



MEMOIRE

Présenté

à



L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES
DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

Géo-Ressources

par

Youssef BOUGHOUFALA

&

Hamza MAROUF

**ASPECT QUANTITATIF ET QUALITATIF DE L'EXPLOITATION DE
GRNULATS : EXEMPLE LA CARRIERE INFRAFER DE DJEBEL SOUIGA
(SUD-EST DE LA WILAYA DE NAÂMA)**

Soutenu le 02 juillet 2022 devant les membres du jury :

Salamet MAHBOUBI MC (A), Univ. Tlemcen
Choukri SOULIMANE, MC (A), Univ. Tlemcen
Mustapha BENADLA, MC (B), Univ. Tlemcen
Nassim HELLILFI, Ingénieur, Expert, Chef de carrière

Président
Encadreur
Examineur
Invité



MEMOIRE

Présenté

à



L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES
DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

Géo-Ressources

par

Youssef BOUGHOUFALA
&
Hamza MAROUF

**ASPECT QUANTITATIF ET QUALITATIF DE L'EXPLOITATION DE
GRANULATS : EXEMPLE LA CARRIERE INFRAFER DE DJEBEL SOUGA
(SUD-EST DE LA WILAYA DE NAÂMA)**

Soutenu le 02 juillet 2022 devant les membres du jury :

Salamet MAHBOUBI, MC (A), Univ. Tlemcen
Choukri SOULIMANE, MC (A), Univ. Tlemcen
Mustapha BENADLA, MC (B), Univ. Tlemcen
Nassim HELLILFI, Ingénieur, Expert, Chef de carrière

Président
Encadreur
Examineur
Invité

Dédicace

Grâce à la volonté d'Allah Le Tout Puissant et Bienveillant que ce travail a été achevé. Je le dédie à :

A ma très chère famille qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

A tous mes amis et collègues,

BOUGHOUFALA youssouf

Dédicace

Je dédie mes sincères salutations à tous ceux qui ont sympathisé avec moi qui m'ont aidé et qui m'ont blâmé dans ma carrière universitaire.

Je voudrais remercier également ma famille et plus particulièrement mes parents et toutes les personnes qui m'ont soutenu, qui m'ont conseillé ou qui se sont intéressées de près ou de loin à mes travaux.

« La science est toujours utile, on ne perd pas le temps employé à l'acquérir. »

Proverbe chinois.

MAROUF Hamza

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

| | |
|----------------------|----|
| REMERCIEMENTS | 04 |
| RESUME | 05 |
| ABSTRACT | 06 |

Premier chapitre : CADRE GENERAL DE L'ETUDE

| | |
|--|----|
| I. PROBLEMATIQUE | 08 |
| II. OBJECTIFS | 08 |
| III. CADRE GEOGRAPHIQUE | 08 |
| A. Situation géographique générale de l'Atlas Saharien occidental | 08 |
| B. Situation géographique général de la région d'étude | 09 |
| IV. CADRE GEOLOGIQUE | 10 |
| A. Aperçu géologique de l'Atlas Saharien occidental | 10 |
| 1. Au plan structural | 10 |
| 2. Au plan stratigraphique | 11 |
| B. Aperçu géologique de la région d'étude | 12 |
| 1. Au plan structural | 12 |
| 2. Au plan stratigraphique | 12 |
| V. MEHODOLOGIE | 14 |
| A. Sur le terrain | 14 |
| B. Au laboratoire | 14 |

Deuxième chapitre : ETUDE GEOLOGIQUE DE GISEMENT

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCTION | 15 |
| II. ETUDE LITHOLOGIQUE DE LA CARRIERE | 15 |
| A. Situation géographique de la carrière | 15 |

| | |
|--|----|
| B. Géologie de gisement | 16 |
| C. Structure de gisement | 16 |
| D. Etude pétrographique | 16 |
| 1. Premier gradin | 17 |
| 2. Deuxième gradin | 17 |
| 3. Troisième gradin | 18 |
| 4. Quatrième gradin | 20 |
| 5. Cinquième gradin | 21 |
| III. ANALYSE PHYSICO-MECANIQUE | 21 |
| A. Notions et généralités | 21 |
| 1. caractéristiques physiques des granulats | 21 |
| 1.1. Granulométrie | 21 |
| 1.2. Propreté | 22 |
| 1.3. Mesure du Coefficient d'aplatissement des granulats | 22 |
| 2. caractéristiques mécaniques des granulats | 23 |
| 2.1. Résistance à la fragmentation par chocs | 23 |
| 2.2. Essai Micro Deval | 23 |
| 2.3. Equivalent de Sable | 24 |
| 2.4. Densité | 24 |
| B. Résultats et interprétations | 24 |
| IV. CONCLUSION | 26 |

Troisième chapitre : ESTIMATION DES RESERVES

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCTION | 27 |
| II. ALTIMETRIE | 27 |
| III. CALCUL RESERVES GEOLOGIQUES | 28 |
| A. Méthode | 28 |
| B. Résultats et interprétations | 29 |
| IV. DECAPAGES OU STERILES | 29 |
| A. Méthode parallélépipède | 29 |
| B. Résultats et interprétations | 30 |
| V. RESERVES EXPLOITABLES | 31 |
| A. Méthode des coups géologiques | 31 |
| B. Résultats et interprétations | 33 |
| VI. RESERVES EXPLOITABLES EN 2022 | 33 |

| | |
|---|----|
| A. Méthode des coups géologiques | 33 |
| B. Résultats et interprétations | 34 |
| VII. TONNAGE DES RESERVES | 34 |
| VIII. CONCLUSION | 35 |
| CONCLUSION GENERALE | 36 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE | 37 |
| LISTE DES FIGURES | 39 |
| LISTE DES TABLEAUX | 41 |
| ANNEXES | 42 |

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous voudrions remercier notre dieu **ALLAH** tout puissant qui nous a donné la volonté et le courage d'établir ce modeste travail.

Nous souhaitons d'abord remercier notre encadreur, Monsieur **Choukri SOULIMANE**, Maître de conférences (A) à l'Université de Tlemcen qui nous a proposé ce sujet et encouragé pour durant la réalisation de ce travail. Nous le remercions pour tout le temps et l'attention qu'il nous a accordé, ainsi que pour ses riches conseils.

Nos vifs remerciements s'adressent à Monsieur **Nassim HELLILFI**, Ingénieur, Expert et Chef de carrière -**ISSAADI**-, pour sa gentillesse, sa grande disponibilité et son aide active durant nos sorties sur le terrain.

Nous sommes honorés par la présence de Madame **Salamet MAHBOUBI**, Maître de conférences (A) à l'Université de Tlemcen qui a bien accepté de présider le jury.

Un grand merci à Monsieur **Mustapha BENADLA**, Maître de conférences (B) à l'Université Tlemcen pour bien vouloir juger ce travail et apporter son avis et ses critiques.

Une fois de plus, merci à Monsieur **Tidjini BOUAMAMA**, Chef de site -**INFRAFER**-, pour son aide sans contrepartie et sans hésitation pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tous les enseignants du Master Géo-ressources Professionnel, surtout notre Professeur Monsieur **Abbas MAROK** pour tous ses conseils et son suivi pendant toute notre formation de Master. Merci de nous avoir motivés.

Enfin, Un merci ne suffirait pas pour exprimer notre gratitude au personnel de la carrière -**INFRAFER**- ; merci à Monsieur **Sidali BRADAI**, Ingénieur géotechnique et Monsieur **Farid NASER**, Directeur carrière -**INFRAFER**- de Naâma pour votre aide à chaque fois que nous avons eu besoin.

RESUME

RESUME

Faisant partie des Monts des Ksour, la carrière étatique INFRAFER de Djebel Souiga, objet de la présente étude, se situe à 20 km de la wilaya de Naâma.

Au point de vue stratigraphique, cinq gradins ont fait l'objet d'une étude géologique. Celle-ci montre que ces carbonates sont traversés par des diaclases multidirectionnelles, avec la présence des structures fenestratees tels que les « bird-eyes » et les géodes de calcites de taille millimétrique à centimétrique.

Par ailleurs, les analyses physico-mécaniques basées sur des essais et calculs ont été effectués pour évaluer la qualité des matières premières extraites d'une part ; et de mettre en évidence les réserves probables et exploitables de la dite carrière d'autre part.

Pour répondre aux objectifs souhaités, les résultats ainsi obtenus nous ont permis de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques tel que : la propreté, la granulométrie, l'aplatissement, Mico Deval, la résistance à la fragmentation du choc (Los Angeles) et l'équivalent de sable de produit final, et quantifier par la méthode trapézoïdale les réserves géologiques et exploitables du gisement grâce au logiciel Auto-CAD qui est estimé respectivement à 120602521 t et 31124550.2 t.

Enfin, on peut en déduire à partir des résultats obtenus que ces Calcaires dolomitique soient assez bons du point de vue qualité et répondent aux normes requises pour les différents usages afin de subvenir aux besoins en agrégats pour alimenter les différents projets surtout dans le domaine des travaux publics.

Mots clés : Monts des Ksour, Djebel Souiga, INFRAFER, Physico-mécaniques, Réserves géologiques, Trapézoïdale, Auto-CAD.

ABSTRACT

ABSTRACT

As part of the Ksour Mountains, the INFRAFER state quarry of Djebel Souiga, subject of this study, is located at 20 km from the wilaya of Naâma. From a stratigraphic point of view, five columns were the subject of a geological study. This shows that these carbonates are crossed by multidirectional joints, with the presence of fenestrae structures such as “bird-eyes” and calcite geodes of millimeter to centimeter size.

In addition, physico-mechanical analyzes based on tests and calculations were carried out to assess the quality of the raw materials extracted on the one hand; and to highlight the probable and exploitable reserves of the said quarry on the other hand.

To meet the desired objectives, the results thus obtained enabled us to determine the physico-mechanical characteristics such as: cleanliness, grain size, flattening, Micro Deval, resistance to impact fragmentation (Los Angeles) and the equivalent of sand of final product, and quantify by the trapezoidal method the geological and exploitable reserves of the deposit by Auto-CAD software which is estimated respectively at 120602521 t and 31124550.2 t.

Finally, we can deduce from the results obtained that these dolomitic limestones are quite good from the point of view of quality and meet the standards required for the different uses in order to meet the needs in aggregates to supply the different projects especially in the field of works. public.

Keywords : Ksour Mountains, Djebel Souiga, INFRAFER, Physico-mechanical, Geological reserves, Exploitable reserves, Trapézoïdale, Auto-CAD.

| | |
|---|--|
|  | Calcaire Dolomitique |
|  | Géode de Calcite |
|  | Structure fenestreae de type "Bird-eyes" |

Légende générale des figures et des symboles.

Premier chapitre : **CADRE GENERAL DE L'ETUDE**

I. PROBLEMATIQUE

Les matériaux extraits des carrières deviennent, après un traitement mécanique plus ou moins complexe des granulats. Ces derniers sont en volume le constituant essentiel des ouvrages des travaux publics et du bâtiment. Ils constituent en fait, le matériau le plus consommé au monde. Dans ce contexte, une étude a été réalisée sur la carrière étatique de **INFRAFER** qui est considérée comme le gisement d'exploitation des granulats le plus important dans la wilaya de Naâma. Dans ce présent travail, on va essayer d'étudier la nature lithologique des gradins qui constitue le front de taille de la carrière d'une part et d'interpréter les données des paramètres physico-mécaniques des calcaires d'autre part. Ces paramètres reflètent la qualité de produit exploité dans ce gisement.

II. OBJECTIFS

Actuellement, les granulats sont devenus le matériau de base et le noyau de tous types des constructions urbaines dans le monde car ceci est expliqué par la forte demande de graviers qui nécessitent une étude qualitative et quantitative.

A cet effet, notre objectif de travail se résume comme suit :

- Déterminer la nature lithologique de la roche formant le front de taille principal de la carrière à partir de 05 colonnes détaillées pour chaque gradin.
- Analyser les paramètres physico-mécaniques pour avoir une idée claire sur la qualité des granulats.
- Estimer la quantité des réserves géologiques et exploitables en raison de satisfaire les demandes économiques.

III. CADRE GEOGRAPHIQUE

A. Situation géographique générale de l'Atlas Saharien occidental

Cerné entre deux principaux domaines paléogéographiques stables, les Hautes plaines oranaises au Nord et la Plate-forme saharienne au Sud (Fig. 01). Les Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental) est déterminé comme étant une chaîne de montagne qui s'étend depuis les confins algéro-marocains jusqu'à l'extrémité orientale de Djebel Amour, suivant une direction NE-SW sur plus de 150 km.

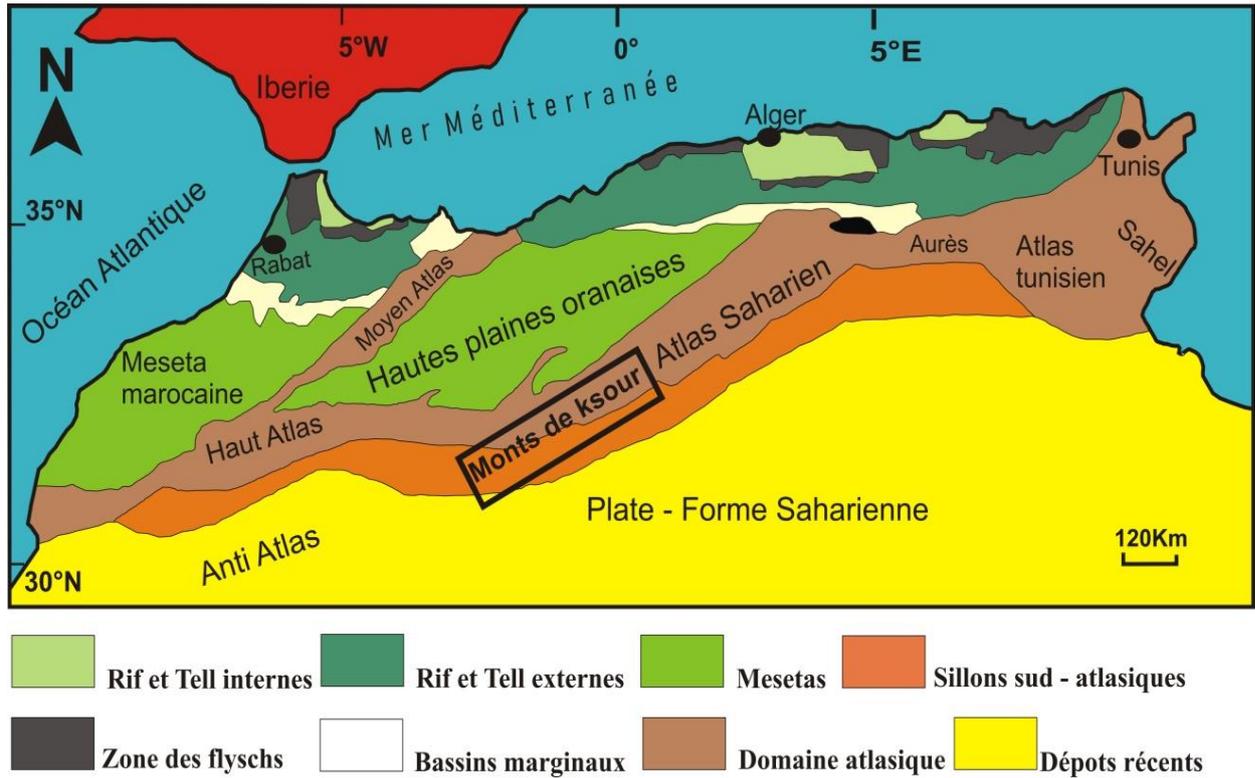


Fig. 01 : Cadre géographique des Monts des Ksour (ELMI, 1977, modifiée).

