

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Jijel  
جامعة جيجل

جامعة محمد الصديق بن يحيى  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
المكتبة  
رقم الجرد : 1665

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



كلية العلوم الدقيقة  
و علوم الطبيعة و الحياة  
قسم علوم الأرض و الكون

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Géologie  
Option : Géologie de l'ingénieur

### Thème

**Identification géotechnique des matériaux concassés  
utilisés dans les assises de chaussées;  
Cas de la Wilaya de Jijel**

Présenté par :

- ZABAT BOUBEKER  
- ZAREZI MOHAMED

Soutenu publiquement le : 29/09/2010

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Debieche Taha-Hocine  
Rapporteur : Mr. Remoum Karim  
Examineurs : Mr. Baghdad Abdelmalek



\*Année Universitaire 2009/ 2010\*

## **REMERCIEMENTS**

*A l'issue de cette étude, nous remercions le **BON DIEU** tout puissant qui nous a donné tant de courage, de volonté, de patience et d'abnégation pour mener à terme ce mémoire.*

*Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études et particulièrement notre encadreur **REMMOUM .K** qui a suivi notre travail.*

*Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés et qui nous ont facilité la tâche pendant toute la durée de nos études, surtout nos enseignants de département des Sciences de la Terre et de l'Univers qui ont participé à notre formation ainsi que le personnel administratif.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail, et apporter leur juste appréciation.*

*Nous remercions, nos collègues de la promotion 2010 ; en particulier Ben Sakhria Nawel.*

*Mohamed et Boubeker*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce projet à :*

*Mes très chers parents :*

*Ma mère et mon père*

*Mes frères et sœurs*

*Toute La famille*

*Mon binôme MOHAMED*

*Tous mes amis*

*Tous les étudiants de 5<sup>eme</sup> année et Master II,*

*promotion 2009/2010*

**BOUBEKER**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce projet à :*

*Mes très chers parents :*

*Ma mère et mon père*

*Mes frères et sœurs*

*Toute La famille*

*Mon binôme Boubeker*

*Tous mes amis*

*Tous les étudiants de 5<sup>eme</sup> année et Master II,*

*promotion 2009/2010*

*Mes enseignants sans exception*

*Mohamed*

### Résumé :

Les carrières d'El Milia et de Sidi Marouf sont des sources d'approvisionnement en granulats routières dans la wilaya de Jijel. La carrière d'El Milia est encaissée dans les microgranites d'origines éruptives, pour la carrière de Sidi Marouf il s'agit des calcaires du lias.

Les différentes classes granulaires produites dans la carrière de Sidi Marouf sont : la 0/20, 0/3, 3/8 et 08/15 mm. Pour la carrière d'El Milia c'est la : 0/20, 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25mm. Les deux graves (0/20) appartiennent au graves de type (A).

L'étude complète de la grave non traitée (GNT) de la carrière Sidi Marouf et d'El Milia montre que pour la granularité la grave des deux carrières ne répond que partiellement aux fuseaux de spécification pour chaussées appartenant à la classe (a-b), avec une résistance de catégorie (C). Pour le comportement au compactage, les deux graves présentent une compacité satisfaisante.

**Mots clé :** El Milia, Sidi Marouf, Jijel, microgranite, calcaire, lias, carrière, granulaire, grave, chaussée, compactage, compacité, fuseaux.

---

**Abstract:**

Career El Milia and Sidi Marouf are sources of aggregate supply road in the wilaya of Jijel. El Milia career is in cash microgranites erupuve origin for the career of Sidi Marouf is in limestone.

Different classes produce granular in the career of Sidi Marouf are: 0 / 20, 0 / 3, 08/15 and 3/8 mm. For the career of El Milia is the 0 / 20 0 / 3, 3 / 8, 8 / 15 and 15/25 mm. Both serious (0 / 20) belong to the severe type (A).

Study Completed the severe untreated (GNT) career Sidi Marouf and El Milia shows that the granularity of both the serious career only partially meets the time specification for roads belonging to the class (b), with resistance category (C). For the compaction behavior, both have a serious compact satisfactory.

**Key words**

El Milia, Sidi Marouf, Jijel, microgranite, calcaire, limestone, Lias, career, granular serious pavement, compaction, compactness, time.

