28,8	7,62	3,3	28,5	3,2	<0,05	1,1	0,26	0,12	0,5	0,01	26,64

Table 4.10: Mélange des couches géologiques de niveau 536

Teneur moy	Calcaire	Calcaire HT	Calcaire Dolomitique	Dolomies	Marnes	Mélange
	85.94%	6.51%	0.00%	1.91%	5.64%	100.00%
SiO2	0.96%	0.30%		9.48%	28.80%	2.65%
Al2O3	0.53%	0.17%		0.92%	7.62%	0.91%
Fe2O3	0.21%	0.10%		0.21%	3.30%	0.38%
CaO	53.29%	55.22%		35.47%	28.50%	51.68%
MgO	1.10%	0.60%		12.01%	3.20%	1.39%
SO3	0.06%	0.01%		0.08%	0.05%	0.06%
K2O	0.10%	0.09%		0.10%	1.10%	0.16%
Na2O	0.07%	0.04%		0.04%	0.26%	0.08%
P2O5	0.03%	0.02%		0.05%	0.12%	0.03%
TiO2	0.02%	0.04%		0.05%	0.50%	0.05%
Cl	0.15%	0.01%		0.03%	0.01%	0.13%
PAF	43.41%	43.37%		41.48%	26.64%	42.42%
Total	99.93%	99.97%		99.92%	100.10%	99.94%

### Niveau 520 m :

- Exploitation de 1310518.88 m3 de calcaires HT soit 3407349.088 tonnes.
- Exploitation de 16832221.91 m3 de calcaires soit 43763776.97 tonnes.
- Exploitation de 897279.11 m3 de dolomies.
- Exploitation de 1440849.12 m3 de marnes.

Table 4.11: Teneurs moyens des formations géologiques de niveau 520

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	Cl	PAF
Calcaire HT	0,21	0,11	0,05	55,88	0,33	0,01	0,06	0,02	0,02	0,03	6	43,29
Calcaire	2,02	0,64	0,29	49,58	3,61	0,10	0,13	0,09	0,04	0,04	15	43,29
Dolomies	3,46	0,36	0,12	41,7	9,97	0,03	0,09	0,05	0,02	0,05	0,018	44,04
Marnes	34,75	10,77	4,91	22,68	2,1	0,84	0,56	0,28	0,62	1,42	0,022	21,21

Table 4.12: Mélange des couches géologiques de niveau 520

Teneur moy	Calcaire	Calcaire HT	Calcaire Dolomitique	Dolomies	Marnes	Mélange
	84.18%	11.40%	0.00%	2.38%	2.04%	100.00%
SiO2	2.02%	0.21%		3.46%	34.75%	2.52%
Al2O3	0.64%	0.11%		0.36%	10.77%	0.78%
Fe2O3	0.29%	0.05%		0.12%	4.91%	0.35%
CaO	49.58%	55.88%		41.70%	22.68%	49.56%
MgO	3.61%	0.33%		9.97%	2.10%	3.36%
SO3	0.10%	0.01%		0.03%	0.84%	0.10%
K2O	0.13%	0.06%		0.09%	0.56%	0.13%
Na2O	0.09%	0.02%		0.05%	0.28%	0.08%
P2O5	0.04%	0.02%		0.02%	0.62%	0.05%
TiO2	0.04%	0.03%		0.05%	1.42%	0.07%
Cl	0.02%	0.01%		0.02%	0.02%	0.01%
PAF	43.29%	43.29%		44.04%	21.21%	42.86%
Total	99.85%	100.02%		99.91%	100.16%	99.87%

## 4.4 Calcul des mélanges cru

Dans cette partie on va calculer les proportions (Calcaire, Argile, Fer et Sable) dans le but d'obtenir un mélange cru bien équilibré tout en respectant les exigences industrielles préalablement citées.