B. Situation général de la région d'étude

Djebel Souiga est situé à environ 20 km au Sud de Naâma et 65 km au Nord d'Aïn Sefra. Ce Djebel est nettement délimité par (Fig. 02) :

- Nebket ech Couf et le Djebel Melah au Nord ;
- Le Djebel Aïssa au sud ;
- La route nationale n°6 à l'Ouest ;
- Le Djebel Talbouna à l'Est.



Fig. 02 : Situation géographique générale de Djebel Souiga (Mapcarta,2022).

IV. CADRE GEOLOGIQUE

A. Aperçu géologique de l'Atlas Saharien occidental

1. Au plan structural

Pendant le Tertiaire, lors de la phase orogénique pyrénéenne (ou atlasique), les dépôts de sillon atlasique furent énergiquement plissés et donnèrent naissance à des plis simples mais de forte amplitude, qui constituent l'un des traits caractéristiques de l'Atlas saharien d'une façon générale les anticlinaux présentent le type coffré, à flanc fortement redressé et à charnière plate, les synclinaux présentant le type perché à fond plat et large « Style Jurassien » ou « Style atlasique » (MAHBOUBI, 1983).

Le Style atlasique se reconnaît par la discontinuité des anticlinaux donnant une disposition en « chenilles processionnaires » (RITTER, 1902) prenant naissance et s'éteignant rapidement.

Au point de vue tectonique, l'Atlas Saharien occidental est délimité par deux principaux accidents (Fig. 03), qui sont :

- L'accident Nord-atlasique : il ne s'agirait pas d'un accident unique mais d'une zone accidentée, allongée, présentant localement une nette séparation entre les structures atlasiques et celle des Hautes plaines.

- L'accident Nord saharien : il s'agit en fait d'une de diastrophisme où les accidents sont tantôt des plis monoclinaux fracturés, tantôt des plis failles constituant ainsi le grand accident Nord saharien ou Sud atlasique.

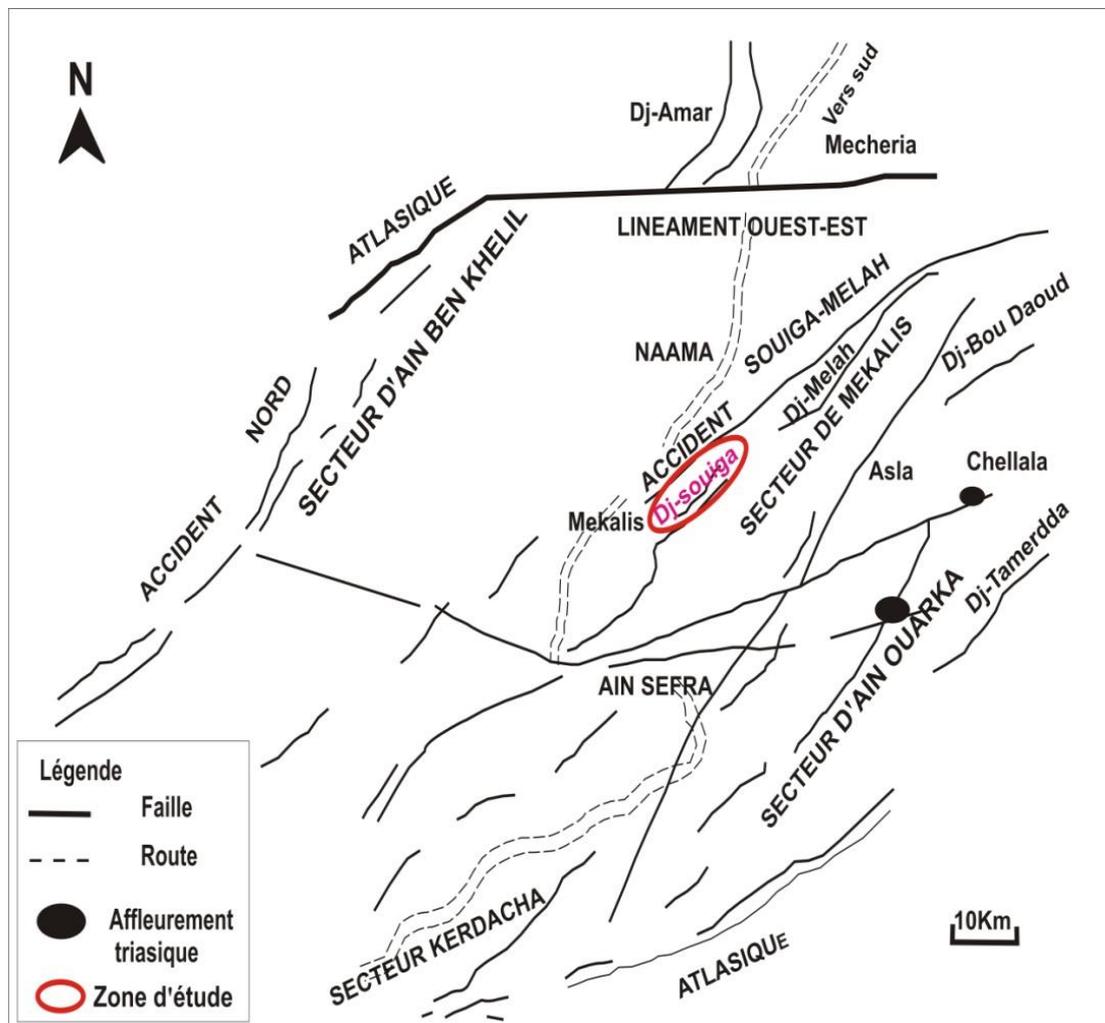


Fig. 03 : Contexte structural du l'Atlas saharien occidentale (MEKAHLI, 1998).

2. Au plan stratigraphique

D'après (DELFAUD, 1973 ; BASSOULLET, 1973 ; AIT OULA, 1991 ; MEDDAH, 1999), l'Atlas saharien occidental est scinder en trois grands ensembles lithostratigraphiques qui sont dans l'ordre ascendant :

- des terrains d'âge triasiques sous formes de diapirs comme dans la région d'Aïn Ouarka ;
- des terrains jurassiques matérialisés par un Lias carbonaté, le Jurassique moyen et supérieur correspondant à l'installation du complexe deltaïque des Ksour.
- des terrains crétacés caractérisés par une assise détritique d'origine deltaïque. Ce complexe détritique est coiffé par une corniche carbonatée d'âge turonien.

L'ensemble de ces terrains est surmonté en une discordance angulaire par des faciès continentaux attribués au Tertiaire. Ces faciès sont représentés par des grès, des argiles et des poudingues.

B. Aperçu géologique de la région d'étude

1. Au plan structural

La structure de la région se caractérise par une succession d'anticlinaux étroits, coffrés, allongés sur des dizaines de Km, et des synclinaux à fonds plats compliqués par des failles linéaires, jalonnées de dépôts triasiques. L'anticlinal du Djebel Souiga correspond à l'une des structures des monts des Ksour, le pli est suivi sans interruption du SW-NE sur plus de 100 Km (Fig. 04).

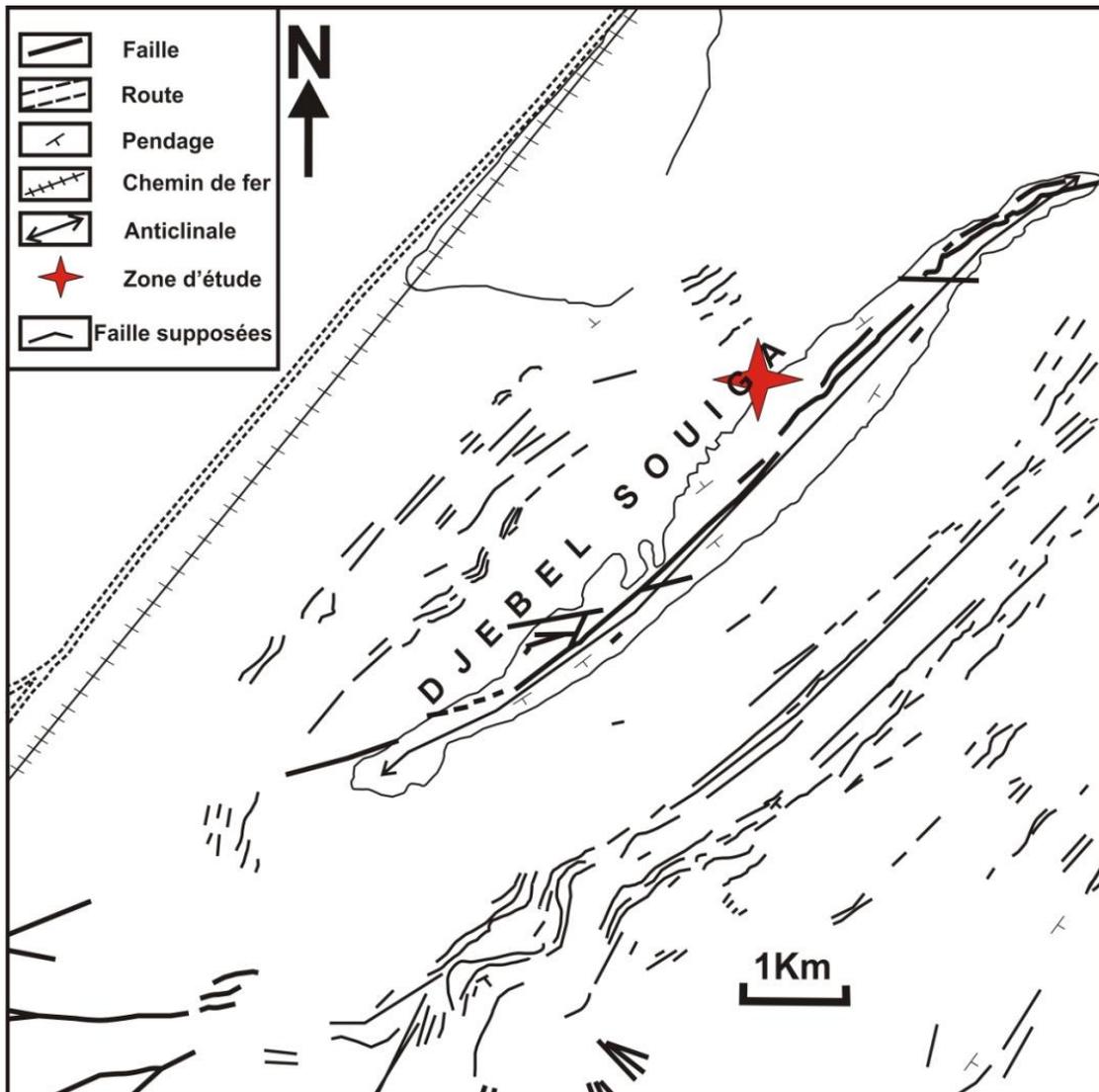


Fig. 04 : Contexte structural du Djebel Souiga (GALMIER D, 1972).

2. Au plan stratigraphique

D'après les travaux de MEKAHLI (1998), ce secteur est caractérisé par une énorme masse de calcaires dolomitiques du Djebel Souiga qui forme le cœur d'une structure anticlinale longue de 13 km et large de 1.5 km d'axe NE-SW.

Deux grandes dépressions périphériques d'âge tertiaire encadrent cette structure. Cette dernière est représentée par une épaisse corniche de calcaire dolomitique (Dolomie de Souiga) qui est d'âge liasique (Lias inférieur-Lias moyen) plus précisément (Héttangien-Carixien). Cet

âge a été attribué à la formation de « Dolomie de Souiga » grâce à la présence de brachiopodes (*Rhynchonella (Cirpa) briseis* GEMM.) et *R. cf. plicatissima* GEYER) (MEKAHLI, 1998). Cette formation est formée principalement par des calcaires massifs alternant avec des niveaux argileux, marneux et des calcites, les calcaires qui constituent le gisement de la zone d'étude (Fig. 05). Par ailleurs, les marnes et les argiles qui affleurent surtout dans la partie Est de la zone supérieure du gisement, sont des couleurs grises et vertes et se plongent presque à l'horizontal.

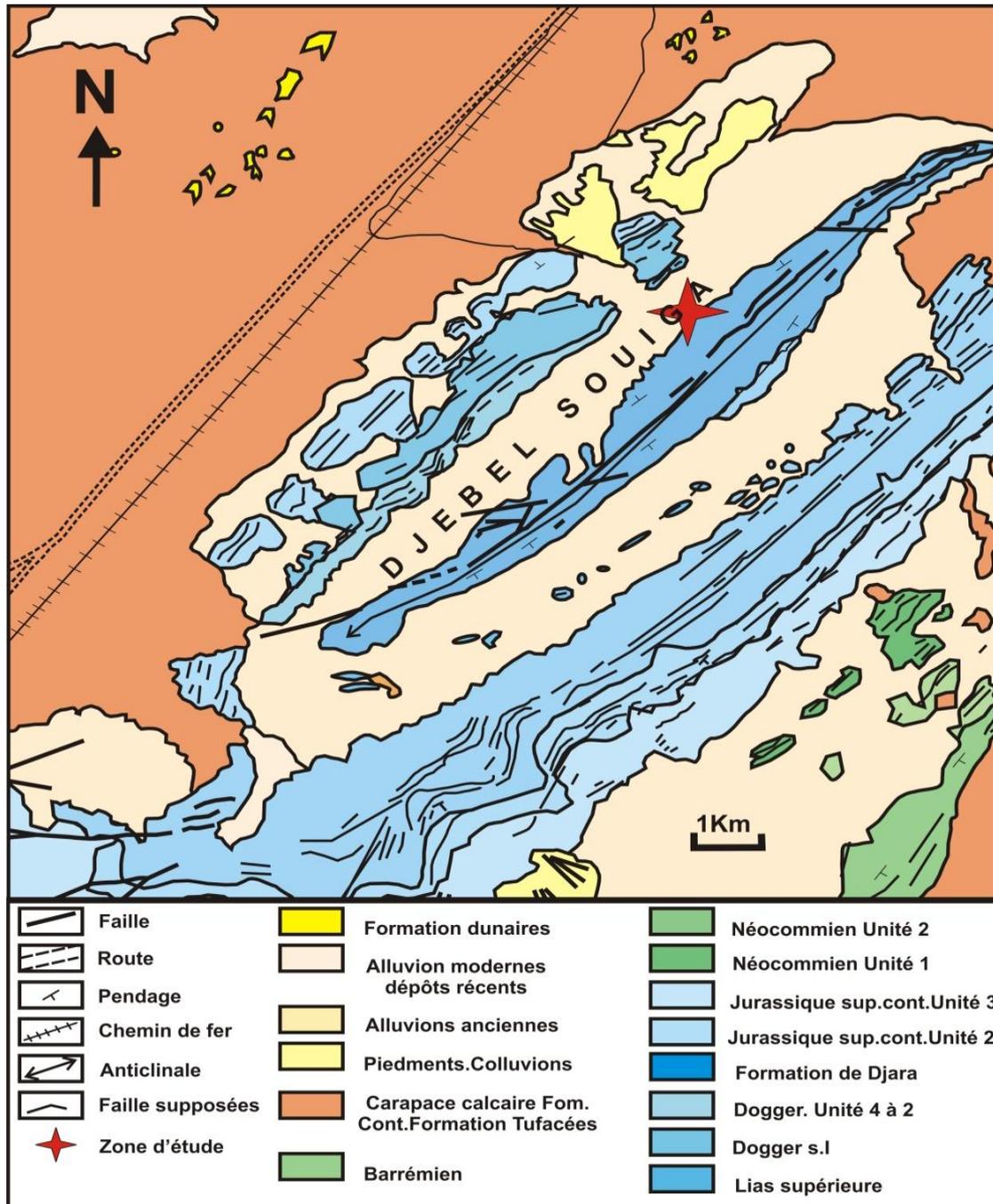


Fig. 05 : Carte géologiques de Djebel Souiga (GALMIER D, 1972).