---

## :مختص:

محجرتي الميلية وسيدي معروف من المصادر الرئيسية للحصا المستعملة في الطرق في ولاية جيجل. محجرة الميلية هي عبارة عن الميكروغرانيت البركانية اما محجرة سيدي معروف انها تأتي من الحجر الجيري. فئات مختلفة تنتج الحصا الحبيبية في محجرة سيدي معروف هي : 0/20 . 0/3 . 3/8 . 8/15 ملم اما في محجرة الميلية هي 0/20 . 0/3 . 3/8 . 8/15 . 15/25 ملم. كلا الشئيد (0 / 20) تنتمي إلى نوع شئيد (أ). دراسة أنجزت على الشئيد غير المعالجة (GNT) لمحجرتي سيدي معروف والميلية تبين أن التفاصيل الحصوية للشئيد على حد سواء فقط يلبي جزئيا مواصفات الوقت للطرق الذي ينتمي إلى فئة (ب) ، مع الفئة المقاومة (ج). اما لسلوك الضغط، كلاهما يملك نتائج مرضية للشئيد المضغوط.

## :كلمات:

الميلية ، سيدي معروف ، جيجل ، الميكروغرانيت البركاني ، الحجر الجيري ، الرصيف ، الضغط المقومة ، اشدن:

**SOMMAIRE****Page**

|  |          |
|--|----------|
| <b>Introduction générale</b>   | <b>1</b> |
| <b>Chapitre I : Présentation de la région</b>                        |          |
| I.1. généralité sur le climat et le relief de la région              | 3        |
| I.1.1. Climat  | 3        |
| I.1.2. Relief  | 3        |
| I.2. Les réseaux routiers dans la wilaya de Jijel                    | 3        |
| I.2.1. Réseau routier  | 3        |
| I.2.2. Etat du réseau routier  | 4        |
| I.3. Situation géographiques des carrières                           | 5        |
| I.3.1. La carrière de Sidi Marouf                                    | 5        |
| I.3.2. la carrière d'El Milia  | 6        |
| <b>Chapitre II : Cadre géologique régional de la région de Jijel</b> |          |
| II.1. Introduction   | 7        |
| II.2. Formations du domaine Interne                                  | 7        |
| II.2.1. Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle          | 7        |
| II.2.1.1. Ensemble supérieur   | 7        |
| II.2.1.2. Ensemble inférieur   | 8        |
| II.2.2. La couverture sédimentaire du socle                          | 8        |
| II.2.2.1. La dorsale Kabyle  | 8        |
| II.3. Les formations de l'Oligo-Miocène et les Olistostromes         | 8        |
| II.3.1. L'Oligo-Miocène Kabyle                                       | 8        |
| II.3.2. Les Olistostromes  | 9        |
| II.4-Formations du domaine des flyschs                               | 9        |
| II.4.1. Le flysch maurétanien  | 9        |
| II.4.2. Le flysch Massylien "flysch Schisto-gréseux "                | 9        |
| II.4.3. Le flysch numidien   | 9        |
| II.5. Formations du domaine Externe (Tellien)                        | 10       |
| II.6. Formations post-nappes   | 11       |
| II.6.1. Marnes du Miocène supérieur                                  | 11       |
| II.6.2. Formations détritiques du Pliocène                           | 11       |
| II.7-Formations Quaternaires   | 11       |
| II.7.1. Les dunes de sables  | 11       |
| II.7.2. Les alluvions  | 11       |
| II.8. Roches magmatiques   | 11       |
| II.9. Aspect structural de la partie occidental de la Petite Kabylie | 12       |
| II.9.1. Tectonique anté-Oligocène                                    | 12       |
| II.9.2. Tectonique Miocène   | 12       |
| <b>Chapitre III : Cadre lithologiques des carrières</b>              |          |
| III.1. Cadre lithologiques de la carrière d'El Milia                 | 13       |

