



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université D'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté Des Sciences De La Terre Et De L'univers
Département Des Sciences De La Terre
Mémoire De Master
Option : Risques Géologiques

**Etude la stabilité de la carrière principale d'Aoud Sma.
LAFARGE ciment D'OGGAZ / W. MASCARA**

Présenté par : BENNAAMA Mohamed

Devant le jury :

Président :

Mr. BOURSALI Tewfik

Examineur :

Mr. FOUKRECH Mohamed

Rapporteur :

Mr. NADJI Abdelmansour

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

J'exprime mes profonds gratitude à mon cher encadreur **Mr NADJI Abdelmansour** c'est La personne que je remercie intensément, il m'a fait confiance de traiter ce sujet et ma beaucoup appris pendant mon cursus et surtout les sorties de terrains Je n'oublierai jamais ses conseils précieux. Je le remercie également pour sa disponibilité à tous les instants, son professionnalisme et pour le temps qu'il m'a consacré sur le terrain, ainsi durant la préparation de ce mémoire. J'espère qu'il y aura d'autres expériences à partager.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à **Mr FOUKRACHE Mohamed** , Professeur à l'Université d'Oran 2, pour avoir accepté d'examiner mon travail .

Ma reconnaissance va également à **Mr BOURSALI Tewfik** , Professeur à l'Université d'Oran 2, qui m'a fait l'honneur d'examiner mon travail.

Un grand merci à toute l'équipe des travailleurs de l'entreprise Lafarge Ciment Oggaz : **Abdelkader, Houari, Dahou** et spécialement **Radouan Boutiara** chef des carrières additives pour son encadrement durant mon stage de fin d'étude, pour sa confiance, pour le matériel qu'il a mis à ma disposition. Je n'oublierai jamais vos efforts pour que je réalise ce travail. J'espère qu'il y aura d'autres expériences à partager.

Dédicaces

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la Chance de vivre, la force et la patience d'accomplir mes études. J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail à mes chers parents , les mots sont trop faibles pour exprimer ma profonde gratitude quant à vos sacrifices et dévouements consacrés à mon éducation et mes études.

Je remercie Mes grands-parents (**KARRAS et SOLTANA**) pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez apportés depuis mon enfance et pour vos prières dont vous ne m'avez jamais privé.

Une myriade de mercis très affectueux à mes chers **frères , sœurs** et mon bras droit **HAMMI et REDA** Pour leurs soutiens et les encouragements de tous les instants. Je vous souhaite le meilleur et le succès dans votre vie.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes chères camarades qui m'ont accompagné durant mes 5 ans d'étude. **Tahar.S, Nabil.B, Ahmed.B, Redouan.B, Hocin.B, Khalil.CH, Khaled.H, Hichem.crb, Khawla. T, Amina.B, Rima.M** et tous mes collègues au Département des Sciences de la Terre

Enfin, je remercie l'agent de sécurité **Omar** pour tout le soutien et l'assistance qu'il nous a apporté et les bons moments que nous avons passés ensemble.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS

Chapitre 01

I.INTRODUCTION	01
II. CADRE GEOGRAPHIQUE	01
1. Cadre géographique générale	01
2. Cadre géographique local	02
III. CADRE GEOLOGIQUE	04
1. Cadre géologique général	04
2. Cadre géologique local.....	05
2.1. unité pré-Récifale (unité de calcaires à algues et diatomites)	05
2.2. unité récifale (unité du calcaire à algues et diatomites	06
2.3. Unité post-récifale.....	06
3. Géologie du gisement.	08
IV. Condition climatique.....	08
V. Hydrographié	10
VI. Tectonique	12
VII. Classes de la Sismicité	14

Chapitre 2

I. INTRODUCTION	18
II. Présentation de l'entreprise « Lafarge ».....	18
III. Caractéristiques qualitatives	19
IV. Réserves géologiques	19
1. Production réalisée	21
V. l'Exploitation	21
VI. Objectif.....	22
VII. CARACTERISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	23

Chapitre 03

I. INTRODUCTION	24
II. Définition des notions d'instabilité de terrain.....	24
III. Fracturation du massif roches..	24
1. Analyses des données.....	25
IV. les Glissements rocheux.....	27
V. Analyse cinématique de la fracturation.	27
1. GLISSEMENT PLANAIRE	28
2. GLISSEMENT DIEDRE.....	29
VI. ANALYSES DE STABILITES	29
VII. STABILITE GLOBALE	30

1. FRONTS ORIENTES S-N	30
1.1. LA RUPTURE PLANE	30
1.2. LA RUPTURE EN DIEDRE	31
VIII. ANALYSES DE STABILITE DES BANQUETTES	32
1. FRONTS ORIENTES 'Est-Ouest'	32
IX. ETUDE CINEMATIQUE	32
1. GLISSEMENT PLANAIRE	32
2. GLISSEMENT DIEDRE	33
X. CONCLUSION	34
XI. RECOMMANDATIONS	34

AVANT-PROPOS

Les risques géologiques est un risque qui peut aboutir à un incident ou accident lié à la nature du terrain .ils sont subdivisés en deux catégories :

Risques liés directement à la nature, c'est-à-dire les risques qui sont liés à l'activité planétaire :

Risques liés à la lithosphère tels que les effondrements, les glissements des terrains, les séismes, les volcans. Ces risques sont typiquement géologiques.

Risques liés à l'atmosphère tels que les tempêtes, les avalanches, tsunamis. Ces risques sont proprement dits risques climatiques.

Risques liés à l'hydrosphère tels que les inondations à l'échelle régionale et les crues à l'échelle locale. Ces risques sont typiquement hydriques.

Risques liés à l'activité humaine ou autrement dit risque artificiel : tel que les explosions des usines causées par le stockage des matériaux intrusifs, rupture d'un barrage, accident dans une centrale nucléaire.

Le risque anthropique se caractérise par un accident lié à une activité humaine (exemples : site industriel, les carrières) et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les biens, l'environnement ou le milieu naturel

Notre travail présente trois chapitres adaptés au sujet traité :

Le premier chapitre comporte des généralités sur les différents caractéristiques géographiques, géologique , la sismicité , la tectonique et leur influence sur le bassin hydrographique.

Le 2eme chapitre en as présenté la carrière avec une description de l'entreprise .

Le troisième chapitre en as présente l'étude de la stabilité de terrain de la carrière aoud el sma par des méthodes et des étude réalisé auparavant par Lafarge Holcim.

Résumé

La carrière de aoud el Sma située dans les zones sub littorales oranaise du bassin Bas-Chéelif. Sa position morpho structurale en piedmont lui confère un potentiel important d'émergence de matériaux de roche couverture. En effet, cette carrière, depuis plusieurs années, a connu plusieurs problèmes qui sont en grand partie d'ordre tectonique néogène et d'activité séismique contemporaine à l'échelle régionale de la Wilaya d'Oran.

Dans le cadre de ce travail et dans le but de mieux comprendre l'état de stabilité du site, nous avons essayé de traiter par chapitre les différentes variantes qui encadrent la complexité du secteur. Le premier chapitre est réservé à la localisation géographique associé à la géologique des terrains néogènes (Messinien) qui caractérisent les facteurs naturels intervenant à l'évaluation de la stabilité des terrains envisagés. Quant au deuxième chapitre, nous nous sommes penchés sur la présentation de la carrière avec l'ensemble d'éléments structurâtes de l'entreprise '.....'

En fin, un dernier chapitre qui traitera l'étude de la stabilité des terrains en utilisant les données fournis par la bibliothèque d'université et des bureaux d'études auscultés.

Ce modeste travail nous a permis d'évaluer les différents paramètres complémentaires au phénomène de stabilité pour fournir les conditions de sécurité et de proposer les recommandations à titre préventif du risque entropique pour lutte contre l'instabilité du site étudié.

Mots clé :

Risque, étude de stabilité, Aoud el-Sma, Bassin du Bas Chéelif, Messinien, prévision et prévention du risque anthropique

CHAPITRE 01

Généralité

I. Introduction

Ce chapitre est pour but de la présentation de la zone d'étude par la citation de l'emplacement géographique ; on si que l'aspect géologique pour mieux comprendre la complexité de cette région vis-à-vis l'état d'interaction de la sismicité, la tectonique et leur influence sur le bassin hydrographique.

II. Cadre Géographique

1. Cadre Géographique régional

Le Bassin du Bas Chélif est considéré parmi les plus importants bassins sédimentaire du l'Algerie du Nord. Il correspond à une longue cuvette orientée ENE-SSW, d'une longueur de 300km et d'une largeur de 100km (Thomas, 1985).

La partie nord du Bas-Chélif est limitée par le massif côtier oranais (Djebel Murdjado, massif d'Arzew). Au sud du bassin, d'ouest en l'Est, il est bordé par les monts Tessala, des Ouled Ali et des Béni Chougrane et le Massif de l'Ouarsenis (Perrodon, 1957). **Fig 1**

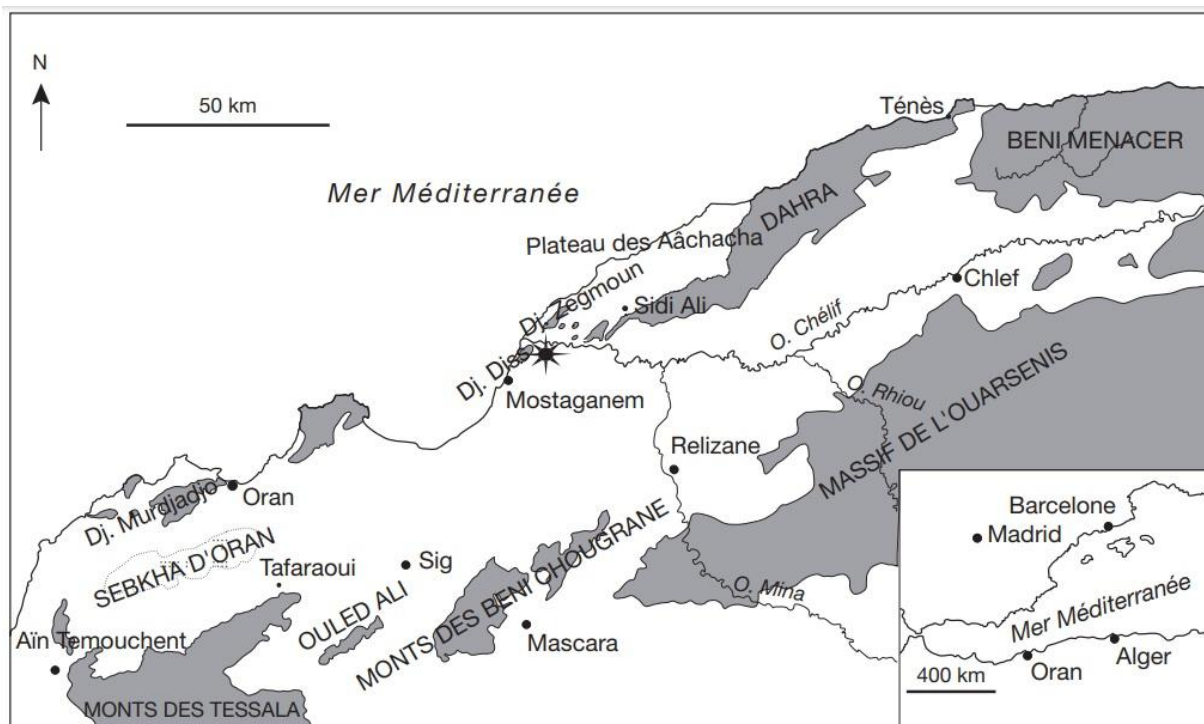


Fig.1: Schéma du bassin Bas-Chélif (d'après Belhadji et al., 2008)

2. Cadre géographique local

Notre zone d'étude concerne le gisement des calcaires messiniens d'Aoud-Sma ; à 400 m d'altitude, situé à 1,5 km au Sud-Ouest de Douar Ahl el-Ouanane ; connu par le site de la cimenterie LCO qui est située à 3.5 km au Sud de la localité de Oggaz. Cette dernière est éloignée d'environ 08 km à l'ENE de la ville de Sig et de 50 km au N.E de Mascara. Administrativement, le site fait partie de la commune de Oggaz ; sise au Nord-Est du Chef-lieu de la wilaya de Mascara. La zone d'étude est circonscrit dans le polygone dont les coordonnées UTM sont notées ; suivant (**Tab. 1**) :

N° PT	X	Y	N° PT	X	Y
1	747 700	3 934 900	9	746 900	3 934 400
2	747 700	3 934 400	10	746 900	3 934 500
3	748 200	3 934 400	11	747 100	3 934 500
4	748 200	3 933 800	12	747 100	3 934 600
5	747 800	3 933 800	13	747 200	3 934 600
6	747 800	3 933 400	14	747 200	3 934 700
7	746 700	3 933 400	15	747 400	3 934 700
8	746 700	3 934 400	16	747 400	3 934 900

Tab.1: Localisation de la carrière de 'Djbel Aoud- Sma' ; (LCO)



Fig.2: Image satellitaire de la carrière Djbel Aoud-Sma; (LCO)

