

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى-جيجل-

*Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel*

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre  
Et de l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم: علوم الأرض والكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : **Génie Géologique**

Thème

# ETUDE GEOMECHANIQUE DES ROCHES CARBONATES DE LA REGION DE SIDI MAROUF

### Membres de Jury

Président : BEGHAD . A

Examinateur: KEBAB. H

Encadrant :TEBIB Houria

### Présenté par:

SIFOUNE Haroun

LAIB Sami

Année Universitaire 2017-2018

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

# *Dédicace*

**Je tiens à dédier ce mémoire :**

*Aux personnes les plus chères au monde à mes yeux et dans mon cœur, et, sans leur soutien et leurs générosités, je n'aurais pu atteindre mes objectifs. À ce qui ont témoigné tant de bienveillance depuis mon arrivée au monde et tant d'affectueux intérêt dans ma vie d'enfant et de jeune homme et qui m'ont appris de suivre toujours le droit chemin. À ceux qui, durant toutes ces années ont fait mon existence, leur soutien et leurs conseils ont pu faire de moi l'homme que je suis devenu et dont les mots me font d'ailleurs défaut pour exprimer à bien la gratitude que je leur dévoue, car ils méritent tout ce qu'il y a de plus beau.*

*À MA MÈRE et MON PÈRE.*

*Et qu'ALLAH les bénit pour nous.*

*À mes frères et mes sœurs et leurs enfants surtout mon nièce "Asile", qui ont formé un entourage familial idéal*

*À ma famille et mes amis.*

*À tous ceux qui m'aiment.*

*Haroun*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma très chère mère Massouda, honorable, aimable :  
Tu représente pour moi le symbole de la bonté par  
excellence, la source de tendresse et l'exemple du  
dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de  
prier pour moi Ta prière et ta bénédiction m'ont été  
d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A mon cher Père Abdelkarim Aucune dédicace ne saurait  
exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect  
que j'ai toujours eu pour toi rien au monde ne vaut les  
efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon  
bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu  
as consentis pour mon éducation et ma formation....*

*A mes chères sœurs pour leur gentillesse et leur soutien  
sans faille.*

*A toutes ma promotion et mes amis*

*À tous ceux qui m'aiment.*

*Sami*

## *Remerciements*

*tout d'abord, Nos remerciements s'adressent en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant la réalisation de ce modeste mémoire, ainsi que le long de notre cursus d'étude.*

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos profondes gratitudees à notre encadrante Madame. **Tebib.H**, dont on a profité de son expérience et de son savoir. Elle nous a consacré tout le temps qu'on lui avait demandé. On a tellement appris de son dévouement exemplaire et son point positif face à tout obstacle.*

*Nos remerciements vont les membres du jury qui ont accepté de juger notre modeste travail et aussi à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à tous. Nous tenons également à remercier **Mr ROUIKHA.Y** pour sa générosité et sa précieuse aide dans la réalisation de la partie géologique. Une sincère reconnaissance à tous responsables, ingénieurs et techniciens du département des sciences de la terre et de l'univers et du laboratoire de recherche en génie géologique de l'université de Jijel Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère salutation à tous nos collègues et amis pour le soutien moral...*

## Résumé

Le massif de Sidi Marouf est situé dans le NE Algérien plus précisément en Petite Kabylie, 15Km au Sud d'El-Milia et à 75Km au Est de Jijel. qui sont, font partie des formations telliennes, avec les formations triasiques, souvent intrusives dans les marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur -Paléocène.

Les propriétés physiques relatives à la masse volumique ( $\rho_{\text{abs}}$  compris entre 2,6 et 2,7 g/cm<sup>3</sup>).

Les propriétés mécaniques relatives aux coefficients, de Los Angeles (LA), Micro-Deval humide (MDE), montrent des valeurs appréciables, respectivement est 24,36%, et MDE égale à 33%, et la résistance à la compression simple (Rcs) compris entre 11.3 et 81.6 Mpa par l'essai de compression simple, et entre 36 et 66 Mpa par l'essai de scléromètre. Ces résultats justifient leur utilisation dans les bétons destinés aux ouvrages d'art et bâtiments ainsi que dans les couches de fondation et certaines couches de roulement à faible trafic routier.

**Mots clés :** Lias , Résistance , scléromètre , géomécanique , calcaire ,

### Abstract

The Sidi Marouf massif is located in the Algerian NE more precisely in Petite Kabylie, 15km south of El Milia and 75km east of Jijel are part of the Tellian formations. They are, with the Triassic formations, often intrusive in the marls and marl-limestones of the Upper Cretaceous-Paleocene.

. The physical properties relative to the density and the cleanliness of the rock show that they are current ( $\rho_{\text{abs}}$  between 2.6 and 2.7 g / cm<sup>3</sup>).

The mechanical properties relative to the coefficients, of Los Angeles (LA), wet Micro-Deval (MDE), show appreciable values, respectively LA 24,36%, MDE including 33%, and the simple compressive strength (Rcs) between 11.3 and 81.6 Mpa by the single compression test, and between 36 and 66Mpa by the sclerometer test. These results justify their use in concretes intended for civil engineering works and buildings as well as in the foundation layers and some road layers with low road traffic.

**Keys words :** Lias , resistance, geomecanic, sclerometre, Limestone.

## ملخص

تقع كتلة سيدي معروف في الشمال الشرقي للجزائر بالضبط في منطقة القبائل الكبرى , على بعد 15 كم جنوب الميلية و 75 كم شرق جيجل تنتمي الى البنيات التلية توجد عموما مع التركيبات الترياسية فهي تقطع تركيبات الصلصال و الصلصال الكلسي لحقبة الكريتاسي العلوي باليوسان

الخصائص الفيزيائية المتعلقة بالكتلة الحجمية وخصائص الصخور(تتراوح بين 2,6 و2,7 غ /سم<sup>3</sup>).

الخصائص الميكانيكية المتعلقة بعوامل لوس انجلوس،ميكروديفال الرطب تظهر قيم هامة على التوالي تقدر ب 24.36%والميكروديفال الرطب يقدر ب 33 %و المقاومة بالضغط تتراوح بين 11.3 و81.6 ميغا باسكال بواسطة تجربة الضغط البسيط، و بين 36 و66ميغا باسكال بواسطة تجربة السكليرو متر. هذه النتيجة تؤكد استعمالاتها في الخرسانة الموجهة للمنشآت الفنية والبناء وكذلك في طبقات الأساس وبعض طبقات الطرق ذات الحركة المرورية المنخفضة.

□ كلمات مفتاحية: لياس , مقاومة , سكليرومتر , جيوميكانيكية, □ خر كلسي.

## SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

### LISTE DES FIGURES

### LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE .....1

## CHAPITRE I GENERALITE

**I.1 Introduction..... 3**

**I.2. Les essais de base ..... 4**

I.2.1. Caractéristiques des éprouvettes ..... 4

I.2.2. Essais de traction ..... 5

I.2.3. Essai de compression uniaxiale ..... 6

I.2.4. Essais triaxial ..... 7

**I.3. Généralités sur les conditions expérimentales ..... 8**

**I.4.La roche calcaire ..... 9**

I.4.1.L'utilisation des granulats ..... 9

**I.5. Situation géographique de la région étudiée ..... 11**

I.5.1. La wilaya de Jjel : ..... 11

**I.5.2. Sidi Marouf ..... 11**

**I.5.3. production de granulat dans la carrière de Sidi Marouf ..... 12**

## CHAPITRE II ETUDE DE CONTEXTE GEOLOGIQUE

**II.1. Cadre géologique régionale ..... 13**

II.1.1.Introduction ..... 13

II.1.2. Le domaine interne ..... 14

II.1.2.1. Le socle kabyle ..... 14

II.1.2.2. L a « Chaîne Calcaire » ou « Dorsale Kabyle» ..... 14

II.1.3. Le domaine des flyschs ..... 15

II.1.3.1. Le Flysch de «Guerrouch » ou Maurétanien..... 15

II.1.3.2. Le Flysch «schisto –quartzitique » ou Massylien ..... 15

II.1.3.3. Le Flysch numidien .....	15
II.1.4. Le domaine externe (ou domaine tellien) .....	15
II.1.4.1. Les séries telliennes .....	15
II.1.6. Les complexes magmatiques .....	15
II.1.7. Les ensembles post -nappes .....	16
<b>II.2. Géologie locale .....</b>	<b>16</b>
II.2.1. Trias .....	18
II.2.2. Lias .....	19
II.2.3. Malm .....	19
II.2.4. Crétacé inférieur .....	20
II.2.5. Oligocène .....	20
II.2.6. Miocène .....	20
II.2.7. Quaternaire .....	21
<b>II.3. Analyse pétrographique du calcaire .....</b>	<b>23</b>
II.3.1. Calcaires oobiomcritiques à texture packstone wackestone .....	23
II.3.2. Calcaires oobiomécrite à texture packstone wackestone .....	23
II.3.3. Calcaires a intramicrites à texture mudstone .....	23
II.3.4. Calcaires a oosparite à texture grainstone .....	23
<b>CHAPITRE III    ETUDE GEOMECANIQUE</b>	
<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>26</b>
<b>III.2. Les propriétés physiques .....</b>	<b>26</b>
III.2.1. Introduction .....	26
III.2.2. La masse volumique .....	26
<b>III.3. Les propriétés mécaniques des matériaux rocheux .....</b>	<b>28</b>
III.3.1. La résistance à la compression uniaxiale .....	28
III.3.1.1. Introduction .....	28
III.3.1.2. Les facteurs influençant la résistance à la compression simple .....	31
A . Facteurs technique .....	31
B . La relation entre certains facteurs géologique et la Rcs .....	33
III.3.1.3. Présentation des résultats d’essais de la résistance à la compression simple ....	36
III.3.2. La résistance au choc Essai sclérométrique .....	37
III.3.2.1. Introduction .....	37
III.3.2.2. Méthodes de mesure de l’Indice de rebondissement .....	39



III.3.2.3. Interprétation des résultats de contrôle du scléromètre .....	40
III.3.2.4. Présentation des résultats de l'essai sclérométrique des calcaires de Sidi Marouf .....	41
III.3.3. Discussion et interprétation des résultats d'essais mécanique effectués sur les calcaires du Lias de Sidi Marouf .....	41
<b>III.4. Etude géomécanique des granulats .....</b>	<b>43</b>
III.4.1. Introduction .....	43
III.4.2. Les propriétés mécaniques .....	43
III.4.2.1. Introduction .....	43
III.4.2.2. La résistance à la fragmentation par choc: Essai Los Angeles .....	44
III.4.2.3. La résistance à l'usure des gravillons: essai Micro-Deval humide .....	47
III.4.2.4. Interprétation des résultats d'essais effectués sur les granulats issus de la roche calcaire de Sidi Marouf .....	49
III.5. Conclusion .....	49
 <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

## LISTE DES FIGURES

<b>Fig. I.01.</b> Dispositif pour essai brésilien (P. BÉREST et al, 2000). .....	<b>5</b>
<b>Fig. I.02.</b> Frettage d'une éprouvette en compression (P. BÉREST et al, 2000). .....	<b>5</b>
<b>Fig. I.03.</b> Cellule pour essai triaxial (P. BÉREST et al, 2000). .....	<b>7</b>
<b>Fig. I. 04.</b> L'utilisation des granulats. ....	<b>10</b>
<b>Fig. I.05 :</b> La situation géographique de la région.....	<b>11</b>
<b>Fig. II.01.</b> Schéma structural de la méditerranée occidentale (Durand Delga, et Fontboté ; 1980). .....	<b>13</b>
<b>Fig. II.02 .</b> Géologie de site étudié, d'après Durand Delga, (1952).....	<b>17</b>
<b>Fig. II.03.</b> Les roches carbonatées exploités dans la Carrière de Sidi Marouf. ....	<b>18</b>
<b>Fig. II.04.</b> Coupe transversale du massif du Sidi Maarouf (Delga, 1955).....	<b>21</b>
<b>Fig. II.05.</b> Colonne lithostratigraphique des formations géologiques de la région de Sidi Marouf (d'après les descriptions de la SONAREM, 1974). .....	<b>22</b>
<b>Fig. II.06.</b> Calcaire oobiomicrocritique à texture Packstone-Wackstone . (K.Ramoum,2002). ...	<b>24</b>
<b>Fig. II.07.</b> Calcaire oobiomicrocrite à texture Packstone-Wackstone. (K.Ramoum,2002). .....	<b>24</b>
<b>Fig. II. 08.</b> Calcaire intramicrite à texture Packstone-Wackstone.(K.Ramoum,2002). .....	<b>24</b>
<b>Fig. II.09.</b> Calcaire oosparitique à texture grainstone. (K.Ramoum,2002). .....	<b>24</b>
<b>Fig. III.01.</b> Dispositif expérimental.....	<b>28</b>
<b>Fig. III.02.</b> Schéma de la Compression uniaxiale.....	<b>28</b>
<b>Fig. III.03.</b> Les trois principales modes de ruptures des roches en compression simple. ....	<b>29</b>
<b>Fig. III.04.</b> Courbe de contrainte $\sigma$ – déformation : $\epsilon$ à vitesse de déformation $\dot{\epsilon}$ constant pour un calcaire (1) et un gré (2) (Houpert (1984) in Tebib). .....	<b>30</b>
<b>Fig. III.05.</b> Courbe contrainte – déformation jusqu'à la rupture (D'après Goodman, 1989, in Tebib (2002)). .....	<b>30</b>
<b>Fig. III.06.</b> Influence du rapport L/D sur RCs (tebib, 2002) (d'après : Hawkes and Mellor, 1970). .....	<b>32</b>

<b>Fig. III.07.</b> La relation entre la résistance à la compression simple et le contact des grains (Dyke et Dobereiner, 1991). .....	<b>35</b>
<b>Fig. III.08.</b> La baque de scléromètre. ....	<b>38</b>
<b>Fig. III.09.</b> Appareillage de scléromètre.....	<b>39</b>
<b>Fig. III.10.</b> Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter. ....	<b>40</b>
<b>Fig. III.11.</b> Appareillage de Los Angeles. ....	<b>46</b>
<b>Fig. III.12.</b> Machine Micro-Deval. ....	<b>47</b>

### Liste des tableaux

<b>Tableau. I.01.</b> Evolution de production du granulat de la carrière de Sidi Marouf. rapport inédit du DIM (2018). .....	<b>12</b>
<b>Tableau. III.01.</b> Résultats de l'essai de la masse volumique (rapport LTPE 2009). .....	<b>27</b>
<b>Tableau. III.02.</b> L'influence de la taille des grains sur la résistance à la traction de certains calcaires d'Adams d'après Tourepe et Archinband (1974). .....	<b>34</b>
<b>Tableau. III.03.</b> Les résultats de La résistance à la compression (RC) (Rapport LTPE, 2009). .....	<b>36</b>
<b>Tableau. III.04-</b> Les niveaux de résistance de la roche étudiée, en compression simple, classés en fonction des spécifications préconisées par l'AFTES. ....	<b>37</b>
<b>Tableau. III.05.</b> Les résultats de la résistance à la compression (Rc) au nord de la carrière..	<b>41</b>
<b>Tableau. III.06.</b> les résultats de la résistance à la compression (Rc) au centre de la carrière. ....	<b>41</b>
<b>Tableau. III.07.</b> les résultats de la résistance à la compression (Rc) au sud de la carrière. ...	<b>41</b>
<b>Tableau III.08 :</b> Nombre de boulets avec un poids de charge en grammes normalisés (NF EN 1097-2).....	<b>44</b>
<b>Tableau. III.09.</b> valeurs de mesures du coefficient Los-Angeles des granulats de Sidi Marouf.....	<b>45</b>
<b>Tableau. III.10.</b> Coefficient Los Angeles des granulats de la carrière de Sidi-Marouf comparé aux LA des spécifications utilisés dans les bétons, préconisées par SETRA-LCPC (1984), selon Dupain et al (1995). .....	<b>45</b>
<b>Tableau. III.11.</b> Tableau récapitulatif comparant le coefficient Los Angeles des granulats de la carrière de Sidi-Marouf aux spécifications préconisées par SETRA-LCPC (1984) et Dupain et al (1995). .....	<b>46</b>
<b>Tableau. III.12.</b> résultats de l'essai micro deval (LTPE, 2009). Les granulats de la carrière de Sidi Marouf, sont caractérisés par une résistance à l'attrition Comparative aux spécifications préconisées, par SETRA et LCPC.....	<b>48</b>
<b>Tableau III.13 :</b> Corrélation entre les résultats de Rcs et les résultats de scléromètre.....	<b>49</b>

## **Introduction générale**

La mécanique des roches a pour objet la définition du comportement des roches sous l'effet de sollicitations mécaniques. Elle trouve son application dans des ouvrages de génie civil d'importance très variable: de la maison unifamiliale à la centrale nucléaire, en passant par les barrages, tunnels, etc....