V. MEHODOLOGIE

A. Sur le terrain

Mettant en évidence les caractéristiques pétrographiques et sédimentologiques de notre secteur d'étude, 05 colonnes au total ont été levées pour chaque gradin, tout en incluant la couleur des roches, les figures sédimentaires et les structures de gisement. De plus, des mesures ont été réalisées sur le terrain tel que : l'altimétrie, mesures des épaisseurs des gradins et en fin des prélèvements des échantillons ont été effectués au niveau de la station de concassage pour les traités au laboratoire **LTPO**.

B. Au laboratoire

Les analyses au laboratoire ont été réalisées au niveau de **LTPO** unité de Tlemcen, antenne de Naâma. Plusieurs essais nous ont permis de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques de granulats dont : la propreté, la granulométrie, l'aplatissement, Mico Deval, la résistance à la fragmentation du choc (Los Angeles) et l'équivalent de sable.

Pour mener à bien notre étude, des logiciels tel que : **Auto-CAD**, **COVADIS** et **CIVIL 3D**, ont été utilisés dans le traitement pour estimer les réserves exploitables et géologiques de la dite carrière.



Fig. 06 : Prélèvement des échantillons au niveau de la station de concassage (carrière de INFRAFER).

Deuxième chapitre : **ETUDE DE GISEMENT**

I. INTRODUCTION

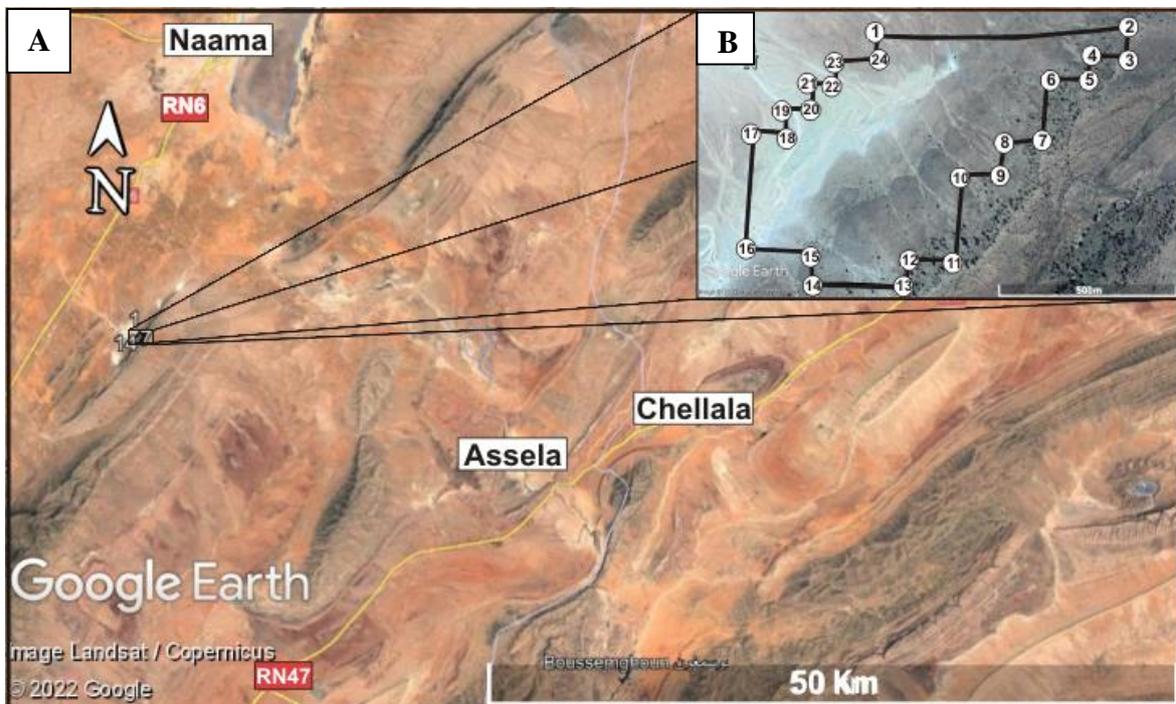
L'adéquation de la matière première extraite à la carrière **INFRAFER** aux différentes normes de qualité est une priorité. De ce fait, nous avons mené deux types d'études ; une étude pétrographique et une autre physico-mécaniques.

Les études pétrographiques portent sur les structures et figures sédimentaires, tandis que les essais physico-mécaniques sont réalisés en effectuant des analyses des granulats au niveau du laboratoire.

II. ETUDE LITHOLOGIQUE DE LA CARRIERE

A. Situation géographique de la carrière

Le site de Dolomie de Souiga de la carrière **INFRAFER**, objet de la présente étude est situé approximativement à 20 km au sud de la commune de Naâma, à 5 km à l'Est de la route national (RN 06), à 30 km à l'Ouest de la commune de Chellala et la route national (RN 47).



 Périmètre de la carrière  Borne de site

Fig. 07 : Images satellitaire de la carrière **INFRAFER** de Djebel Souiga
A : Localisation de la carrière ; B : Périmètre de du site étudié selon la projection UTM
(Google Earth, 2022).

Dans le tableau (01) (**Voir annexe**) nous avons montré les coordonnées des bornes du site étudié selon la projection UTM.

B. Géologie de gisement

Le gisement est constitué par une formation géologique qui s'appelle « Dolomie de Souiga ». Elle est représentée par une succession des bancs calcaires dolomitiques d'âge jurassique inférieur, de couleur généralement grisâtre à la cassure et beige à la patine. Cette formation montre des structures fenestrae de type « bird-eyes » et les pisolites. Son épaisseur est plurimétriques (MEKAHLI, 1998).

C. Structure de gisement

Au point de vue structural, le gisement de la carrière **INFRAFER** est caractérisé par des fractures multidirectionnelles et plusieurs failles conjuguées de direction majeurs NE-SW, enregistrés au NE et au SW de la région. Les accidents tectoniques passent à l'Est du site et ils n'atteignent pas la zone d'étude.

Le pendage de ce gisement varié entre trois directions, sur le front il est d'un angle de 75° vers le SE. Ensuite, il prend une autre direction ; 45° vers le NW. En fin, les couches sont inclinées vers le SE par un angle de 10° .

D. Etude pétrographique

La carrière de la société **-INFRAFER-** se situe au niveau de Djebel Souiga, plus précisément sur le flanc Ouest (Fig. 08). Elle est constituée de bas en haut par la succession de cinq gradins, qui sont dans l'ordre ascendant :

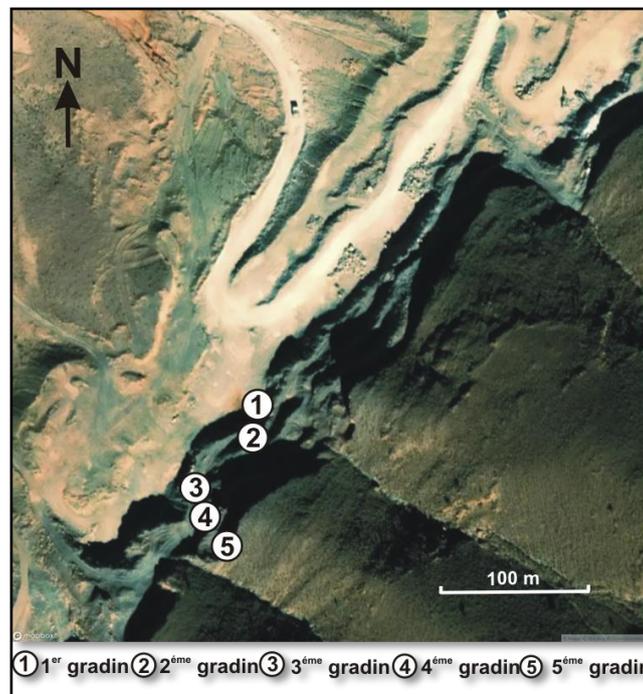


Fig. 08 : Vue satellitaire de la zone d'étude (Mapcarta, 2022).

1. Premier gradin

Ce gradin est constitué essentiellement par des calcaires dolomitiques de couleur beige à la patine et grisâtre à taches rosâtres à la cassure. Il se présente en bancs décimétriques, mal stratifiés et renfermant essentiellement des structures fenestrelles de type « bird-eyes » associées à des géodes de calcites de taille millimétrique à décimétrique (Fig. 09).

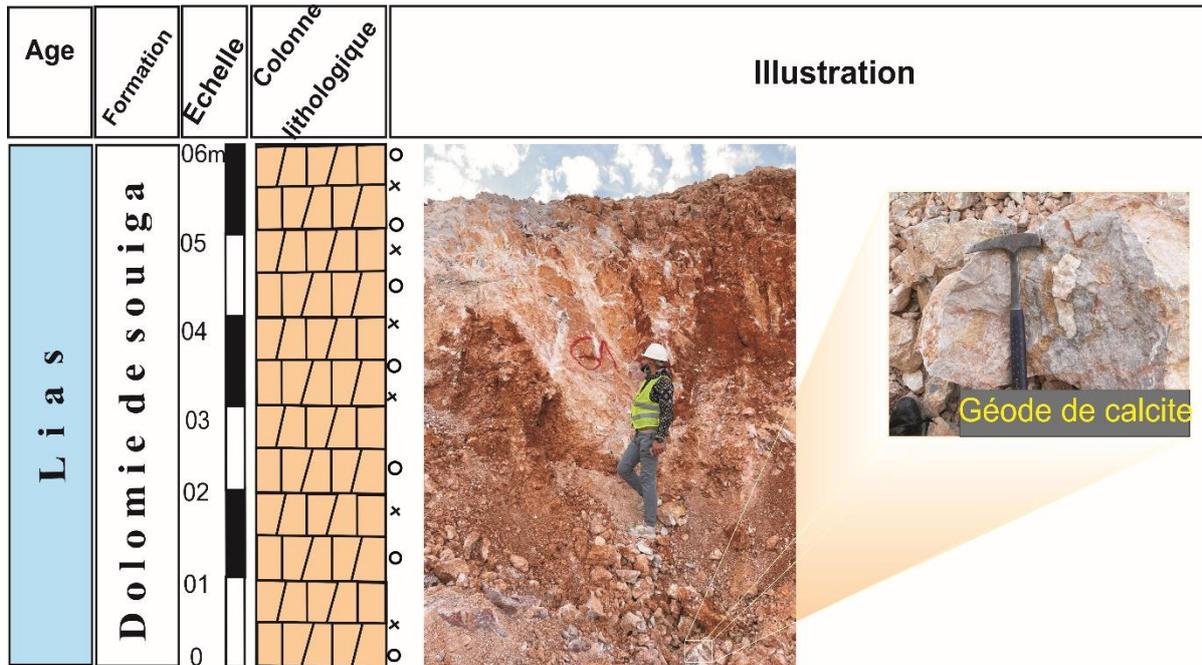


Fig. 09 : Colonne lithologique de premier gradin.

2. Deuxième gradin

Sur une hauteur d'environ 13m, on observe des bancs de calcaires dolomitiques assez épais (épaisseur décimétriques) et massifs, beige à la patine et grisâtre à taches rosâtres à la cassure. Ils ont une odeur fétide. Ces carbonates sont bioturbés, présentent des lamines horizontaux parallèles et des « bird-eyes ». Ces derniers sont associés aux géodes de calcite de taille millimétriques à centimétriques (Fig. 10).

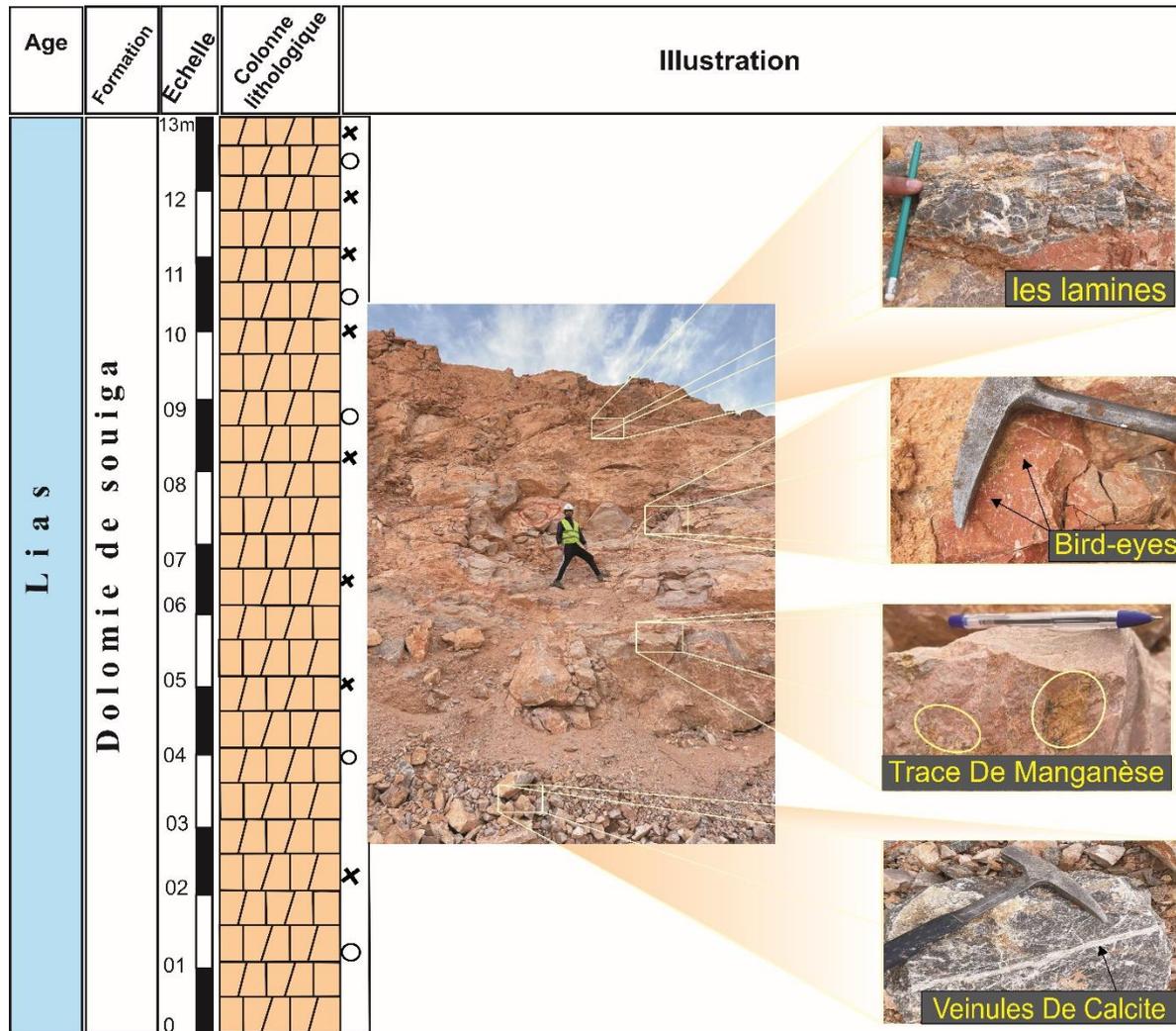


Fig. 10 : Colonne lithologique de deuxième gradin.