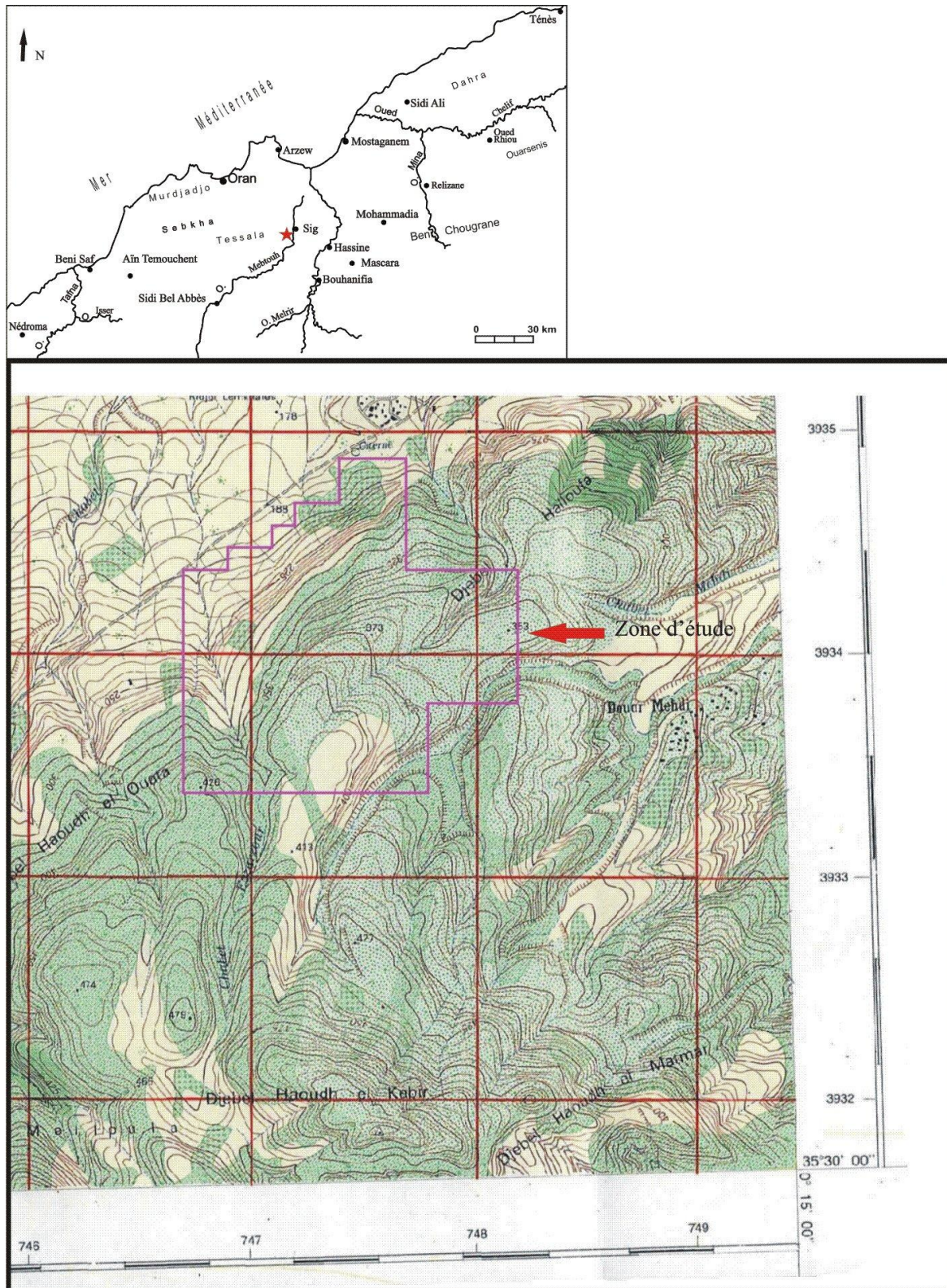


Fig.3: Situation géographique de secteur d'étude (Extrait de la carte topographique du Sig N°43 au 1/25.000 ; modifiée)

III. Cadre Géologique

1. Cadre Géologique régional

La compilation des travaux antérieurs (Peroddon, 1957), (Delteil, 1974), (Guardia, 1975), (Thomas, 1985), (Meghraoui 1982), (Neurdin-Trescartes, 1992 ; 1995), (Cornee et *al.*, 1994 ; 1996), (Bessedik & *al.*, 2002), (Aifa et *al.*, 2003), (Mahdjoub, 2013), (Mansour et *al.*, 2018) et (Naimi, 2019) ainsi que l'exploitation de la carte géologique et nos observations de terrain ont permis d'en dégager les principales unités litho-stratigraphiques et structurales.

Le bassin du Bas-Chélif est caractérisé par une géologie très complexe et fortement tectonisée. Son histoire néotectonique est marquée par plusieurs étapes. En effet, la genèse de ce bassin est étroitement liée aux phases paroxysmales de l'orogénèse alpine (Perrodon, 1957). Ce bassin a fonctionné comme un bassin d'avant fosse pendant le Miocène inférieur, avant la mise en place des nappes (Neurdin, 1992 ; Trescartes, 1995). Au Miocène supérieur, il a réagi comme un bassin intra-montagneux jusqu'à son comblement (Neurdin, 1992 ; Trescartes, 1995). S'ensuit alors une ouverture au Tortonien inférieur avec la mise en place des structures en horsts et en grabens (Aifa et *al.*, 2003).

La puissante série sédimentaire du Néogène, constituant la couverture de ce bassin, repose en discordance diastrophique (Peroddon, 1957) sur un substratum allochtone d'âges variés (Delteil, 1974), allant du Crétacé jusqu'à l'Oligocène. Cette série néogène est constituée de plusieurs cycles sédimentaires. On y distingue : un cycle anté ou synchro-nappes ; un premier cycle post-nappes ; et un deuxième cycle post-nappes in Naimi (2019).

Le Miocène anté ou synchro-nappes (Miocène inférieur) est transgressif et discordant sur l'ensemble des terrains antérieurs in Bessedik & *al.*, (2002).

Le premier cycle post-nappes (Miocène moyen) est marqué surtout par des marnes bleutées et des argiles conglomératiques rouges (Naimi, 2019) Le deuxième cycle post-nappes (Miocène supérieur) est caractérisé par des marnes bleues, des diatomites, des calcaires récifaux et des gypses (Delfaud & *al.*, 1973).

Lors du deuxième cycle miocène et, sur les hauts fonds et les marges, se mettent en place des plateformes carbonatées qui marquent le Messinien des marges du bassin du Bas-Chélif. La première se développe sur la marge Nord-Ouest du bassin de Djebel Murdjadjo. La deuxième est celle de la bordure Sud du bassin de Tessala, Ouled Ali, Béni Chougrane, bordure Nord-ouest de l'Ouarsenis). Il s'agit d'une plate-forme carbonatée formée de calcaires à mélobésiées, de calcaires récifaux et de stromatolites qui indiquent un maximum transgressif in Cornee et *al.*, (1994-1996).

2. Cadre Géologique local

La bordure sud de la plate-forme carbonatée du Bas-Chéelif se développe sur des marnes grises messiniennes fossilifères in Rouchy (1982-1998) ; Saint Martin, 1990 ; Mansour, 1994 - 1999 ; et récemment in Naimi et al., (2020).

Dans cette période du Messinien, la marge méridionale du bassin du Bas-Chéelif (dans les Tassala et les Beni-Chougrane), est caractérisée par le développement d'une plate-forme carbonatée qui s'observe sur 60 km de longueur et près de 20 km dans sa plus grande largeur (Fig.4)

Trois unités sédimentaires ont été individualisées stratigraphiquement selon Saint Marin et *al.* (1992) et in Mansour et *al.*, (2019).

2.1. Unité pré-Récifale (unité de calcaires à algues et diatomites)

L'épaisseur de cette unité est relativement constante en bordure du bassin du Bas-Chéelif (entre 40 m et 60 m). La base de cette unité est occupée par des faciès de proximité à la plate-forme plus interne, située plus au sud, La partie moyenne est constituée de calcaires argileux 'wacketones' à microfaune pélagique admettant des niveaux riches en serpulidés, des débris de faunes de genres mélobésiées et des bryozoaires.

L'unité se termine par des calcaires à Mélobésiées et des niveaux bioclastiques.

Cette unité et notamment en son étendue orientale d'Est, correspond à un empilement des bancs sub horizontaux et caractérisé par des variations latérales de faciès. Trois types de succession peuvent être reconnus :

- diatomites absentes ou peu développées, Les calcaires à mélobésiées constituent l'essentiel de cette unité
- développement important de la formation diatomitique surmontée par les calcaires argileux et à mélobésiées
- diatomites surmontées par des sédiments silico-clastique admettant quelque niveaux à Mélobésiées. Les successions de type (a) se cantonnent aux abords immédiats des anciens paléo reliefs, alors que les successions de type (b) et (c) caractérisent des zones plus distales

La répartition des faciès est donc déterminée par le canevas morpo structural antérieur avec des relais de zones hautes d'orientation moyenne N70.

2.2. Unité récifale (unité du calcaire à algues et diatomites)

Avec une épaisseur qui peut atteindre une vingtaine de mètres. Cet ensemble à un niveau massif couronné généralement les calcaires à mélobésiées inter stratifiées avec des sédiments bioclastiques riches en talles d'*Halimeda*, l'architecture corallienne est uniformément constituée par des colonies recouvertes par des sporites. Les constructions sont souvent encroutées dans la partie supérieure de l'unité par des mélobésiées. Des films micritique d'origine cyano-bactérienne peuvent se développer sur les colonies ou dans la matrice, aucune morphologie ni zonation sont clairement décelables dans cette unité récifal qui apparaitre sous former d'un banc corallienne subhorizontal, par fois lenticulaire. Cette unité peut disparaître latéralement, comme dans la région de Sig.

2.3. Unité post-récifale

L'unité précédente est surmontée par un ensemble composite : calcaires oolitiques et bioclastiques et/ou grès et marnes sableuses à lentilles de gypse et tapis stromatolitiques. Les calcaires oolitiques (packstones-grainstones oosparitiques) sont bien développés à l'W de Sig où ils peuvent atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur. Ils reposent normalement, sans figure d'érosion visible, sur le sommet du dernier banc récifal.

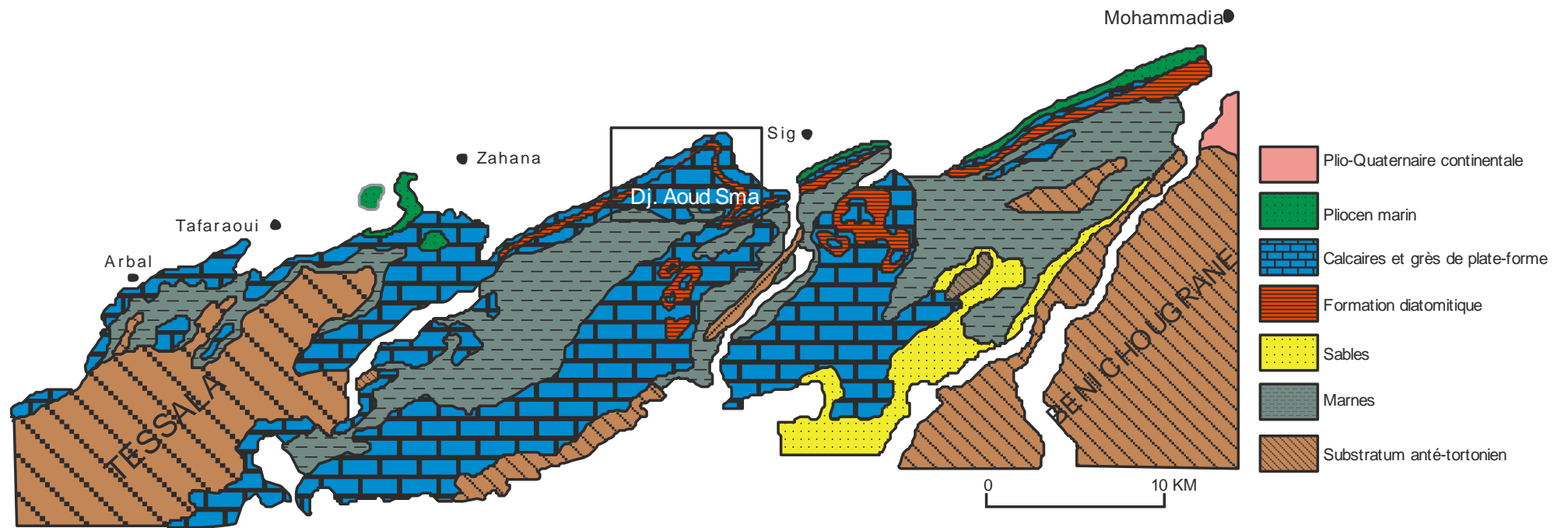


Fig.4: Carte géologique simplifiée de la marge méridionale du bassin du Bas Chélif (d'après Saint Martin, 1990; modifié)

3. Géologie du gisement

Le périmètre délimitant le gisement en exploitation montre que les affleurements de formations géologiques sont principalement composés de deux faciès d'âges Miocène et Plio-Quaternaire. La formation Miocène est exploitable, occupant la quasi-totalité du périmètre. Quant-aux formations Plio-quaternaire elle occupe la moitié inférieure du flanc Nord du gisement.

Essentiellement représentée par une carapace calcaireuse masquant les terrains sous-jacents

Miocène inférieur (m L) : des faciès de Calcaires construits à Lithothamniées, Calcaires induré, de blancs parfois grisâtre à jaunâtres, moyennement dense, poreux devenant, tendre, crayeux et fossilifères. Le gisement offre l'allure d'un bourrelet, à relief relativement modéré, orientée SW-NE. Sa partie sommitale Sud-Ouest s'élève à 404 m puis s'adoucit progressivement le long de sa charnière jusqu'à atteindre la côte: 181m (borne 1 située au Nord-Est), au piedmont de son versant septentrional, générant ainsi une dénivelée proportionnelle d'ordre 223m.

La partie sommitale du versant septentrional admet une formation de marne sableuse, plus friable, de teinte brune qui repose en monoclinale sur le calcaire. Le contact entre les deux formations est probablement tectonique. Les deux formations sont visuellement discernables sur terrain de par leurs couleurs contrastantes, observables le long de leur contact.

IV. Condition climatique

Le climat d'environnement de Sig (cité) est de type tempéré chaud, dit climat méditerranéen chaud avec un été sec. En hiver, les pluies sont bien plus importantes qu'à Sig ; qu'elles ne le sont en été. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé 'C'. La température moyenne annuelle est de 18.1 °C à Sig. Les précipitations sont en moyenne de 368 mm par an.