**pour le Niveau 580 m :**

Table 4.13: Mélange de cru pour le niveau 580

Cru1	Calcaire	Argile FLS	Fer FLS	Sable FLS	Cru 1	Clinker 1
SiO <sub>2</sub>	2.04%	41.58%	7.01%	97.85%	14.05%	22.20%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47%	12.34%	2.94%	0.66%	2.76%	4.37%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.36%	5.04%	72.93%	0.45%	1.41%	2.22%
CaO	48.98%	16.32%	1.02%	0.50%	40.38%	63.81%
MgO	4.04%	2.93%	0.52%	0.00%	3.63%	5.74%
SO <sub>3</sub>	0.08%	1.09%	0.00%	0.00%	0.27%	0.43%
K <sub>2</sub> O	0.09%	2.14%	0.11%	0.25%	0.49%	0.78%
Na <sub>2</sub> O	0.13%	0.11%	0.20%	0.00%	0.12%	0.19%
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03%	0.04%	0.92%	0.01%	0.03%	0.05%
TiO <sub>2</sub>	0.02%	0.62%	0.13%	0.06%	0.14%	0.22%
Cl	0.30%	0.03%	0.00%	0.00%	0.23%	
PAF	43.40%	17.36%	11.48%	0.59%	36.37%	
TOTAL	99.94%	99.60%	97.26%	100.37%	99.89%	
%	76.00%	19.20%	0.20%	4.60%	100.00%	
KH	7.52	0.12	0.01	0	0.93	0.93
MS	2.46	2.39	0.09	88.15	3.37	3.37
MA	1.31	2.45	0.04	1.47	1.96	1.96

On a constaté que les paramètres de clinker sont dans les normes, par contre la quantité de MgO a légèrement dépassé la limite.

**pour le Niveau 566 m :**

Table 4.14: Mélange de cru pour le niveau 566

Cru2	Calcaire	Argile FLS	Fer FLS	Sable FLS	Cru 2	Clinker 2
SiO2	2.38%	41.58%	7.01%	97.85%	13.38%	21.25%
Al2O3	0.29%	12.34%	2.94%	0.66%	2.75%	4.37%
Fe2O3	0.36%	5.04%	72.93%	0.45%	1.74%	2.77%
CaO	49.13%	16.32%	1.02%	0.50%	40.66%	64.59%
MgO	3.57%	2.93%	0.52%	0.00%	3.31%	5.26%
SO3	0.09%	1.09%	0.00%	0.00%	0.29%	0.45%
K2O	0.12%	2.14%	0.11%	0.25%	0.54%	0.85%
Na2O	0.10%	0.11%	0.20%	0.00%	0.10%	0.16%
Mn2O3	0.02%	0.04%	0.92%	0.01%	0.03%	0.05%
TiO2	0.04%	0.62%	0.13%	0.06%	0.16%	0.25%
Cl	0.15%	0.03%	0.00%	0.00%	0.12%	
PAF	43.68%	17.36%	11.48%	0.59%	36.79%	
TOTAL	99.94%	99.60%	97.26%	100.37%	99.87%	
%	76.00%	20.20%	0.60%	3.20%	100.00%	
KH	6.79	0.12	0.01	0	0.97	0.97
MS	3.68	2.39	0.09	88.15	2.98	2.98
MA	0.79	2.45	0.04	1.47	1.58	1.58

Le mélange cru à réaliser à partir des réserves de ce niveau est normalisé et respecte les exigences industrielles.

**pour le Niveau 550 m :**

Table 4.15: Mélange de cru pour le niveau 550

Cru3	Calcaire	Argile FLS	Fer FLS	Sable FLS		Cru 3	Clinker 3
SiO <sub>2</sub>	1.70%	41.58%	7.01%	97.85%		14.32%	22.28%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51%	12.34%	2.94%	0.66%		2.78%	4.33%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14%	5.04%	72.93%	0.45%		1.67%	2.60%
CaO	52.14%	16.32%	1.02%	0.50%		42.24%	65.71%
MgO	2.03%	2.93%	0.52%	0.00%		2.08%	3.24%
SO <sub>3</sub>	0.07%	1.09%	0.00%	0.00%		0.26%	0.40%
K <sub>2</sub> O	0.08%	2.14%	0.11%	0.25%		0.48%	0.75%
Na <sub>2</sub> O	0.04%	0.11%	0.20%	0.00%		0.05%	0.08%
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04%	0.04%	0.92%	0.01%		0.04%	0.07%
TiO <sub>2</sub>	0.30%	0.62%	0.13%	0.06%		0.35%	0.54%
Cl	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%		0.04%	
PAF	42.97%	17.36%	11.48%	0.59%		35.65%	
TOTAL	100.07%	99.60%	97.26%	100.37%		99.97%	
%	75.00%	19.00%	0.80%	5.20%		100.00%	
KH	9.56	0.12	0.01	0		0.95	0.95
MS	2.63	2.39	0.09	88.15		3.22	3.22
MA	3.63	2.45	0.04	1.47		1.67	1.67

Le pourcentage de MgO dans ce mélange cru est normalisé comme les autres facteurs de clinker.