3. Troisième gradin

Il est formé par des bancs de dolomie pisolithique, d'épaisseurs décimétriques et massives, à patine beige et cassure grisâtre à taches rougeâtres. Ces carbonates sont massifs renfermant des « bird-eyes », des géodes de calcites et montrant par endroit des litages plans parallèles et des traces dendrites (trace de manganèse) (Fig. 11). Notons que ces carbonates sont traversés par des diaclases multidirectionnelles.

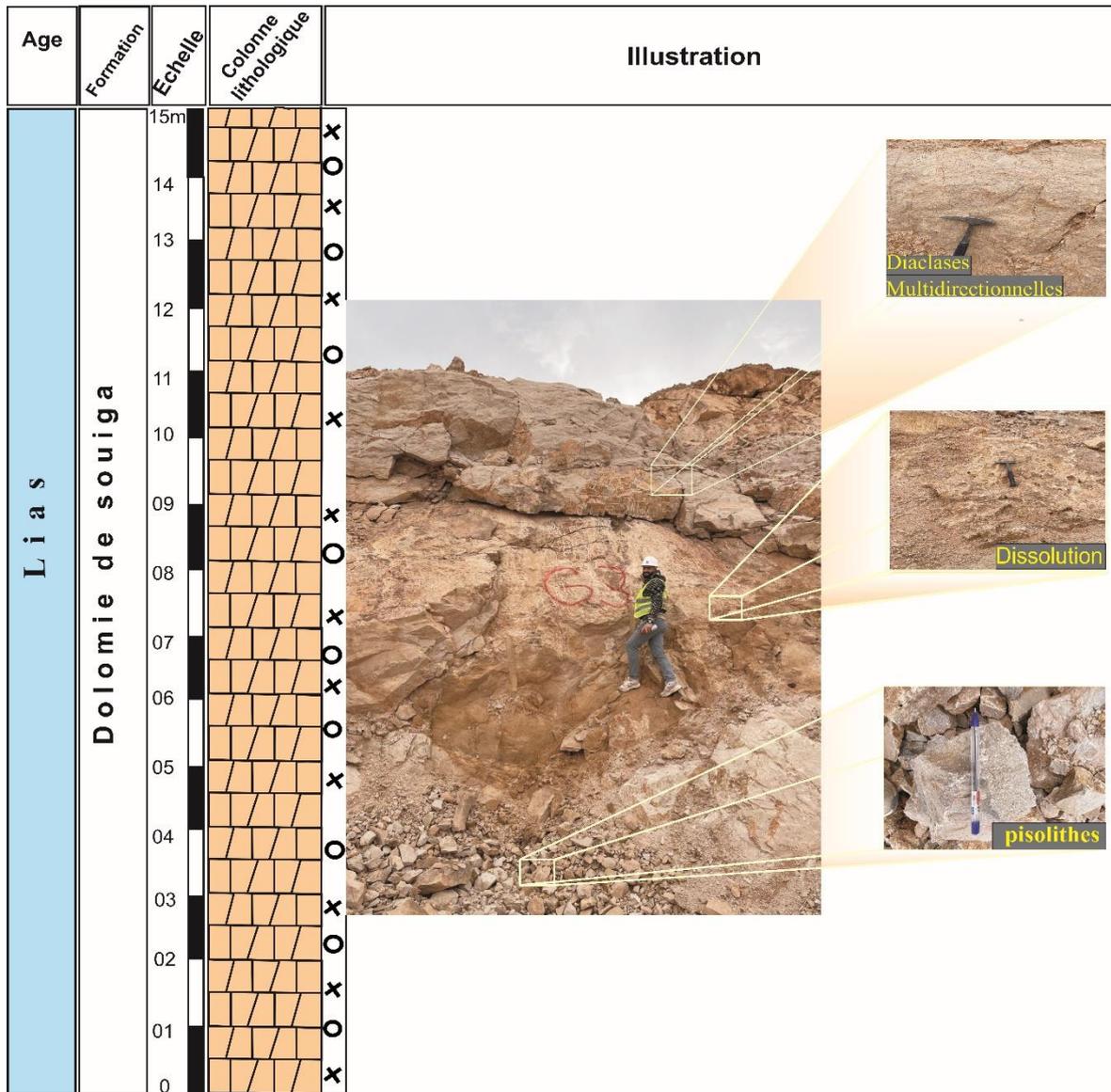


Fig. 11 : Colonne lithologique de troisième gradin.

Nous signalons que la surface supérieure du gradin est tapissée par des stalagmites et stalactites. (Fig. 12).



Fig. 12 : Présence des stalagmites et stalactites.

4. Quatrième gradin

Il est caractérisé par une stratonomie compacte, massive, agencée en bancs décimétriques. Il s'agit d'un calcaire dolomitique, de couleur beige à la patine et grisâtre à taches rosâtres à la cassure et qui s'enrichit notablement en pisolithes de taille millimétrique à centimétrique. On observe aussi des structures fenestrelles tels que les « bird-eyes » et les géodes de calcites. Ces structures sont de taille millimétrique à centimétrique (Fig. 13).

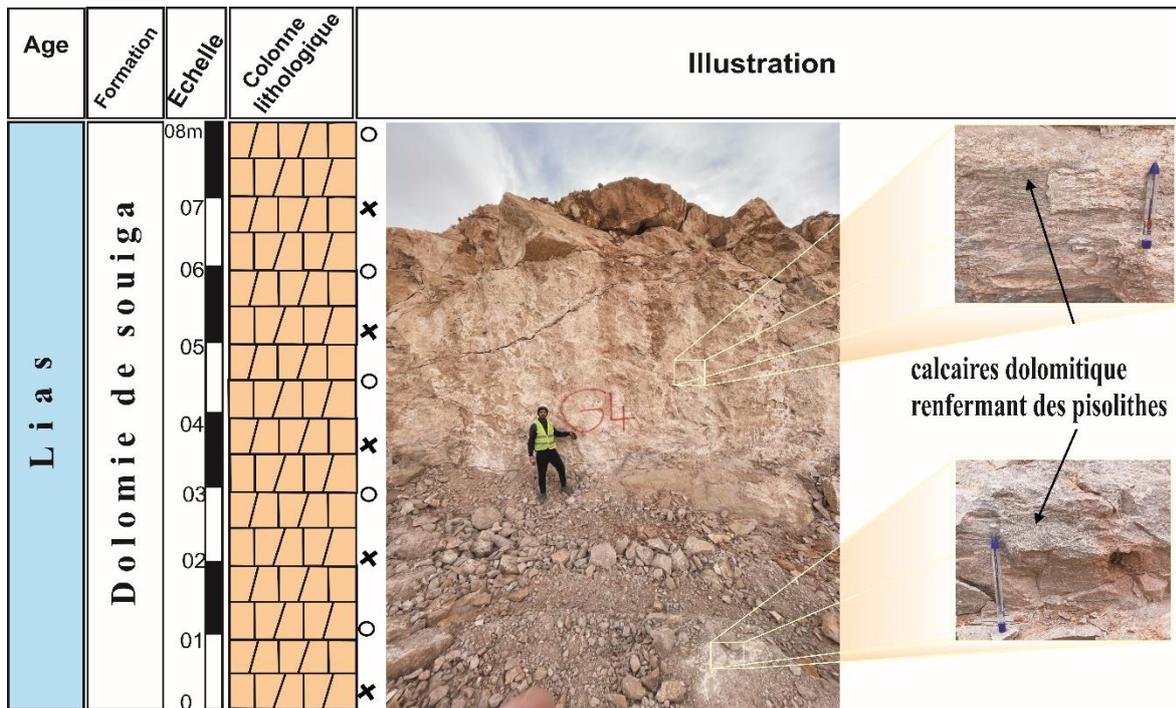


Fig. 13 : Colonne lithologique de quatrième gradin.

Notons toujours l'abondance des fractures et des fissures multidirectionnelles affectant la stratification de ce gradin (Fig. 14).



Fig. 14 : Présence des fractures et des fissures multidirectionnelles dans le quatrième gradin.

5. Cinquième gradin

Ce dernier gradin est formé par des calcaires massifs, grisâtres à taches rougeâtres à la cassure, rougeâtre à la patine et très dolomitisés. La partie sommitale devienne bréchique et prene l'aspect de cargneule (Fig. 15). Nous avons remarqué un réseau de diaclases multidirectionnelles affectant ce dernier gradin.

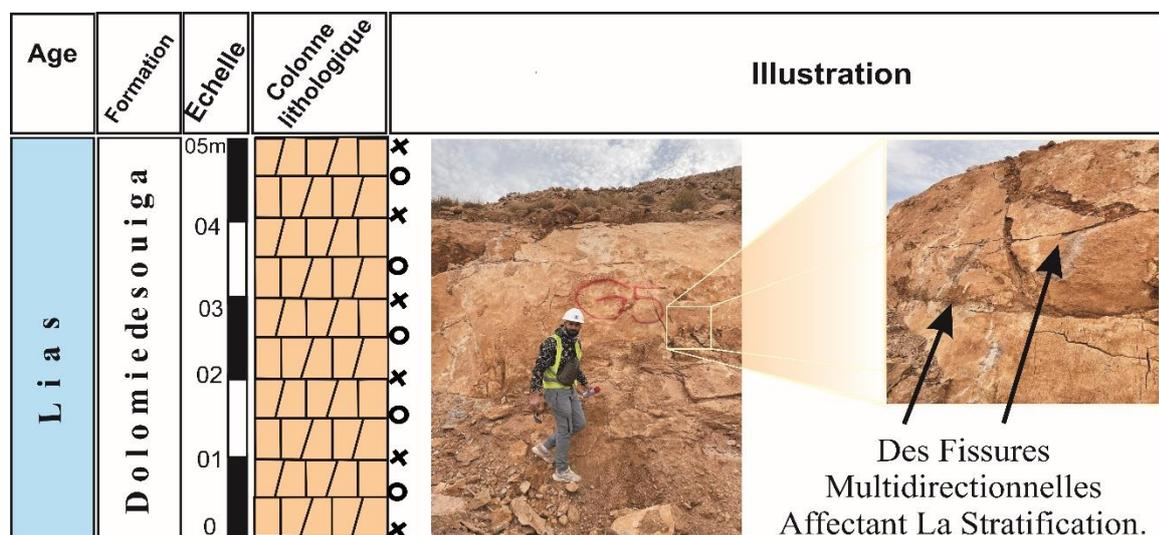


Fig. 15 : Colonne lithologique de cinquième gradin.

III. ANALYSE PHYSICO-MECANIQUE

A. Notions et généralités

1. caractéristiques physiques des granulats

1.1. Granulométrie

Dans ce présent travail nous nous sommes basés sur la méthode la plus pratique qui est la mesure de la taille des grains, ces derniers sont classés sur la base d'un certain nombre de caractéristiques. Notons que ces agrégats se distinguent par deux dimensions d et D , qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande dimension du gain. Nous distinguons ainsi :

- Agrégats de type $0/D$ avec une granulométrie de 0 à D mm (par exemple $0/20$).
- Agrégats constitués de granularité de classe d/D (ex. gravier $6.3/10$, la plupart des grains sont compris entre $6.3/10\text{mm}$).

Pour établir cette granulométrie une série de tamis est utilisées et sont résumé dans le tableau 02 (Voir annexe).

Pour compléter les analyses granulométriques, on procède au tamisage à mélanges des agrégats. Pour cela, on utilise une colonne de tamis dont l'ouverture des mailles et le refus de chaque tamis sont résumés dans le tableau (Voir annexe, Tab. 09)

A première vue, une courbe granulométrique permet d'identifier les types de sols qui composent l'échantillon analysé (Fig. 17).

Concernant le calcul des facteurs de courbure et d'uniformité, ce dernier est effectué que si le matériau passant au tamis de 63 mm présente plus de 50 % de refus tamis de 80 mm. Les dimensions des tamis correspondant à **D10**, **D30** et **D60** sont interpolées graphiquement sur la courbe.

Le facteur de courbure est calculé à partir de la formule suivante :

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$$

Par ailleurs, le coefficient de courbure permet de décrire la forme de la courbe granulométrique (Voir annexe, **Tab. 10**)

Le facteur d'uniformité est calculé à partir de:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Cela dit, le coefficient d'uniformité permet de caractériser de façon quantitative l'étalement de la courbe granulométrique (Voir annexe, **Tab. 11**). A la fin, ces deux coefficients nous permettent de déterminer la terminologie qui est attribuée à chaque type de sols grenus selon la classification LPC.

Notons que la Classification des sols grenus doit comporter plus de 50 % d'éléments > 0,08 mm (Voir annexe, **Tab. 13**)

1.2 Propreté

Comme pour le sable, le gravier doit être propre avant d'être utilisé pour fabriquer du béton mais contrairement aux sables, le gravier a des grains relativement grossiers. Ainsi, le principe de séparation des granulats des éléments fins ne sera pas mis en œuvre par sédimentation, mais par lavage.

Pour le calcul de la propreté, on doit utiliser la formule suivante :

$$P (\%) = (M_0 - M_1) 100/M_0$$

P : Propreté ;

M₀ : Masse de l'échantillons avant lavage ;

M₁ : Masse de l'échantillons après lavage.

Il est à noter que le gravier est propre si **P** (quantité d'éléments fins) ≤ **5%**.

1.3. Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats

La forme de l'agrégat est déterminée par trois grandeurs géométriques ; la Longueur (**L**), l'Épaisseur (**E**) et la Taille (**G**) (Fig. 16). Pour le calcul de ce coefficient, nous prenons en compte la dimension de la maille carrée minimum du crible qui laisse passer le granulat.

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation :

$$G/E > 1,58$$

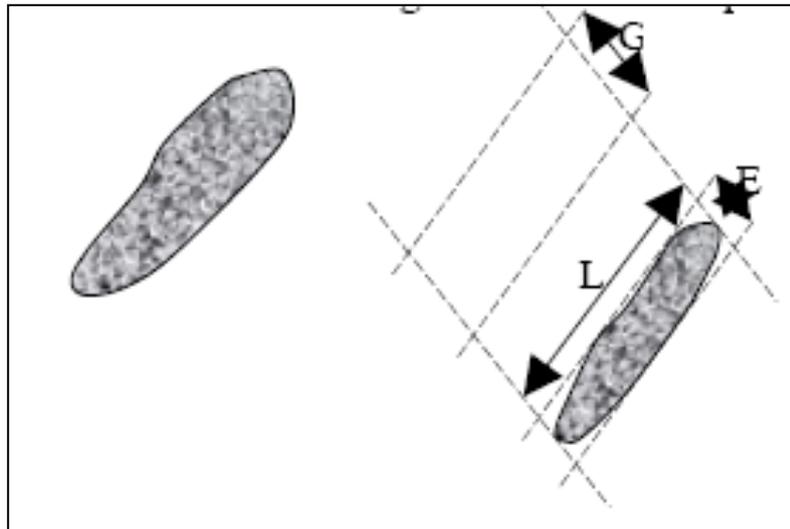


Fig. 16 : Géométrie d'agrégats.