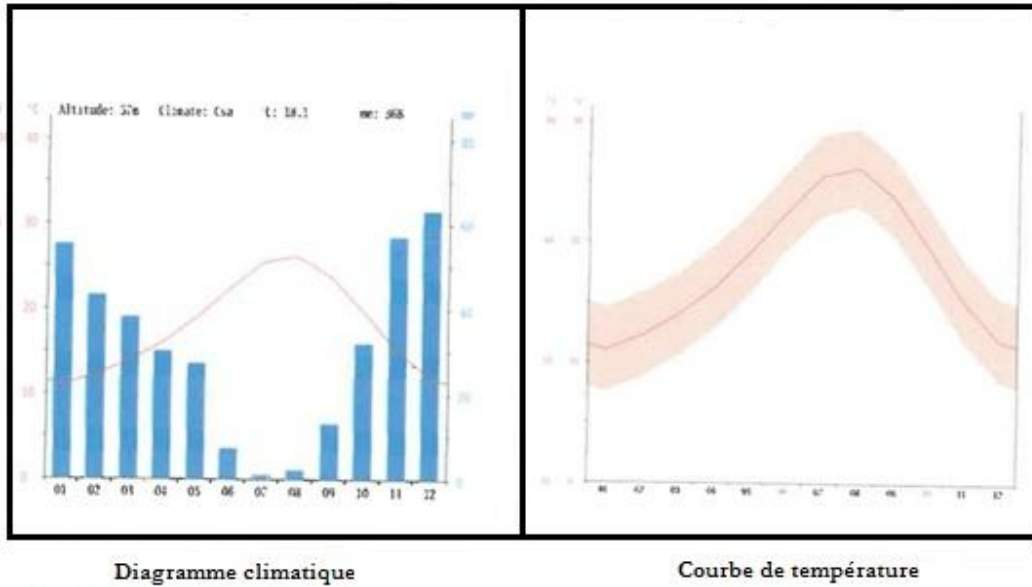


Fig.5: climatologie de Sig (A) (LafargeHolcim, 2021)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	11	12.2	13.9	16.1	19	22.4	25.5	26.2	23.8	19.6	15.1	11.9
Température minimale moyenne (°C)	7.5	8.7	10.5	12.6	15.6	19.2	22.1	23	20.5	16.3	11.7	8.5
Température maximale (°C)	14.6	15.8	17.4	19.7	22.4	25.7	29	29.5	27.1	23	18.6	15.4
Température moyenne (°F)	51.8	54.0	57.0	61.0	66.2	72.3	77.9	79.2	74.8	67.3	59.2	53.4
Température minimale moyenne (°F)	45.5	47.7	50.9	54.7	60.1	66.6	71.8	73.4	68.9	61.3	53.1	47.3
Température maximale (°F)	58.3	60.4	63.3	67.5	72.3	78.3	84.2	85.1	80.8	73.4	65.5	59.7
Précipitations (mm)	55	43	38	30	27	7	1	2	13	32	57	63

Fig.6: Climatologie de Sig (B) (LafargeHolcim, 2021)

Une différence de 62 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Une variation de 15.2 °C est enregistrée sur toute l'année. Sachant que le mois d'Aout est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 26.2 °C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de janvier avec une température moyenne de 11 °C. une différence de 62 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Une variation de 15.2 °C est enregistrée au cours de l'année.

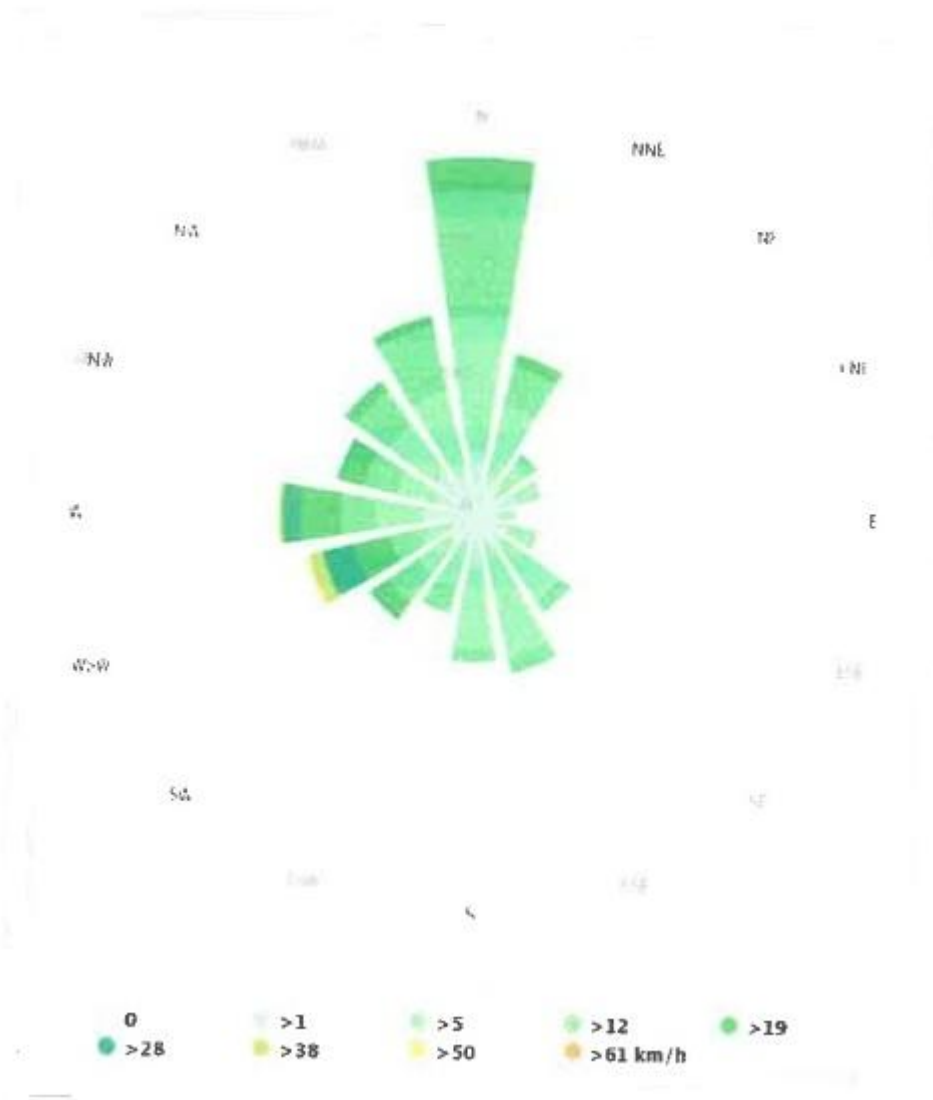


Fig.7: Rose des vents (LafargeHolcim, 2021)

La rose des vents pour Sig montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée. Exemple SO : le vent souffle du Sud-Ouest (SO) au nord-est (NE)

V. Hydrographié

Le réseau hydrographique présent dans l'aire géographique qui parcourt et entoure le périmètre d'étude est constitué essentiellement par des chaabets qui n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt de caractère saisonnier, quand les pluies s'abattent coulent quelques temps puis sèchent lentement. D'autres oueds sont à signaler hors périmètre.

Les principales chaabets pouvant impacter la carrière par d'éventuelles inondations sont : Chaabet Menhout qui délimite pratiquement la limite occidentale du périmètre et Chaabet Maghta et ses affluents, qui longe l'extrémité sud et sud-est du périmètre.

Ces dernières sont alimentées par les ruissèlements des eaux pluviales qui se collectent à partir de toute l'aire géographique séparant la périphérie méridionale du périmètre et le versant nord de Djebel Hammar Mellouli .

Ces eaux drainées s'écoulent et rejoignent, un peu plus en amont de la cimenterie, le réseau hydrographique local (Chabets Bizane et Oggaz etc..) de la plaine de Habra qui constitue leur bassin versant, dont une partie s'infiltré dans le sous-sol et contribue à l'alimentation des aquifères de l'écorégion, le reste s'écoule et se jette probablement dans la Méditerranée.

NB : Le site y est également traversé d'est en ouest par un ravinement (talweg) longitudinale central, peu profond, qui prend naissance au sommet ouest du gisement et se déverse en mitoyenneté avec la carrière de l'ENOF, le long de la périphérie orientale du périmètre. Ce dernier n'a aucune influence sur la carrière et par ailleurs la ligne de drainage intérieure à la carrière a déjà été effacée par l'exploitation.

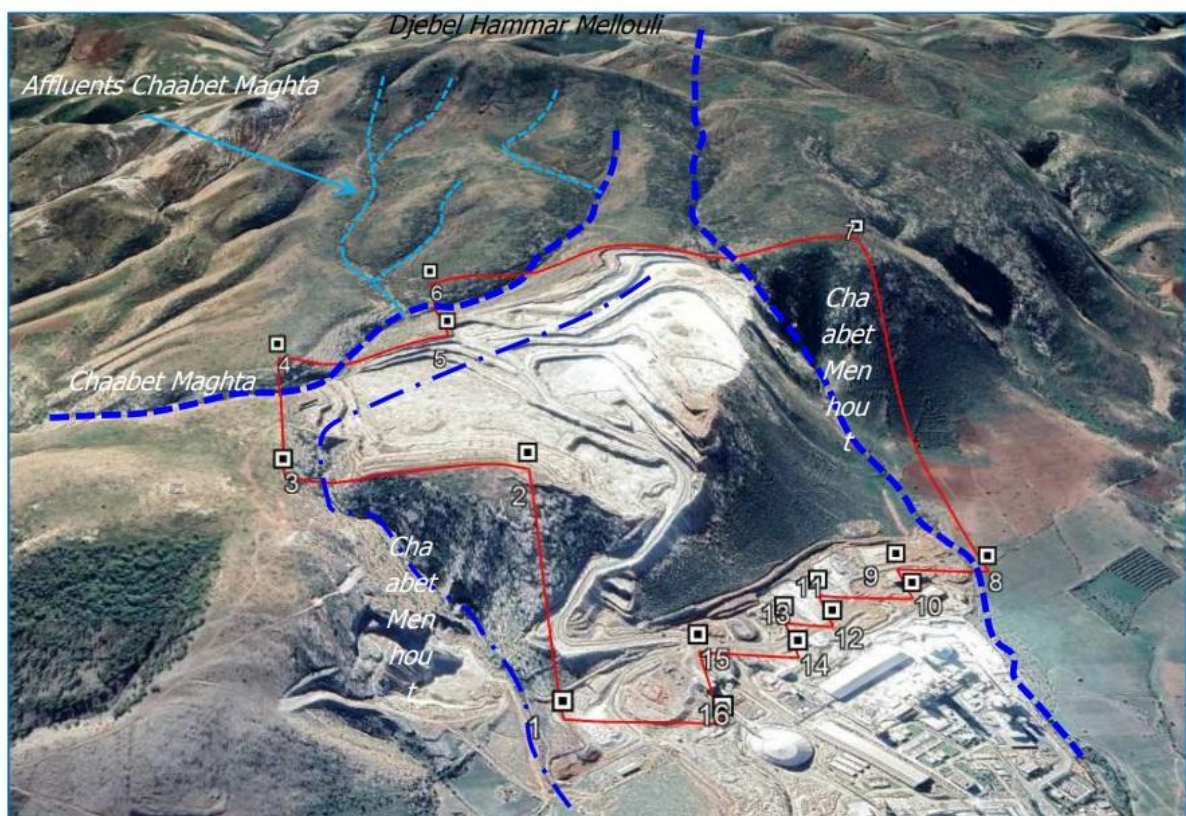


Fig.8: distribution du réseau hydrographique sur le secteur d'étude.(LafargeHolcim, 2021)

Le projet d'exploitation final de la carrière tel que préconisé, prévoit une fosse avec un carreau final arrêté la côte +234m, soit une profondeur située à un niveau surplombant celui de la nappe aquifère avoisinante d'Oggaz (abritée par la plaine de Habra), qui se situe à un niveau très

en deçà. Cette situation demeurera inchangée jusqu'à la fin des activités de la carrière et lui permettra d'être exploitée à sec, à l'abri de l'influence des eaux aquifères.

Au droit du carreau et des gradins actuels en exploitation de la carrière, pas de signes de suintements observés aux dépens des ruissellements ou des eaux aquifères.

En l'état actuel, le carreau de la carrière est à l'abri d'éventuelles inondations des eaux de ruissellements acheminées par les deux drains naturels évoqués précédemment et qui la protègent. Cependant, au fur et mesure du développement de l'exploitation aux confins ouest et sud du périmètre, surtout avec l'abaissement du niveau du carreau, cette situation risque d'être compromise suite à la modification de ces chenaux de drainage actuels.

Sachant que l'eau comme facteur déclenchant, joue un rôle essentiel dans les instabilités ; parmi les solutions proposées afin de se prémunir des répercussions des effets des ruissellements qui ne sont sans doute pas négligeables dans le processus de déstabilisation, sont :

- Préserver le drainage naturel actuel au détriment d'une perte de réserves exploitables, par maintien des limites actuelles de l'exploitation surtout vers le côté sud, pour assurer l'équilibre général des fronts de l'exploitation.
- étendre l'exploitation jusqu'aux limites du périmètre, moyennant l'aménagement de fossés drainants (tranchées artificielles), de dimensions appropriées, aux bordures des limites sud et ouest du périmètre.

Concernant les eaux pluviales au sein de la carrière, ces dernières seront gérées par l'aménagement de dévers de 1 à 2 % au niveau de chaque plateforme pour permettre le drainage de part et d'autre, de ces eaux, vers un drain collecteur situé au plus bas de la carrière, permettant leurs évacuation naturelle au réseau locale.

VI. Tectonique

Le gisement offre l'allure d'un bourrelet de forme oblongue allongé en direction sud-ouest / nord-est, avec diminution graduelle de l'altitude à partir de sa crête sud-ouest vers sa périphérie nord-est.

A l'échelle du gisement, ce dernier est affecté par une faille majeure longitudinale, évidente sans rejet prévisible, à pendage redressé (60°) inclinée vers le nord, qui épouse pratiquement l'axe d'inflexion du versant abrupt nord de la colline (voir carte 1 et photos ci-dessus). Ce dernier est accompagné par d'autres accidents secondaires cassants de moindre importance qui affectent et perturbent la partie occidentale du gisement.

Le premier coupe en diagonale toute l'extrémité sud et sud-est du périmètre et abrite chabet Maghta ; la seconde cassure centrale, probable, de direction subparallèle à la faille majeure (Est-Ouest) et qui scinde le gisement en deux compartiments nord et sud. Au stade actuel, la trace de cette dernière a été effacée par le développement de l'exploitation.