**pour le Niveau 536 m :**

Table 4.16: Mélange de cru pour le niveau 536

Cru4	Calcaire	Argile FLS	Fer FLS	Sable FLS	Cru 4	Clinker 4
SiO2	2.65%	41.58%	7.01%	97.85%	14.25%	22.26%
Al2O3	0.91%	12.34%	2.94%	0.66%	2.86%	4.47%
Fe2O3	0.38%	5.04%	72.93%	0.45%	1.75%	2.74%
CaO	51.68%	16.32%	1.02%	0.50%	42.60%	66.52%
MgO	1.39%	2.93%	0.52%	0.00%	1.58%	2.46%
SO3	0.06%	1.09%	0.00%	0.00%	0.23%	0.36%
K2O	0.16%	2.14%	0.11%	0.25%	0.50%	0.78%
Na2O	0.08%	0.11%	0.20%	0.00%	0.08%	0.13%
Mn2O3	0.03%	0.04%	0.92%	0.01%	0.04%	0.06%
TiO2	0.05%	0.62%	0.13%	0.06%	0.15%	0.23%
Cl	0.13%	0.03%	0.00%	0.00%	0.11%	
PAF	42.42%	17.36%	11.48%	0.59%	35.74%	
TOTAL	99.94%	99.60%	97.26%	100.37%	99.88%	
%	77.00%	17.00%	0.80%	5.20%	100.00%	
KH	5.9	0.12	0.01	0	0.96	0.96
MS	2.05	2.39	0.09	88.15	3.09	3.09
MA	2.42	2.45	0.04	1.47	1.63	1.63

**pour le Niveau 520 m :**

Table 4.17: Mélange de cru pour le niveau 520

Cru5	Calcaire	Argile FLS	Fer FLS	Sable FLS	Cru 5	Clinker 5
SiO <sub>2</sub>	2.52%	41.58%	7.01%	97.85%	14.15%	22.20%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.78%	12.34%	2.94%	0.66%	2.76%	4.32%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35%	5.04%	72.93%	0.45%	1.74%	2.72%
CaO	49.56%	16.32%	1.02%	0.50%	40.97%	64.28%
MgO	3.36%	2.93%	0.52%	0.00%	3.09%	4.84%
SO <sub>3</sub>	0.10%	1.09%	0.00%	0.00%	0.26%	0.42%
K <sub>2</sub> O	0.13%	2.14%	0.11%	0.25%	0.48%	0.75%
Na <sub>2</sub> O	0.08%	0.11%	0.20%	0.00%	0.09%	0.13%
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05%	0.04%	0.92%	0.01%	0.05%	0.08%
TiO <sub>2</sub>	0.07%	0.62%	0.13%	0.06%	0.16%	0.25%
Cl	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.02%	
PAF	42.86%	17.36%	11.48%	0.59%	36.07%	
TOTAL	99.87%	99.60%	97.26%	100.37%	99.83%	
%	77.00%	17.00%	0.80%	5.20%	100.00%	
KH	6.04	0.12	0.01	0	0.93	0.93
MS	2.22	2.39	0.09	88.15	3.15	3.15
MA	2.21	2.45	0.04	1.47	1.59	1.59

Pour respecter ces résultats, il faut diriger les travaux d'exploitation de tel sorte à ce que les proportions en calcaire, calcaires HT, calcaire dolomitique, dolomies et marnes dans la composante globale du matériau à homogénéiser doivent être les même que les proportions de la composante de chaque niveau d'exploitation. En effet ceci peut être réalisé sur terrain en orientant les fronts de taille perpendiculairement aux formations. Pour ce faire, les fronts taille Est et Ouest seront orientés vers le centre du gisement avec un avancement des travaux vers l'Est et l'Ouest.