La principale tâche élaborée par les ingénieurs dans ce domaine réside dans la compréhension des résultats d'essais effectués sur les échantillons de roches testés en laboratoire. Or, la difficulté rencontrée concernant les enseignements fournis lors de la caractérisation des roches par les essais soit du laboratoire ou in situ, se présente par la complexité du comportement mécanique vis à vis des sollicitations extérieures par rapport aux propriétés intrinsèques du matériau rocheux testé.

Autrement dit, on entend par sollicitations extérieures les effets pouvant avoir des influences sur les propriétés de la roche. Parmi ces sollicitations nous citons, les pressions, la température, les réactions chimiques, etc....

Dans notre cas d'étude, on s'intéresse qu'aux sollicitations qui ont une grande influence sur le comportement mécanique des roches, à savoir, les forces et les pressions.

En effet, la connaissance de l'état de contrainte est très importante, qui est estimée à partir de plusieurs propriétés mécaniques des roches qui se résument principalement en deux familles: la rupture (représentant l'état de résistance) et la déformabilité (représentant l'état de déformation).

Les propriétés mécaniques des roches sont évaluées avec plusieurs méthodes et par différentes sollicitations mécaniques (compression simple, traction, compression triaxiale, cisaillement, etc...), et ceci à partir des échantillons continus de différentes dimensions et formes.

Le présent travail est basé sur une étude géologique combinée à un programme d'essais géotechnique réalisé par un certain nombre de tests de labo en fonction de leurs disponibilités. Pour l'objectif de déterminer les propriétés physiques et mécaniques de la roche calcaire liasique de la carrière de Sidi Marouf.

Sous cette perspective, le mémoire comporte trois chapitres. Dans le premier essentiellement bibliographique, nous faisons d'abord un rappel portant sur les notions et les

définitions des contraintes, déformations et comportement rhéologiques des matériaux rocheux vis-à-vis des 3 essais de base de la mécanique des roches. Puis, nous introduisant le comportement de la roche au laboratoire.

Dans un second chapitre une étude du contexte géologique avec une présentation des formations lithologique du site d'étude menu d'une petite description pétrographique à la base d'études réalisé dans un autre contexte.

Dans le troisième chapitre une étude géomécaniques du calcaire étudiée : les propriétés mécanique de la roche impact (la résistance a la comprissions, l'essai de scléromètre) et les propriétés des granulats (l'essai Los Angeles, l'essai Micro Deval).

# *Chapitre I*

## *Généralités*

## I.1. Introduction

Les propriétés mécaniques des roches se divisent en deux catégories :

- les résistances à des sollicitations mécaniques : traction, compression uniaxiale ou triaxiale, définissant des seuils ou critères de rupture;
- les déformabilités sous l'effet des sollicitations mécaniques : modules instantanés ou différés.

Au delà de ces propriétés, qui s'expriment par des données chiffrées, on utilise, un terme plus général, le terme de « loi de comportement » et désigne d'une manière générale l'expression mathématique de la relation entre les contraintes et les déformations subies par l'échantillon rocheux.

En effet le comportement et les propriétés mécaniques des roches sont étudiés au laboratoire, à partir d'échantillons continus de dimensions centimétriques à décimétriques. La représentativité d'échantillons de laboratoire, c'est-à-dire leur aptitude à représenter les propriétés du site dont ils sont extraits, s'affronte à plusieurs types de difficultés :

- **présence de fractures**: certains types de fractures, présentes sur le site, peuvent ne pas être présentes dans l'échantillon prélevé, trop petit pour les contenir, et donc échappent à l'analyse (c'est notamment le cas pour les discontinuités majeures - fractures régionales, failles... - qui ne sont évidemment pas susceptibles de prélèvement). D'une manière générale, tout bloc extrait du site a, en quelque sorte, déjà subi une « sélection naturelle » interdisant la présence de discontinuités importantes (qui conduiraient à une division du bloc en blocs plus petits) ;
- **hétérogénéité du massif**: certains massifs sont hétérogènes, c'est-à-dire formés d'éléments de propriétés mécaniques différentes, par exemple alternance de calcaires et de marne;
- **variabilité des propriétés mécaniques**: au sein du massif rocheux, même au sein d'une formation identifiée; il convient alors d'utiliser la géostatistique pour décrire et modéliser la nature de cette variabilité et, éventuellement, le type d'échantillonnage à effectuer en vue d'une « représentativité correcte » ;
- enfin l'effet d'échelle: les roches présentent généralement un « effet d'échelle » plus ou moins marqué, lié à la présence au sein de la matrice rocheuse, de divers types d'hétérogénéités et de discontinuités ; cet effet d'échelle se manifeste par le fait que les propriétés mécaniques mesurées sont fonction des dimensions de l'éprouvette.



L'étude des discontinuités présentes dans le massif rocheux, et susceptibles d'en affecter les propriétés mécaniques.

Dans ce chapitre on aborde l'effet d'échelle, dans la mesure où il influence, si on ne prend pas en considération un certain nombre de circonspections, sur les résultats des essais mécaniques, dans le but d'avoir des échantillons les plus représentatifs possible.

## **I.2. Les essais de base:**

Quoi qu'avec le développement nouvelle technologie dans le domaine de la Mécanique des Roches, et avec, existence d'un certain nombre d'essais sophistiqués, les essais de base qui mettent en jeu trois types de sollicitations, sont :

- traction : traction indirecte (ou essai brésilien) ;
- compression uniaxiale (ou monoaxiale ou simple) ;
- compression triaxiale (isotrope et déviatorique).

Il existe un certain nombre de recommandations, en particulier éditées par la SIMR (Société Internationale de Mécanique des Roches) dont certaines préconisent le choix de dimensions des éprouvettes à essayer. L'AFNOR a édité très récemment des normes fixant les caractéristiques des éprouvettes et les conditions expérimentales pour les essais de base.

### **I.2.1. Caractéristiques des éprouvettes :**

Il est recommandé d'essayer des éprouvettes « les plus grandes possible » compte tenu des moyens techniques du laboratoire, de façon à intégrer au mieux les hétérogénéités minérales et les discontinuités du volume poreux. En tout état de cause seule la dimension minimale, liée à la taille des grains, est fixée: le diamètre doit être au moins égal à dix fois la taille des plus gros éléments.

L'AFNOR recommande une dimension minimale de 40 mm de diamètre. Il est préférable de garder constant le diamètre pour la série d'essais: traction indirecte, compression uniaxiale et triaxiale. Les éprouvettes, de forme cylindrique, sont prélevées par découpage (carottage, sciage et rectification) à partir de blocs ou de carottes de plus grandes dimensions prélevées sur le site. L'orientation des éprouvettes s'effectue, par référence aux directions **S1**, **S2**, **S3** identifiées sur le site. Ainsi, s'agissant d'une formation sédimentaire, l'axe **S3** est perpendiculaire aux plans de stratification, dans lequel les directions **S1** et **S2** sont souvent indifférenciées.

Un soin particulier doit être apporté à la qualité de la découpe et de la rectification : parallélisme des faces, perpendicularité avec les génératrices, obéissent à des

spécifications rigoureuses. La rectifieuse doit permettre de garder l'éprouvette fixe, le retournement étant assuré par le marbre sur lequel l'éprouvette est disposée par l'intermédiaire de visés.

### I.2.2. Essais de traction :

La résistance maximale à la traction peut être limitée par celle de l'interface colle éprouvette, ce qui est le cas pour les roches de résistance à la traction supérieure à 15 Mpa. L'éprouvette d'élancement (hauteur/diamètre) minimal égal à un, subit une compression suivant deux génératrices opposées. Cette compression s'exerce par l'intermédiaire de pièces métalliques (figure I.01).

La vitesse de mise en charge recommandée par la SIMR est de 200 N/s. La résistance à la traction est calculée par :

$$\sigma_t = 2P/\pi dl \quad (1-1)$$

Avec :  $\sigma_t$  résistance à la traction,

P effort à la rupture,

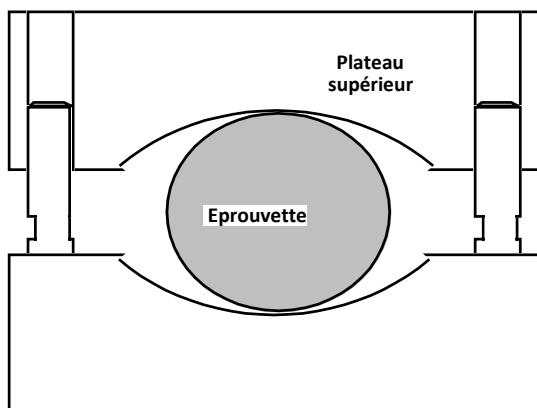
D diamètre de l'éprouvette,

L longueur de l'éprouvette.

L'état de contrainte au centre de l'éprouvette, au moment de la rupture, est représenté par une contrainte de compression verticale  $\sigma_y$  égale à :

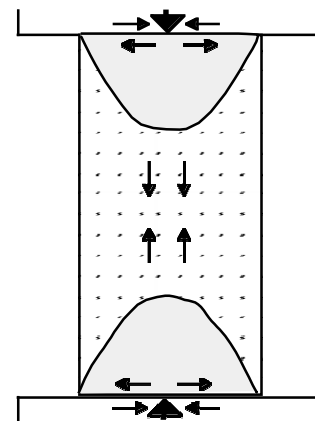
$$\sigma_y = 6P/\pi DL \quad (1-2)$$

Avec les mêmes notations que celles de l'équation (1-1), tandis que la contrainte horizontale  $\sigma_x$  a pour valeur celle de l'équation (1-1).



**Fig. I.01.** Dispositif pour essai brésilien.

(P. BÉREST et *al*, 2000)



**Fig. I.02.** Frettage d'une éprouvette en compression

(P. BÉREST et *al*, 2000)

### I.2.3. Essai de compression uniaxiale

C'est l'essai le plus communément réalisé. Il est effectué sur éprouvettes cylindriques, d'élanement  $L/D$  ( $L$ , hauteur,  $D$  diamètre) compris entre 2 et 2,5.

L'élanement est un point important qui se comprend lorsqu'on examine les conditions de contact machine-éprouvette. Il existe un état de contrainte non homogène dans des zones en forme de cône (Fig. I.02) correspondant à un frettage de l'éprouvette. Le frettage est dû au frottement empêchant le déplacement libre des extrémités de l'éprouvette, engendré par le contraste de déformabilité entre la roche et les plateaux de la presse. Les roches sont toujours plus déformables que les aciers avec lesquels elles sont en contact durant l'essai. Ce frettage augmente artificiellement la résistance à la compression de l'éprouvette. Il convient donc de diminuer les zones d'influence du frettage en jouant sur l'élanement :

- élanement faible ( $L/D = 1$ ) : les deux cônes s'interpénètrent, la résistance à la compression est alors surévaluée ;
- $L/D = 2$  : les cônes sont séparés, la distribution des contraintes au centre de l'éprouvette n'est plus perturbée ;
- élanement fort ( $L/D = 3$ ) : les cônes sont bien éloignés mais il y a risque de compression excentrée de l'éprouvette, si les faces ne sont pas rigoureusement parallèles.

Il faut noter que la Société Internationale de Mécanique des Roches interdit l'interposition de matériau ou de produit entre l'éprouvette et les plateaux de la presse, excepté des plaques d'acier d'épaisseur comprise entre 15 mm et  $D/3$  et de diamètre égal à celui de l'éprouvette. La machine d'essai doit être assez rigide (colonnes de diamètre approprié et faible course des vérins), hydraulique et si possible asservie. L'usage de machines mécaniques est prohibé. Le plateau supérieur peut être équipé d'une rotule. Le centrage de l'éprouvette doit alors être rigoureux.

L'essai est conduit à partir d'un chargement monotone croissant (soit à vitesse de déformation, soit à vitesse de contrainte uniaxiale fixée). La normalisation n'impose pas de vitesse, mais conseille une durée d'essai comprise entre cinq minutes et quelques dizaines de minutes, de manière à ne pas induire d'effets différés.

On appelle résistance à la compression (notée  $\sigma_c$ ) la contrainte maximale supportée par l'échantillon lors d'un essai à chargement monotone croissant. Cette valeur constitue une première information très utile et parfois suffisante sur les performances mécaniques escomptées de la roche.

Le rapport entre la résistance à la compression uniaxiale et la résistance à la traction donne un indice de fragilité, qui est une caractéristique importante du comportement.

Ce rapport varie usuellement entre 5 (roche peu fragile) et 30 (roche très fragile).

#### I.2.4. Essais triaxial

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes identiques à celles de l'essai de compression uniaxiale, mais le dispositif expérimental limite souvent l'élancement aux environs de 2. Il s'agit d'un essai triaxial de révolution où  $\sigma_2 = \sigma_3 = P_c$  (pression de confinement).

L'éprouvette est placée dans une jaquette étanche et souple, pour les roches tendres, plus rigide pour les roches raides. La figure I.03 donne un exemple de schéma de cellule triaxiale, dimensionnée pour supporter des confinements courants de 1 à 40 Mpa, ce qui impose des parois épaisses en acier. De plus la charge axiale doit être transmise par un piston rigide de même diamètre que l'éprouvette.

L'essai est conduit en imposant d'abord un chargement hydrostatique  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = P_c$ . Puis la contrainte axiale est augmentée en respectant une consigne de vitesse de mise en charge constante ou de vitesse de déformation constante, jusqu'au maximum qui correspond à la résistance à la compression triaxiale.

A partir des valeurs de résistance à la traction, à la compression uniaxiale et à la compression triaxiale, sous plusieurs confinements, il est possible de déterminer un critère de rupture

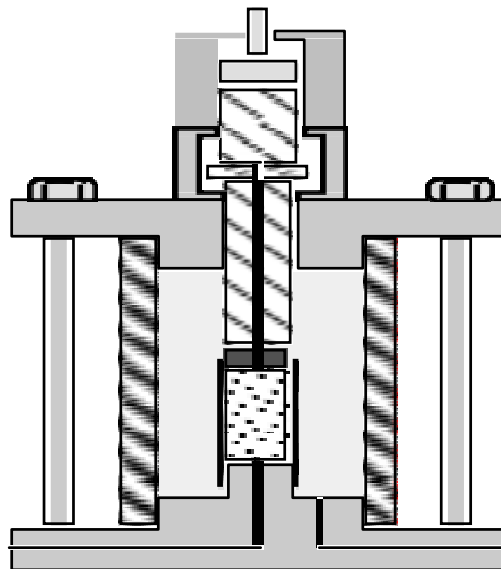


Fig. I.03. Cellule pour essai triaxial (P. BÉREST et al, 2000)

### I.3. Généralités sur les conditions expérimentales:

La réalisation de tout essai mécanique s'effectue selon un chemin de sollicitation qui résulte de l'exécution d'un programme (ou « consigne ») prédéfini ; le programme fixe les paramètres d'exécution de l'essai - contraintes ou déformations -et leur évolution dans le temps, la machine d'essai devant suivre le déroulement du programme, à partir du contrôle des paramètres d'asservissement. Le trajet de charge résulte de l'exécution:

- soit d'une consigne en déformation (par exemple essai effectué à vitesse de déformation imposée  $\epsilon$  constante) ;
- soit d'une consigne en contrainte (par exemple  $\sigma$  constante).