Une tierce cassure transversale, délimite pratiquement la frontière occidentale du gisement et le long de laquelle s'écoule chaabet Merehout, qui fait jonction plus au nord avec Oued Oggaz. Par ailleurs, le réseau hydrographique est aligné à ces fractures, trois directions sont recensées :

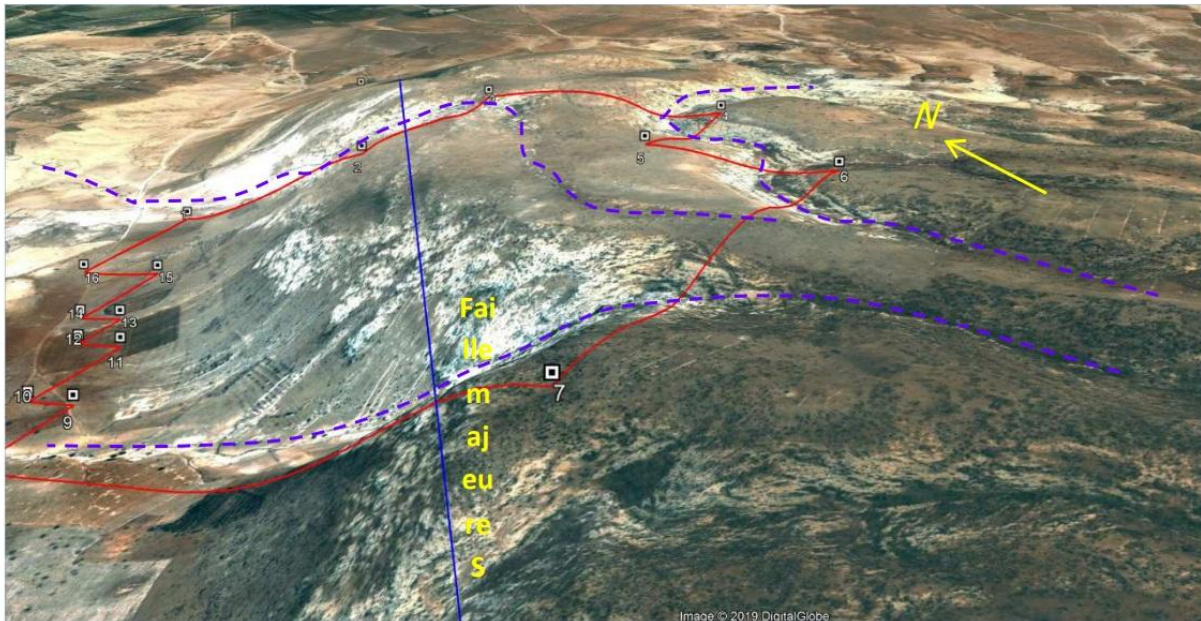


Fig.9: Failles principales (LafargeHolcim, 2019)

Par ailleurs, le réseau hydrographique est aligné à ces fractures, trois directions sont recensées, un peu plus loin, à 1000 m environ de l'extrémité Ouest du périmètre, un autre accident semble décrocher obliquement vers le Sud, la continuité de la faille majeure longitudinale. Son tracé épouse l'écoulement de chaabet el Kebira.

Les fronts de tailles et l'ensemble de la surface libérée par l'exploitation ne montrent pas de signes de stratifications visibles, par contre ils affichent la présence de diaclases et fractures multidirectionnelles, d'ouvertures centimétriques à décimétriques. Les plans de fractures sont comblées dans leur majorité de dépôts ferrugineux brunâtres ou colmatés par de la calcite secondaire blanchâtre



Fig.10: Réseau de fracture (A)

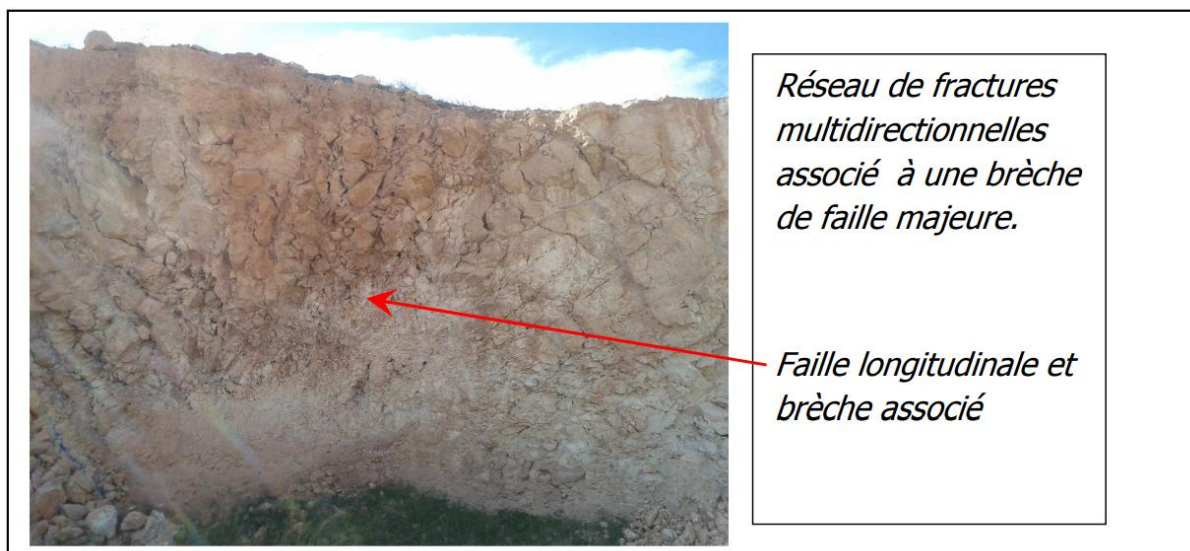


Fig.11: Réseau de fracture (B) (LafargeHolcim, 2021)

Les fronts de taille sont généralement discontinus et hétérogènes et présentent un aspect friable et érodé significatif. De nombreux éboulis observés en pied de banquette témoignent du caractère relativement friable du matériau extrait.

VII. Classes de la Sismicité

Les vibrations sont un élément déstabilisateur important à prendre en compte dans les analyses de stabilité d'une excavation à ciel ouvert. Dans le cas de la carrière calcaire d'Aoud Sma, ces vibrations peuvent venir de deux principales sources. La première étant les vibrations provoquées par les sautages de la carrière et la seconde étant celles provoquées par des séismes. Le règlement parasismique Algérien, (R.P.A. 99, version 2003), élaboré après le séisme de Boumerdès survenu en Mai 2003 divise le territoire Algérien en cinq zones de sismicité croissante :

Zone III : Zone d'intensité forte

Zone II A & II B : Zone d'intensité moyenne

Zone I : Zone d'intensité faible

Zone 0 : Zone non sismique

Pour la prévention du risque sismique, le zonage sismique définit quatre zones d'intensités sismiques maximales connues, ou supposées. L'article 10.3 des « règles parasismiques algériennes RPA 99 / version 2003 » indique que :

- « Les talus et les versants naturels ou artificiels dans leur configuration en fin de projet doivent rester stables sous l'action sismique ».
- « La vérification de la stabilité peut être effectuée en première analyse avec un calcul statique équivalent par application à tous les éléments de sol et aux charges supportées de deux coefficients sismiques $K_h = 0.5 A$ et $K_v = 0.3 K_h$ représentant les forces horizontales contenues dans les plans verticaux de plus grande pente et dirigées vers l'aval
- Le coefficient d'accélération de zone A : choisi en fonction de la zone sismique et du groupe d'importance de l'ouvrage affecté ou menacé par le glissement ».

L'équilibre du massif délimité en profondeur par la surface de rupture doit être vérifié compte tenu d'un coefficient de sécurité partiel égal à 1 sur la résistance du sol concerné ». D'après le DTR « recommandations pour l'évaluation des charges sismiques » publié par le C.G.S, La ville de Sig et Oggaz appartiennent à la wilaya de Mascara.

La « classification sismique des wilayas et communes d'Algérie » indique que ces dernières appartiennent au groupe de communes 1B dans une zone sismique IIb, soit un coefficient d'accélération de zone de 0.25.

Groupe	Zone			
	I	Iia	IIb	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

Tab.2: Coefficient d'accélération de zone A (LafargeHolcim, 2019)

Coefficients d'accélération retenus dans les calculs

Les coefficients d'accélération qui ont été retenus dans les calculs de modélisation de la stabilité sont :

- $K_h = 0.25 * 0.5 A = 0.125$
- $K_v = 0.3 K_h = 0.3 * 0.125 = 0.0375$

Ils correspondent aux l'accélération maximales du sol au niveau de la carrière d'Aoud - Sma.

CHAPITRE 02

**Description de l'entreprise et
présentation de la carrière**

I. Introduction

L'exploitation minière est une activité dont le but est d'extraire et de transformer différents minéraux représentant les pôles industriels et économiques, et elle joue un rôle vital dans l'économie mondiale. Il s'agit d'une industrie unique car elle peut avoir des impacts complexes sur le développement économique local, l'environnement et les profils socioculturels qui sont souvent typiques des vastes zones minières d'un pays ou d'une région donnée.

Le gisement des Calcaires du DJ. Aoud Sma est l'une des plus importantes carrières bien connues dans la région Nord algérienne, qui sert à la fabrication du ciment gris et blanc par l'entreprise Lafarge Holcim.

II. Présentation de l'entreprise « Lafarge »

La fondation Lafarge Holcim pour le maintien d'une construction durable (anciennement connue sous le nom de fondation Holcim pour la construction durable) a été créée en 2003 pour sensibiliser sur le rôle important de l'architecture ; de l'ingénierie ; de l'urbanisme et de la construction dans un avenir plus durable.

Lafarge Holcim est née de la fusion de Lafarge et Holcim en 2015. Avec plus de 180 ans d'expérience ; ce groupe vise à ouvrir la voie à une nouvelle éroses technologies de pointe et des innovations dans les matériaux de construction l'industrie pour relever les défis du 21 siècle.

Organigramme de LafargeHolcime :

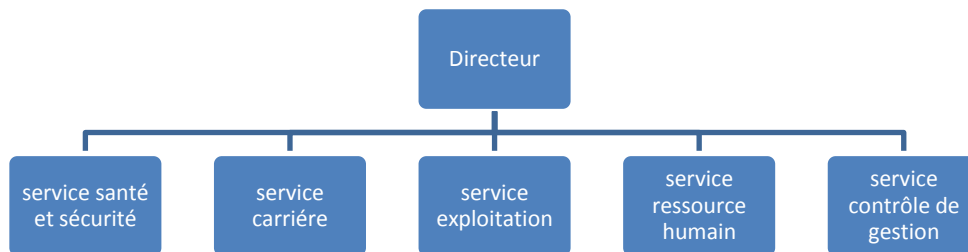


Fig 12 : Organigramme de LafargeHolcime

Organigramme Service carrière :

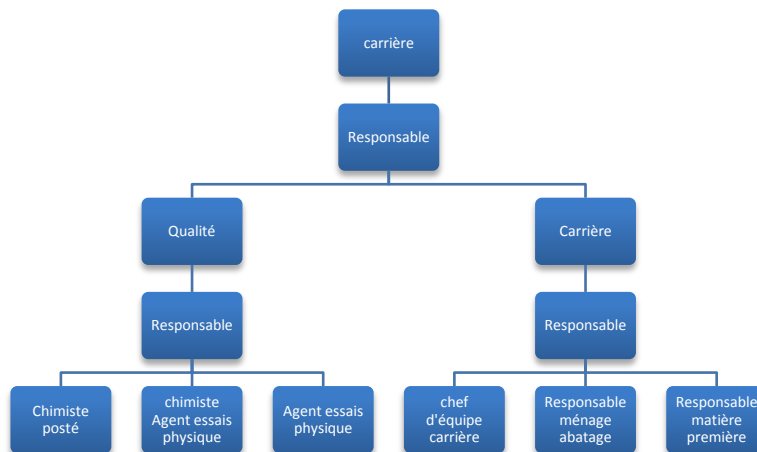


Fig.13: Organigramme Service carrière

III. Caractéristiques qualitatives

L'industrie cimentière fixe des exigences bien strictes envers la fabrication du ciment blanc contrairement au ciment gris. Le ciment blanc trouve son utilisation dans de nombreux domaines généralement décoratifs par contre le ciment gris est destiné à la construction des structures. Le procédé de fabrication des deux ciments est presque identique. Il nécessite un mélange homogène du calcaire, d'argile, du sable et du fer en cas de ciment gris seulement.

Si pour la fabrication du ciment blanc, le calcaire doit être pur blanc pauvre en minéraux colorants, l'argile doit être kaolin ou argile blanche, le sable pauvre en oxydes colorants.

Ces exigences ne sont pas nécessaires pour le ciment gris, mais le calcaire doit être bien limité en éléments nuisibles (MgO), les sulfates (SO₃) et chlorures (Cl), les alcalis K₂O, Na₂O et chrome.

Les teneurs généralement acceptées se situent autour des standards suivants :

CaO > 53 %	,	Fe ₂ O ₃ < 0.15 % (ciment blanc)	,	MgO < 2 %
SO ₃ < 0.15 %	,	K ₂ O < 1%	,	Cl < 0.015 %

IV. Réserves géologiques

La quantification des réserves géologiques a été effectuée à base d'un plan topographique à l'échelle 1/2000 actualisé fin 2020.

L'aire de calcul des réserves géologiques a été délimitée; tenant compte de certains paramètres:

- Étendue de la formation géologique convoitée.
- Une bande de dix mètres de largeur a été délaissée le long du pourtour du permis afin de préserver l'intégrité des propriétés avoisinantes.

Les réserves géologiques ont été calculées par modélisation 3D à l'aide du logiciel Surpac comme suit :

La topographie du gisement actualisée a été modélisée sous forme d'un MNT (modèle numérique du terrain).

Une fosse virtuelle a été projetée et modélisée par un MNT de puis le niveau de base d'exploitation situé à la cote +234m vers le haut avec une hauteur de gradin de 10m un angle de talus de 70° cette fosse correspond à la forme de la carrière une fois toute la matière utile extraite. Voir schéma ci-dessous.

Les MNT de la topographie et de la fosse virtuelle ont été intersectés le volume compris en dessous de la topographie et à l'intérieur de la fosse virtuelle est un solide dont le volume correspond aux réserves géologiques totales. Ces dernières ont été évaluées par tranches de 10m d'épaisseurs correspondants aux hauteurs des gradins d'exploitations.

Le poids volumique utilisé pour le calcul des réserves a été pris équivalent à 1.73t/m³.