Après les calculs de proportions effectué précédemment, on a réussie de d'avoir un taux de stériles nul pour chaque niveau d'exploitation.

# Conclusion Générale

On conclut de cette étude que Djbel Mohar possède des réserves stratégiques à l'extraction de calcaires . La totalité de ces ressources permettent la production d'une haute qualité de ciment

Sur le plan pratique, il se doit d'élargir les chemins d'accès afin de faciliter le passages des engins au terrain et ainsi, compléter les travaux préparatoires du gisement. L'exploitation débutera ainsi de la planche 580m

Les nombre d'engins dont dispose la carrière après l'extension est largement suffisant pour maintenir la production jusqu'à la fin de l'exploitation du terrain.

Notre étude menée a démontré que les réserves disponibles jusqu'au niveau de 520m sont exploitables pendant une durée de 10 ans. Cependant, les profondeurs du gisement abritent des ressources aptes à alimenter la cimenterie durant une cinquantaine d'années.

Le calcul de stabilité des gradins a montré que les talus sont stables au niveau de 520m , toutefois, il serait préférable De laisser une banquette de 20m séparant chaque quatre gradins.

La procédure d'homogénéisation a permis de maximiser l'exploitation des réserves et de minimiser les stériles.

Notre but étant de maximiser la production de ciment tout en maintenant une bonne qualité du matériau, nous procédons donc à des mélanges des différents types de calcaires (Haut titre, moyen titre, dolomitiques) et de dolomies afin de parvenir aux résultats escomptés. Cette étude nous permet donc de réaliser des mélanges de calcaires convenable à l'usage industriel. Cela dit, des mesures précises de chaque élément doivent être respectées afin d'assurer la bonne qualité du ciment produit.

# Bibliographie

- [1] NORA BOUCHAHM HOURIA ATHMANI MOSTEFA BOULAHDID et NADIA HOCINI. *GEOCHIMIE DES METAUX TRACES DANS LES SEDIMENTS DU BARRAGE DE LA FONTAINE DES GAZELLES, ALGERIE*. 2018.
- [2] Miniral Services EURL. *Rapport d'exploration geologique gisement de calcaires de DJEBEL MOHAR*. 2017.
- [3] Anfel BAALI et Youcef BENGUASMIA. *Elaboration d'un plan de tir en vue d'amelioration de la fragmentation des roches abattues-Cas de la Carriere de Chouf Amar*. 2017.
- [4] GENERALE DE MINES SARL. *Etude de stabilite des talus de la carriere de SIDI ABDALLAH BENDAHOUA*. 2016.
- [5] Fethi CHOUIKH. *Etude Physico-chimique du ciment*. 2007.

# Annexe A

## Analyses Chimiques

Table 1.1: Teneur des composantes d'un échantillon à partir d'un sondage (S31)