Le dispositif d'asservissement de la presse a pour objet l'exécution de l'essai conformément au programme prédéfini ; de la qualité de l'asservissement dépend celle de l'essai ; or l'essai peut ne pas se dérouler correctement, en particulier si des phénomènes de perte de résistance de l'échantillon au moment de la rupture imposent une variation trop rapide du dispositif de correction. Divers types de trajets de charge peuvent être exécutés ; leur définition est fonction de l'objet et de la destination de l'essai envisagé. Parmi les plus usuels, citons :

- chargement monotone croissant (de type  $\epsilon =$  constante ou  $\sigma =$  constante) ;
- chargement croissant jusqu'à un certain niveau, suivi d'un déchargement et d'un rechargement jusqu'à un niveau plus élevé. On peut ainsi réaliser 3 à 5 cycles jusqu'à la rupture ;
- chargement cyclique autour d'une position moyenne (essai de fatigue).

Les essais mécaniques peuvent être réalisés à température ambiante pour la plupart des problèmes courants. Il peut être nécessaire de contrôler rigoureusement la température durant les essais mécaniques et particulièrement pour les essais de longue durée et les essais de fluage.

Le travail que nous avons entrepris, et que nous présentons ci-après, consiste essentiellement à décrypter les propriétés géomécaniques et les caractéristiques pétrographiques de la roche calcaire, nous visant à caractériser, la résistance à la compression simple, qui indique la qualité de la roche et son domaine d'utilisation.

#### **I.4. La roche calcaire :**

Les calcaires, faisant objet de notre travail, sont principalement composés surtout de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  mais également de carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_3$  pour les calcaires dolomitiques. Les calcaires exploités en carrière ont des aspects et des caractéristiques différentes selon le type de faciès.

Les roches de calcaires sont utilisées :

- dans les travaux de construction

Les calcaires, ont toujours été utilisés en tant que pierre de taille, pour bâtir, pour orner les revêtements des constructions, même en sculpture monumentale, ils sont aussi utilisés, comme matériau d'empierrement (graves calcaires, ballast...), comme matière première entrant dans la fabrication de ciment.

- Dans l'industrie

Les calcaires sont utilisés pour produire du carbonate de sodium, les divers produits industriels (plastique, peinture...), et même dans le domaine des traitements des eaux

- Enrochement des ports
- Pierre à chaux

La carrière de Sidi Marouf produit des granulats, ce sont des petits morceaux de roche calcaire destinés à réaliser des ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment.

##### **I.4.1. L'utilisation des granulats :**

Les granulats sont une matière indispensable pour les besoins de notre société moderne qui exige qualité de vie, commodité des transports.... Les granulats subissent différents traitements selon l'ouvrage envisagé. Ils peuvent être mis en œuvre :

- **Emplois dans le béton**

Les bétons contiennent au minimum un mélange de 2 fractions granulométriques :

- des sables 0/d (avec  $d < 5 \text{ mm}$ ) ;

- des graviers  $d/D$  (avec  $d > 2 \text{ mm}$  et  $D < 20 \text{ mm}$ ).

- **Emplois dans les mortiers**

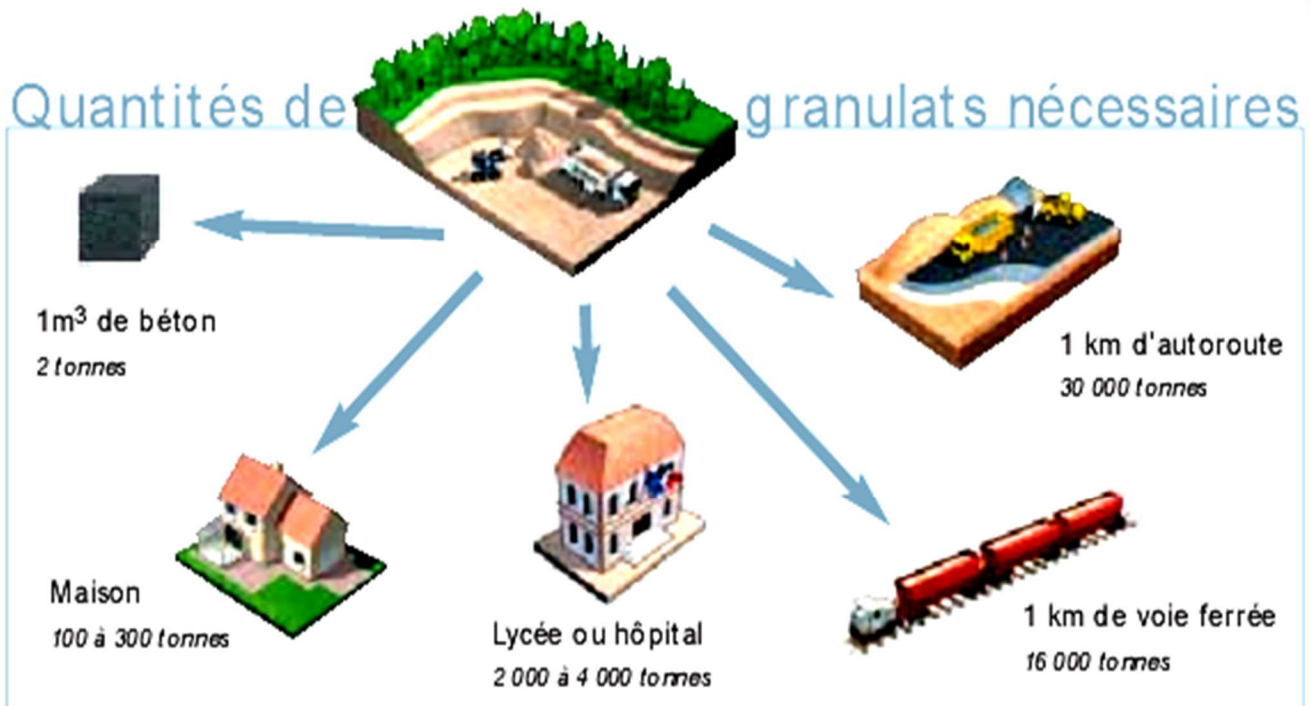
La granularité des sables utilisés, dépend de la nature du mortier. Un mètre cube de mortier nécessite de l'ordre de 1,6 t de granulat.

- **Emplois en viabilité**

Les chaussées routières et autoroutières sont formées par un ensemble de couches de matériaux principalement constitués de granulats avec ou sans liant selon la Couche.

- Emplois en ballastage de voies ferrées

En pratique, il s'agit exclusivement de granulats de roches massives, très élaborés (mais non Lavés), utilisés tels quels, sans liant.



**Fig. I. 04.** L'utilisation des granulats.

## I.5. Situation géographique de la région étudiée

### I.5.1. La wilaya de Jijel :

Se trouve au Nord –Est de l’Algérie, limite au nord par la mer méditerranéenne, au Sud par Mila, au Est de Skikda et au Sud- Ouest par Sétif ; Jijel est une des principales de la petite kabyle, les stations suivantes faisant partie de la wilaya de Jijel.

### I.5.2. Sidi Marouf

Le massif de Sidi Marouf est situé dans le NE Algérien plus précisément en Petite Kabylie, à 85km au Nord Ouest de Constantine, 15Km au Sud d’El-Milia et à 75Km à l’Est de Jijel. La région de Sidi Marouf est traversée par la route nationale de Constantine El-Milia (RN.27). Le massif de Sidi Marouf est orienté sensiblement EW et Culmine à 1262m. Il est sillonné par Oued El- Kébir qui traverse le village de Sidi Marouf et Oued Itéra qui descend au Sud de Djebel Sidi Marouf.

- **Sidi Marouf est limité :**

Au Nord par la commune d’Ouled Yahia ;

À l’Est par la commune de Ghabela ;

À l’Ouest par la commune d’Ouled Rabah ;

Au Sud par la wilaya de Mila.

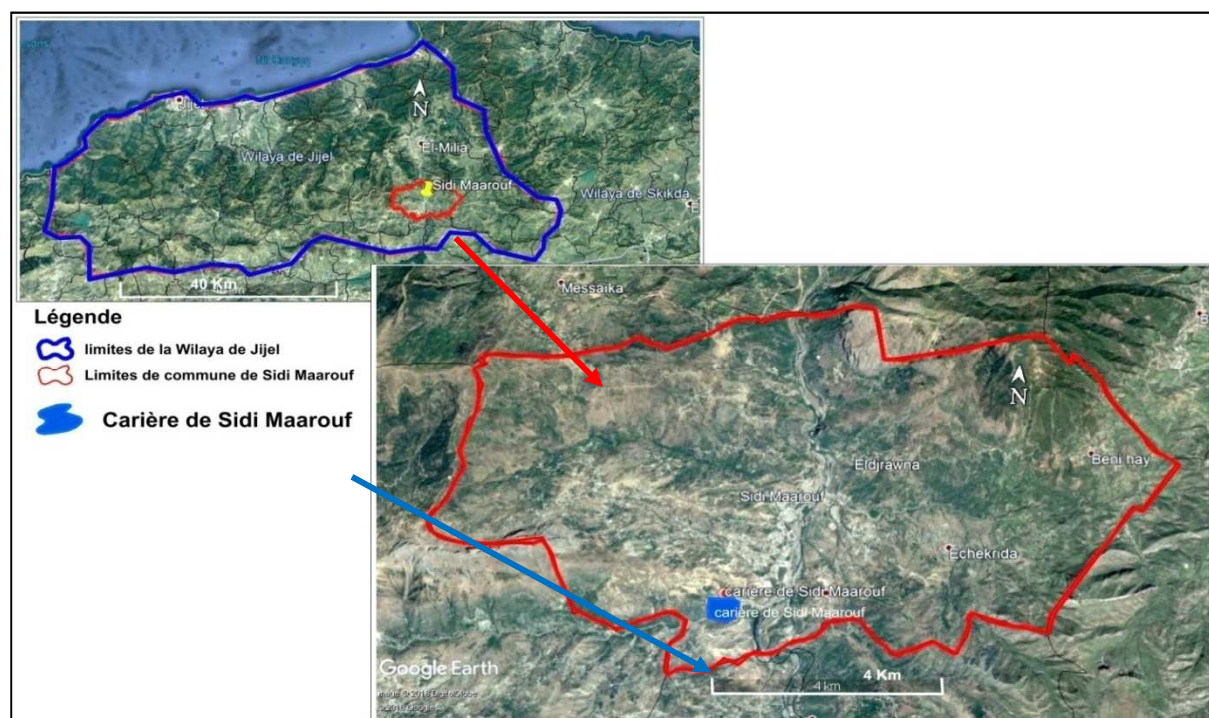


Fig. I.05 : la situation géographique de la région.



Le carrière de Sidi Marouf a les coordonnées géographiques suivantes :

**Latitude 36° - 38° Nord**

**Longitude 6° - 8° Est**

### **I.5.3. production de granulats dans la carrière de Sidi Marouf :**

D'après les données de la Direction des Mines et des Industries de la wilaya de Jijel, on comptait, dans les derniers quatre ans, les quantités des agrégats et des sables.

*Tableau I.01. Evolution de production du granulats de la carrière de Sidi Marouf rapport inédit du DIM (2018).*

Année	Quantité ( m <sup>3</sup> )	Les agrégats
2017	70031	Agrégat
	27442	Sable
2016	61869	Agrégat
	13758	Sable
2015	140287	Agrégat
	/	Sable
2014	94980	Agrégat
	/	Sable

***Chapitre II***  
***Etude de contexte***  
***géologique***

II.1. Cadre géologique régional :

II.1.1.Introduction :

La structure géologique de la petite Kabylie en général résulte du rapprochement par convergence N-S du bloc kabyle vers la plaque africaine durant le cénozoïque (durant delga, J.P. Boullin, J.F. Raoult, H. Djellit). Des domaines initialement éloignés se trouvent en fin de convergence structurellement superposés.

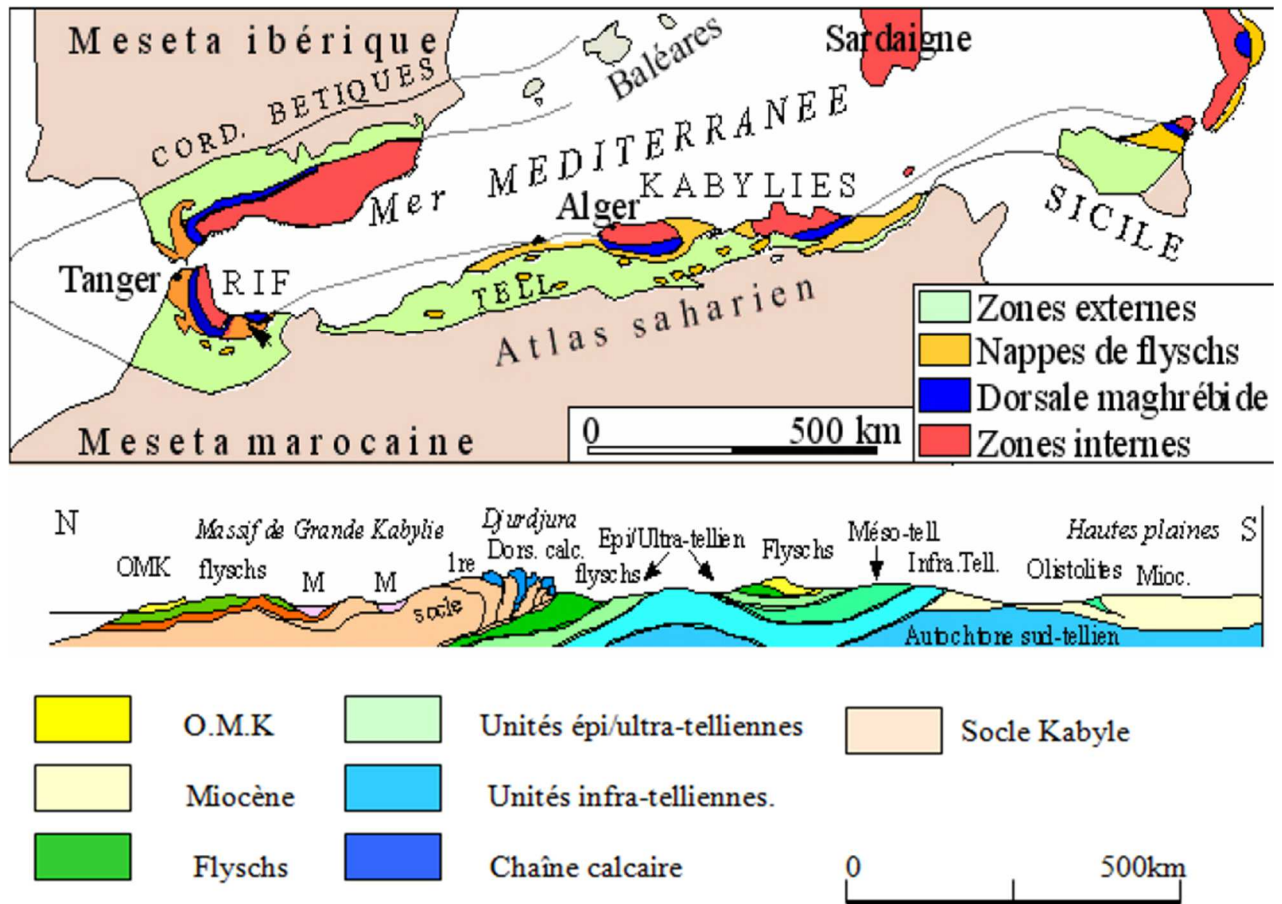


Fig. II.01. Schéma structural de la méditerranée occidentale

(Durand Delga, et Fontboté ; 1980).

### II.1.2. Le domaine interne

Le domaine interne est composé du socle métamorphique kabyle et de la « Chaîne Calcaire » ou « Dorsale Kabyle ».

#### II.1.2.1. Le socle kabyle

Il affleure principalement en Petite et Grande Kabylie et dans les massifs côtiers du Chenoua et d'Alger. Il est composé principalement de deux ensembles.

##### -Un ensemble inférieur gneissique

La base du Cristalloyphyllien n est composée de gneiss oillés, à intercalations de marbres (localement puissants), d'amphibolites et de quartzites. Les termes de base de cet ensemble sont associés à des granitoïdes (Bouillin, 1977).