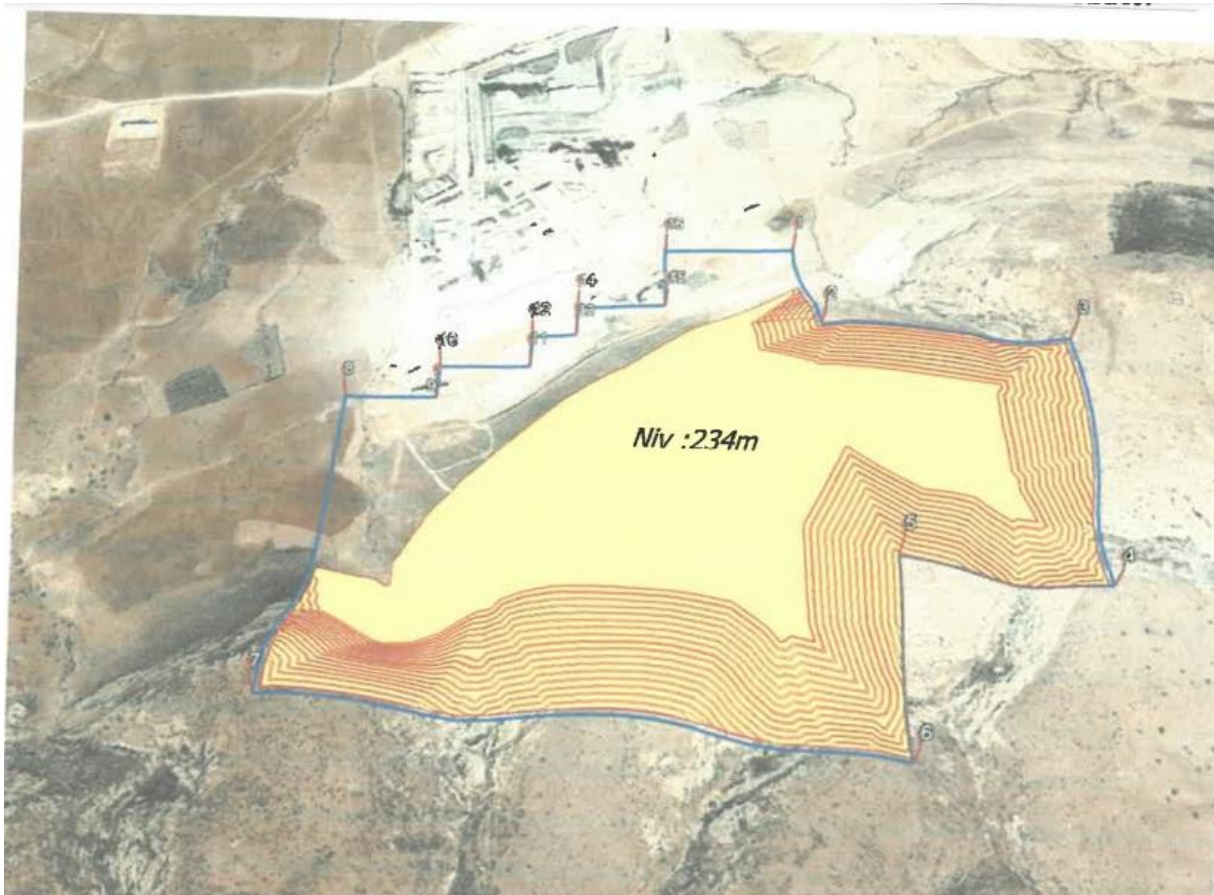


Fig.14: Fosse finale (LafargeHolcim, 2021)

Le volume calcaire ; fin 2020 tous facies confondus ; en l'état actuel de développement de la carrière contenu dans les limites de la fosse finale constituent une provision évaluée 135.790.800 tonnes. Les résultats détaillés du calcul des réserves par niveaux d'exploitations sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Gradins		Volume	Volume cumulé	pv	Tonnage
De	A	m3	m3	T/m3	T
298	308	9108705	9108705		15758060
288	298	10381332	19490037		17959704
278	288	10753595	30243832		18604065
268	278	10884831	41128663	1.73	18830758
258	268	10933170	52061833		18914384
248	258	10993389	63055222		19018563
238	248	11041886	74097108		19102463
234	238	4394684	78491792		7602803
Total		78491792			135790800

Tab.3: Réserves exploitation disponible fin 2020 (LafargeHolcim, 2021)

1. Production réalisée

Les volumes de la matière première extraite sont fonction des budgets prévisionnels établis. le tonnage totale en calcaire extrait depuis le mise en production de la carrière en 2006 s'est chiffre comme suit :

Année	T	m3	Année	T	m3
2006	27810	16075	2013	3558720	2057063
2007	1799076	1039928	2014	3516000	2032370
2008	1860000	1075145	2015	3700000	2138728
2009	2253000	1302312	2016	3690000	2132948
2010	3478696	2010807	2017	3406000	1968786
2011	3609764	2086569	2018	2326000	1344509
2012	3544660	2048936	2019	3476000	2009249

Tab.4: Production réalisé (LafargeHolcim, 2021)

V. l'Exploitation

L'exploitation du gisement est réalisée à ciel ouvert : Les roches du gisement étant relativement indurées, elles sont exploitées par abattage à l'explosif. Les premiers niveaux supérieurs de chaque gradin sont représentés de couverture, d'une roche altérée qui est tout de même valorisée. Après les tirs, l'évacuation de la roche abattue est effectuée par des chargeurs ou pelles hydrauliques chargeant des dumpers qui la transportent jusqu'aux aires de pré-stockages aménagées à cette fin.

L'exploitation est menée à l'heure actuelle par huit (08) gradins. Les plateformes sont comprises entre +280 au Nord, près de la piste d'entrée, jusqu'au niveau supérieur +385 m, à l'extrémité Sud du périmètre. Les gradins ont généralement une hauteur d'environ 15 m. La piste d'accès principale qui sépare la carrière en deux zones d'exploitation (piste avec tracé en rouge) :

- Partie Nord-Est : étages inférieurs (niveaux 295 m, 310 m),
- Partie Sud-Ouest : étages supérieurs (niveaux 310 m à 385 m).

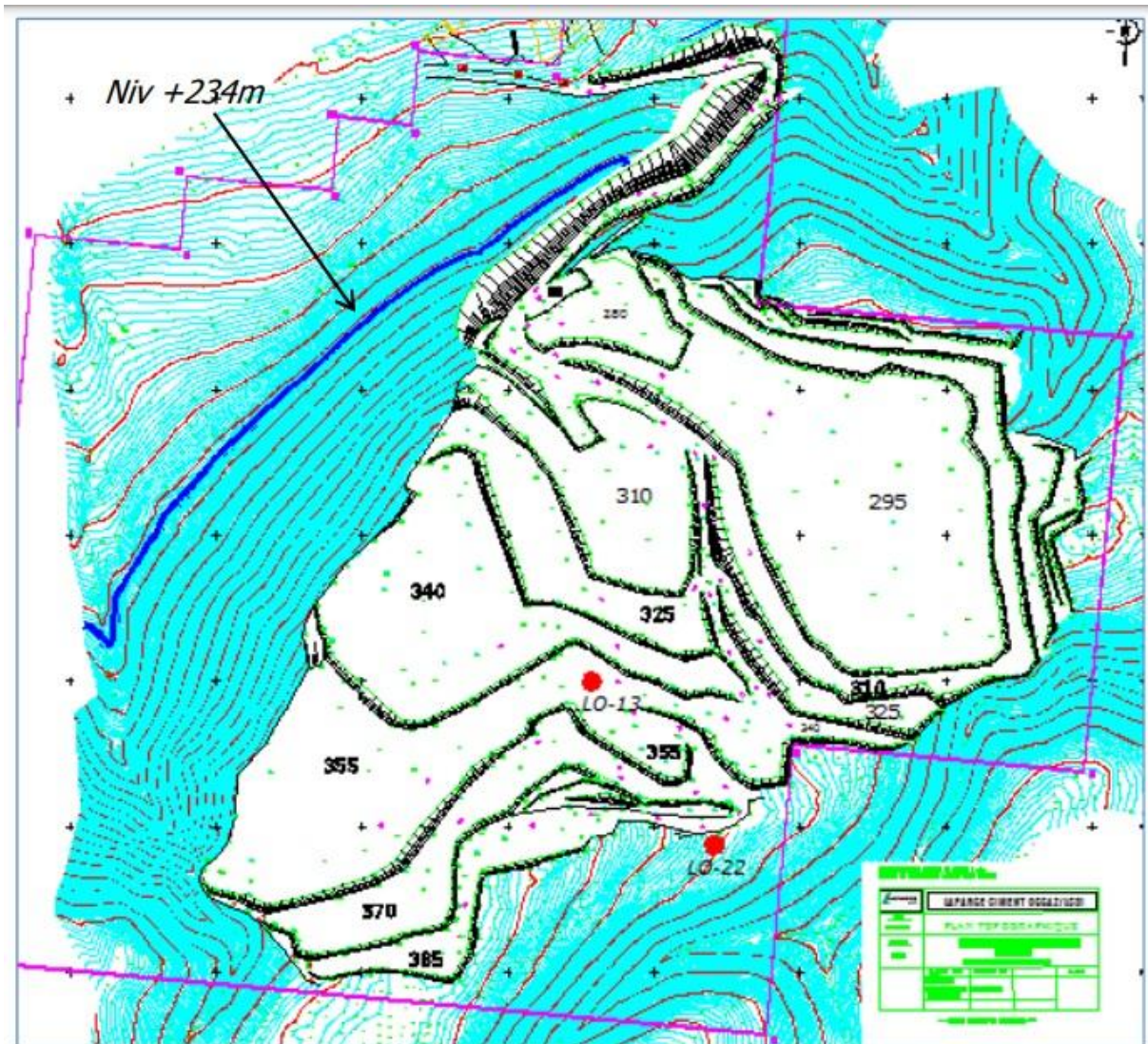


Fig.15: Géométrie actuelle de la carrière (LafargeHolcim, 2019)

VI. Objectif

La carrière étant en cours de développement et d'exploitation, plusieurs niveaux d'exploitation sont ouverts. L'approfondissement de la carrière se fera par gradins de 15 m de profondeur, à partir de la côte +404 m, sommet le plus haut situé au Sud-Ouest jusqu'au gradin le plus bas, carreau final projeté +234 m, situé à l'entrée de la carrière, par la piste principale, soit une dénivelée de 170 m. La carrière se déroule jusqu'à présent sans aucune instabilité locale.

L'objectif souhaité est définir un plan d'exploitation, qui inclut bien en première priorité la recherche de la stabilité des flancs de la carrière, particulièrement en phase finale qui représente la situation la plus défavorable ; condition dictée par un souci de stabilité des talus, de sécurité de travail et de restauration du site à la fin des travaux d'exploitation.

Ce rapport présente les principaux résultats de l'étude géo structurale qui a permis de définir les pentes des talus dans le cadre de la planification de l'exploitation à long terme. La méthodologie de mise en œuvre dans le cadre de cette étude comporte les étapes suivantes :

- Collecte des données par relevés structuraux: l'orientation (pendage, direction de pendage), l'espacement, la longueur des traces des discontinuités et hydrogéologiques.
- Synthèse des paramètres géomécaniques conformes à la pratique issue de la bibliographie.
- Analyse statistique des données prélevées : distribution statistique des différents paramètres. Concernant l'orientation, la projection stéréographique des discontinuités permet d'identifier le nombre de familles de discontinuités et la détermination de la constante de Fisher.

VII. CARACTERISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

L'évaluation de la stabilité globale d'une exploitation à ciel ouvert se ramène au dimensionnement des paramètres géométriques en phase de liquidation de la carrière, qui sont essentiellement l'angle général de talus de la profondeur ultime de la fosse (l'ensemble des gradins) et la hauteur des gradins. Ces éléments essentiels de géométrie de la carrière sont déduits des plans et coupes établis à partir de la fosse finale projetée.

Le projet d'exploitation final de la carrière tel que préconisé à priori, prévoit une fosse avec un carreau final arrêté à la côte +234 m, limite fixée par critère qualitatif du matériau. Les fronts de taille seront agencés en une succession de gradins de hauteur 10 m avec des talus inclinés à 70° et des bermes larges également de 10 m, qui alternent tous les cinq gradins avec des bermes de 20 m.

Le développement de l'exploitation de la carrière jusqu'à extinction de l'ensemble des réserves exploitables génèrera une fosse qui aura un volume de gradins dépendant de la topographie des bordures du site. A cet effet, les gradins se positionneront essentiellement vers les parties méridionales et orientales du périmètre minier. Vers le Nord et l'Ouest, la fosse sera ouverte sur la plaine septentrionale à raz de niveau altimétrique : +234 m. La crête supérieure de l'excavation à l'endroit le plus élevé de la carrière, qui est du côté Sud, se situe à l'altitude 404 m et le fond de l'exploitation qui est le carreau de la carrière sera arrêté à la cote +234 m, soit au total dix-sept (17) gradins totalisant une dénivelée d'ordre de 170 m. Par contre, envers le côté Est du périmètre, la partie sommitale s'élève à +352 m, soit une dénivelée de l'ordre de 118 m.

CHAPITRE 03

**ETUDE DE LA
STABILITE DE TERRAIN
ET PERSPECTIVE DE
SITE ETUDIE**

I. Introduction

Dans ce chapitre on traitera en particulier l'expertise d'aléa de la carrière d'Aoud el-Sma, en tenant compte d'analyses des différents risques d'instabilité de terrain et d'influence des facteurs géologiques qui participent en la déstabilisation du site. Grâce aux méthodes et aux études réalisées auparavant par des bureaux d'études et de géotechniques. Afin d'extraire les mesures préventives et de prévision aux risques potentiels ; pour donner en conséquence des conclusions et des recommandations adéquates.

II. Définition des notions d'instabilité de terrain

L'Aléa : constitue la variante essentielle d'évaluation d'un risque donné, elle représente la probabilité d'occurrence d'un phénomène cyclique dans un cadre spatio-temporel. L'aléa élaboré avec la vulnérabilité et l'enjeu pour former l'enveloppe de risque envisagé. L'aléa est un terme qui désigne les phénomènes naturels, sous prétexte de leur caractère aléatoire, qui est estimée en pourcentage. L'évaluation de l'aléa a un caractère subjectif puisqu'elle passe de la reconnaissance et la recherche des facteurs favorables (climatiques, géologiques, structuraux et géomorphologiques...) à une évaluation approchée de l'intensité de l'aléa (faible, moyen, fort) sur un secteur donné.

La Vulnérabilité : La notion de vulnérabilité est utilisée pour quantifier le degré des dommages que peut causer un événement dangereux aux infrastructures, habitations et aux hommes. Elle est définie en pourcentage de dommage de (0%) aucune perte à (100%) perte totale et cela en rapport de la valeur totale (INTERREG II C, 2001).

Le Risque : Il est défini comme la conjonction de la fréquence des manifestations naturelles (Aléa) et la vulnérabilité des installations humaines.

Pour les géologues, ils définissent les mouvements de terrain comme étant des manifestations d'instabilité de la partie superficielle de la croûte terrestre sous l'effet de plusieurs facteurs naturels d'une part tels que : la pesanteur et les agents d'érosion d'une part et sous l'effet de l'intervention de l'homme d'autre part. Ces phénomènes représentent pour l'être humain des signes perceptibles de l'évolution géologique et la géodynamique externe. Ces mouvements présentent une grande diversité dans leur nature et leur comportement (éboulements, effondrements ...) et dans leur dimension. In Zaagane (2007).