Le **CA** est obtenu en effectuant une double analyse granulométrique en utilisant séquentiellement et pour le même échantillon global (Voir annexe, **Tab. 03**) :

- Une série de cribles standards à mailles carrées ;
- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées.

Pour une classe granulaire d_i/D_i donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel :

$$CA = (m_i/R_i) \times 100$$

R_i = masse de chaque classe granulaire d_i/D_i ;

m_i = masse passant à travers le tamis à fente d'écartement **E**.

- Si **CA** < **30%**: le granulat est conforme.
- Si **CA** > **30%**: le granulat est non conforme.

2. Caractéristiques mécaniques des granulats

2.1 Résistance à la fragmentation par chocs

Nous mesurons ici la résistance à la fragmentation par impact des éléments de l'échantillon. Ils sont placés dans une machine tournante contenant des billes d'acier. Le résultat de cette opération d'usure est le facteur d'usure LOS ANGELES. Par conséquent, le facteur LA diminue avec l'augmentation de la résistance à l'abrasion (Voir annexe, **Tab. 04**).

2.2. Essai Micro Deval

L'étude de ce paramètre va nous permettre de déterminer la résistance à l'usure par frottement mutuel des éléments granulaires. Le matériau évolue au cours de l'essai en frottant les éléments les uns contre les autres, contre le cylindre d'une machine tournante, et contre les billes (charge abrasive), soit à sec, soit en présence d'eau. Le rapport Micro-Deval est par définition égal au rapport suivant (Voir annexe, **Tab. 05**) :

$$MDH = 100 \times m / M$$

M : masse de l'échantillon **500 g** ;
m : masse du tamisât au tamis de **1,6 mm**.

2.3. Equivalent de sable

L'étude de ce paramètre nous permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour le béton, ces sables fins risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

Les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX sont mentionnées dans le tableau 06 (**Voir annexe**).

2.4. Densité

La densité (d) d'un corps est le rapport :

$$d = \sigma / \sigma \text{ réf}$$

σ : la masse volumique de corps ;

$\sigma \text{ réf}$: la masse volumique d'un corps de référence.

On distinguera donc deux types pour granulats (silico-calcaires) (**Voir annexe, Tab 07**).

Cependant, une densité particulièrement élevée indique soit le compactage du sol, soit une forte teneur en sable.

B. Résultats et interprétations

Les résultats obtenus à partir de paramètre de propreté pour les échantillons prélevés (**15/25 ; 8/15 ; 3/8**) nous révèle que ces derniers sont inférieurs à **5 %** ce qui traduit que ces granulats sont propres (**voir annexe, Tab. 08**).

Concernant le paramètre LOS ANGELES, ce dernier varie entre **24.4 %** et **27.62 %** ; cela signifie que le produit est bon (**voir annexe, Tab. 04**).

Par contre les échantillons analysés par MICRO DEVAL HUMIDE (MDH) qui est compris **9.2% < MDH < 13.6%** signifie que ces granulats sont de qualité médiocre.

Parallèlement, on constate que les granulats sont conformes suite aux pourcentages du Coefficient d'aplatissement qui est **< 30 %**. (**10.6 % à 20.81%**).

Cependant, les valeurs de Densité Absolue comprises entre (**2,76 et 2,79**) **t/m³** et les valeurs de Densité Apparente comprises entre (**1,34 et 1,59**) **t/m³** sont acceptables (**voir annexe, Tab. 07**).

Selon le résultat de « l'essai l'équivalent de sable » **E.S =71%** basé sur la classification de DREUX indique que la classification est du côté sable propre (**voir annexe, Tab. 06**).

Enfin, l'essai granulométrique permet d'identifier une seule classe qui respecte la norme des produit suivants (**voir annexe, Tab. 02**) ; (**03/08**) (**08/15**) et (**15/25**). Ces granulats appartiennent finalement à la classe des gravillons.

Les résultats des analyses granulométriques sont illustrés dans la courbe granulométrique de mélange des différentes fractions (Fig. 17).

Cependant, les résultats des différents paramètres étudiés sont résumés dans le tableau 08 (**Voir annexe**).

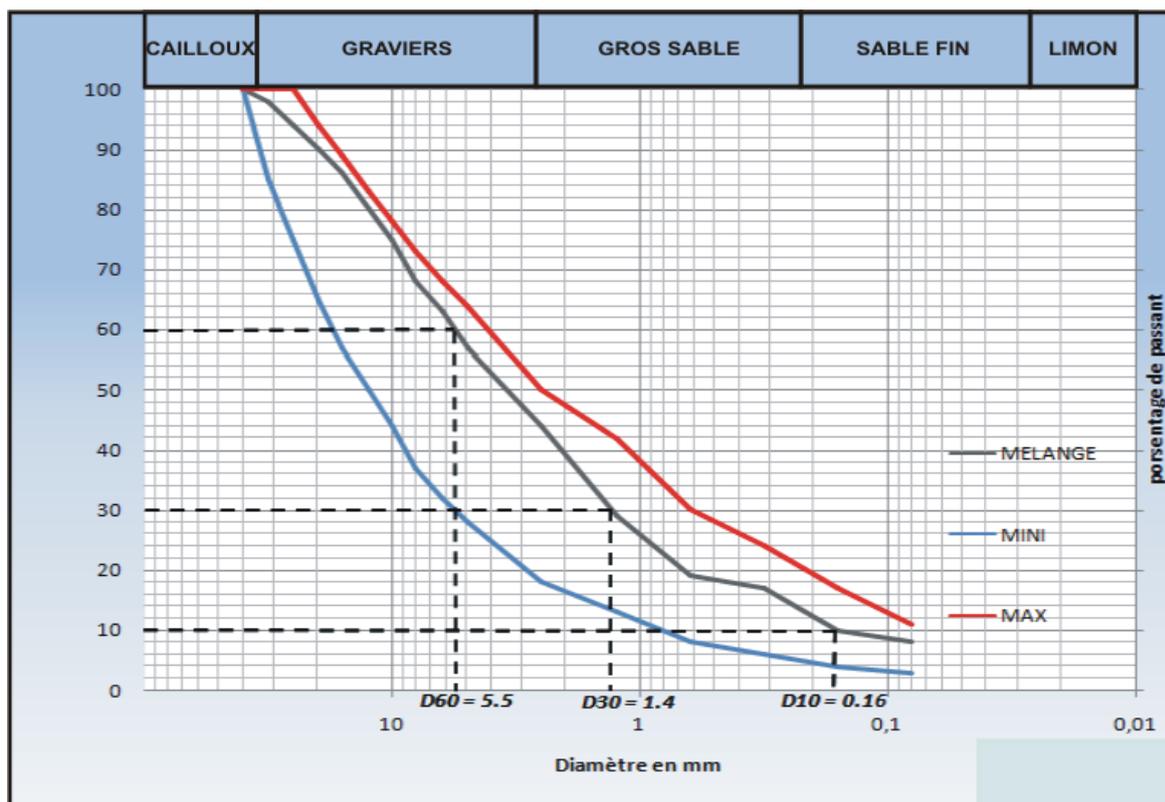


Fig. 17 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique.

La courbe granulométrique est constituée d'une succession de segments dont les extrémités correspondent au pourcentage massique de refus ou de tamis pour chaque ouverture de tamis. Pour cela, il est mentionné sur l'axe des abscisses, l'échelle logarithmique à base de 10, la dimension des ouvertures des tamis s'accroît de droite à gauche. Par ailleurs, en ordonnées, l'axe vertical limitant le graphique côté gauche est gradué avec une échelle linéaire qui s'accroît de bas en haut, avec un pourcentage pondéral des tamisats cumulés.

Eventuellement, l'axe vertical limitant le graphique côté droit peut être gradué avec une échelle linéaire décroissante de haut en bas et porter le pourcentage massique des refus cumulés.

Nous avons remarqué que notre graphe est inclus dans le fuseau (limites maximales et minimales) (voir, Fig. 17). Alors, notre mélange d'agrégats respecte les normes (NF P18-540).

D'après la courbe on peut déterminer le coefficient d'uniformité qui est d'ordre de 2.22, cela indique que le granulat est bien réparti. Par ailleurs, le coefficient courbure qui est égale à 34,37 indique la granulométrie est étalée (Voir annexe, **Tab. 10, 11, 12**).

En se basant sur le graphe de la figure (17) et la classification de LPC, nous remarquons que plus de 50% d'éléments sont > 0.08 et moins de 5% d'éléments sont < 0.08. Cela indique que ce granulat fait partis de la classe « **grave propre bien graduée** ». Ceci est confirmé par les calculs qui ont été réalisé sur le coefficient de courbure ($1 < C_c = 2.22 < 3$) et le coefficient d'uniformité ($C_u = 34,37 > 4$) (Voir annexe, **Tab. 12, 13**).

IV. CONCLUSION

Par leur formation, leur nature pétrographique et les techniques de production mises en œuvre, les granulats présentent des caractéristiques très différentes. La présente étude est focalisée sur les paramètres de propriétés physico-mécaniques de gisement de calcaires dolomitiques de Souiga. Nous avons répertorié des résultats à partir des échantillons prélevés de la carrière **INFRAFER**. Ces derniers, nous confirment que ces calcaires dolomitiques répondent aux normes requises pour répondre aux différents usages de la wilaya de Naâma.

Troisième chapitre : **ESTIMATION DES RESERVES**

I. INTRODUCTION

Avant d'exploiter les réserves d'un gisement d'une carrière, une étude de calcul des réserves géologiques est nécessaire. Cela dit, l'implantation des exploitations est conditionnée avant tout par la géologie, la qualité du gisement, sa puissance et le volume de découverte ainsi que la localisation à proximité des centres de consommation est déterminante en termes de coûts.

En ce qui concerne notre carrière **INFRAFER** qui fait l'objet de notre étude, nous avons essayé d'estimer les réserves géologiques, les réserves exploitables et d'évaluer le rendement de ce gisement à partir des résultats obtenus.

II. ALTIMETRIE

Les calculs sont basés sur le levé topographique sur terrain à partir de l'altimétrie par cheminement à l'aide de la station total (Fig. 18). Ensuite, la planification numérique des résultats sont réalisés par le logiciel **Auto-CAD**. Nous obtenons à la fin une forme de Modèle Numérique de Terrain (**MNT**) qui permet de déterminer le périmètre du gisement et d'établir les calculs topométriques.



Fig. 18 : Altimétrie dans la carrière **INFRAFER** (Wilaya de Naâma).

III. CALCUL DES RESERVES GEOLOGIQUES

A. Méthode

Le calcul des réserves géologiques est procédé par la méthode trapézoïdale à partir des courbes de niveaux réalisé par le logiciel **Auto-CAD (Civil 3D)**. La procédure de la réalisation de la carte topographique des réserves est comme suit :

On doit d'abord calculer la moyenne de la surface des deux courbes de niveaux, puis appliqué la formule suivante pour obtenir le volume partiel :

$$V_{ni} = (S_{ni} + S_{ni+1}) \frac{D}{2}$$

V_{ni} : Le volume partiel entre ces deux courbes de niveaux ;

S_{ni} : La surface de la courbe de niveau (ni) ;

S_{ni+1} : La surface de la courbe de niveau (ni+1) ;

D : La distance entre la courbe de niveau (ni) et la courbe de niveau (ni+1).

Par ailleurs, les parties des corps extrapolées à l'extérieur ont été calculées par la formule mentionnée ci-dessous :

$$V_i = \frac{D \cdot S_{ni}}{2}$$

Il est à signalé que le volume total égale la somme des volumes partiels suivant la formule connus :

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

V : Le volume total ;

V_i : Le volume partiel.

A partir de levée topographique réalisé dans la dite carrière, nous avons pu réaliser la carte topographique des réserves géologiques, tout en utilisant le logiciel **Auto-CAD** (Fig.19).

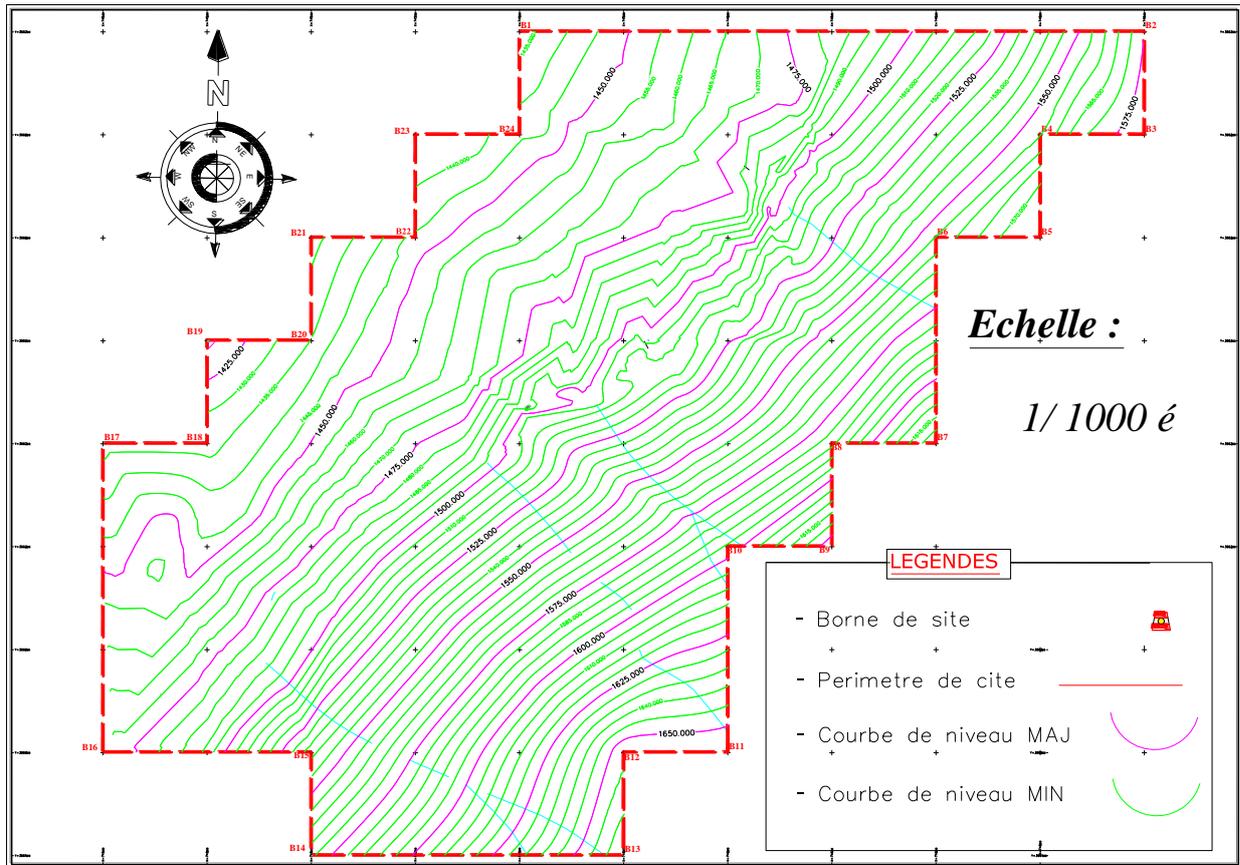


Fig. 19 : Carte topographique des réserves géologiques.