Dans le Cap Bougaroune, la base du socle conserve des péridotites qui sont issues du manteau supérieur (Bouillin et Kornspobst, 1974 in Vila, 1980).

##### -Un ensemble supérieur phylladique à micaschiste

Cet ensemble est très étendu dans les parties occidentales de la Petite Kabylie et comporte des schistes satinés (phyllades) où s'intercalent localement des « grès » et des porphyroïdes oillés, des micaschistes, des schistes à muscovite et chlorite. Des roches basiques sont associées à cet ensemble. Cet ensemble se termine par des psammites et calcaires à orthocères (Djellit, 1987) et est surmonté en discordance par des formations siluriennes (Durand Delga, 1955). La découverte de ces sédiments siluriens non métamorphiques a permis à M. Durand Delga (1955), de donner un âge anté-Silurien au métamorphisme des formations du socle de Petite Kabylie.

Les deux ensembles de socle kabyle sont intrudés par un corps aplo-pegmatitique à porphyres de tourmaline et de muscovite cm ou dm.

#### II.1.2.2. La « Chaîne Calcaire » ou « Dorsale Kabyle »

La Dorsale Kabyle ou « Chaîne Calcaire » est représentée par des affleurements étroits et discontinus le long de la bordure méridionale du socle kabyle. Elle est constituée par des formations, allant du Permo-Trias au Lutétien (Raoult, 1969 in Vila, 1980) et admet une couverture gréséo-micacée d'âge Priabonien à Oligocène supérieur (Durand Delga, 1955 j.p Bouillin 1977). En Petite Kabylie, elle a été subdivisée du Nord au Sud en trois unités : interne, médiane et externe (Raoult, 1974 in Vila, 1980).

En petite kabyle à Jijel et d'Elmilia, le C.V.S représente l'équivalent structural de la chaîne calcaire.

### II.1.3. Le domaine des flyschs

Classiquement on distingue en Algérie du Nord trois types de Flyschs :

#### II.2.3.1. Le Flysch de «Guerrouch » ou Maurétanien (Gelard, 1969 in Vila, 1980)

Il montre une série allant du Malm au Priabonien. Il est représenté par des Radiolarites rouges du Malm, surmontée par des calcaires du Néocomien passant vers le haut à une puissante formation argilo-gréseuse (300 mètres). Cette série est datée par les étages du Barrémien à l'Albien (Bouillin, 1977). La série se poursuit par des calcaires au sommet d'âge Crétacé supérieur qui se termine par un ensemble Complexe de marnes, de calcaires microbréchiques sableux et de conglomérats datés du Turonien au Priabonien inférieur (Bouillin, 1977).

#### II.1.3.2. Le Flysch «schisto –quartzitique » ou Massylien (Raoult, 1969 in Vila, 1980)

Comme son homologue Maurétanien, il présente une série allant du Néocomien au Lutétien terminal. Il est représenté par une alternance de pélites schisteuses et de grès quartzitiques d'âge Crétacé inférieur, surmontée par des niveaux de phtanites noires du Cénomaniens. Au sommet de la série on y rencontre un ensemble marno- microbréchi que sableux d'âge Crétacé supérieur (sénonien).

#### II.1.3.3. Le Flysch numidien

Il est constitué par une trilogie de faciès qui sont de bas en haut (Vila, 1980) : des argiles varicolores (argiles sous numidiennes) à Tubotomaculum (Oligocène supérieur), puis des grès épais en gros bancs à quartz bien roulé. Enfin des formats ions supra-numidiennes, marneuses, admettant des silexites, qui atteignent le Burdigalien.

### II.1.4. Le domaine externe (ou domaine tellien)

Le domaine externe est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant -pays allochtone et les séries de l'avant -pays atlasique autochtone.

#### II.1.4.1. Les séries telliennes

Il s'agit de séries épaisses à dominante marneuse qui seraient issues du sillon tellien (Vila, 1980). Elles constituent des empilements de nappes pelliculaires avec souvent des semelles de Trias salifère. J. M. Vila (1980) les a subdivisé en trois grandes unités: les unités ultra telliennes, les unités telliennes au sens strict et les unités péni-telliennes au sud du domaine.

### II.1.5. Les complexes magmatiques

En petite Kabylie les roches magmatiques affleurent à Oued Amizour, El Aouana, El Milia, Cap Bougaroun, Collo et Skikda. Ces affleurements font partie d'un magmatisme ayant caractérisé la marge Nord Algérienne pendant le Mio -Pliocène. Dans les parties Est et Centre de l'Algérie, affleurent des roches plutoniques (granites, granodiorites monzonites,...etc) et

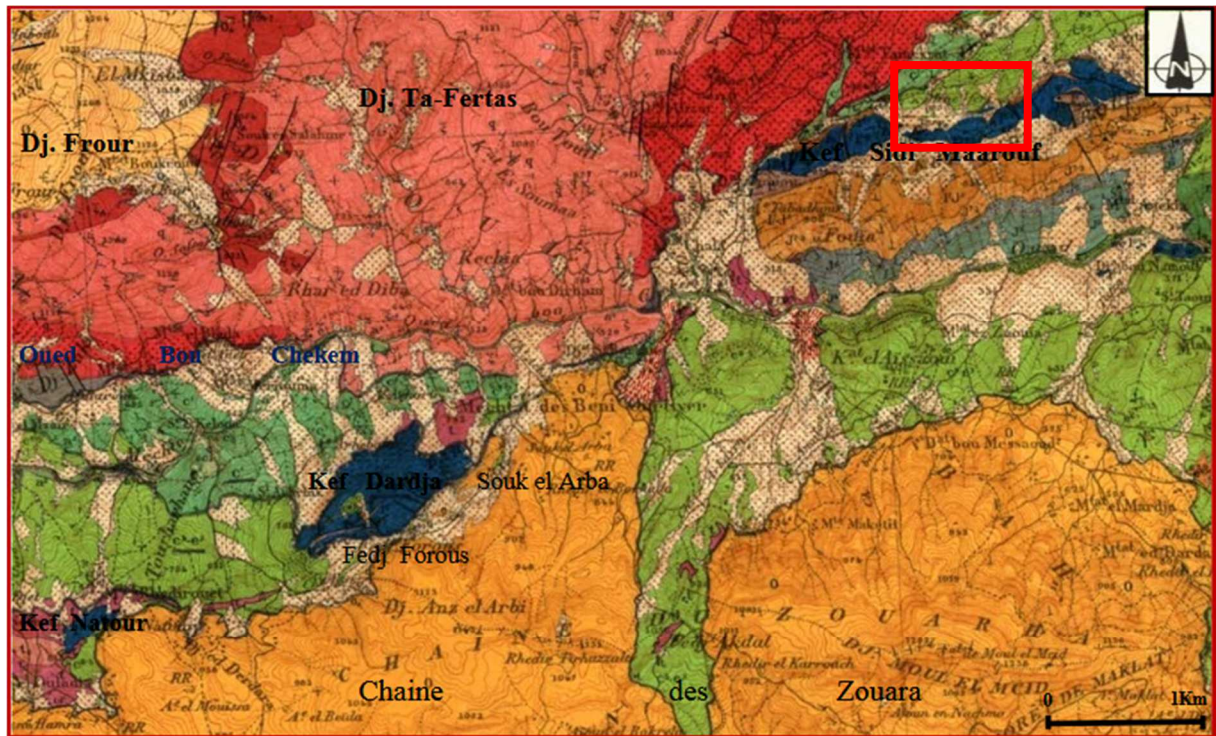
volcaniques (rhyolites, dacites andésites et basaltes), alors que vers l'Ouest, seules les roches volcaniques affleurent.

### **II.1.6. Les ensembles post -nappes**

Mis à part les dépôts récents (Quaternaires et alluvions), le Pliocène continental est franchement discordant sur un Mio- Pliocène constitué dans la région de Jijel, par des marnes gris -bleu, datées à leur extrême base du Burdigalien -Langhien par M. Durand Delga (1955) où considérées d'âge Tortono- Messinien (Djellit, 1987) alors que les sédiments pliocènes sont composés de molasses conglomératiques d'origine continentale. Les sédiments quaternaires sont constitués par des alluvions de fleuves des bassins néogènes ou des anciennes plages quaternaires de la côte algérienne.

### **II.2. Géologie locale :**

La région de Sidi Marouf fait partie du domaine externe, limitant au sud le massif ancien de la Petite Kabyle. Cette région est située immédiatement au front de la nappe bordière du socle chevauchant le flysch du crétacé inférieur-moyen et les marnes schisteuses du crétacé supérieur (Sénonien à Eocène), dont elle est essentiellement constituée. Les terrains crétacés sont percés par endroit par des reliefs carbonatés jurassiques appartenant à la couverture méridionale, plissée et fracturée, des massifs anciens Kabyles (Durand Delga, 1955).



**LÉGENDE :**




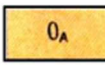

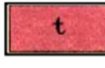

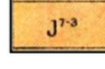
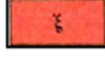




 Oligocène : série numidienne	 Tithonique : calcaires marneux, marnes...	 Lotharingien-Pliensbachien : calcaires lités
 Oligocène : Argile	 Kiméridgien ? : calcaires massif, lités	 Trias : complexe gypsfère
 Sénonien-Eocène : complexe marneux	 Malm inférieur : calcaires à silex blonds	 Micaschiste du socle kabyle
 Sénonien : faciès de calcaire compact	 Lias supérieur-Dogger : calcaires lités	 Gneiss ocellé du socle kabyle
 La zone étudiée		

Fig. II.02 .Géologie des alentours de Sdi Marouf, extrais de la carte Durand Delga, (1952).



**Fig. II.03.** Les roches carbonatées exploitée dans la Carrière de Sidi Marouf.

On distingue la série suivante :

**II.2.1. Trias :** Il est représenté par trois termes:

- **Trias gréseux :** série de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, de grés Psammétique et de schistes ; leur teinte est variable, parfois blanche, parfois Multicolore. Ces couches sont en parfaite continuité stratigraphique avec le Lias, elles sont attribuées hypothétiquement au Permo-Trias (Durand Delga, 1955).
- **Trias calcaire ou dolomitique :** les calcaires plus ou moins marneux, bien lités, à cassure plus ou moins marmoréenne sont souvent couverts de vermiculations caractéristiques. Les dolomies de couleur brune ou noire, plus ou moins caverneuse, forment de petits lambeaux ramenés par le Trias gypsifère. (Durand Delga, 1955).
- **Trias gypsifère :** complexe extrêmement puissant, d'argiles et marnes bariolées, de grés souvent psammitiques, de cargneules jaunes, avec gypse. Ces roches, toujours chaotiques et en position anormale, sont le plus souvent incluses dans les formations géologiques plus récentes.



### II.2.2. Lias :

- **Lias basal dolomitique** calcaires compacts et dolomies massives (50m), paraissent représenter la base du lias (Rhétien à Sinémurien) (Durand Delga, 1955). De plus dans des positions tectoniques affleurent des calcaires sombres, peu ou pas lités.
- **-Pliensbachien-Lotharingien** calcaires compacts en grosses dalles (200 à 300m), de couleur blanche et de faciès variés ; sublithographiques oolitiques, gréseux, zoogènes, ils sont parfois dolomitisés secondairement, dans les zones minéralisées (Ouest du Kef Sidi-Marouf).
- **Domérien** série marneuse à minces lits de calcaires marneux, son épaisseur peut atteindre 200 m à Sidi Marouf, mais elle est souvent très réduite par laminage.

Au sommet du Kef Sidi-Marouf, on observe des schistes gréso-calcaires, plus ou moins détritiques, attribués au Toarcien (Durand Delga, 1955).

- **Lias supérieur-Dogger** il est représenté par une série calcaire à lits marneux en petits bancs (environ 200 m), qui passe progressivement aux couches à silex blond. Aux kefs Bou-Rhaleb et Sassenène, le Lias se termine par 40 à 50 mètres de calcaires marneux, avec des bancs plus compacts.

### II.2.3. Malm

- **Malm inférieur (Oxfordien)** il est représenté dans le Sidi Marouf par 100 à 200m de calcaires en assez gros bancs, à lits de silex blond.
- **Kimméridgien** il se présente dans le djebel de Sidi Marouf, sous forme de calcaires compacts (100 à 200m.), souvent gréseux, en grosses dalles.
- **Tithonique (Portlandien)** il n'est représenté que dans le Sidi Marouf par 100 à 250 m de marnes et calcaires marneux, verdâtres, violacés ou grisâtres. On note aussi des niveaux de calcaires oolitiques noirs, de fausses brèches, de calcaires colorés à silex et de dolomies calcarifères (Durand Delga, 1955).

**II.2.4. Crétacé inférieur** dans la région de Sidi Marouf le Cétacé inférieur-moyen se présente sous deux aspects :

- **Crétacé inférieur-moyen de type tellien (Néocomien-Barrémien)** représenté par des marnes et marno-calcaires blancs (200 à 400m), en discordance plus ou moins accusée sur le Jurassique ou le Trias gréseux ; avec parfois, à la base des niveaux détritiques (microbrèches et poudingues).

- **Crétacé inférieur-moyen de type flysch (Albo-Abtien)** constitué aux approches du massif ancien de la Petite Kabylie, par un flysch schisto-gréseux. Sa position actuelle avec le Crétacé inférieur à faciès marneux est due aux effets de la tectonique tertiaire. Il est constitué par une puissante série (de 200 à 1000m) montrant de minces alternances : schistes argileux foncés, grés (ou quartzites) rares passées de couches siliceuses noires, blanches ou colorées ; de schistes calcaire à grains fins : au nord du Dardja, la formation repose, par une brèche rubéfiée, directement sur les micaschistes, l'âge du flysch est post-Barrémien et anté-Sénonien (Albo-Aptien) (Durand Delga, 1955).

- **Crétacé supérieur (Sénonien-Eocène)** complexe marneux constitué le plus souvent par d'épaisses marnes plus ou moins schisteuses (plus de 1km) reposant généralement en discordance sur le Mésozoïque plus ancien.

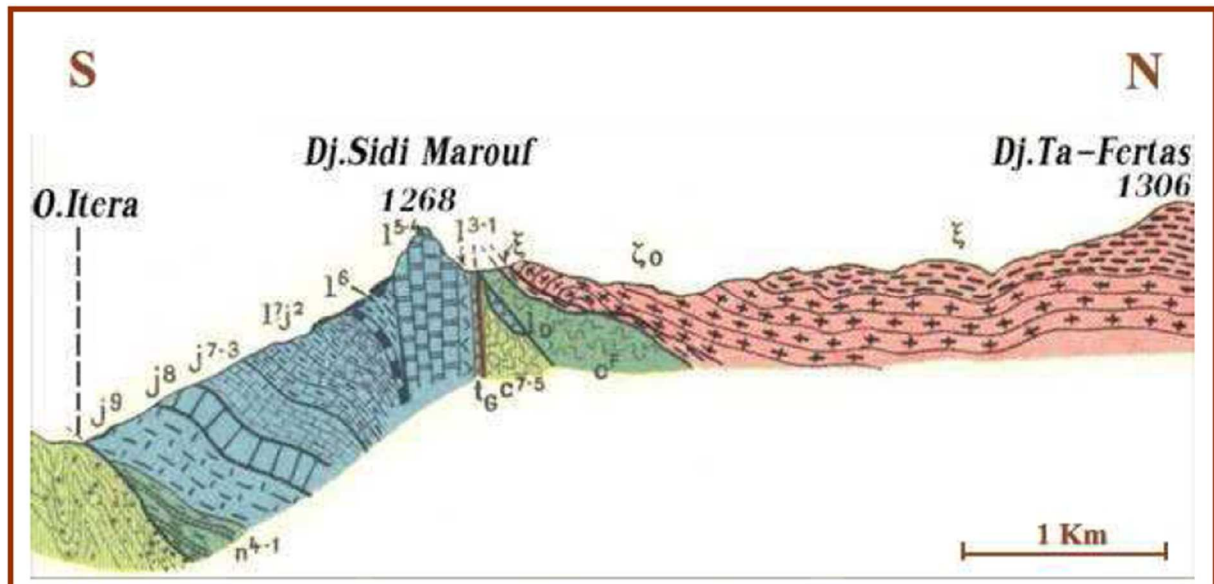
Au sein de la puissante série marneuse du Crétacé supérieur, il existe :

Des niveaux calcaires plus ou moins lenticulaires, des nodules de calcaire à patine jaune, des niveaux finement détritiques (microbrèches) et de galets sous forme de poudingues plus ou moins massifs.