III. Fracturation du massif roches

La fracturation représente la caractéristique la plus importante du massif rocheux vis à vis de la stabilité du site, tout particulièrement dans le cas des roches dures. Les relevés structuraux de la fracturation sont mesurables sur le terrain, ils permettent d'obtenir de l'information sur les discontinuités présentes dans un massif rocheux tel que leurs orientations, pendage, rugosité ou la densité des fractures. Le site a fait l'objet d'une étude géo structurale par Mr TALBI Mohamed, ingénieur géologue en collaboration avec Mr. Boutiara Redouane. Le levé systématique des discontinuités a été effectué sur les gradins composant l'excavation actuelle, car jugés mesurables (accessibles et assez peu altérés).

En somme, 119 données (points d'études) collectées aux différents gradins formant une base de données de discontinuités, ont été traitées, afin de dégager les familles principales de discontinuités à l'échelle des fronts de tailles. NB : Notons également que les discontinuités visibles sur le massif peuvent également résulter d'effets arrière de tirs précédents. La totalité des discontinuités relevées sur le terrain ont fait l'objet de traitement par la projection stéréographique sur canevas de de Wulff par les logiciels Stereonet et DIPS. Elle permet d'avoir une présentation graphique des orientations des plans (ou des pôles) et des pendages des discontinuités en forme de rosace d'orientation.

1. Analyses des données

Les étapes successives proposées pour le traitement de la base de données des discontinuités sont tout d'abord la représentation des orientations des discontinuités et le classement en familles directionnelles principales et secondaires, puis leur visualisation 3D.

Les caractéristiques moyennes de la fracturation du massif Aoud Sma pour l'ensemble des points d'études sont figurées ci-dessous.

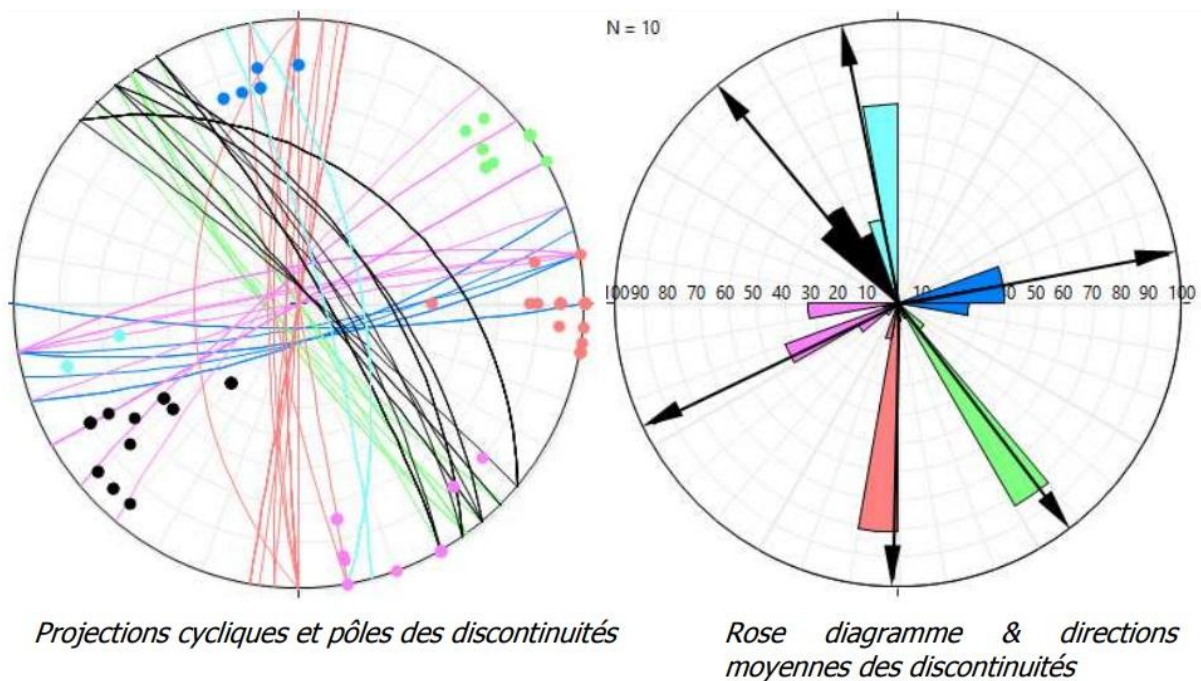


Fig.16: rosaces de fracturations. (LafargeHolcim, 2019)

L'interprétation de cette rosace fait apparaître l'existence de plusieurs directions de discontinuités dont trois composantes principales exprimant vraisemblablement leur adéquation avec la fracturation tectonique ternaire du littoral oranais et qui s'accorde au modèle de cisaillement du 'Modèle de Riedel'.

Le stéréogramme des discontinuités fait ressortir que la fracturation collectée aux différents endroits de la carrière, s'organise principalement en six (6) familles directionnelles.

Trois familles principales omniprésentes dans la carrière et sont caractérisées par une fracturation d'intensité moyenne et à pendage sub vertical ; (Fig-17).

- F2 Moyenne (vert) : Direct N142 et pendage moyen 85°SW
- F3 Moyenne (rouge): Direct N181 et pendage moyen 85° W
- F5 (noire) Moyenne : Direct N315 et pendage moyen 66°NE

Les trois familles secondaires accusant des plans de fractures relativement moins redressés avec des pôles moyens correspondants respectivement les failles :

- F1 Moyenne (bleue): Direct N80 et Pendage moyen 73°S
- F4 (rose) Moyenne : Direct N245 et Pendage moyen 85° NW
- F6 (magenta) Moyenne : Direct N348 et pendage moyen 70°E
- La figure ci-dessous présente les projections en 3D des différentes familles de discontinuité observées.

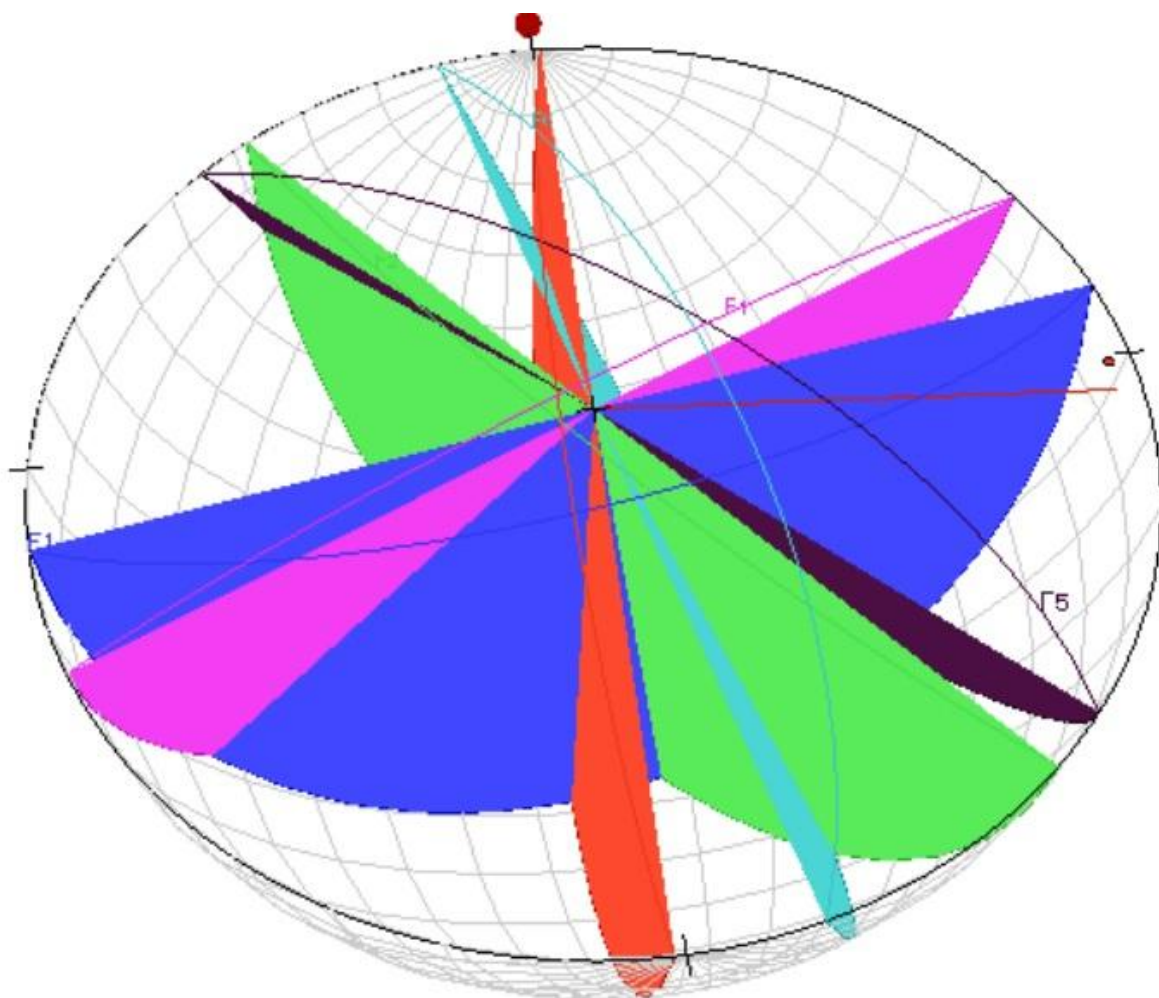


Fig.17: projection 3D des orientations moyennes des discontinuités (LafargeHolcim, 2019)

IV. les Glissements rocheux :

On appelle glissements rocheux tout déplacement d'une masse de terrain bien définie sur une pente prononcée, avec une rupture par défaut de résistance au cisaillement suivant une surface bien identifiée où se localisent les déformations du matériau.

Trois types de glissement sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture :

- Glissement plan ou translationnel, sur le long d'une surface plane ;
- Glissement circulaire ou rotationnel, sur le long d'une surface convexe ;
- Glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange de deux types.

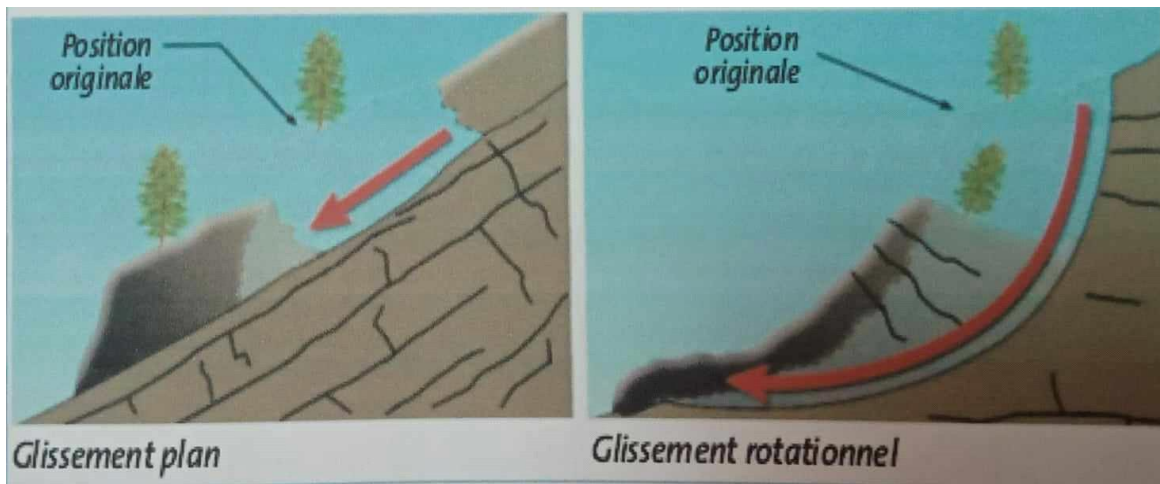


Fig.18: Schéma de Glissement terrain (Lafarge, 2022)

V. Analyse cinématique de la fracturation

L'analyse cinématique des discontinuités relevées est réalisée par le logiciel 'DIPS', qui est conçu pour l'analyse interactive de données géologiques basées sur l'orientation. Il permet d'analyser et de visualiser des données structurales et comporte de nombreuses caractéristiques de calcul et d'analyse des attributs qualitatifs et quantitatifs. Pour le cas étudié l'outil d'analyse cinématique par glissement de plan et de dièdre a permis d'étudier la projection de données relevées en présentant le recouvrement d'analyse cinématique pour le glissement planaire, comme indiqué ci-dessous

1. GLISSEMENT PLANAIRE

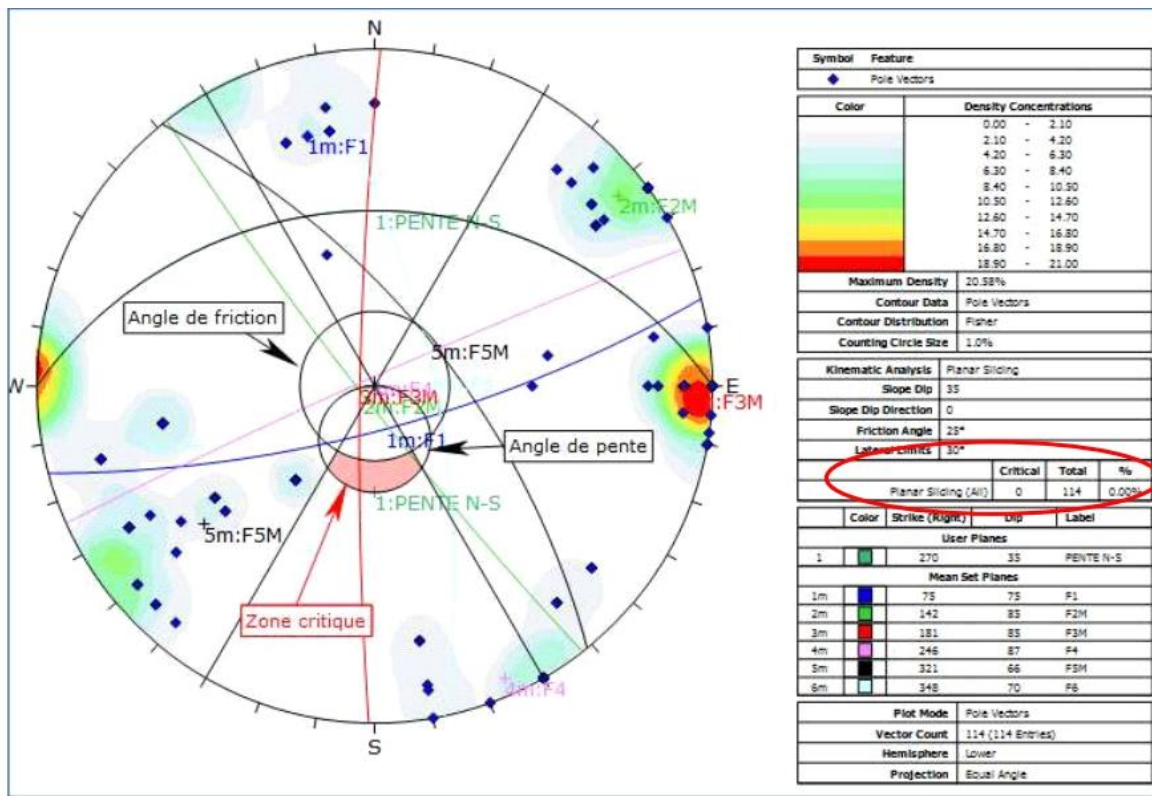


Fig.19: Glissement planaire (Gradins N-S) (LafargeHolcim, 2019)

La zone critique principale pour le glissement du coin (en rouge) est la zone en forme de croissant située à l'intérieur du cône de friction du plan et à l'extérieur du plan de la pente. Tous les pôles (points) d'intersection situés dans cette zone représentent des plans qui peuvent glisser. C'est-à-dire que la zone critique pour le glissement plan est définie par les pôles qui sont inclus soit :

- En dehors du cercle de frottement des pôles ; soit
- À l'intérieur de la pente enveloppe.