B. Résultats et interprétations

L'estimation des réserves géologiques a été effectuée par la méthode trapézoïdale (Méthode des Courbes de Niveaux) d'où l'équidistance est de 25 m. Une fois le volume partiel est calculé à partir de deux courbe de niveau qui se succède, on obtiendra par la suite le volume total des réserves qui est égal à 46523562,85 m³ (voir annexe, **Tab. 14**).

IV. DECAPAGES OU STERILES

A. Méthode parallélépipède

Le but de la découverte de la carrière est pour illuminer le niveau à exploitable. Pour cela, on doit éliminer la partie de la terre végétale d'épaisseur 0.2 m et les niveaux stériles d'épaisseur 0.3 m (Fig. 20).

Le matériel ainsi décapité, sera stocké séparément pour une utilisation ultérieure dans la reconstruction de la carrière.

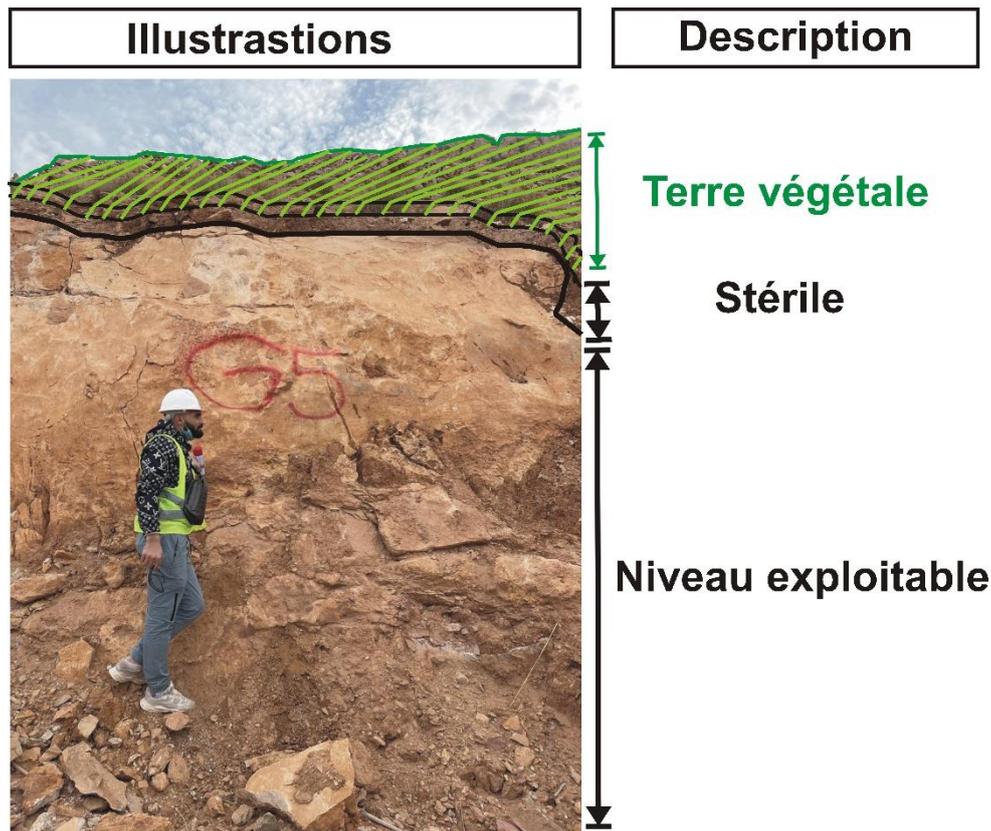


Fig. 20 : Photo montrant différent couches superposées sur le gisement.

B. Résultats et interprétations

Ces volumes ont été calculés par la méthode de la cubature par prisme entre 2 MNT par le logiciel **Auto-CAD (CIVIL 3D)** et sont mentionné dans le tableau (15) (**Voir annexe**).

Une fois, le stérile sera décapé et éliminé, le volume probable sera calculé par la formule suivante :

$$V_p = V_g - V_s$$

V_p : Volume probable ;

V_g : Volume géologique ;

V_s : Volume de stérile.

En appliquant la formule, on aura une estimation du Volume probable :

$$46523562,85 \text{ m}^3 - 137977,76 \text{ m}^3 = 46385585,1 \text{ m}^3$$

V. RESERVES EXPLOITABLES

A. Méthode des coupes géologiques

Ces réserves ont été calculées en se basant sur des coupes verticales et la distance qui les sépare. Cette étape a été exécutée par logiciel **CIVIL 3D**. L'application des formules géométriques connues ont été réalisé selon la formule :

$$V_i = (S_1 + S_2) \frac{H}{2}$$

S_1 : surface de coup (A/A) ;

S_2 : surface de coup (B/B) ;

H : distance ;

V_i : le volume partiel délimité par de coups S_1 et S_2 .

Dans le cas, $[(S_1 - S_2) / S_1] * 100 > 40 \%$. On calcule le volume partiel entre S_1 et S_2 à l'aide de formules connues :

$$V_i = \frac{H}{3} [(S_1 + S_2) + \sqrt{S_1 \cdot S_2}]$$

Ainsi, le volume total égal la somme des volumes partiels d'où la formule :

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

V : Le volume total ;

V_i : Le volume partiel.

A la fin du traitement par le logiciel **CIVIL 3D**, nous obtiendrons une carte topographique des réserves exploitables basées sur 07 coupes géologiques (Fig. 21).

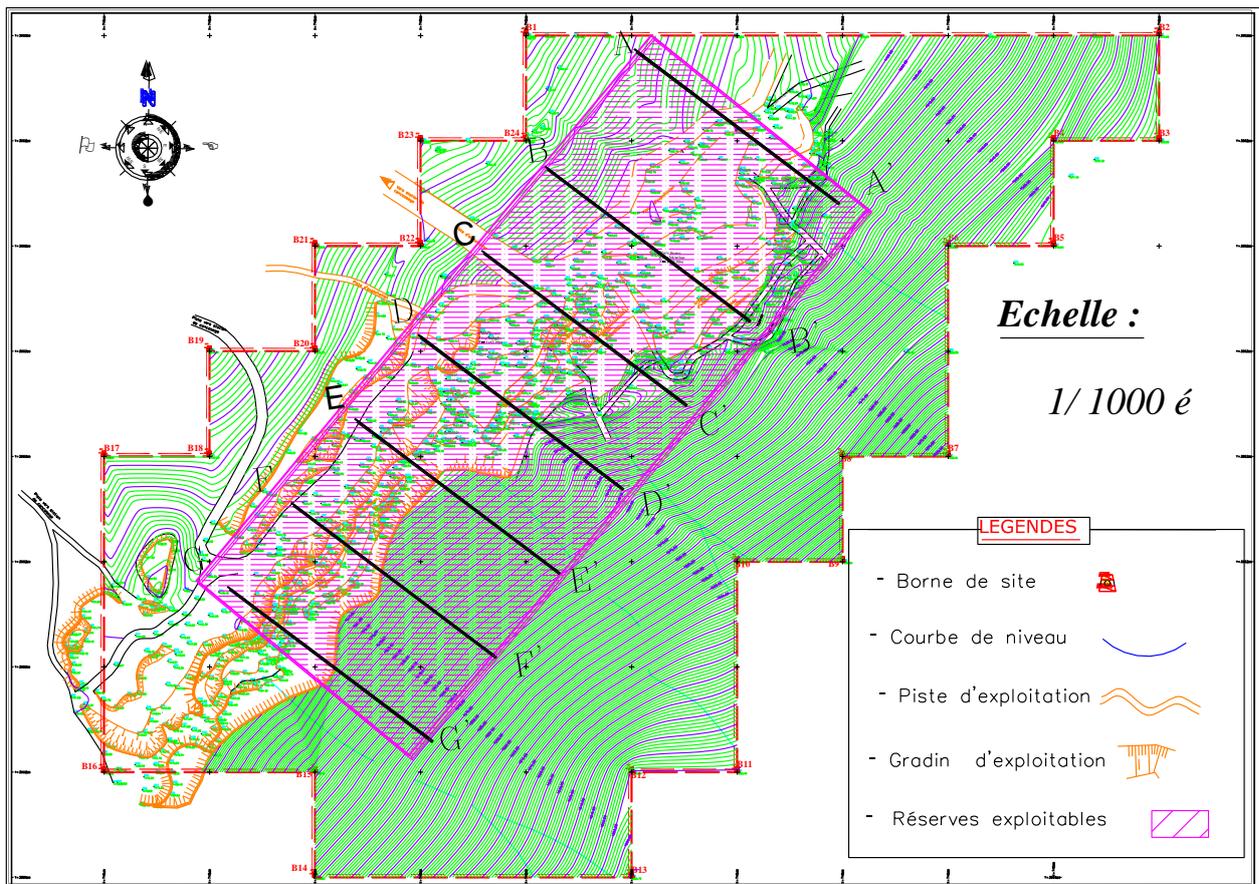


Fig. 21 : Carte topographique des réserves exploitables.

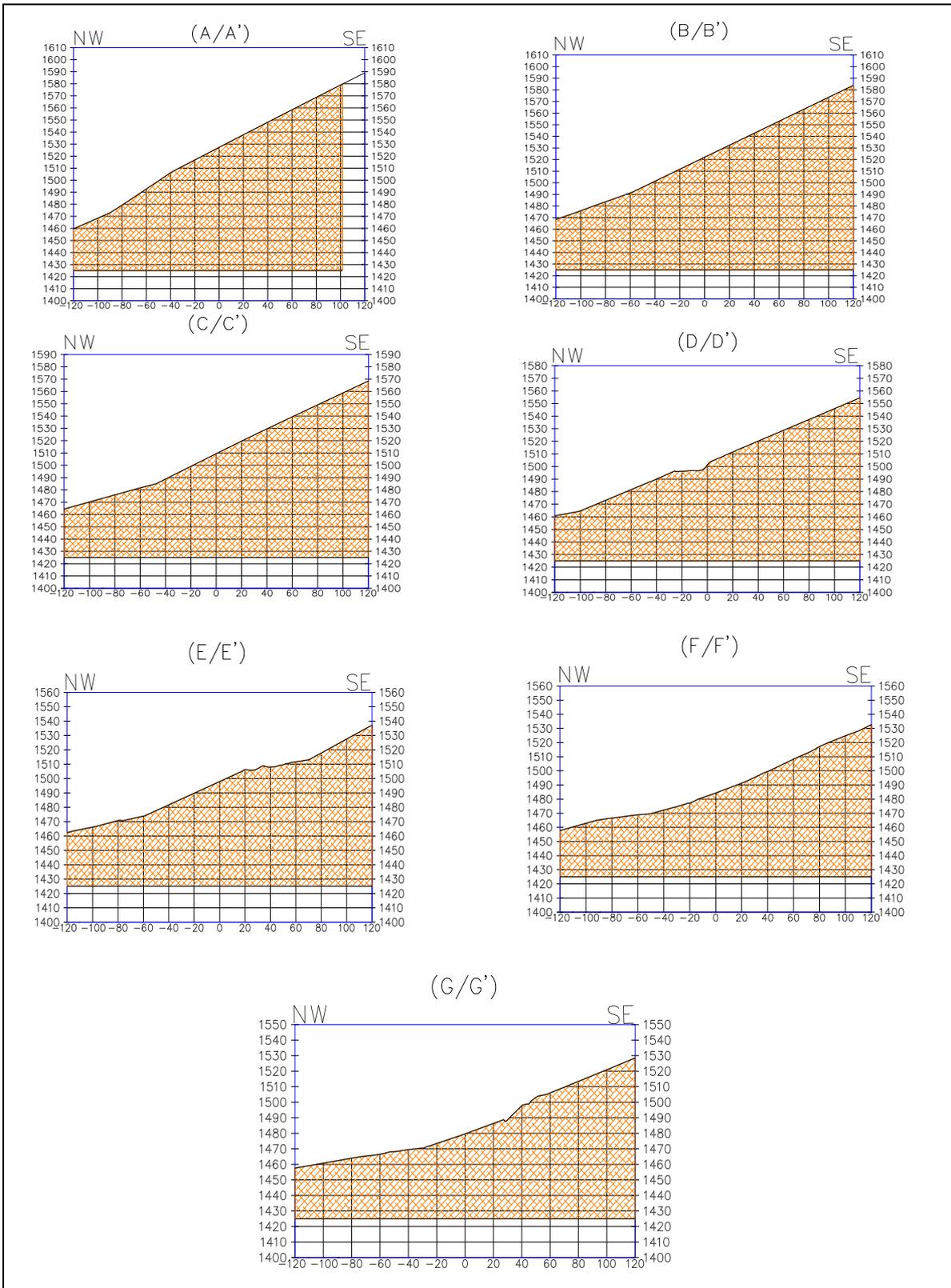


Fig. 22 : Graphes des coupes géologiques (A/A') ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D') ; (E/E') ; (F/F') ; (G/G').

B. Résultats et interprétations

La méthode des coupes géologiques à été appliquée pour calculer les réserves exploitables. Sept (07) coupes au total ont été tracé par logiciel **CIVIL 3D** selon une orientation NW-SE : (A/A') ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D') ; (E/E') ; (F/F') ; (G/G') ; tout en respectant la longueur (240 m), la distance (100 m). (Voir, Fig. 22) Une fois cette étape réalisée, la somme des volumes partiels est le volume total des réserves exploitables sont transmis sur **EXCEL** et sont mentionné dans le tableau (16) (**voir annexe**). Le volume total de réserve est estimé à : 11970980.85 m³.

VI. RESERVES EXPLOITABLES EN 2022

A. Méthode des coupes géologiques

Une étude a été envisagée pour estimer le volume maximum possible à l'exploitation durant l'année 2022, bien sûr, tout en délimitant la zone ciblée à exploiter. Notons que le même principe a été appliqué pour calculer ces réserves, tout en se basant sur la même méthode des coupes verticales, de distance et généré par logiciel **CIVIL 3D** (Fig. 23).