**II.2.5. Oligocène** dans la région de Sidi Marouf, on trouve des argilites fines, grises, noirâtres. Au-dessus de ces niveaux argileux, viennent des alternances d'argilites et de grés, en bancs assez minces. L'ensemble a une épaisseur d'environ 500 m. Au Sud, l'Oligocène est constitué essentiellement de grés quartzeux.





**II.2.6. Miocène** à l'Est de Moul-Ed-demaméne on rencontre des marnes noires à gros nodules calcaires de patine jaune, plus au Nord on trouve des lambeaux de grés calcaireux plus ou moins compacts, passant à des marnes gréseux. L'ensemble est attribué au Burdigalien (Durand Delga.1955).

II.2.7. Quaternaire : éboulis homogènes et fins ; gros blocs dans des éboulis fins, des alluvions anciens 10 à 60m.



**Légende :**

-  C<sup>7-5</sup> : Complexe marneux Eocène inf (pp)-Sénonien
-  C<sup>F</sup> : Flysch Crétacé inf-moyen
-  n<sup>4-1</sup> : Crétacé inf marnes et marno-calcaires
-  J<sup>9</sup> : Tithonique marnes et calcaires marneux
-  J<sup>8</sup> : Kiméridgien calcaires massifs
-  J<sup>7-3</sup> : Malm inf calcaires à silex, lités
-  I<sup>7-J2</sup> : Dogger-Lias sup calcaires lités avec marnes

-  I<sup>6</sup> : Domérien calcaires marneux et marnes
-  I<sup>5-4</sup> : Lias inf calcaires massifs
-  I<sub>D</sub> : Lias indéterminé dolomitisé
-  t<sub>G</sub> : Trias schisto-gréseux

**Cristallophyllien :**


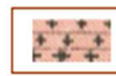
-  xi : micaschistes cipolins en lentilles ou calcschistes
-  zeta0 : gneiss œillés

Fig. II.04. Coupe transversale du massif du Sidi Maarouf (Delga, 1955).

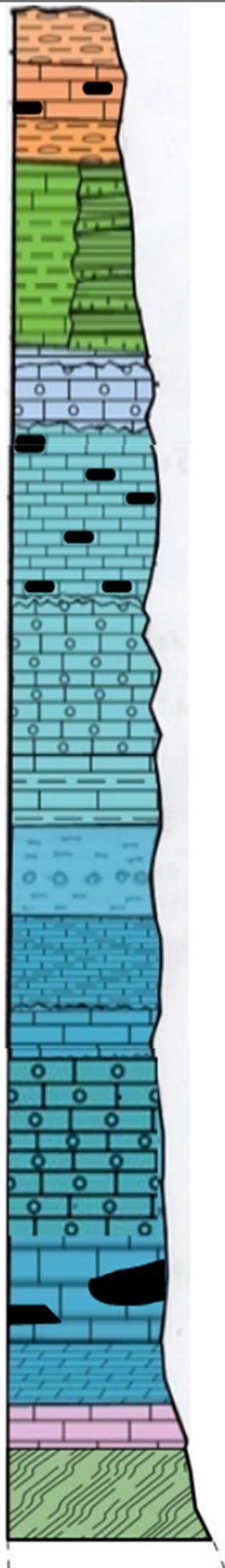
Stratigraphie		Lithologie	Ep.	Description
PALÉOGÈNE	Lutétien		?	Marnes à boules jaunes
	Yprésien		?	Calcaires à silex
	Paléocène		?	Marnes noirs à boules jaunes
CRETACE SUPERIEUR				
CRETACE INFERIEUR			500-1000m	Flyschs schisto-gréseux (à droite) et formations marno-calcaires telliennes (à gauche).
MALM	Tithonique		?	Marno-calcaires et marnes avec des intercalations très variées, de calcaires lités.
	Kimméridgien		?	Calcaires oolithiques compacts, en très gros bancs
DOGGER				
LIAS	Toarcien		?	Argilites gréseuses verdâtres ou noirâtres avec des lits micro-conglomératiques
	Domerien		?	Alternances de calcaires gris finement lités à silex noir et calcaires marneux
	Pliensbachien.	140m	Calcaires gris à oolithes	
	Lotharingien	120m	Calcaire grisâtre, jaunâtre à patine bleue avec une minéralisation ferrifère (en noire).	
	Sinémurien-Hettangien	75m	Calcaires dolomitiques et dolomies en bancs grisâtres ou peu bleutés affectés par des filonnets d'hématite.	
Trias	Rhétien ?	?	Argilites noires séparant les lits calcaires de cargneules dans des calcaires dolomitiques gris et noirs	
Précambrien		?	Formations cristallophylliennes du socle kabyle : gneiss ocellés et micaschistes	

Fig. II.05. Colonne lithostratigraphique des formations géologiques de la région de Sidi Marouf (d'après les descriptions de la SONAREM, 1974).

### II.3. Analyse pétrographique du calcaire

L'étude pétrographique des calcaires exploités dans la carrière de Sidi Marouf a permis de distinguer plusieurs lithofaciès dont la répartition spatiale.

#### II.3.1. Les calcaires oobiomicrocritiques à texture packstone wackstone

C'est le faciès le plus abondant dans la carrière ils 'agit d'un calcaire dur à patine blanchâtre et cassure gris, présentant une matrice fine constituée par deux plages (deux matrices). l'une claire et l'autre Sambre. C'est ce faciès qui renferme une densité élevée de fente de tension centimétrique à remplissage calcitique.

Les principaux bioclastes ou débris de bioclaste qu'on a pu identifier sont les ammonites, les bélemnites, les gastéropodes les encrines. Ce sont des allochèmes de tailles variables dispersées dans une matrice orthochimique principalement microcritique (Fig. II.07).

Ces calcaires caractérisant par la présence de microfissures à remplissage calcique ainsi que par la présence de quelque grain de sulfure (pyrite  $Fe S_2$ ). (K .Ramoum, 2002).

#### II.3.2. Calcaires oobiomicrocrite à texture packstone wackstone

Ce calcaire est localisé principalement dans la partie Est de la carrière (niveau inférieur). Il s'agit d'un calcaire dur à cassure grise renferme quelque encrines est de fines taches blanchâtres (oolites). Comme les calcaires oobiomicrocritiques, Il renferme aussi de nombreuses fontes de tensions centimétriques à remplissage calcitique (Fig. II.08).

Au microscope ces calcaires montrent des oolites fines et dispersées. Les principaux bioclastes sont des entroques ou encrines, quelques débris d'ammonites de gastéropode et bélemnites. (K.Ramoum, 2002).

#### II.3.3. Calcaires à intramicrites à texture mudstone

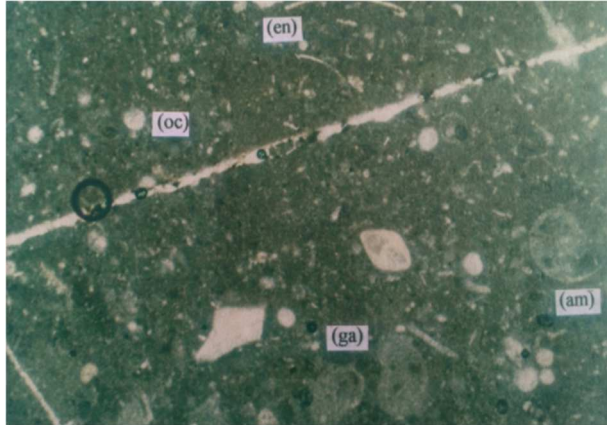
Ce calcaire est localisé surtout dans la partie Ouest de la carrière. Il s'agit d'un calcaire dur grisâtre présentant un aspect bréchiq à éléments calcaires subanguleux de tailles variables (millimétrique à centimétrique). Certains fragments sont microfissurés.

L'examen microscopique montre que les intraclastes sont microcritique et sont cimentés par une matrice également microcritique (Fig. II .09). (K.Ramoum, 2002).

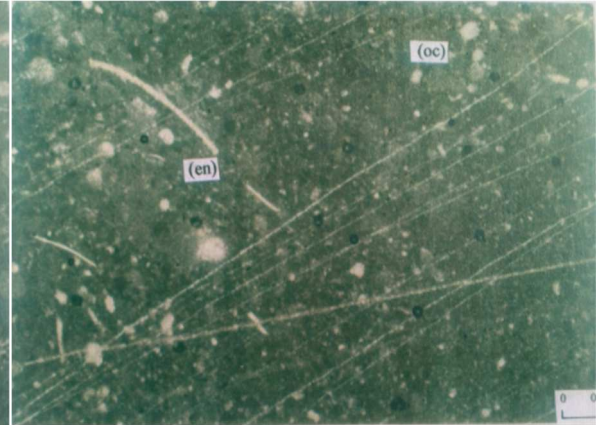
#### II.3.4. Calcaires à oosparite à texture grainstone

Ce calcaire est localisé dans la partie amont (Nord) de la carrière (niveau supérieur). C'est un calcaire à cassure gris clair, présentant un aspect fin gréseux et refermant des oolites. Au microscope, la matrice peut abondant est de nature sparitique.

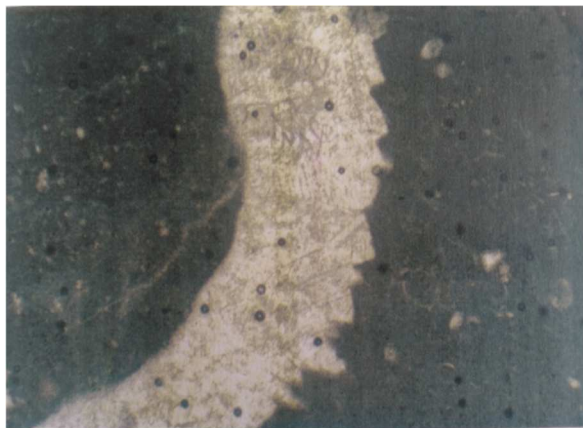
Ce fais est caractérisé par la présence de grains de quartz et d'oolites. Ces dernières ont des tailles variables avec des structures concentriques parfois micritisées (Fig. II.10). (K.Ramoum, 2002).



**Fig. II.06.** Calcaire oobiomorphe à texture Packstone-Wackstone. (K.Ramoum, 2002).



**Fig. II.07.** Calcaire oobiomorphe à texture Packstone-Wackstone. (K.Ramoum, 2002).



**Fig. II.08.** Calcaire intramicrite à texture Packstone-Wackstone. (K.Ramoum, 2002).



**Fig. II.09.** Calcaire oospirite à texture grainstone. (K.Ramoum, 2002).

#### I.4. Conclusion

Le massif de Sidi Marouf offre l'image géométrique d'une structure anticlinale, formé par des lithofaciès caractéristiques d'âge Mésozoïque tels que :

- Le Lias basal dolomitique caractérisé par des calcaires dolomitiques sombre au pied du relief.
- Le Lias inférieur Pliensbachien constitué de calcaires, parfois dolomités dans tous l'ensemble du massif.
- Le Domérien à dominante marneuse avec des schistes grésocalcaires au sommet.
- Lias supérieur Dogger marno-calcaires alternent avec des lits plus marneux.
- L'oxfordien représenté par des bancs de calcaires et lits de silex.
- Le kiméridgien sous forme de calcaires oolithiques à silex en grosses dalles.

- Le Tithonique marneux et calcaro-marneux à niveaux de calcaires oolithiques, fausses brèches et dolomies calcarifères.

Ces formations à pendage très redressés voir renversés, présentent au Nord un contact tectonique avec les formations métamorphiques du socle kabyle, ainsi qu'avec les formations du Crétacé de type tellien et de type flysch.

*Chapitre III*  
*Étude géomécanique*



### III.1. Introduction

Le comportement et les propriétés physicomécaniques des roches sont définis après avoir fait une large gamme d'essais au laboratoire ; et cela à partir des échantillons, prélevés et préparés de différentes dimensions et formes. Ces essais fournissant des données de base servant à mieux exploiter ces produits en tant que supports ou matériaux nécessaires pour la construction.

Nous présentant, au cours de ce chapitre, une série d'essais réalisés dans différents laboratoires à savoir LTPE (Jijel) et le Laboratoire (MDC) de Génie Civile (U de Jijel).

A cet égard, on procèdera à la description des différents paramètres physiques et mécaniques des roches et leur procédure de détermination.

Parmi les propriétés physiques les plus importantes: la porosité et la masse volumique, la teneur en eau, le degré de saturation, le degré de fissuration, l'altérabilité.....etc.

Les propriétés mécaniques de résistance à savoir sont: la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance au cisaillement, d'autres propriétés mécaniques aussi importantes, on cite parmi, la dureté, l'abrasivité, l'angle de frottement interne et la cohésion.

### III.2. Les propriétés physiques

#### III.2.1. Introduction

Elles dépendent de l'organisation interne (texture, structure) et de la composition minéralogique. Les notions de structure et de texture dépendent de l'échelle d'observation et du type de roche, autrement dit; d'arrangement minéralogique, de la taille des grains et de leurs disposition.

La disposition des éléments constituants, peut produire des surfaces de discontinuité et des espaces vides (pores).

**III.2.2. La masse volumique:** C'est la masse de l'unité de volume de la roche ( $\text{g/cm}^3$ ).  
Suivant l'état du matériau, on définit :

- $\rho_s$  la masse volumique absolue ou masse volumique du solide,
- $\rho_h$  la masse volumique naturelle,
- $\rho_d$  la masse volumique sèche,
- $\rho_{sat}$  la masse volumique saturée.

Avec :

MS la masse du matériau sec ; g

Vs le volume des grains après broyage ; cm<sup>3</sup>

Vt le volume de l'échantillon ; cm<sup>3</sup>

Mh la masse naturelle ; g

- $\rho_s$  la masse volumique absolue ou masse volumique du solide, calculée :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

- $\rho_r$  la masse volumique réelle, calculée :

$$\rho_r = \frac{M_s}{V_t}$$

- **Présentation des résultats d'essais des propriétés physiques**

Pour, les propriétés physiques des roches calcaires du Lias de la carrière de Sidi Marouf, le tableau des résultats obtenus à partir d'essais réalisés au laboratoire LTPE (Jijel), sur une série de 5 spécimens et on récapitule ci-dessous ;

**Tableau III.01** : résultats de l'essai de la masse volumique, réalisé sur des croutes de calcaire étudié (LTPE, 2009).

N° carotte	Pesée balance (gr)	Pesée hydrostatique (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	La masse volumique (t/m <sup>3</sup> )
C1	621.40	391.90	229.50	2.70
C2	689.10	435.60	253.50	2.71
C3	679.70	428.30	251.40	2.70
C4	684.50	430.60	253.90	2.69
C5	687.80	433.20	254 .60	2.70

### III.3. Les propriétés mécaniques des matériaux rocheux

#### III.3.1. La résistance à la compression uniaxiale

##### III.3.1.1. Introduction

L'étude de la déformabilité et de la résistance des roches en géomécanique se fait par le biais de quelques tests, parmi les plus utilisés, figure l'essai à la compression uniaxiale. Il a l'avantage d'être simple et ne demande pas d'équipements sophistiqués. La résistance à la compression simple ( $R_c$ ) est la charge maximale à laquelle, un échantillon de dimension donnée sous compression entre les deux plateaux d'une presse, perd son intégrité.

Elle est calculée de la manière suivante :  $R_c = f/s$

$R_c$  : la résistance à la compression simple.

$F$  : la charge maximale de la rupture.

$S$  : la surface de la section de l'éprouvette.



Fig. III.01. Dispositif expérimental.