S31		Teneurs %												
Code -éch	Code Ech. Géologue	Intervalle	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3 total	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	PF	Cl
CA 15 06623	CB-31-01	0.00-2.00	2,44	0,82	0,38	50,95	2,48	< 0,05	0,12	0,12	0,08	0,05	42,41	13
CA 15 06624	CB-31-02	2.00-5.20	1,26	0,52	0,25	43,75	9,14	< 0,05	0,06	0,11	0,12	0,03	44,63	11
CA 15 06625	CB-31-03	5.20-7.60	3,9	1,82	0,54	30,05	18,51	< 0,05	0,12	0,1	0,14	0,06	44,69	13
CA 15 06626	CB-31-04	7.60-10.60	1,14	0,45	0,2	50,79	3,49	< 0,05	0,05	0,1	0,13	0,03	43,56	9
CA 15 06627	CB-31-05	10.60-14.60	2,82	1,23	0,49	30,41	19,37	< 0,05	0,11	0,1	0,34	0,05	45,01	14
CA 15 06628	CB-31-06	14.60-16.40	3,04	1,31	0,53	30,11	19,46	< 0,05	0,13	0,1	0,11	0,06	45,1	12
CA 15 06629	CB-31-07	16.40-19.00	5,44	2,3	0,66	29,26	18,25	< 0,05	0,21	0,11	0,18	0,09	43,43	13
CA 15 06630	CB-31-08	19.00-22.00	0,13	0,08	0,05	55,42	0,67	< 0,05	0,01	0,09	0,04	0,02	43,47	6
CA 15 06631	CB-31-09	22.00-25.00	0,13	0,06	0,03	55,56	0,42	< 0,05	0,01	0,09	0,05	0,02	43,59	5
CA 15 06632	CB-31-10	25.00-28.00	0,12	0,07	0,03	55,52	0,57	< 0,05	0,01	0,09	0,04	0,02	43,5	5
CA 15 06633	CB-31-11	28.00-31.00	0,1	0,06	0,03	55,61	0,4	< 0,05	0,01	0,09	0,04	0,02	43,63	4
CA 15 06634	CB-31-12	31.00-34.00	0,08	0,05	0,03	55,76	0,34	< 0,05	0,01	0,09	0,05	0,01	43,55	6
CA 15 06635	CB-31-13	34.00-37.00	0,08	0,04	0,03	55,72	0,33	< 0,05	0,01	0,09	0,05	0,01	43,6	6
CA 15 06636	CB-31-14	37.00-40.00	0,1	0,05	0,03	55,69	0,35	< 0,05	0,01	0,1	0,04	0,01	43,6	5
CA 15 06637	CB-31-15	40.00-43.00	0,24	0,1	0,04	55,48	0,35	< 0,05	0,01	0,09	0,04	0,02	43,61	5
CA 15 06638	CB-31-16	43.00-46.00	0,16	0,08	0,03	55,62	0,34	< 0,05	0,01	0,09	0,03	0,02	43,59	3
CA 15 06639	CB-31-17	46.00-49.00	0,19	0,09	0,04	55,62	0,32	< 0,05	0,01	0,09	0,03	0,02	43,56	5
CA 15 06640	CB-31-18	49.00-52.00	0,08	0,04	0,02	55,74	0,31	< 0,05	0,01	0,09	0,03	0,01	43,64	5
CA 15 06641	CB-31-19	52.00-55.00	0,09	0,05	0,02	55,79	0,34	< 0,05	0,01	0,09	0,03	0,01	43,55	5
CA 15 06642	CB-31-20	55.00-58.00	0,09	0,04	0,02	55,78	0,32	< 0,05	0,01	0,09	0,02	0,01	43,59	6
CA 15 06643	CB-31-21	58.00-61.00	1,41	0,53	0,16	44,43	8,72	< 0,05	0,04	0,1	0,06	0,03	44,49	6
CA 15 06644	CB-31-22	61.00-64.00	3,06	1,03	0,39	30,33	19,79	< 0,05	0,08	0,1	0,06	0,05	45,05	0,01
CA 15 06645	CB-31-23	64.00-67.00	2,99	1,1	0,46	34,2	16,32	< 0,05	0,09	0,1	0,14	0,05	44,49	8
CA 15 06646	CB-31-24	67.00-70.00	0,28	0,14	0,06	53,43	2,13	< 0,05	0,01	0,1	0,04	0,02	43,74	6
CA 15 06647	CB-31-25	70.00-73.00	2,89	1,59	0,65	51,38	0,84	< 0,05	0,24	0,12	0,06	0,07	42,04	14
CA 15 06648	CB-31-26	73.00-76.00	2,35	0,89	0,78	52,22	0,81	< 0,05	0,27	0,11	0,17	0,04	42,24	13
CA 15 06649	CB-31-27	76.00-79.00	5,12	1,82	0,95	48,63	2,2	< 0,05	0,65	0,12	0,22	0,09	40,08	13
CA 15 06650	CB-31-28	79.00-82.00	4,55	1,44	1,24	49,57	1,27	< 0,05	0,62	0,13	0,38	0,06	40,62	14
CA 15 06651	CB-31-29	82.00-85.00	4,07	1,16	0,94	50,19	1,35	< 0,05	0,52	0,13	0,45	0,06	41,01	13
CA 15 06652	CB-31-30	85.00-88.00	4,29	1,24	0,8	50,44	1,38	< 0,05	0,49	0,13	0,44	0,06	40,61	0,01
CA 15 06653	CB-31-31	88.00-91.00	5,3	1,61	0,74	48,9	1,64	< 0,05	0,65	0,12	0,51	0,04	40,36	1
CA 15 06654	CB-31-32	91.00-94.00	4,04	1,22	0,97	50,15	1,39	< 0,05	0,51	0,13	0,41	0,05	41	15
CA 15 06655	CB-31-33	94.00-97.00	1,88	0,89	0,37	52,99	0,8	< 0,05	0,16	0,11	0,06	0,05	42,59	7
CA 15 06656	CB-31-34	97.00-100.20	2,02	0,93	0,57	52,68	0,8	< 0,05	0,19	0,11	0,09	0,05	42,46	9