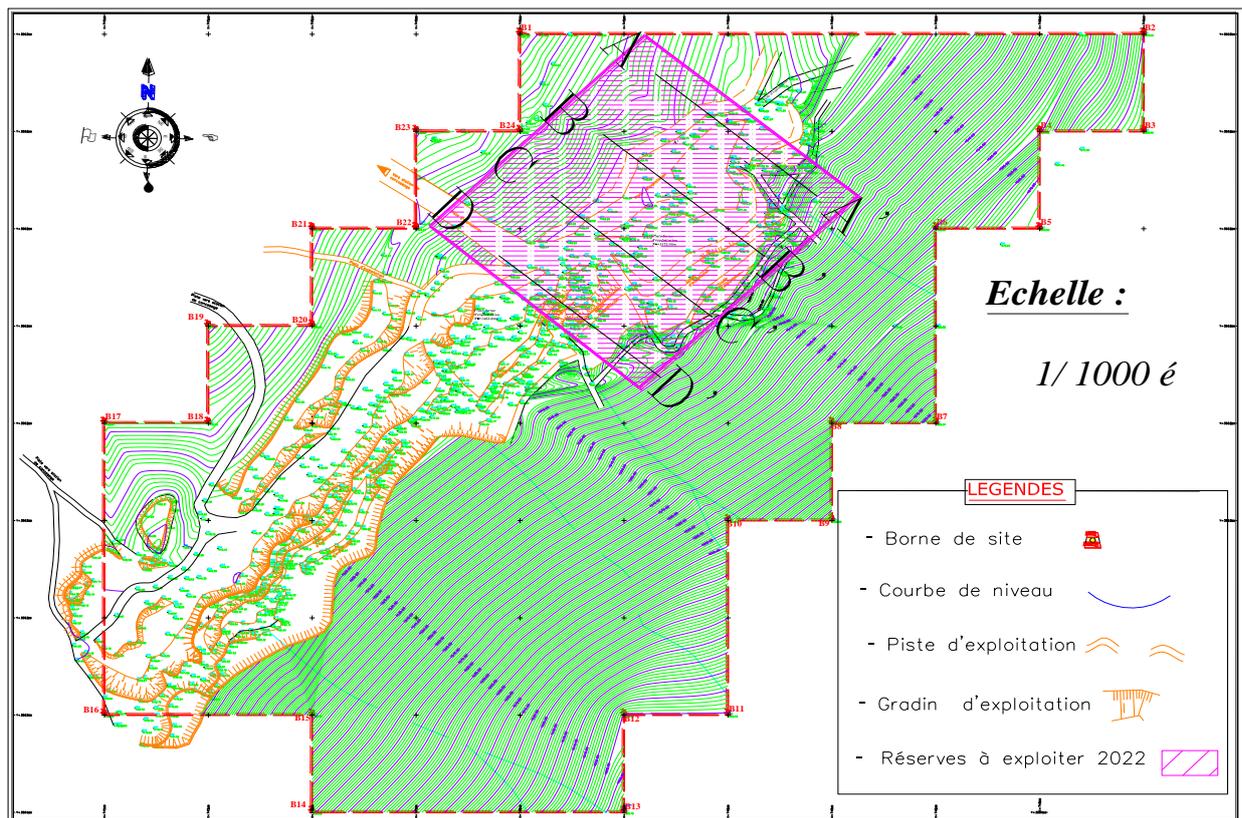


Fig. 23 : Carte topographique des réserves exploitables en 2022.

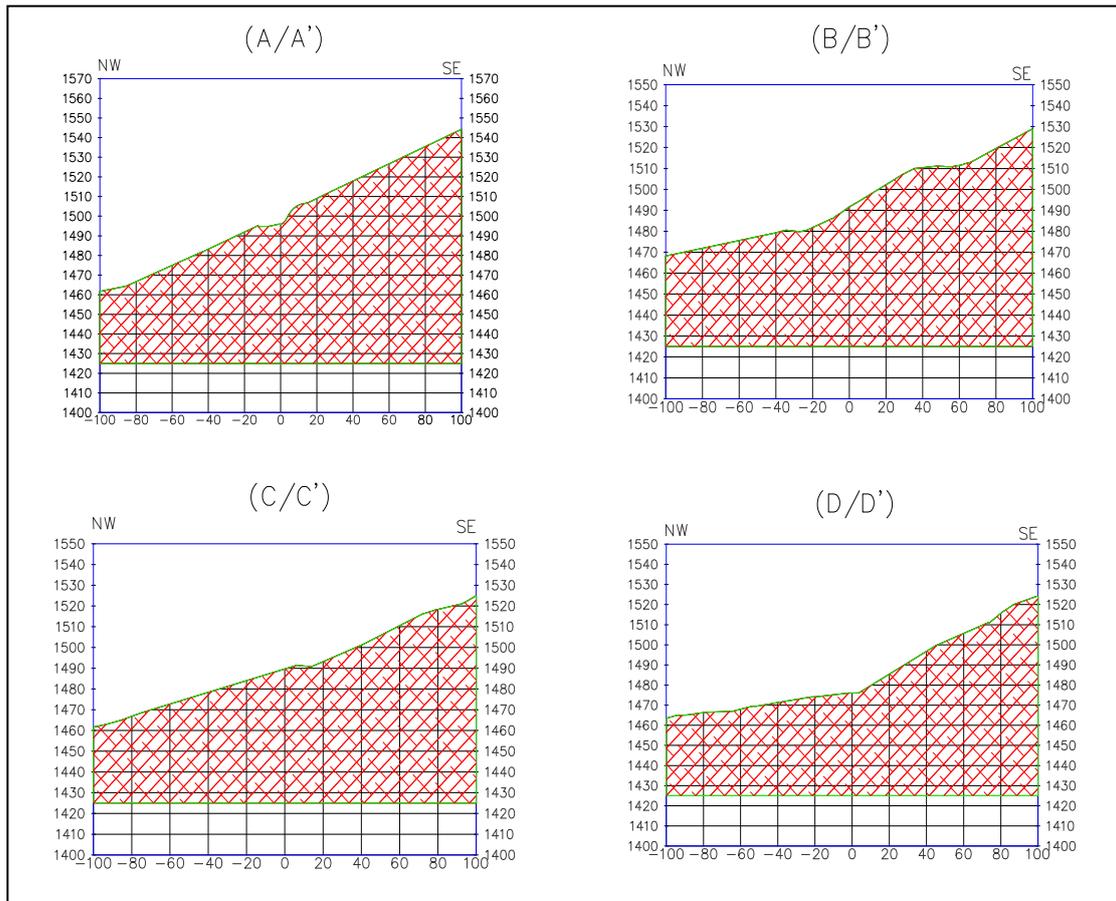


Fig. 24 : Graphes des coupes géologiques (A/A) ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D').

B. Résultats et interprétations

L'estimation des réserves exploitables réalisé par la méthode des coupes géologiques qui sont au total de 04 coupes orientées (NW-SE) : (A/A) ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D') de 200 m de longueur et d'une distance de 80 m (**Fig. 24**).

Après traitement des volumes cumulés et des volumes partiels par **EXCEL**, On obtiendra à la fin le volume total des réserves exploitables de l'année 2022 qui est estimé à : 3246335,26 m³. Les résultats sont répertoriés dans le tableau (17) (**Voir annexe**).

VII. TONNAGE DES RESERVES

Le calcul de tonnage est tout simplement la conversion de la quantité en tonne (voir annexe, **Tab. 18**). Ce calcul est réalisé selon la formule suivante :

$$T = V \cdot d$$

V : Volume (m³) ;

d : densité ;

T : Tonnage (t).

A la fin, les pourcentages sont résumés dans le tableau 19 (**Voir annexe**).

XI. CONCLUSION

Après l'estimation de la quantité des réserves de gisements de Dolomie de Souiga à la carrière **INFRAFER** (Wilaya de Naâma). On conclut que le volume des réserves exploitables est estimé à "11970980.85m³", cela représente environ 25 % de volume des réserves géologiques probables qui est de "46385585.1m³" (voir annexe, **Tab. 19**).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La carrière **INFRAFER** de Djebel Souiga (Naâma) située dans un anticlinal correspond à l'une des structures des Monts des Ksour. Le gisement est constitué par une succession des bancs à calcaires dolomitiques « Dolomie de Souiga » d'âge jurassique inférieur.

Au point de vue stratigraphique, cinq gradins ont fait l'objet d'une étude géologique. Celle-ci montre que ces carbonates sont traversés par des diaclases multidirectionnelles, avec la présence des structures fenestrae tels que les « bird-eyes » et les géodes de calcites de taille millimétrique à centimétrique.

L'interprétation des analyses physico-mécaniques montre que ces calcaires dolomitiques de la carrière **INFRAFER** sont de bonne qualité et répondent aux normes requises pour différents usages. En se basant sur les différents paramètres étudiés, on a conclu que :

- Ces granulats sont propres puisque la quantité des éléments est inférieure à **5%**.
- Le paramètre **LOS ANGELES** varie entre **24.4 %** et **27.62 %** ; cela signifie que le produit est bon.
- Par contre, les échantillons analysés par **MICRO DEVAL HUMIDE (MDH)** qui est compris **9.2 < MDH < 13.6** signifie que ces granulats sont de qualité médiocre.
- Parallèlement, on constate que les granulats sont conformes suite aux pourcentages du coefficient d'aplatissement qui est inférieur à **30 %**. (**10.6 % à 20.81%**).
- Cependant, les valeurs de densité absolue comprises entre (**2,76 et 2,79**) **t/m³** et les valeurs de densité apparente comprises entre (**1,34 et 1,59**) **t/m³** sont acceptables.
- Selon le résultat de « l'essai l'équivalent de sable » **E.S = 71** basé sur la classification de DREUX ; indique que la classification est du côté sable propre.
- L'essai granulométrique permet d'identifier une seule classe qui respecte la norme des produits suivants : (**03/08**) (**08/15**) et (**15/25**). Ces granulats appartiennent finalement à la classe des gravillons.
- Notre mélange d'agrégats respecte les normes (NF P18-540) car la courbe granulométrique est incluse dans le fuseau (limites maximales et minimales).
- D'après la courbe granulométrique on peut déterminer le coefficient d'uniformité qui est d'ordre de **2.22**, cela indique que le granulat est bien réparti d'une part. d'autre part, le coefficient courbure qui est égale à **34,37** indique la granulométrie est étalée.
- Enfin, la classification de LPC montre que ce granulat fait partis de la classe « **grave propre bien graduée** ».

Par ailleurs, l'application de la méthode trapézoïdale et des coupes géologiques généré par logiciel **CIVIL 3D** ; nous a permis de calculer les réserves exploitables qui sont estimé à **31124550.2 t** ; soit environ un quart de la quantité des réserves géologiques probables qui est de **120602521 t**.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIT OUALI R. (1991)**- Le rifting des Monts des Ksour au Lias. Organization du bassin, diagenèse, assises carbonatées. Place des ouvertures mésozoïque du Maghreb. *Thèse du Doct. Es Science*, Univ. Alger, 297 p., 147 fig., 16 tabl., 6 pl.
- BASSOULET J.P. (1973)**- Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algerie). *Thèse sci. Nat.*, Univ. Paris VI, 497 p., 50 fig., 32 pl.
- DELFAUD J. (1973)**- Sur l'appartenance de certains « pseudo- flyschs » aux faciès pro-deltaïques de plateforme. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 277, serie D, pp. 1125-1128, 1 pl.
- ELMI S. (1977)**- La sédimentation carbonatée en bordure du horst de Ghar-Roubane (Algérie occidentale) pendant de Carixien. *Bull. Soc. Géol. France*, Paris (7), t. XIX, n° 2, p. 355-365, 12 fig.
- GALMIER D. (1972)**- Photogéologie de la région d'Aïn Séfra (Algérie). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 42, pp. 1-177.
- MAHBOUBI M. (1983)**- Etude géologique et paléontologique du Crétacé post - Aptien et de Tertiaire de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas saharien central). *Thèse 3^{ème} cycle*. Univ. Oran, 116 p. 8 pl.
- MEDDAH A. et Elmi S. (1999)**- L'appareil diapirique de Tiout (Atlas saharien occidental. Algérie): Activités volcaniques et phénomènes halocinétiques. *1^{er} Colloque National du Jurassique marocain*. Rabat.
- MEKAHLI L. (1998)**- Evolution des Monts des Ksour del'Hettangien au Bajocien, biostratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. *Doc Lyon n°147*, 319 p., 67 fig., 49 pl.
- RITTERE. (1902)**- Le djebel Amour et les Monts des Ouled Naïl. *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, Alger, 2^{ème} Sér., n° 3. 100p.

WEBOGRAPHIES

<https://mapcarta.com/fr/17304140/Carte>

<https://earth.app.goo.gl/?apn=com.google.earth&isi=293622097&ius=googleearth>

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Fig. 01 : Cadre géographique des Monts des Ksour (ELMI, 1977, modifiée). | 09 |
| Fig. 02 : Situation géographique générale de Djebel Souiga (Mapcarta,2022). | 10 |
| Fig. 03 : Contexte structural du l'Atlas saharien occidentale (MEKAHLI, 1998). | 11 |
| Fig. 04 : Contexte structural du Djebel Souiga (GALMIER D, 1972). | 12 |
| Fig. 05 : Carte géologiques de Djebel Souiga (GALMIER D, 1972). | 13 |
| Fig. 06 : Prélèvement des échantillons au niveau de la station de concassage (carrière de INFRAFER). | 14 |
| Fig. 07 : Images satellitaire de la carrière INFRAFER de Djebel Souiga A : Localisation de la carrière ; B : Périmètre de du site étudié Selon la projection UTM. (Google Earth, 2022). | 15 |
| Fig. 08 : Vue satellitaire de la zone d'étude (Mapcarta, 2022). | 16 |
| Fig. 09 : Colonne lithologique de premier gradin. | 17 |
| Fig. 10 : Colonne lithologique de deuxième gradin. | 18 |
| Fig. 11 : Colonne lithologique de troisième gradin. | 19 |
| Fig. 12 : Présence des stalagmites et stalactites. | 19 |
| Fig. 13 : Colonne lithologique de quatrième gradin. | 20 |
| Fig. 14 : Présence des fractures et des fissures multidirectionnelles dans le quatrième gradin. | 20 |
| Fig. 15 : Colonne lithologique de cinquième gradin. | 21 |
| Fig. 16 : Géométrie d'agrégats. | 23 |
| Fig. 17 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique. | 25 |
| Fig. 18 : Altimétrie dans la carrière INFRAFER (Wilaya de Naâma). | 27 |
| Fig. 19 : Carte topographique des réserves géologiques. | 29 |

| | |
|--|----|
| Fig. 20 : Photo montrant différent couches superposées sur le gisement. | 30 |
| Fig. 21 : Carte topographique des réserves exploitables. | 31 |
| Fig. 22 : Graphes des coups géologiques (A/A') ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D') ; (E/E') ; (F/F') ; (G/G'). | 32 |
| Fig. 23 : Carte topographique des réserves exploitables en 2022. | 35 |
| Fig. 24 : Graphes des coupes géologiques (A/A) ; (B/B') ; (C/C') ; (D/D'). | 34 |