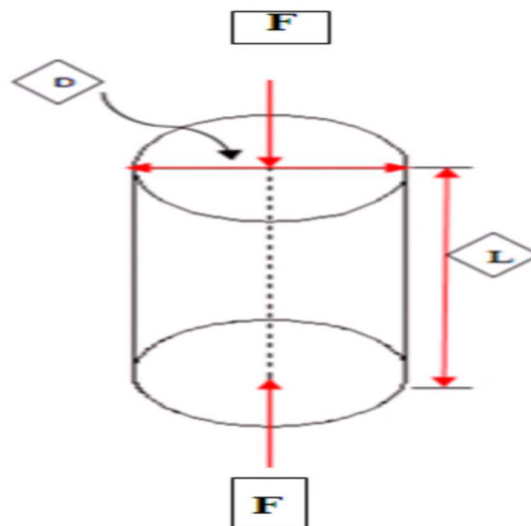
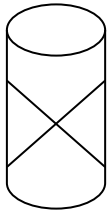
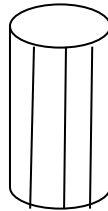


Fig. III.02. Schéma de la Compression uniaxiale.

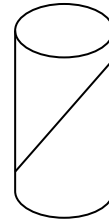
Trois principaux mode de ruptures, des roches en compression simple, ont été identifiés (figure III.03), le premier mode est celui ou la roche sous compression uniaxiale rompt violemment par fracturation intense dans la direction de chargement, ce mode est connu sous le nom de cata clastique. En générale, l'échantillon se brise en deux fragments, de forme conique, sur les deux extrémités de l'éprouvette, avec de longs fragments en forme d'écaille autour de sa périphérie.



A : cataclastique



b : axial clivage

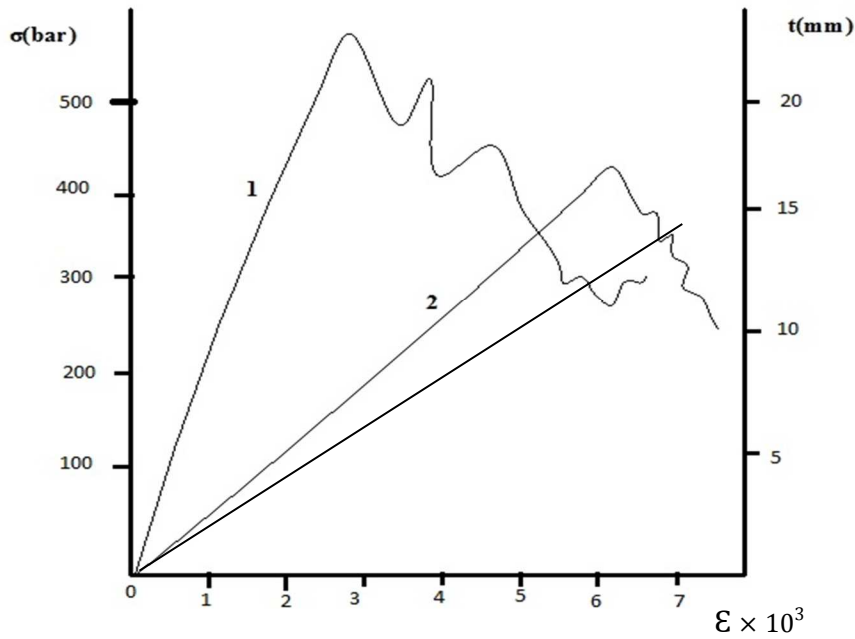


c : cisaillement

**Fig. III.03:** les trois principaux modes de ruptures des roches en compression simple.

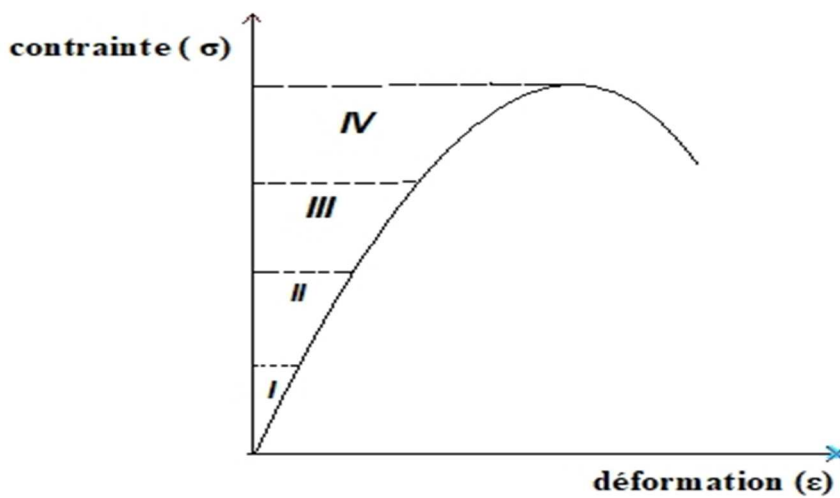
Le seconde mode est connu sous le nom du mode axiale où le spécimen rompt à la propagation d'une ou plusieurs fissures parallèles à la direction de chargement (figure : b).le troisième mode de rupture ou le spécimen perd son intégrité en cisaillement suivant un plan oblique ce dernier est caractéristique des roches à faible résistance à la compression simple. En pratique, il n'est pas facile de trancher pour un mode parmi les trois, et en plusieurs cas, il apparait que les trois sont présents à la fois (Hawks et Mellor, 1970) in Tebib (2002).

D'un point de vue rhéologique, un matériau cassant : exemple les calcaires étudiés dans ce travail, en compression simple obéie à la loi de Hooke jusqu'à la rupture (Goodman, 1989) voir (figure III.04).



**Fig.III.04** : courbe de contrainte  $\sigma$  – déformation :  $\epsilon$  à vitesse de déformation  $\dot{\epsilon}$  constant pour un calcaire (1) et un gré (2) (Houpert, 1984) in Tebib (2002).

La courbe contrainte déformation peut être subdivisée en quatre domaines distincts (figure suivante) :



**Fig.III.05** : courbe contrainte – déformation jusqu'à la rupture (D'après Goodman, 1989) in Tebib (2002).

1 / la courbe est légèrement concave vers le haut ; ceci due à la fermeture des pores (Goodman, 1989) in Tebib (2002).

2/ la courbe devient une ligne droite, elle correspondant au domaine du comportement élastique du matériau.

3/ la courbe commence à devenir convexe, cela est due essentiellement à l'ouverture des micros – fractures, ces fractures sont dits stables.

4 / la courbe continue d'être concave avec une diminution de la tangente jusqu'au point de rupture.

Les fractures dans cette phase sont dites instables (Goodman, 1989) in Tebib (2002).

### **III.3.1.2. Les facteurs influençant la résistance à la compression simple**

En théorie, la résistance en compressions simple correspond à la contrainte sous laquelle un échantillon de taille standard rompt et perd son intégrité.

Mais, en pratique, avec les matériaux naturels, cette valeur est influencée par plusieurs facteurs d'ordre méthodologique, technique et géologique.

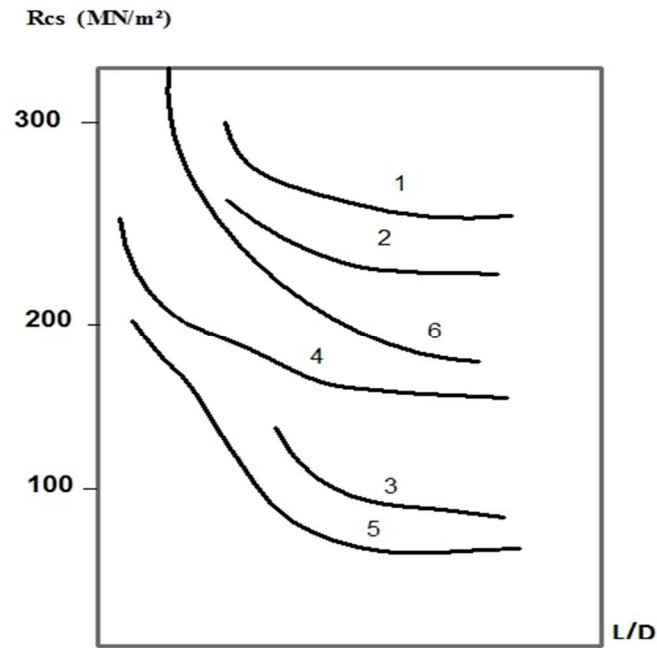
On peut avoir des résultats erronés et non représentatifs si, ces facteurs ne sont pas pris en considération ou ignorés (Tebib, 2002).

#### **A. Facteurs technique**

##### **a. Rapport longueur sur diamètre de l'éprouvette**

Le comité international de la mécanique des roches (suggested methods, 1978) recommande un rapport de longueur sur diamètre (L/D) de l'éprouvette de 1.5-2.

Il a été démontré que la valeur de la résistance à la compression simple diminue avec l'augmentation de ce rapport, (Hawkes et Mellor, 1970).



**Fig.III.06** : influence du rapport L/D sur Rcs (Tebib, 2002)

(d'après : Hawakes and Mellor, 1970)

\_Mogi (1966): pour 1, 2, et 3.

\_Hobbs (1964): pour 4, 5.

\_Mellor (1970): pour 6.

Ou :

1 : Granite

4 : Grés

2 : Dolomite

5 : Schiste (siltstne)

3 : Trachyte

6 : Granite saturé.

### **b. Vitesse de chargement**

Plusieurs travaux, ont montré que la résistance à la compression uniaxiale, augmente quand la vitesse de chargement diminue. L'association Internationale de Mécanique de Roches (ISRM, 1978), suggère un taux de chargement standard de 1 MPa /s.

Ceci peut-être expliqué par le fait qu'à un taux de chargement élevé, les fissures originales, ayant une certaine vitesse de propagation limitée, cette disproportionnalité entre l'énergie fournie et sa dispersion résultera en une accumulation de l'énergie, dont l'importance est

fonction de la vitesse de chargement, et résultera, par conséquent, en une résistance à la compression, apparente, plus élevée. Une partie de l'extra énergie est dépensée pour l'ouverture de nouvelles fissures. Cependant, à la rupture, l'échantillon se brise d'une manière catastrophique et violente en une infinité de petites miettes.

Quand le taux de chargement est faible, les fissures originales ayant une longueur critique, commencent à se propager tôt sous les faibles efforts. Dans ce deuxième cas, toute l'énergie fournie par l'appareil de compression est consommée pour la propagation des fissures qui se rejoignent et causent la rupture, souvent précoce, de l'échantillon. Ce dernier se brise, contrairement au cas précédent, en pièces relativement grandes. Pour cela, la société Internationale de Mécanique de Roche (ISRM suggested méthodes, 1978) recommande un taux de chargement standards de 1 MPa /s, pour avoir une résistance à la compression simple qui est ni exagérée ni sous estimée.

### **c. Préparation des échantillons**

L'essai de Rcs, consiste à charger jusqu'à l'écrasement un échantillon placé entre deux plateaux d'une presse.

Il est généralement réalisé sur des échantillons de forme régulière, éprouvette cylindrique ou prismatique, la forme cylindrique des éprouvettes est plus utilisée.

Les deux extrémités de l'échantillon doivent être lisses et ne contiennent pas d'irrégularités dépassant 0.127mm les extrémités des éprouvettes (surface rectifiées) doivent être parallèles entre elles (planes à 0.025mm), et perpendiculaire à l'axe de l'éprouvette avec tolérance de 0.25° (Farmer, 1983) in Tebib (2002).

## **B. La relation entre certains facteurs géologique et la Rcs**

### **Introduction**

Plusieurs études ont été élaboré pour éclaircir la relation entre la nature géologique et les matériaux rocheux et leur propriétés physiques et mécaniques (Price, 1966); Griffs et Handin, 1960). La nature minéralogique des constituants, leur forme, leur état d'altération ainsi que la présence des microfissures et vide sont des facteurs importants, conditionnant le rang du matériau dans la classification géomécanique (Collis et Fox, 1985) in Tebib(2002).



On a également, constaté pour le pourcentage et le type de constituants clastique, bioclastique, argile, vide et fissures ,ainsi que le degré de compaction et la nature de la phase de liaison influencent considérablement la résistance et la dureté des roches sédimentaires .

Price(1966) a montré que pour une même roche, la résistance à la compression simple augmente proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de ciment carbonaté et la diminution du ciment argileux (Collis et Fox, 1985) in Tebib (2002).

#### a. La composition minéralogique

Pour les roches sédimentaires, la variabilité des paramètres qui influencent les propriétés physiques et mécaniques tels que; la nature du ciment, le degré de compaction, le pourcentage de tel ou tel constituant, ainsi que les discontinuités et microfissures, font que l'effet de la composition minéralogique sur la résistance à la compression simple, peut être masqué et probablement conjugué avec l'effet des autres paramètres et par conséquent, peut ne pas apparaître.

Il en découle que la composition minéralogique et la texture, ensemble, jouent un rôle important dans la résistance du matériau (tab).

**Tableau. III.02:** *L'influence de la taille des grains sur la résistance à la traction de certains calcaires d'Adams d'après ; Tourenq et Archimbaud (1974).*

Dimension de cristaux	2 mm	0.2 mm	50μ
R <sub>tb</sub> (Mpa)	5	10	20

En effet, dans leur étude, Tourenque et Archimbaud, ont montré que pour les roches calcaires, la présence d'allochèmes à faible caractéristique mécanique tel que les oolithes et les stromatolithes, diminuent considérablement leur résistance.

La présence d'argile en proportion importante et la dolomitisation accompagnée de fracturation et création des vides diminue également, la résistance à la compression simple.

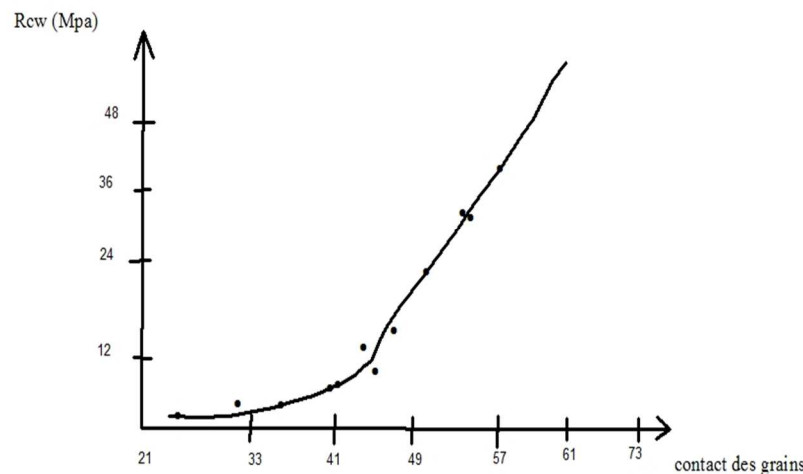
La présence de composante lithoclastiques ou minéraux précipités, tel que le quartz, augmente considérablement la résistance des calcaires (Tebib, 2002).

Quant à la phase de liaison, on constate que le taux de calcite semble augmenter la résistance mais, également fragilité du matériau. Au contraire, le taux d'argile accentue son caractère plastique et diminue sa résistance. Un tel scénario de déformation permet d'expliquer le mécanisme à l'échelle microscopique, ainsi la plasticité se manifeste par glissement des minéraux argileux, les uns sur les autres, l'endommagement anisotrope est relié à la microfissuration orientée (chiarelli et al, 2001) in Tebib (2002).

### b. la taille des grains

La taille des grains et l'un des facteurs les plus importants affectant les valeurs de la résistance d'une roche ce qui a fait l'objet de plusieurs études.

En effet, ce qui a été montré que les valeurs principales de la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance au cisaillement augmente quand la taille des grains décroît. Il est en effet, une conséquence directe de l'augmentation des surfaces de contact entre les grains (Dyke et Dobereiner, 1991).



**Fig. III.07** : la relation entre la résistance à la compression simple et le contact des grains (Dyke et Dobereiner, 1991).

### c. Anisotropie de la roche

La recherche dans ce domaine, a montré que dans le champ de contrainte, la propagation des fissures, fentes, discontinuités dépendent de l'augmentation de la taille, la géométrie et l'orientation des fissures préexistantes (Griffith ou Cracks). Ces dernières, peuvent être dues aux liaisons défectueuses sur les bordures des grains, des plans de clivage, schistosité, plans

de stratification ou l'empreinte d'une ancienne tectonique c'est sur ces plans de discontinuités que la rupture commence, et par conséquent, leurs orientations donnent un caractère directionnel à la résistance à la rupture.