Dans ce cas, aucun pôle n'est contenu dans la zone de glissement planaire critique. La légende fournit les résultats sous forme de pourcentage de tous les pôles du fichier index (0/114). Comme on peut l'apercevoir la probabilité de glissement planaire est très faible pour cette combinaison d'orientation de pente et d'angle de frottement.

2. GLISSEMENT DIEDRE

Gradins S-N

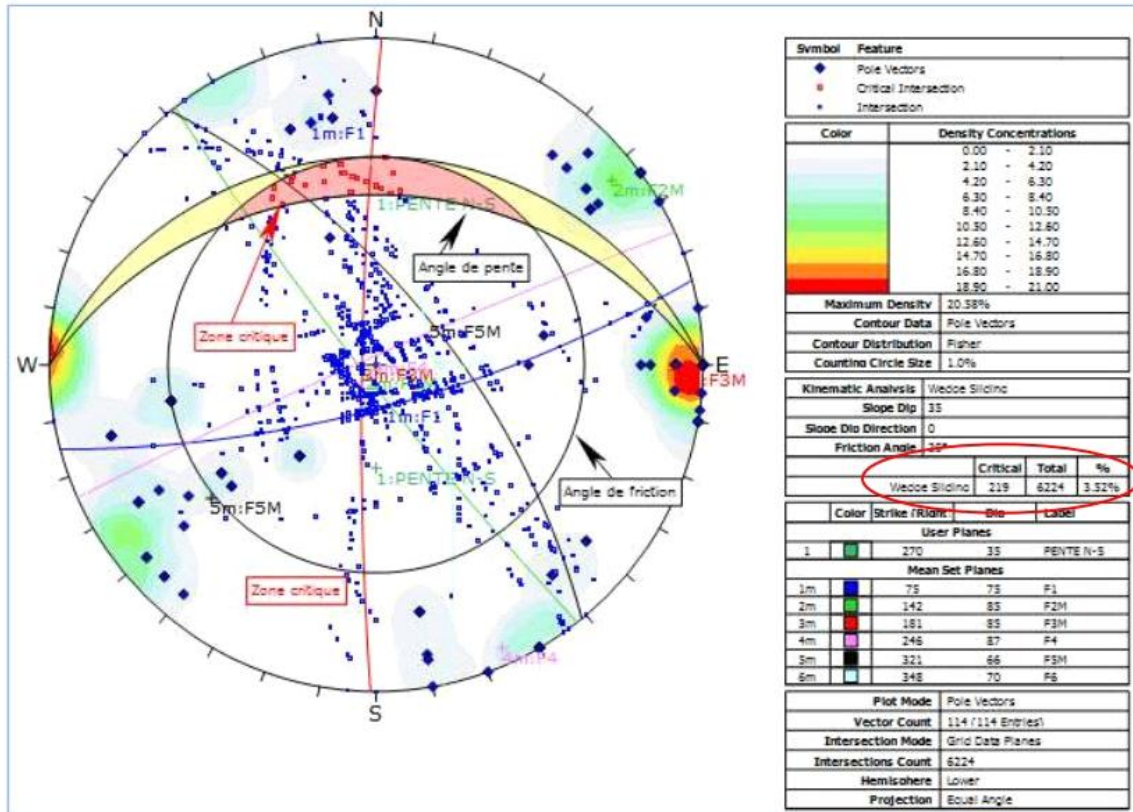


Fig.20: Glissement diedre (Gradins S-N) (LafargeHolcim, 2019)

Comme on peut l'apercevoir, les contours de l'ensemble des plans d'intersections indiquent immédiatement que la probabilité de glissement dièdre est très faible, on voit que les principales concentrations d'intersections (en bleu) se situent presque toutes bien en dehors de la zone critique de glissement. Par ailleurs le pourcentage d'intersections critiques (points rouges, par rapport au nombre total est très faible (environ 3.52 %), de sorte que le glissement plan n'est pas une préoccupation majeure pour cette orientation de la pente.

VI. ANALYSES DE STABILITES

Le calcul de stabilité sur la pente déduite à partir du design de la fosse finale ont été mené à partir des paramètres géotechniques déduits des différentes analyses, en travaillant avec, d'une part, les valeurs moyennes et d'autre part, des valeurs faibles considérées comme « sécuritaires possibles ».

Les paramètres prépondérants pour l'évaluation du niveau de stabilité sont l'angle de frottement et la cohésion au niveau des joints. Aucun essai de laboratoire n'a été réalisé sur les joints.

Pour l'estimation de ces derniers, une évaluation a été déduite à partir du tableau de classification géomécanique de BENIAWSKI, tenant compte des caractéristiques moyennes du massif obtenues (RMR-89), par un calage de ces paramètres en se plaçant dans les conditions géométriques moyennes, afin de pouvoir mettre en œuvre des calculs de stabilité par les méthodes habituelles qui a fait ressortir :

- L'angle de frottement : $\phi = 25^\circ$
- La cohésion : $C = 200 \text{ kPa}$

A toute fin utile, à signaler que des essais en laboratoire menés par G. MAZZOLENI du groupe mécanique des roches du LCPC ont permis de définir pour les joints calcaires lisses un angle de frottement variant de 25° à 27° (voir annexe). On retiendra donc la valeur 25° considérée comme minimale pour les calculs de stabilité.

Nb : Ces analyses préliminaires sont réalisées de façon déterministe, avec la prise en considération l'accélération sismique. Les valeurs rapportées ci-haut (voir chapitre sismicité). Aucune pression d'eau n'a été prise en compte en raison d'absence d'éventuel suintement d'eau.

VII. STABILITE GLOBALE

1. FRONTS ORIENTES S-N

En considérant que la masse rocheuse 'in-situ' demeure très perturbée, dans la même pente jusqu'à 170 m de profondeur, correspondant au fond de la fosse finale, dans notre étude de la stabilité, nous avons tenté d'utiliser les méthodes de calcul en rupture circulaire selon la méthode de 'Bishop', basée sur les ruptures plane et en dièdre ainsi que sur les critères de ruptures de Mohr-Coulomb. Les calculs de stabilité globale du front, ont été menés à l'aide du logiciel Slide-V6, connu par 'RocPlane et Swedge'.

1.1. La rupture plane

L'évaluation de la stabilité globale a été tentée en considérant une rupture plane inclinée qui varie de 25° et correspondant à l'angle de frottement minimal allant jusqu'à 34° . L'angle proche de l'angle de pente enveloppe, en variant les différents paramètres impactant de par leur variation la stabilité du front de l'excavation, et pour la même profondeur de pente.

Ci-dessous, il est proposé une analyse de stabilité globale du front à l'aide du logiciel 'RocPlane', pour le mode de rupture de Mohr-Coulomb ; (Tab-5)

.Pente enveloppe (°)	35	35	35	35	35	35	35	35
Angle glissement supposé (°)	25	25	25	25	34	34	34	34
Dénivelée (m)	170	170	170	170	170	170	170	170
Longueur enveloppe (m)	238	238	238	238	238	238	238	238
Densité t/m ³	1.73	1.73	1.73	1.7	1.73	1.73	1.73	1.7
Pente face supérieure (°)	0	5	5	5	0	5	5	5
Angle de frottement (°)	25	25	25	25	25	25	25	25
Cohésion kPa	200	200	200	200	200	200	200	200
Tension crack (°)	80	80	0	0	80	80	0	0
Coefficient sismique horiz	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.000
FS	1.5	1.48	1.58	2.1	7.2	7.19	7.2	8.7

Tab.5: différents scénarios d'analyses FS (LafargeHolcim, 2019)

L'analyse du coefficient de sécurité FS (global) vis-à-vis une rupture plane affectant l'ensemble des gradins (en fosse finale), avec le modèle de rupture évoqué, ont donné des valeurs de facteurs de sécurités qui plaident pour une situation plus favorable >1.0

2. LA RUPTURE EN DIEDRE :

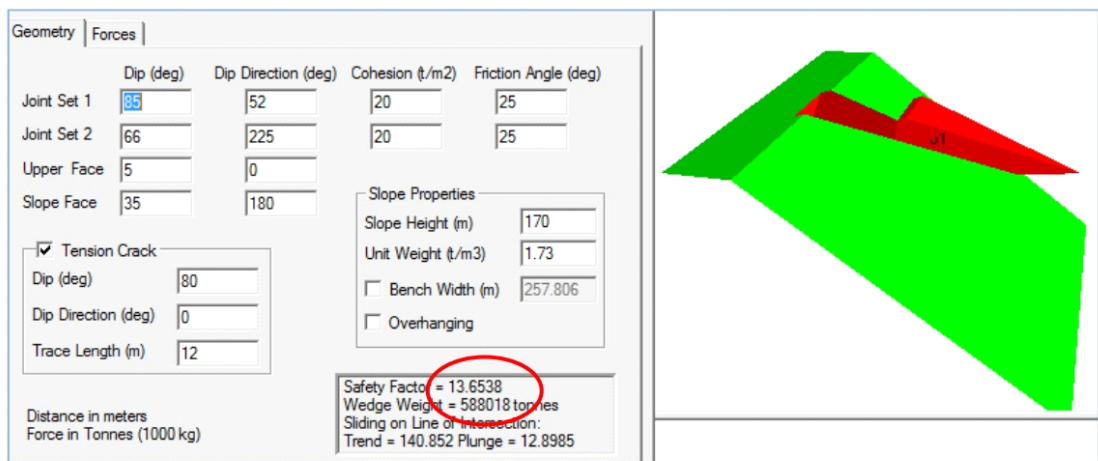


Fig.21: Rupture en diedre (sans acceleration sismique) (LafargeHolcim, 2019)

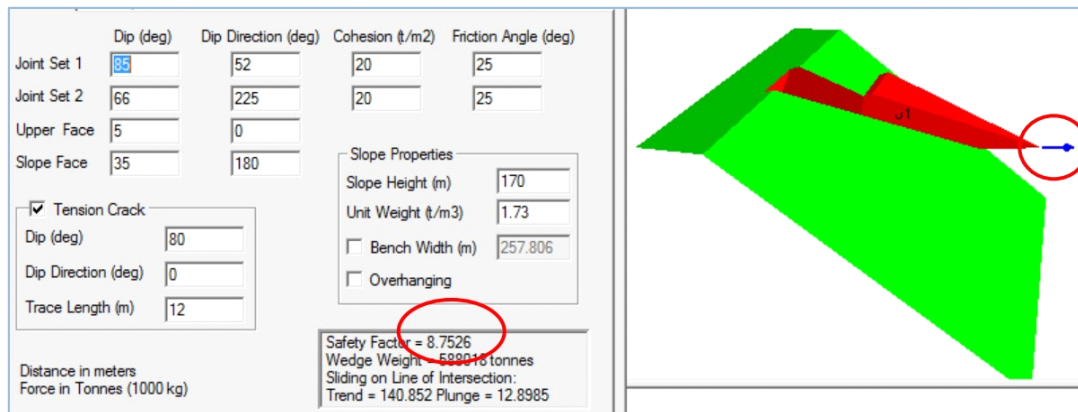


Fig.22: RUPTURE en dièdre (avec accélération sismique) (LafargeHolcim, 2019)

VIII. ANALYSES DE STABILITE DES BANQUETTES

Le front de taille envisagé sera agencé en une succession de gradins de hauteur de 10 m, avec des talus inclinés de 70°, séparés par des banquettes larges de 10 m.

A l'échelle des gradins, normalement l'expression des familles de fractures génère deux types d'instabilité à savoir :

- Glissement rocheux en bancs sur bancs ; à la faveur des plans en aval du pendage.
- Conjugaison de plans en générant le découpage du massif en dièdres.

1. FRONTS ORIENTES 'Est-Ouest'

Pour l'évaluation de la stabilité des fronts orientés E-O, la même démarche a été suivie, seuls les paramètres géométriques afférentes à l'orientation de la fosse dans cette direction ont changé.

Dénivelée maximale : 118 m

Pente enveloppe des fronts : 34°

Inclinaison gradins : 70°

Longueur enveloppe : 172.95 m

IX. ETUDE CINEMATIQUE

L'analyse cinématique des mêmes valeurs structurales pour l'étude des glissements planaire et dièdre sont illustrées par les figures ci-dessous.