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tab. 01 : Coordonnées des bornes du site selon projection UTM . | 42 |
| Tab. 02 : Classes d'agrégats selon les normes (NF P 94.056). | 43 |
| Tab. 03 : Epaisseur de l'écartement E des grilles à fentes (mm) de chaque classe granulaires d/D (mm). | 43 |
| Tab. 04 : Classification de facteur LA selon les normes (NF P18.573). | 43 |
| Tab. 05 : Classification de facteur MDE selon les normes (NF P18.572). | 43 |
| Tab. 06 : Classification de facteur E.S selon les normes (NF P18.597). | 44 |
| Tab. 07 : Densité. | 44 |
| Tab. 08 : Résultats des analyses physico-mécaniques des granulats exploités dans la carrière INFRAFER. (LTPO) . | 44 |
| Tab. 09 : Fuseau de mélange granulaire traité (0/31.5) . | 45 |
| Tab. 10 : Classifications de coefficient de courbure. | 45 |
| Tab. 11 : Classifications de coefficient d'uniformité. | 45 |
| Tab. 12 : Mesures et classifications de coefficient de (uniformité et courbure). | 45 |
| Tab. 13 : Classification des sols grenus (plus de 50 % d'éléments > 0,08 mm) . | 46 |
| Tab. 14 : Calculs des réserves géologiques. | 46 |
| Tab. 15 : Calculs de volume de décapages. | 47 |
| Tab. 16 : Calculs des réserves exploitables. | 47 |
| Tab. 17 : Calculs des réserves exploitables en 2022 . | 47 |
| Tab. 18 : Tonnage (t) des réserves. | 48 |
| Tab. 19 : Récapitulatif des pourcentages des volumes (m³) des réserves. | 48 |
| Tab. 20 : Normes des essais. | 48 |

ANNEXES

| Coordonnées du périmètre en UTM | | |
|---------------------------------|--------|---------|
| N° | X(m) | Y(m) |
| 1 | 745800 | 3662700 |
| 2 | 746400 | 3662700 |
| 3 | 746400 | 3662600 |
| 4 | 746300 | 3662600 |
| 5 | 746300 | 3662500 |
| 6 | 746200 | 3662500 |
| 7 | 746200 | 3662300 |
| 8 | 746100 | 3662300 |
| 9 | 746100 | 3662200 |
| 10 | 746000 | 3662200 |
| 11 | 746000 | 3662000 |
| 12 | 745900 | 3662000 |
| 13 | 745900 | 3661900 |
| 14 | 745600 | 3661900 |
| 15 | 745600 | 3662000 |
| 16 | 745400 | 3662000 |
| 17 | 745400 | 3662300 |
| 18 | 745500 | 3662300 |
| 19 | 745500 | 3662400 |
| 20 | 745600 | 3662400 |
| 21 | 745600 | 3662500 |
| 22 | 745700 | 3662500 |
| 23 | 745700 | 3662600 |
| 24 | 745800 | 3662600 |

Tab. 01 : Coordonnées des bornes du site Selon la projection UTM.

| Classe de produits | Dimension (mm) |
|--------------------|--|
| - Fines. | - $0/D$ ou $D \leq 0,080$. |
| - Sables. | - $0/D$ ou $D \leq 6,30$. |
| - Gravillons. | - d/D ou $d \geq 2$ et $D \leq 31,5$. |
| - Caillaux. | - d/D ou $d \geq 20$ et $D \leq 80$. |
| - Graver. | - $0/D$ ou $d6,3 \leq D \leq 80$. |
| - Ballasts. | - d/D ou $d \geq 25$ et $D \leq 50$. |

Tab. 02 : Classes d'agrégats selon les normes (NF P18-540).

| Classe granulaires d/D(mm). | 31.5/40 | 25/31.5 | 20/25 | 16/20 | 12.5/16 | 10/12 | 8/10 | 6.3/8 | 5/6.3 | 4/5 |
|--|---------|---------|-------|-------|---------|-------|------|-------|-------|-----|
| Ecartement E des grilles à fentes (mm) | 20 | 16 | 12.5 | 10 | 8 | 6.3 | 5 | 4 | 3.15 | 2.5 |

Tab. 03 : Epaisseur de l'écartement E des grilles à fentes (mm) de chaque classe granulaires d/D (mm).

| | |
|----------------|---------------|
| LA > 25% | Très mauvais. |
| 30% < LA < 55% | Moyen |
| 20% < LA < 30% | Bon |
| LA < 20% | Excellent. |

Tab. 04 : Classification de facteur LA selon les normes (NF P18.573).

| | |
|-----------------|--|
| MDH < 10% | Signifie un bon granulat. |
| 10% < MDH < 36% | Signifie un granulat de qualité médiocre |

Tab. 05 : Classification de facteur MDE selon les normes (NF P18.572).

| Equivalent de sable% | Nature et qualité du sable |
|----------------------|----------------------------|
| <60 | Sable argileux |
| $60 \leq E.S < 70$ | Sable légèrement argileux |
| $70 \leq E.S < 80$ | Sable propre |
| $E.S > 80$ | Sable très propre |

Tab. 06 : Classification de facteur E.S selon les normes (NF P18.597).

| Densité absolue t/m^3 | Densité apparente t/m^3 |
|-------------------------|---------------------------|
| varie entre 2,5 et 2,6 | varie entre 1,4 et 1,6 |

Tab. 07 : Densité.

| DESIGNATION | 15/25 | 8/15 | 3/8 | 0/3 | GNT31,5 |
|---------------------------|---------------|-------|-------|------|---------|
| Essai de propreté % | 0.2 | 0.21 | 1.15 | / | / |
| Los Angeles % | 24.4 | 27.62 | 25.12 | / | 24.42 |
| Micro Deval Humide % | 12.4 | 13.6 | 9.2 | / | 13 |
| Coef-Aplat % | 10.6 | 14.41 | 20.81 | / | 13.14 |
| Densité Absolue t/m^3 | 2.78 | 2.79 | 2.78 | 2.76 | / |
| Densité Apparente t/m^3 | 1.46 | 1.45 | 1.34 | 1.59 | / |
| Granulométrie | Refus D % | 2 | 0 | 1 | / |
| | Passant à d % | 38 | 16 | 2 | / |
| Équivalent de sable % | / | / | / | 71 | / |

Tab. 08 : Résultats des analyses physico-mécaniques des granulats exploités dans la carrière **INFRAFER. (LTPO)**.

| TAMIS (mm) | MIN | MELANGE | MAX |
|------------|-----|---------|-----|
| 40 | 100 | 100 | 100 |
| 31,5 | 85 | 98 | 100 |
| 25 | 75 | 94 | 100 |
| 20,00 | 65 | 90 | 94 |
| 16 | 57 | 86 | 89 |
| 12,5 | 50 | 80 | 83 |
| 10 | 44 | 75 | 78 |
| 8 | 37 | 68 | 73 |
| 6,3 | 32 | 63 | 68 |
| 5 | 28 | 57 | 64 |
| 2,5 | 18 | 44 | 50 |
| 1,25 | 13 | 29 | 42 |
| 0,63 | 8 | 19 | 30 |
| 0,315 | 6 | 17 | 24 |
| 0,16 | 4 | 10 | 17 |
| 0,08 | 3 | 8 | 11 |

Tab. 09 : Fuseau de mélange granulaire traité (0/31.5).

| | |
|------------------------|-------------------------------|
| $1 < C_c < 3$ | Le granulat est bien répartie |
| $C_c < 1$ ou $C_c > 3$ | Le granulat est mal répartie |

Tab. 10 : Classifications de coefficient de courbure.

| | |
|-----------|---|
| $C_u < 2$ | La granulométrie est uniforme(ou serrée) |
| $C_u > 2$ | La granulométrie est étalée (ou variée) |

Tab. 11 : Classifications de coefficient d'uniformité.

| D10 | D30 | D60 | Coefficient de courbure $D_{10}.D_{60}/(D_{30})^2$ | Coefficient d'uniformité D_{60}/D_{10} |
|------|-----|-----|---|---|
| 0.16 | 1.4 | 5.5 | 2.22 | 34.37 |
| | | | Le granulat est bien répartie | Le granulat est étalée |

Tab. 12 : Mesures et classifications de coefficient de (uniformité et courbure).

| Définitions | | | Symbole LPC (USCS) | Conditions | Appellations |
|-------------|--|---|--------------------------|--|------------------------------|
| GRAVES | Plu de 50% des éléments > 0.08 mm Ont un diamètre > 2 mm | Moins de 5% d'éléments < 0.08 mm | Gb (GW) | $Cu = D6/D0 > 4$ et $1 < Cc = (D30)^2/D10D60 < 3$ | Grave propre bien graduée |
| | | | Gm (GP) | Une des conditions de Gb n'est pas satisfaite | Grave propre mal graduée |
| | | Plus de 12% d'éléments < 0.08 mm | GL (GM) | Limites d'atterberg au- dessous de la ligne A | Grave limoneuse |
| | | | GA (GC) | Limites d'atterberg au- dessus de la ligne A | Grave Argileuse |

Tab. 13 : Classification des sols grenus (**plus de 50 % d'éléments > 0,08 mm**).

| Courbes de niveaux (m) | Surfaces (m ²) | Moyen des surfaces | Distance (m) | Volume (m ³) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 1425 | 470000,5 | | | |
| | | 469507,576 | 25 | 11737689,4 |
| 1450 | 469014,652 | | | |
| | | 440213,403 | 25 | 11005335,08 |
| 1475 | 411412,154 | | | |
| | | 332204,444 | 25 | 8305111,1 |
| 1500 | 252996,734 | | | |
| | | 224728,6225 | 25 | 5618215,563 |
| 1525 | 196460,511 | | | |
| | | 168506,853 | 25 | 4212671,325 |
| 1550 | 140553,195 | | | |
| | | 112043,4395 | 25 | 2801085,988 |
| 1575 | 83533,684 | | | |
| | | 64975,4265 | 25 | 1624385,663 |
| 1600 | 46417,169 | | | |
| | | 33846,159 | 25 | 846153,975 |
| 1625 | 21275,149 | | | |
| | | 12777,0825 | 25 | 319427,0625 |
| 1650 | 4279,016 | | | |
| | | 2139,508 | 25 | 53487,7 |
| TOTAL | | | | 46523562,85 |

Tab. 14 : Calculs des réserves géologiques.

| MNT | Surface (m ²) | Epaisseur (m) | Volume (m ³) |
|---------------|---------------------------|---------------|--------------------------|
| Terre végétal | 275955,52 | 0,2 | 55191.104 |
| Stériles | 275955,52 | 0,3 | 82786.656 |
| Total | | | 137977.76 |

Tab. 15 : Calculs de volume de décapages.

| Coupe vertical | Longueur de coupe (m) | Surface (m ²) | Moyen des surfaces | Distance (m) | Volume (m ³) | Cumulative Volume (m ³) |
|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------------|
| (A/A') | 240 | 21207.25 | | | | |
| | | | 22372,83 | 100 | 2237282.85 | 2237282.85 |
| (B/B') | 240 | 23538.41 | | | | |
| | | | 22147,545 | 100 | 2214754.39 | 4452037.25 |
| (C/C') | 240 | 20756.68 | | | | |
| | | | 19960,87 | 100 | 1996087.07 | 6448124.31 |
| (D/D') | 240 | 19165.06 | | | | |
| | | | 18082,365 | 100 | 1808236.90 | 8256361.21 |
| (E/E') | 240 | 16999.67 | | | | |
| | | | 16178,86 | 100 | 1617886.01 | 9874247.22 |
| (F/F') | 240 | 15358.05 | | | | |
| | | | 14976,67 | 140 | 2096733.63 | 11970980.85 |
| (G/G') | 240 | 14595.29 | | | | |
| TOTAL | | | | | | 11970980.85 |

Tab. 16 : Calculs des réserves exploitables.

| Coupe vertical | Longueur de coupe (m) | Surface (m ²) | Moyen des surfaces | Distance (m) | Volume (m ³) | Cumulative Volume (m ³) |
|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------------|
| (A/A') | 200 | 15126,81 | | | | |
| | | | 14483,33 | 80 | 1158666,46 | 1158666,46 |
| (B/B') | 200 | 13839,85 | | | | |
| | | | 13492,78 | 80 | 1079422,57 | 2238089,03 |
| (C/C') | 200 | 13145,71 | | | | |
| | | | 12603,075 | 80 | 1008246,24 | 3246335,26 |
| (D/D') | 200 | 12060,44 | | | | |
| TOTAL | | | | | | 3246335,26 |

Tab. 17 : Calculs des réserves exploitables en 2022.

| Réserve | Volume (m ³) | densité | Tonnage |
|--------------------------------|--------------------------|---------|------------|
| Réserves géologiques | 46523562,85 | 2.6 | 120961263 |
| Décapages | 137977.76 | 1.6 | 220764.416 |
| Réserves géologiques probables | 46385585.1 | 2.6 | 120602521 |
| Réserves exploitables | 11970980.85 | 2.6 | 31124550.2 |
| Réserves exploitables en 2022 | 3246335,26 | 2.6 | 8440471.68 |

Tab. 18 : Tonnage (t) des réserves.

| Désignation | Volume (m ³) | Les pourcentages |
|--------------------------------|--------------------------|------------------|
| Réserves géologiques | 46523562,85 | 100 % |
| Décapages | 137977.76 | 0.29 % |
| Réserves géologiques probables | 46385585.1 | 99.71 % |
| Réserves exploitables | 11970980.85 | 25.73 % |
| Réserves exploitables en 2022 | 3246335,26 | 6.97 % |

Tab. 19 : Récapitulatif des pourcentages des volumes (m³) des réserves.

| Nom | Norme |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Granulométrie | (NF P18-540) |
| Propreté | (EN 933-8) |
| Coefficient d'aplatissement | (NF EN 933-4) |
| Essais los Angeles | (NF P18-573) |
| Essai Micro Deval | (NF P 18.572) |
| Equivalent De Sable | (NF P 18-597) |
| Densité | (NF P 18-554) et (NF P 18-555) |
| Classification LPC | (XP P 18-540) |

Tab. 20 : Normes des essais.

MEMOIRE DE MASTER

Type de Master : Professionnel

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géo-Ressources

Titre du mémoire : Aspect quantitatif et qualitatif de l'exploitation de granulats : exemple la carrière INFRAFER de Djebel Souiga (Sud-Est de la wilaya de NAAMA).

Auteurs : Youssouf BOUGHOUFALA & Hamza MAROUF

Résumé

Faisant partie des Monts des Ksour, la carrière étatique INFRAFER de Djebel Souiga, objet de la présente étude, se situe à 20 km de la wilaya de Naâma.

Au point de vue stratigraphique, cinq gradins ont fait l'objet d'une étude géologique. Celle-ci montre que ces carbonates sont traversés par des diaclases multidirectionnelles, avec la présence des structures fenestratees tels que les « bird-eyes » et les géodes de calcites de taille millimétrique à centimétrique.

Par ailleurs, les analyses physico-mécaniques basées sur des essais et calculs ont été effectués pour évaluer la qualité des matières premières extraites d'une part ; et de mettre en évidence les réserves probables et exploitables de la dite carrière d'autre part.

Pour répondre aux objectifs souhaités, les résultats ainsi obtenus nous ont permis de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques tel que : la propreté, la granulométrie, l'aplatissement, Mico Deval, la résistance à la fragmentation du choc (Los Angeles) et l'équivalent de sable de produit final, et quantifier par la méthode trapézoïdale les réserves géologiques et exploitables du gisement grâce au logiciel Auto-CAD qui est estimé respectivement à 120602521 t et 31124550.2 t.

Enfin, on peut en déduire à partir des résultats obtenus que ces Calcaires dolomitique soient assez bons du point de vue qualité et répondent aux normes requises pour les différents usages afin de subvenir aux besoins en agrégats pour alimenter les différents projets surtout dans le domaine des travaux publics.

Mots clés : Monts des Ksour, Djebel Souiga, INFRAFER, physico mécanique, réserves géologiques, réserves exploitables, trapézoïdale, Auto-CAD.