De cela, il devient apparent, que la description d'une roche pour des fins ou usage géotechniques, ne doit pas se limiter à la minéralogie seulement, mais doit aussi prendre en considération l'aspect textural, autrement dit explorer les relations entre les différentes phases minérales et leur distribution dans le corps rocheux, les relations de voisinage, contiguïté, distribution, l'altération, orientation du réseau de fractures et vides, qui doivent être décrits et même quantifiés dans la mesure du possible.

#### **d. L'influence de l'altération**

L'altération minérale est la transformation des minéraux d'un état à un autre plus stable, suite aux changements des conditions de pression et de température en présence d'une phase fluide d'origine météorique ou endogène.

Les pores et les fissures sont les sites potentiels sur lesquels les eaux météoriques chargées en dioxyde de carbone agissent en les ouvrants d'avantage. La déposition (précipitation) d'une phase minérale plus dure que les constituants originaux peut contribuer à l'augmentation de la résistance de la roche.

Néanmoins, la présence de minéraux hydrophiles telles que les argiles peuvent, suite à leur gonflement, engendrer une microfissuration radiale, et contribuent à la diminution de la résistance et la solidité des roches.

#### **III.3.1.3. Présentation des résultats d'essais de la résistance à la compression simple**

Pour, les propriétés mécaniques des roches calcaires du Lias de la carrière de Sidi Marouf, le tableau des résultats obtenus à partir d'essais réalisés au laboratoire LTPE (Jijel), sur une série de 5 spécimens et on récapitule ci-dessous :

**Tableau III.03** : les résultats d'essais de la résistance à la compression (RCS). (LTPE, 2009).

N° CAROTTE	C1	C2	C3	C4	C5
Rc kg /cm <sup>2</sup>	800	732.30	816	113	392.50

Les valeurs de la résistance à la compression simple obtenues par les essais, effectués sur les roches calcaires étudiées, sont exposées ci-dessous en comparaison avec les spécifications préconisées par la Société de la Mécanique des Roches (ISRM).

**Tableau. III.04-** Les niveaux de résistance de la roche étudiée, en compression simple, classés en fonction des spécifications préconisées par l'AFTES.

classes	Valeurs de résistance en compression uniaxiale $\sigma_c$ (Mpa)	Termes descriptifs de résistance	Résultat des calcaires étudiés
RC1	$\sigma_c > 200$	Extrêmement élevée	
RC2	$100 < \sigma_c < 200$	Très élevée	
RC3	$50 < \sigma_c < 100$	Elevée	81.6 ; 80 ; 73.2
RC4	$25 < \sigma_c < 50$	Moyenne	39.25
RC5	$5 < \sigma_c < 25$	Faible	11.3
RC6	$1 < \sigma_c < 5$	Très faible	
RC7	$\sigma_c < 1$	Extrêmement faible	

### III.3.2. La résistance au choc Essai sclérométrique

#### III.3.2.1. Introduction

Cet essai est conçu principalement comme test non destructif pour le béton (Schmidt, 1951). Il a été ensuite utilisé par la communauté de la mécanique des roches pour l'évaluation de la résistance des matériaux rocheux, il donne de bons résultats sur l'état d'altération des roches. Il n'est en effet, que la version quantitative du marteau de géologue. Il semblerait prêt à fonctionner en appuyant légèrement sur la tête de la tige de percussion, on libérant une fixation la tige glisse complètement hors du bâti. la tige de percussion est poussé lentement et régulièrement contre l'endroit à examiner de la surface du bloc rocheux, peu avant qu'elle ne disparaisse entièrement dans le bâti, le marteau se déclenche et délivre une percussion d'une énergie d'impact normalisée. Après le choc, le marteau rebondit d'une certaine distance indiquée sur l'échelle attachée à l'instrument.

Ce recule exprimé en pourcent de l'avancée du marteau est l'indice sclérométrique (Tebib, 2002).

L'essai sclérométrique, est en réalité une estimation de la dureté et de l'élasticité de la roche. Ramsay et al(1974), Deer et Miller (1966), Ramsay et al (1978) et Irfan et Dearman (1978),

ainsi que plusieurs autres chercheurs ont utilisé le test pour l'évaluation de la compression simple (Tebib, 2002).

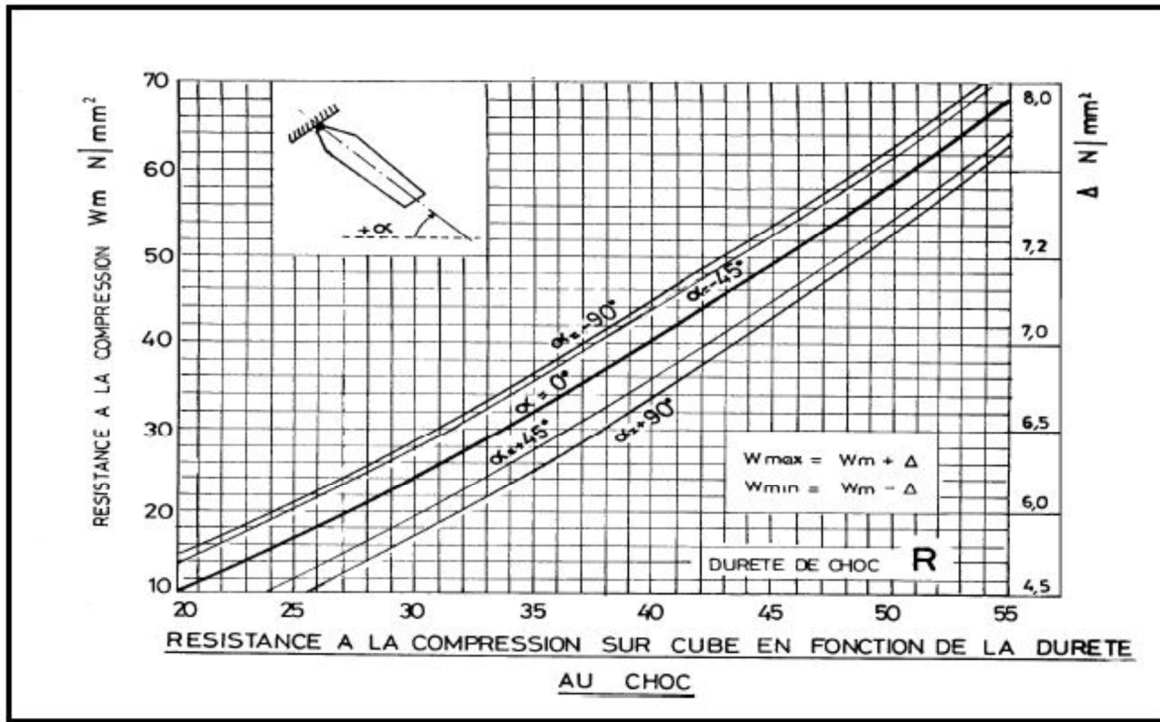


Fig.III.08. l'abaque de scléromètre (AFTES).

- Définition et description de l'essai

La méthode de dureté superficielle consiste essentiellement à une auscultation du béton par une manière standard, en utilisant une masse donnée activée par une certaine énergie puis mesurer ensuite le rebondissement. Cette méthode est connue sous le nom de scléromètre Schmidt.



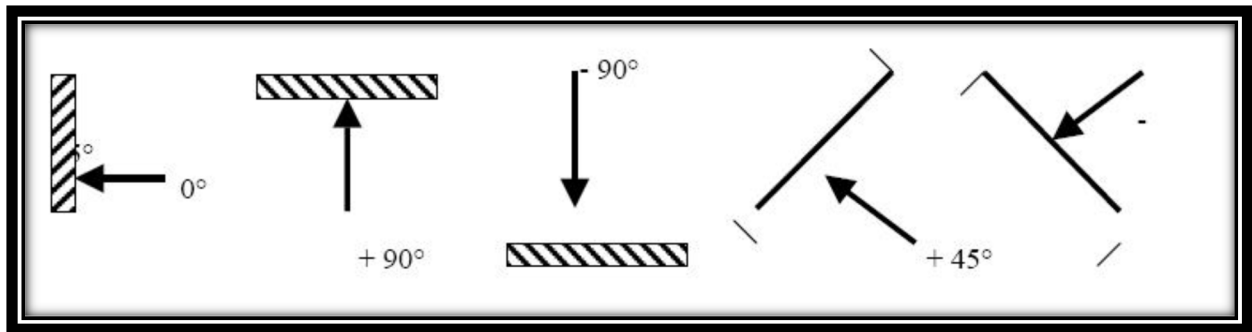
**Fig. III.09** : Appareillage de scléromètre.

- **Principe :**

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse. Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 60 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu à partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée. Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné.

### III.3.2.2. Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal.



**Figure III.10:** Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter.

### III.3.2.3. Interprétation des résultats de contrôle du scléromètre

- **Méthode de la courbe unique**

Dans la plupart des cas, la composition du béton ainsi que les conditions de Conservation affectant la corrélation « Indice sclérométrique – Résistance du béton » sont inconnues. On utilise alors une courbe de transformation unique figurant sur l'appareil fourni par le fabricant. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe peut être évaluée à  $\pm 50\%$ .

- **Facteurs influençant l'indice sclérométrique**

L'essai de Schmidt Hammer à l'avantage d'être très pratique sur terrain et ne coûte pas cher. Pour être consistant et représentatif les conditions suivantes doivent être vérifiées :

1/ la tige de percussion du marteau doit être en bonne condition, car on a remarqué que les tiges usées ne transmettent pas l'énergie d'impact d'une manière consistant et uniforme, ce qui donne, en conséquence, des reculs non uniformes (Poole et Farmer ,1988).

2/la tige de percussion doit être tenue perpendiculairement à la surface de la roche, si non, on doit corriger pour l'angle d'impact.

3/ la surface de la roche doit être plate et lisse au moins sous la surface d'application de la tige.

4/si la roche est mouillée, les résultats peuvent ne pas être représentatifs, surtout si la roche est tendre.

5/ la roche ou l'échantillon à tester ne doit pas contenir des discontinuités au moins 6cm sous le point d'application de la tige.

### III.3.2.4. Présentation des résultats de l'essai sclérométrique des calcaires de Sidi Marouf

*Tableau.III.05 : Les résultats de la résistance à la compression ( $R_c$ ) par l'essai schmidt Hamer effectués sur les niveaux supérieurs des calcaires Liasiques, au Nord de la carrière.*

L'angle ( $\alpha$ )	Lecture sur l'appareil	$R_c$ (kg / $cm^2$ )
-90°	51	650
0°	54	660

*Tableau.III.06: Les résultats de la résistance à la compression ( $R_c$ ) par l'essai schmidt Hamer effectués les calcaires Liasiques, dans la partie médiane de la carrière.*

L'angle ( $\alpha$ )	Lecture sur l'appareil	$R_c$ (kg / $cm^2$ )
-90°	42	480
0°	45	500

*Tableau.III.07 : Les résultats de la résistance à la compression ( $R_c$ ) par l'essai schmidt Hamer effectués sur les niveaux inférieurs des calcaires Liasiques, au sud de la carrière.*

L'angle( $\alpha$ )	Lecture sue l'appareil	$R_c$ (kg / $cm^2$ )
-90°	36	380
0°	37	360

### III.3.3. Discussion et interprétation des résultats d'essais mécanique effectués sur les calcaires du Lias de Sidi Marouf

Les calcaires ou les facies au niveau supérieur de nature bioturbidite contenant du Quartz, ainsi que des fragments de fossiles, donnât une résistance  $R_{cs}$ , variant entre (800 kg / $cm^2$  et 816 kg / $cm^2$ ) ces valeurs sont les plus élevées obtenues sur les roches étudiées.

La densité, mesurée sur les mêmes éprouvettes de la roche, présentent un spectre relativement élevé, arrivant (de 2.69 t/m<sup>3</sup> à 2.71 t/m<sup>3</sup>) ceci, peut être expliqué par l'agencement des cristaux liés par leur facies indiquant l'aspect plus ou moins compacté des



constituant, ceci peut aussi refléter le degrés de liaison que la phase microsparitique a donnée à la roche.

On peut, en déduire que pour ces même échantillons de calcaire étudiée concernent, les propriétés tel que la résistance à la compression simple, la densité et la nature des composant, on cite la présence de quartz, sont généralement les plus bonnes et présentant les valeurs les plus élevées.

Il serait, donc, très important de noté, que les valeurs de recule (osculation avec le marteau de Schmidt) présentant une bonne corrélation avec celle de la résistance à la compression simple (Rcs). Le mode de rupture correspond à la catégorie de rupture axiale clivage.

Pour les niveaux calcaireux, jugés, moyennement a faiblement résistant (allan de 392.5 kg /cm<sup>2</sup> à 732 kg /cm<sup>2</sup>).

Et à la base des observations microscopiques, qui peut montre une présence d'une phase de liaison ou ciment micritique (biomicritique), en présence d'éléments bioclastique de tels forme(avec ceux arrondis), il faut noter que dans ces calcaires , les microfissures, sont souvent associes au bordures des grains de formes circulaires.

On peut en déduire que pour ces catégories de calcaires ayant des propriétés mécaniques moins bonnes, malgré que leur densité soit plus ou moins élevée, les valeurs de la résistance à la compression (Rcs), associés à ceux obtenus par l'essai sclérométrique, sont plus bas par rapport aux autres catégories, et traduisent un agencement architecturale des constituants, relativement, moins compacts. Le degrés de liaison entre les grains est ainsi faible et se traduit par une diminution, générale, de la résistance de la roche.

Les calcaires ou autres type de roches, quelque soit leurs degrés de compaction, contiennent toujours, selon leur états, des pores et des fissures de forme elliptique localisées le plus souvent, en bordures des constituants clastiques ou bioclastiques. La circulation des fluides et la formation de nouvelles phases minérales au cours de l'évolution de la roche créent des pores, vides et fissures. Les défauts structuraux, notamment ceux ayant une forme allongée, causent la concentration de contraintes, et se propagent facilement, induisant ainsi une diminution générale de la résistance mécanique du matériau rocheux.

En effet, pour que la minéralogie sont important dans la détermination et la prévision de la solidité(ou résistance) des roches, la texture la taille et la forme des grains, le degré de

compaction, la porosité, la présence des fragments lithiques, ainsi que la nature de la phase de liaison jouent, eux aussi, un rôle très important. Pour cela, il a été recommandé de ne pas se limiter, uniquement à la classification pétrologique, lors du choix du matériau pour de fins d'injinerig.

### **III.4. Etude géomécanique des granulats**

#### **III.4.1. Introduction**

La qualité des granulats utilisés dans les bétons hydrauliques ou bitumineux, est un facteur très important. En plus d'une répartition granulaire et d'une forme favorable, un granulat doit présenter une propreté satisfaisante. Le manque de propreté d'un granulat est lié à la présence d'éléments qui, même en faible quantité, sont indésirables. En effet, si les granulats sont enrobés par une quantité d'éléments fins, généralement argileux, ceux-ci empêchent une bonne adhérence (adhésivité) de la pâte liante aux éléments granulaires, car ils inhibent les réactions de prise des liants en entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges. La pollution des granulats accroît la demande en eau, fait chuter les résistances des matériaux composites, augmente les retraits et nuit à la durabilité des bétons (difficultés de mise en œuvre).

#### **III.4.2. Les propriétés mécaniques**

##### **III.4.2.1. Introduction**

Les propriétés mécaniques des granulats sont systématiquement déterminées car elles reflètent la résistance de ces matériaux aux différents agents de dégradation, les granulats sont également exposés aux effets des conditions climatiques, souvent sévères (mouillage, séchage, gel et dégel).

La résistance mécanique aux différents agents de dégradation et la dureté des granulats sont généralement déterminées par les essais de résistance au choc (Los Angeles: LA, et Fragmentation Dynamique: FD), les essais de résistance à l'attrition (Micro - Deval en présence d'eau: MDE, et Friabilité des sables: FS), et pour le polissage de la roche, l'essai de polissage accéléré(CPA).

Dans notre cas d'étude, les résultats d'essais, présentés sont un labour d'essais réalisés au niveau du laboratoire de Génie Civil (Univ de Jijel).