1. GLISSEMENT PLANAIRE

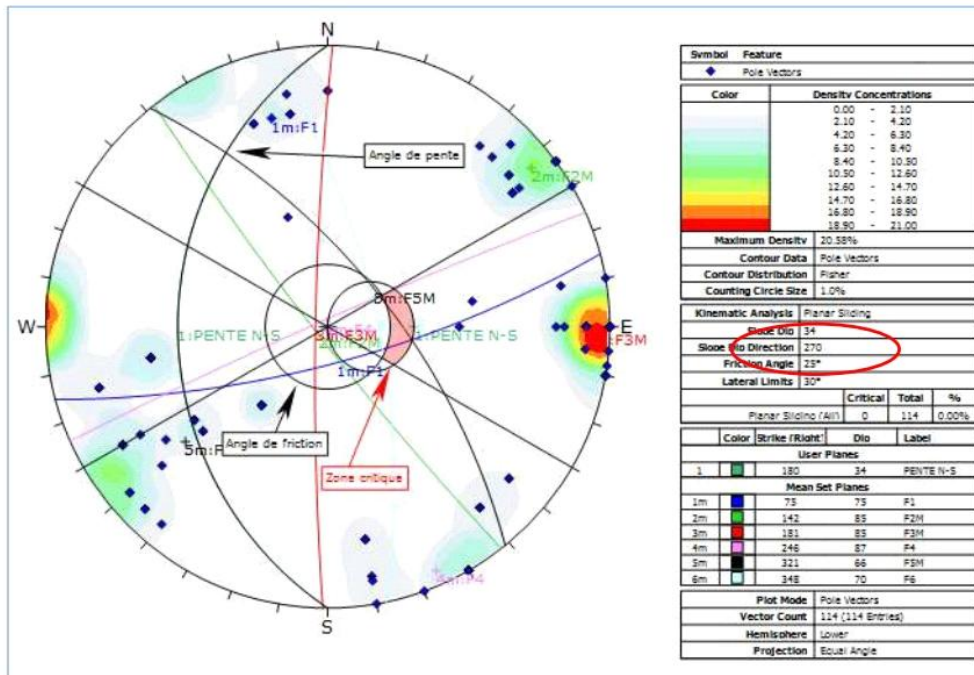


Fig.23: Glissement planaire (gradins E-W) (LafargeHolcim, 2019)

2. GLISSEMENT DIEDRE / Gradins E-O

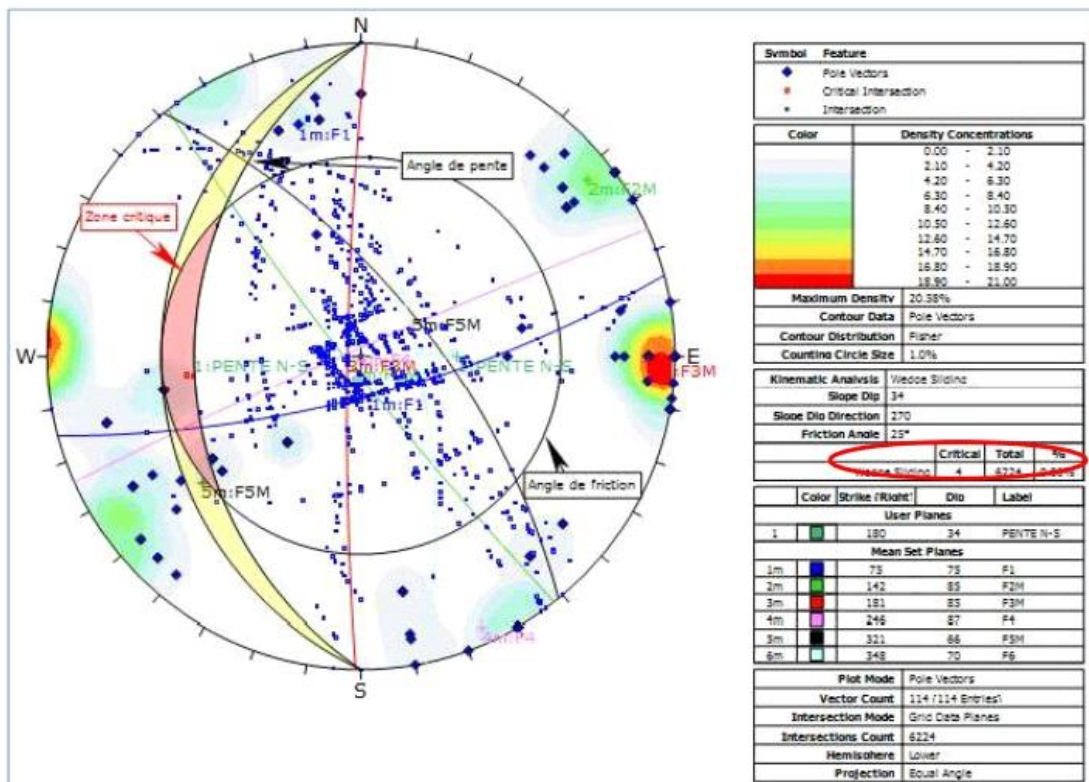


Fig.24: Glissement diedre (Gradins E-W) (LafargeHolcim, 2019)

Dans les deux cas de figures, on remarque qu'aucune intersection ne se trouve dans les zones critiques des glissements planaire ou de dièdre (en rouge), ce qui nous a permis de retenir que l'éventualité de tels glissements pour cette orientation de pente est faible.

X. CONCLUSION

Le projet d'exploitation final de la carrière, tel que préconisé à priori, prévoit une fosse avec un carreau final arrêté à la cote altimétrique : +234 m, cette limite est fixée selon le critère qualitatif du matériau. Les fronts de taille seront agencés en une succession de gradins de hauteur de 10 m avec des talus inclinés à 70° et des bermes larges également de 10 m, qui alternent tous les cinq gradins avec des bermes de 20 m; La crête supérieure de l'excavation à l'endroit le plus élevé de la carrière, qui est la limite sud du périmètre, s'élève à l'altitude 404 m et le fond de l'exploitation qui est le carreau final de la carrière sera arrêté à la cote : +234 m, soit dix-sept (17) gradins totalisant une dénivelée de l'ordre : 170 m. Par contre, envers le côté Est du périmètre, la partie sommitale s'élève à +352 m, soit une dénivelée de l'ordre : 118 m.

Les fronts de tailles et l'ensemble de la surface libérée par l'exploitation ne montrent pas de signes de stratifications visibles, par contre elles affichent la présence de diaclases et fractures multi directionnelles, d'ouvertures centimétriques à décimétriques. Les plans de fractures sont comblés dans leur majorité de dépôts ferrugineux brunâtres ou colmatés par de la calcite secondaire blanchâtre ; Le stéréogramme des discontinuités fait ressortir que la fracturation collectée aux différents endroits de la carrière, s'organise principalement en six (6) familles directionnelles. Trois familles principales omniprésentes dans la carrière et sont caractérisées par une fracturation d'intensité moyenne et à pendage sub vertical vérifiant la prédominance du cisaillement et trois familles secondaires accusant des plans de fractures relativement moins redressés qui sont complémentaires aux premières discontinuités.

Les directions des fronts d'exploitation sont orientés actuellement de façon méridionale 'N-S', et celle de la fosse en fin d'exploitation, sont orientés sensiblement perpendiculaire aux alignements des failles majeures et ne peuvent présenter de risques de déstabilisation des fronts. Par contre sont sub parallèles aux fronts de l'excavation orientées Est-Ouest et n'auront pas d'incidence négative du fait qu'elles seront effacées au niveau de la carrière par l'exploitation et réduits à niveau du carreau final. Concernant la stabilité des fronts tels qu'ils sont présentés, les calculs ont montré, aussi bien pour la stabilité globale que locale, et selon les différentes approches utilisées tels que celle de 'BISHOP', planaire et de dièdre, en mode de rupture 'Mohr-Coulomb', des facteurs de sécurité tous optimistes, traduisant des situations stables, quoi qu'avec quelques écarts ; selon la méthode utilisée.

XI. RECOMMANDATIONS

La conception de la fosse finale telle que préconisée et au regard des différents résultats obtenus de l'étude structurale est censée assurer la stabilité requise des fronts, mais sans pour autant s'affranchir de certains aléas afférents à ce mode d'exploitation, à savoir :

- Cassures induites par les tirs qui se surimposent aux discontinuités naturelles existantes signalées.
- Vaste fosse ouverte avec dénivelées de pentes significatives qui subissent des perturbations importantes en raison de la forte production de carrière.
- Rupture de pente par création du versant Est-Ouest de la fosse de plus 1100 m de longueur, supportant en permanence le poids des formations de l'aire géographique de la périphérie méridionale du périmètre.

A cet effet, et afin de se prévenir d'éventuels risques, il est conseillé de prendre quelques mesures correctives est nécessaires, à savoir :

- Renforcer la stabilité des gradins par réduction de la hauteur de 15 à 10 m et modification de leurs pentes par adoucissement de ces dernières de 70° à 60° voire à 55°, au fur et à mesure de la régression du développement de l'exploitation à partir des niveaux supérieurs vers ceux inférieurs. Non seulement ce changement augmentera leur stabilité tout en réduisant le risque relié à des instabilités structurales de petites envergures telles que les éventuelles chutes de blocs signalés mais permettra également à l'entreprise de récupérer une plus grande quantité de calcaire.
- Modélisation avec création de fronts de tailles à courbure concave, ceci assure généralement une bonne stabilité des fronts que ceux rectilignes ; surtout au niveau des coins. Ceci est à souligner via les pentes enveloppes des talus d'une exploitation excessive.
- De plus, un programme de suivis sur la stabilité des fronts. Ces suivis devraient principalement se faire juste après de fortes pluies ou des opérations de sautages, et autres opérations tels que la réhabilitation partielle des fronts au fur et mesure de la libération définitive de gradins de production.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAOUA A. (2017) – Les calcaires de Djebel Aoud Sma (Monts de Béni Chougrane) : aspect lithostratigraphique et géochimique. Mémoire de Master, Université d'Oran 2, 43 p.

BELHADJI ET AL., (2008) – Apports des foraminifères planctoniques à la biostratigraphie du Miocène supérieur et du Pliocène de Djebel Diss (bassin du Chélif, Algérie), 219-241p.

C.E.T.I.M. (2006) – Mémoire des résultats des travaux d'exploration : Gisement de calcaire «Aoud Sma». Rapport interne, 31 p.

DJAMAL EDDINE BENDAHO (2021) – Impact de la carrière d'exploitation de tufs sur l'instabilité du site de Djebel Grabis (A.P.C Tafraoui).

LAFARGE. (2019) – Analyses de stabilité des fronts carrière «Aoud Sma » Oggaz.

LAFARGE. (2022) – Renforcement de la ressource hydrique de la cimenterie de Oggaz - (LCO). Rapport interne, 30 p.

LAFARGE. (2021) – Rapport géologique carrière calcaire (Aoud Sma) Oggaz .

LAFARGE. (2022) – Rapport géologique carrière calcaire (sidi mhamed benaouda) RELIZANE
MOHAMMED NADIR NAIMI (2019) – La plate-forme carbonatée messinienne du Djebel Aoud Sma (MONTES DES OULED ALI, BASSIN DU BAS CHELIF) : Sédimentologie et Géochimie .

FARTASSI Tarek (2021)– Impact des travaux miniers de l'ENOF sur l'environnement proches de la zone de Bou-Caid. Wilaya de Tissemsilt.

TAHAR SAHNOUNE (2022) – Les calcaires Messiniens de la carrière d'Oggaz (Djebel Aoud Sma, bordure Nord des monts d'Ouled Ali): Microfacies et Géochimie.

ROUCHY J.-M (1998) - Taberner C., Blanc-Valleron M.M., Sprovieri R., Russell M., Pierre C., Di Stefano E., Pueyo J. J., Caruso A., Dinares-Turrell J., Gomis-Coll E., Cespuglio G., Ditchfield P., Grimalt J., Pestrea S., Combourieu-Nebout N., Santisteban C., (1998) - Sedimentary and diagenetic markers of the restriction in a marine basin: the Lorca Basin (SE Spain) during the Messinian. *Sedimentary Geology*, 121 : 23-55.

ROUCHY et al (2007) - The end of the Messinian salinity crisis: Evidences from the Chelif Basin (Algeria). *CR, Algeria*, Vol 254, Issues 3–4, 22 October 2007, Pages 386-417.

SOZINHO V. (2020) – Analyse Micropaléontologique de La Formation marnogrésoconglomératique du Djebel Bent Zououda (Dahra Occidentale, bassin du Bas Chélif). Mémoire de Master, Université d'Oran 2, 45 p.

SAINT MARTIN J. P, CONESA G., ANDRE J. P., MULLER J. & BENMOUSSA A.

(1996) – Anatomie de quelques plates-formes carbonatées progradantes messiniennes de Méditerranée occidentale. Bull. Soc. géol. France, t. 167, 4 : 495-507

SAINT MARTIN J. P. & MOISSETTE P. (1987b) – Bivalves Hétérodontes du Messinien d'Oranie (Algérie occidentale). Bull. Mus. Hist. nat., Paris, 4e sér., 9, section C, 4 : 415- 453.

SYLVAIN. R– Analyse par fluorescence X des éléments traces métalliques dans un sol cultivé (île de La Réunion). Rapport de stage. Université de Provence - Aix–Marseille, 127p

Liste de figures

- Fig.1:** Schéma du bassin Bas-Chélif /(surface- blanc) (d'après Belhadji et al., 2008)
- Fig.2:** Image satellitaire de la carrière Djbel Aoud-Sma; (LCO)
- Fig.3:** Situation géographique de secteur d'étude (Extrait de la carte topographique du Sig N°43 au 1/25.000 ; modifiée)
- Fig.4:** Carte géologique simplifiée de la marge méridionale du bassin du Bas Chélif (d'après Saint Martin, 1990; modifié)
- Fig.5:** climatologie de Sig (A) (LafargeHolcim, 2021)
- Fig.6:** Climatologie de Sig (B) (LafargeHolcim, 2021)
- Fig.7:** Rose des vents (LafargeHolcim, 2021)
- Fig.8:** distribution du réseau hydrographique sur le secteur d'étude.(LafargeHolcim, 2021)
- Fig.9:** Failles principales (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.10:** Réseau de fracture (A)
- Fig.11:** Réseau de fracture (B) (LafargeHolcim, 2021)
- Fig.12:** Organigramme de LafargeHolcime
- Fig.13:** Organigramme Service carrière
- Fig.14:** Fosse finale (LafargeHolcim, 2021)
- Fig.15:** Géométrie actuelle de la carrière (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.16:** rosaces de fracturations. (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.17:** projection 3D des orientations moyennes des discontinuités (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.18:** Schéma de Glissement terrain (Lafarge, 2022)
- Fig.19:** Glissement planaire (Gradins N-S) (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.20:** Glissement diedre (Gradins S-N) (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.21:** Rupture en diedre (sans acceleration sismique) (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.22:** RUPTURE en diedre (avec acceleration sismique) (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.23:** Glissement planaire (gradins E-W) (LafargeHolcim, 2019)
- Fig.24:** Glissement diedre (Gradins E-W) (LafargeHolcim, 2019)

Liste de tableaux

Tab.1: Localisation de la carrière de 'Djbel Aoud- Sma' ; (LCO)

Tab.2: Coefficient d'accélération de zone A (LafargeHolcim, 2019)

Tab.3: Réserves exploitation disponible fin 2020 (LafargeHolcim, 2021)

Tab.4: Production réalisé (LafargeHolcim, 2021)

Tab.5: différents scénarios d'analyses FS (LafargeHolcim, 2019)