Table 1.2: Teneur des composantes d'un échantion a partir d'un sondage (S27)

S27														
Code Ech.			Teneurs %											
Code -éch	Géologue	Intervalle	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3T	K2O	Na2O	P2O5	TiO2	PF	Cl
CA1506438	CB-27-01	0.00-3.20	1.17	0.48	0.31	54.09	0.52	< 0,05	0.06	0.14	0.03	0.03	42.97	0.019
CA1506439	CB-27-02	3.20-6.40	1.75	0.63	0.53	53.33	0.63	< 0,05	0.11	0.14	0.17	0.03	42.55	0.012
CA1506440	CB-27-03	6.40-9.60	2.33	0.91	0.45	52.89	0.65	< 0,05	0.13	0.15	0.17	0.05	42.08	0.013
CA1506441	CB-27-04	9.60-12.80	1.85	0.73	0.31	53	0.67	< 0,05	0.1	0.14	0.1	0.04	42.9	0.011
CA1506442	CB-27-05	12.80-16.00	1.33	0.47	0.22	52.31	1.98	< 0,05	0.07	0.12	0.09	0.03	43.3	0.008
CA1506443	CB-27-06	16.00-19.50	1.67	0.57	0.28	49.81	3.62	< 0,05	0.07	0.12	0.14	0.03	43.59	0.006
AR1506444	CB-27-07	19.50-20.70	33.19	12.02	4.91	23.03	1.82	< 0,05	1.02	0.23	0.27	0.62	22.85	0.017
CA1506445	CB-27-08	20.70-25.90	2.65	1.07	0.34	47.35	4.93	< 0,05	0.11	0.13	0.07	0.05	43.21	0.009
CA1506446	CB-27-09	25.90-29.60	3.78	1.46	0.66	46.52	4.94	< 0,05	0.14	0.15	0.15	0.07	42.03	0.012
AR1506447	CB-27-10	29.60-30.60	27.08	6.05	2.68	32.54	2.1	< 0,05	0.97	0.17	0.17	0.37	27.84	0.018
CA1506448	CB-27-11	30.60-33.40	0.96	0.37	0.35	40.8	11.99	< 0,05	0.06	0.13	0.18	0.02	45.02	0.013
AR1506449	CB-27-12	33.40-36.20	27.89	8.65	3.71	28.41	2.5	< 0,05	0.82	0.42	0.38	0.45	26.69	0.06
CA1506450	CB-27-13	36.20-40.20	2.42	0.36	0.12	48.31	4.9	< 0,05	0.04	0.13	0.07	0.02	43.52	0.015
CA1506451	CB-27-14	40.20-42.00	0.65	0.25	0.18	45.14	8.31	< 0,05	0.04	0.13	0.1	0.02	45.12	0.014
AR1506452	CB-27-15	42.00-43.25	30.44	9.13	3.76	26.64	2.5	< 0,05	0.89	0.39	0.28	0.47	25.46	0.041
CA1506453	CB-27-16	43.25-47.10	0.85	0.29	0.12	52.11	2.44	< 0,05	0.03	0.13	0.1	0.02	43.82	0.01
CA1506454	CB-27-17	47.10-51.00	4.83	0.67	0.14	44.83	6.66	< 0,05	0.08	0.14	0.1	0.03	42.39	0.018
AR1506455	CB-27-18	51.00-58.00	24.48	8.26	3.58	31.67	1.89	< 0,05	0.65	0.28	0.26	0.44	28.16	0.055