### III.4.2.2. La résistance à la fragmentation par choc: Essai Los Angeles (LA) (NF EN 1097-2)

La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire doit être égale à 15 kg au minimum de la classe granulaire 10 mm à 14 mm. L'essai doit être effectué sur un granulat passant au tamis de 14 mm et retenu sur celui de 10 mm.

L'essai consiste à rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulat mélangé à des boulets d'acier. À la fin, on évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1,6 mm.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes granulaires :

*Tableau III.08 : Nombre de boulets avec un poids de charge en grammes normalisés (NF EN 1097-2)*

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse de la charge de boulets(g)
4 – 8	8	3410 à 3540
6.3 – 10	9	3840 à 3980
8 – 11.2	10	4260 à 4420
11.2 – 16.0	12	5120 à 5300

Si  $m$  la masse des éléments  $\leq 1,6$  mm (refus) produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs est exprimé par la quantité :

$$LA = (5000 - m) / 50$$

Les valeurs sont enregistrées arrondit à l'unité la plus proche.

Ci-dessous, le tableau (III.09) des résultats d'essai Los Angeles réalisés, dans le laboratoire du Génie Civil (Univ de Jijel),

**Tableau III.09:** valeurs de mesures du coefficient Los-Angeles des granulats de Sidi Marouf

Enchantions	m la masse sèche des éléments inférieurs à 1.6 (gr)	m' la masse sèche des éléments supérieurs à 1.6 (gr)	Résultat LA %	Valeurs moyenne LA %
1	1283	3717	25.66	LA=24.36 %
2	1163	3837	22.72	
3	1236	3764	24.72	

**Tableau III.10 :** Coefficient Los Angeles des granulats de la carrière de Sidi-Marouf comparé aux LA des spécifications utilisés dans les bétons, préconisées par SETRA-LCPC (1984), selon Dupain et al (1995).

Bétons	Coefficient Los Angeles
Bétons exceptionnels	<25%
Béton de qualité	<30%
Béton courant	<40%
Granulats de la carrière de Sidi Marouf	24.36%

**Tableau. III.11:** Tableau récapitulatif comparant le coefficient Los Angeles des granulats de la carrière de Sidi-Marouf aux spécifications préconisées par CPS Type en Algérie et ceux préconisées par la norme NF P18-545 relatives au coefficient « LA »

Granulats pour chaussées et béton hydraulique		Spécification selon CPS type en Algérie : RN, Autoroutes, pistes d'aérodromes, travaux maritimes	spécifications selon la norme NF P18-545,		Coefficient Los Angeles « LA »
					Carrière de Sidi Marouf
				<b>Fraction 8/15</b>	
Enrobés hydrocarbonatés	Couche de base en GB	≤ 25 %	≤ 35 %		24.36 %
	Couches de roulement en BB	≤ 20 %	≤ 30 %		
	Couche de roulement (enduits superficiels)	≤ 15 %	≤ 25 %		
	Béton de ciment	≤ 25 %	≤ 30 %		
Béton hydraulique	Béton courant	≤ 30 %	Béton	≤ 30 %	
	Béton de qualité	≤ 25 %			



Fig.III.11 : Appareillage de los Angeles

### III.4.2.3. La résistance à l'usure des gravillons: essai Micro-Deval humide MDE (NA 457-1989)

L'essai Micro-Deval humide permet d'apprécier la résistance à l'usure par frottement entre les granulats (attrition) et une charge abrasive, il consiste à mesurer – dans des conditions bien définies – la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite dans un cylindre en rotation. Pendant deux heures à une vitesse de 100 tr/mn, et en ajoutant 2,5 litres d'eau. L'essai doit se réaliser en présence d'eau pour se rapprocher des conditions réelles de séjour des granulats dans les chaussées, il est réalisé conformément à la norme française NF P.18-372 sur la classe 10/14 fractionnée à partir de la classe 8/15, avec une charge de 500 gr  $\pm$  5gr. (CHETTAH .W et NOUASRA.K ; 2005)

La résistance à l'usure s'exprime par la quantité :

$$\text{MDE} = (m / M) * 100 \text{ Avec :}$$

MDE: Coefficient Micro-Deval en présence d'eau.

$M = M - m'$ : Masse sèche des éléments inférieurs à 1,6 mm.

$M$  = Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai (après lavage).

$m'$  = Masse sèche des éléments supérieurs à 1,6 mm.



Fig. III.12: Machine Micro-Devale

**Tableau.III.12** : résultats de l'essai Micro Deval (LTPE, 2009). Les granulats de la carrière de Sidi Marouf, sont caractérisés par une résistance à l'attrition Comparative aux spécifications préconisées, par SETRA et LCPC. Selon la norme française NF P.18 – 572.

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL / J					Mesure du coefficient Micro- deval humide des granulats de la carrière de Sidi- Marouf
		≤25	25 à 150	150 à300	300 à 750	≥750	
Enrobés  Hydro- carbonés	Couches de liaison (Béton bitumineux)	≤25	≤20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	33 %
		≤20	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15	
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≤20	≤ 15	≤ 10	≤ 10	≤ 10	
	Bétons hydrauliques	≤35	≤ 25	≤ 20	≤ 15	≤ 15	
Bétons hydrauliques		/					

Tableau III.13 : Corrélation entre les résultats de Rcs et les résultats de scléromètre

Essai	Rcs	R
1	816	660
2	800	650
3	732	500
4	325	480
5	113	380

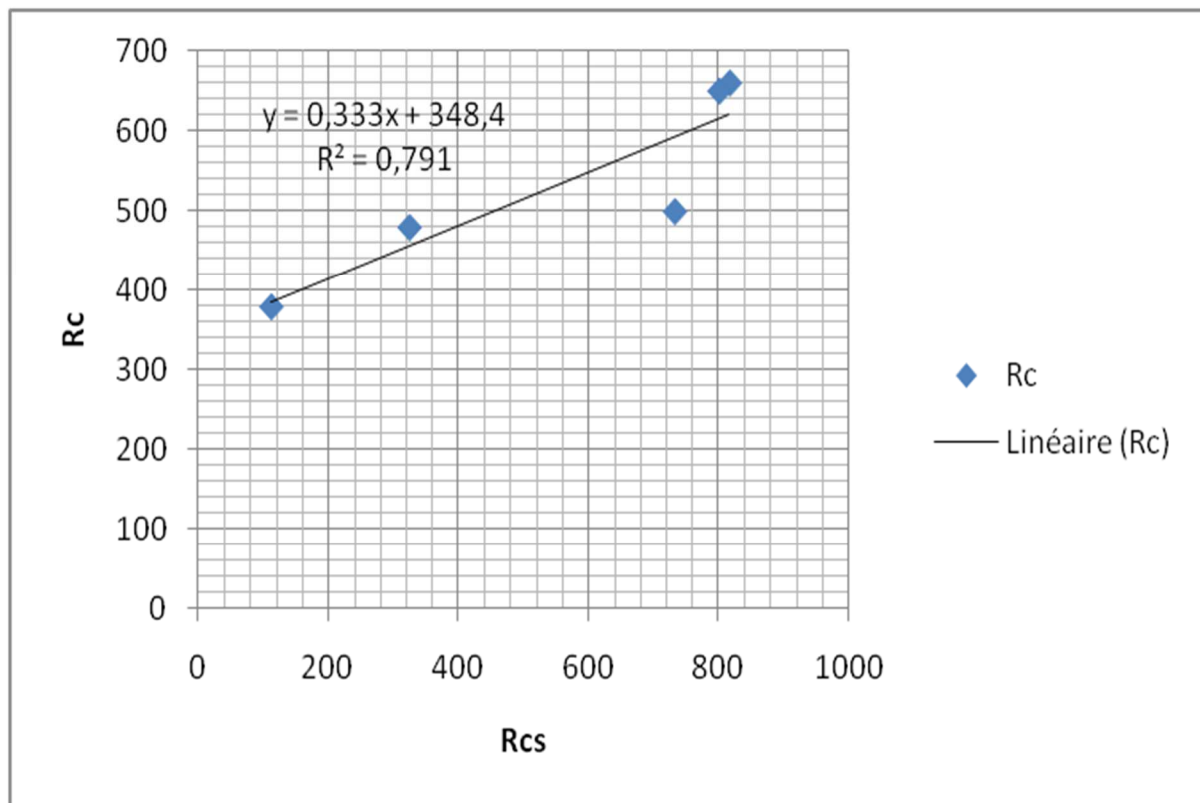


Fig. III .13. Corrélation entre Rcs et Rc



**III.4.2.4. Interprétation des résultats d'essais effectués sur les granulats issus de la roche calcaire de Sidi Marouf**

Dans le domaine des techniques routières et sur la base du LA obtenu, on peut dire que les granulats de la carrière de Sidi Marouf peuvent être utilisés dans les assises de chaussées particulièrement dans les couches de fondation et de base. Par contre, dans les couches de roulements (superficiels), ils ne peuvent être utilisés que dans le cas des routes à faible trafic routier. Les couches de roulements à fort trafic routier (plus de 25 poids lourds par jour circulant sur la voie la plus chargée) exigent des  $LA \leq 20\%$  voire  $LA \leq 15\%$ , ce qui n'est pas le cas des granulats de Sidi Marouf.

Les granulats de la carrière de Sidi Marouf sont caractérisés par un MDE de 33% (Rapport LTPE, 2009) Comparativement aux spécifications préconisées par le SETRA-LCPC (1984), on constate que le domaine d'utilisation de ces granulats se limite aux bétons hydrauliques destinés aux chaussées dont le trafic est inférieur à 25 poids lourd par jour (Tab.III. 12).

**III.5. Conclusion :**

D'après les résultats de l'essai physique (masse volumique), il s'agit des granulats courants. Ces granulats présentent une propriété superficielle partiellement acceptable.

Les résultats des essais mécaniques montrent que les granulats de la carrière de Sidi Marouf peuvent être utilisés dans les différents bétons et enrobés. Dans le domaine des techniques routières, ils peuvent être utilisés dans les couches de fondation et partiellement dans certaines couches de roulement à trafic routier relativement réduit.

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale :

Ce projet de fin d'étude, est une tentative visant à explorer et caractériser les liens entre les propriétés géologiques et géotechniques des calcaires Liasique de Sidi Marouf. En effet, ce qu'a été clairement montré, c'est la dépendance des propriétés géomécaniques des roches étudiées, de leur nature géologique pour l'état de la roche intacte, ainsi qu'à l'état granulat.

L'étude géologique de la carrière a montre l'existence des niveaux constitués de calcaire marneux voire d'inter lits argileux. Le mélange des particules provenant de ces niveaux ce traduirait par une dégradation de la qualité de produite.

Au cours, de ce mémoire, nous avons mis en évidence des essais mécaniques comportant des mesures indirectes et directes de la résistance d'un des plus importants paramètres mécaniques des roches qui est la résistance à la compression simple (Rcs).

Ces mesures de la résistance à la compression simple ont été effectuées par des essais sclérométrique et des essais de compression simple, 5 échantillons de roches, calcaires liasique, pour cerner la carrière de Sidi Marouf, ont été réalisés.

En regard des résultats, des essais de scléromètre et l'uniaxiale (Rcs), et compte tenu de leurs différentes procédures d'essai, il nous a apparu que ces deux essai établissent une complémentarité permettant de caractériser, une bonne résistance à la compression simple des roches étudiées.

L'étude pétrographique a mis en évidence l'existence de plusieurs lithofacièces dont il faut désormais tenir compte dans tout es exploitation futurs.une caractérisation géo-mécanique plus poussée de ces lithofacièces donnerai un outil de travail plus précis pour d'éventuelles exploitations.

Les propriétés physiques relatives à la masse volumique et à la propreté des roches montrent que ces dernières, sont dites courantes ( $\rho_{abs}$  compris entre 2,6 et 2,7 g/cm<sup>3</sup>) d'après LTPE (2009), ils ont une propreté superficielle moyennement appréciable, ce qui permet leurs éventuel usage (après teste de réactivité), pour la confection du béton hydraulique.

Les propriétés mécaniques des granulats produits, montrent des résultats relatifs aux coefficients Los Angeles, Micro-Deval, qui permettent leur utilisation dans les bétons destinés aux ouvrages d'art et aux bâtiments, ainsi que dans les couches de fondation des chaussées et couches superficielles de roulement à trafic routier réduit ( $\leq 25$  PL / J). Les résultats obtenus sont de 24,36 pour le LA, de 33 pour le MDE.

## **Bibliographie :**

**BÉREST. P.(2000)** . Manuel De Mécanique Des Roches.60p.

- **Bouillin, J.P. (1977)**:Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie), thèse Doct. Uni. P. & M. Curie, 511P.

**COLLIS, L. & Fox, R. A** (eds) 1985. Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for construction Purposes. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication 1.

**Deere U., Miller R. P. (1966)**. Engineering classification and index properties for intact rock. Tech. Report. AFWL, New Mexico, pp.308.

**Djellith, H., 1987**.Evolution tectono-sédimentaire du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de Flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse. Univ.de Paris Sud. Centre D'Orsay. 206p.

**Durand Delga M., 1955**. Etude géologique de l'ouest de la chaîne numidique (Algérie). Thèse sciences, Paris et Bull. Serv. Géol. Algérie, 2° série, n°24.533p.

**Durand Delga M.,1952**. Feuille au 50.000e« Sidi Merouane» n°50, avec notice explicative. Publ. Serv. Carte géol. Algérie.

**DURAND-DELGA M. et FONTBOTE M.** 1980 Cadre structural de la Méditerranée occidentale. 26e congrès international de géologie ; Paris. In Mémoires du BRGM n° 115, Orléans, pp. 67-85.

**Dyke C. G. and DobreinerL. (1991)**. Evaluating the strength and deformability of sandstones. Eng. Geol., n°24, pp. 123-134.

**Dyke C. G . and Dobreiner L . (1991)**. Evaluating the strength and déformatibility of Sandstones.Eng. Géol. , n° 24,pp.

( **HIRECHE . S et BOULEBTINA .F** ) ., **2006**. Caractéristiques géométriques et mécaniques des granulats de la carrière de sidi marouf (wilaya de jijel).

« **Hawks, I., and M.Mellor (1970)**, Uniaxial testing in rock mechanics laboratories, Eng. Geol., 4, 177 – 285. »

**International Society for Rock Mechanics.1987**."Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in Rock Masses," international journal of Rock Mechanics, Mining Science & geomechanical Abstract, Vol 15, pp 319- 368.

.....(1978). Suggested methods for determining .Tznesile Strength of Rock Materials. Int. Jl. Rock Mech. Min Sci.Comittee on standardization. Doc n8, Int.JL.of Pock Mec., Vol.15,n°3,pp. 99-103.

**Goodman R. E. (1989).** Intoduction tp Rock Mechanics. 2<sup>nd</sup>. Edition. John Wiley and sons. New Yàrk. P. 562.

**Poole R W, Farmer I. (1988).** Consistency and repeatability of Schmidt hammer data during field testing.Int.JL.Rock Mech.Min Sci, vol.17, pp. 167-171.

**Ramoum. K.(2002).**Essai de caracterisation Géologique et géotechnique des carrières de granulats de Sidi Marouf, Chekfa et El Milia Wilaya de Jijel, Thèse de Magister,Univ.Tebessa.

**Rapport LTPE (2009),** essais sur enrochement, carriere Sidi Marouf.

**SONAREM., 1974.** Rapport géologique sur l'activité de prospection pour le minerai de Fer dans le secteur de Sidi Maarouf et extensions. Rapport inédit.

**Tebib.H.(2002).** L'influence des facteurs Géologiques sur les proprietes physiques et mécaniques des roches intactes et leurs derives granulats ( roche carbonates de la region de Tebessa) Thèse de Magister, Univ.Tebessa.

**Tourenq C. et Archimbaud (1974).** Proprieties des calcaires. 2<sup>nd</sup> Congrès international de Géologie de l'ingénieur, Sao paulo, Bul. Liaison., P et Ch, n°73,pp.171-177.

**Vila J.M., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Tome I-II.Thèse. Es-sciences, Paris. 665p.