---



|  |           |
|--|-----------|
| III.1.1. Introduction  | 13        |
| III.1.2. Caractéristiques lithologique de la carrière d'El Milia             | 13        |
| III.1.3. Pétrographie, minéralogie et chimie du microgranite d'El Milia      | 15        |
| III.2. Cadre lithologiques de la carrière de Sidi Marouf                     | 16        |
| III.2.1. Introduction  | 16        |
| III.2.2. Caractéristiques lithostratigraphique de la carrière de Sidi Marouf | 16        |
| III.2.3. Pétrographie, minéralogie et chimie des roches liasiques exploitées | 19        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre IV : Généralités sur granulats et les chaussées routières</b>    | <b>21</b> |
| IV.1. Structures des chaussées   | 21        |
| IV.2. Définitions et présentation générale des granulats                     | 22        |
| IV.3. Classification et nomenclature   | 22        |
| IV.4. Les fuseaux granulométriques   | 23        |
| IV.5. Les différentes approches pour l'étude des matériaux non liés          | 23        |
| IV.5.1. L'approche physique (le grain)                                       | 24        |
| IV.5.2. L'approche de l'ensemble   | 24        |
| IV.5.3. L'approche globale   | 24        |
| IV.6. Caractéristiques géométriques des granulats routiers                   | 24        |
| IV.6.1. Etat de surface des granulats  | 25        |
| IV.6.2. Angularité des granulats   | 25        |
| IV.6.3. La forme des granulats   | 26        |
| IV.6.4. La granularité des granulats   | 26        |
| IV.7. Le Compactage des matériaux  | 26        |
| IV.7.1. Définition   | 26        |
| IV.7.2. Rôle du compactage sur la durée de vie des ouvrages                  | 26        |
| IV.7.3. Les paramètres influents du compactage                               | 26        |
| IV.7.4. La compacité granulaire  | 28        |
| IV.8. Principe de dimensionnement des structures de chaussées                | 28        |
| IV.9. Les principales méthodes de dimensionnement                            | 29        |
| IV.9.1. Méthode de C.B.R   | 30        |
| IV.9.2. Méthode du catalogue des structures                                  | 31        |
| IV.9.3. Méthode L.C.P.C  | 32        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre V : Identification et caractéristiques des granulats</b>         |           |
| V. Les propriétés des granulats  | 33        |
| V.1. Introduction  | 33        |
| V.2. Méthodologie d'étude d'une grave non traitée (NF P 98-125)              | 33        |
| V.2.1. Définitions   | 33        |
| V.2.2. Principe  | 33        |
| V.2.2.1. Etude complète  | 34        |
| V.2.2.1.1. Préparation des matériaux   | 34        |
| V.2.2.1.2. Identification des granulats                                      | 34        |
| V.2.2.1.3. Granularité et formule de reconstitution                          | 34        |
| V.2.2.1.4. Détermination des caractéristiques de compactage                  | 35        |

---

# Sommaire

---

|  |    |
|--|----|
| V.2.2.2. Eude réduite d'une GNT  | 36 |
| V.2.2.2.1. Identification des granulats  | 36 |
| V.2.2.2.2. Vérification de la granularité                                      | 36 |
| V.2.2.2.3. Vérification des caractéristiques de compactage                     | 37 |
| V.3. Propriétés géométriques   | 37 |
| V.3.1. Analyse granulométriques  | 37 |
| V.3.1.1. Module de finesses  | 38 |
| V.3.1.2. Coefficient de Hazen (d'uniformité) et courbure                       | 38 |
| V.3.2. La granulométrie des graves   | 38 |
| V.3.2.1. La grave de Sidi Marouf   | 38 |
| V.3.2.2. La grave d'El Milia   | 40 |
| V.3.3. Granulométrie des sables et des gravillons                              | 42 |
| V.3.3.1. Carrière de Sidi Marouf   | 42 |
| V.3.3.2. Carrière d'El Milia   | 44 |
| V.4. Propriétés physiques  | 45 |
| V.4.1. La masse volumique des granulats  | 46 |
| V.4.2. Propreté des granulats  | 48 |
| V.4.2.2. Propreté des sables «Essai équivalent de Sable pour les Graves»       | 48 |
| V.5. Propriétés mécaniques   | 50 |
| V.5.1. La résistance à la fragmentation par choc « Essai Los Angeles »         | 50 |
| V.5.2. La résistance à l'usure des gravillons « essai Micro Deval Humide »     | 51 |
| V.5.3. Le compactage   | 53 |
| V.5.3.1. Détermination de la teneur en eau de ressuage (Essai Proctor modifié) | 53 |
| V.5.3.1.1. Carrière d'El Milia   | 54 |
| V.5.3.1.2. Carrière de Sidi Marouf   | 55 |
| V.5.3.2. La compacité de la grave  | 56 |
| V.6. Conclusion  | 57 |
| VI. Conclusion général   | 59 |
| Annexes  |    |

---

| <b>Liste des tableaux</b>   | <b>Page</b> |
|---|-------------|
| <b>Tableau I.1.</b> Les valeurs des longueurs du Chemin routiers de la wilaya de Jijel (la ministre des travaux publics).   | 4           |
| <b>Tableau I.2.</b> L'état du réseau routier dans la wilaya de Jijel par apport au Nationale (la ministre des travaux publics).   | 4           |
| <b>Tableau III.1.</b> Variation des éléments majeurs des microgranites d'El Milia (d'après Ouabadi, 1994).  | 15          |
| <b>Tableau III.2.</b> Résultats de l'analyse chimique des roches des carrières d'El Milia (d'après le rapport de DMI, 2006).  | 15          |
| <b>Tableau III.3.</b> résultats des analyses chimiques des roches de la carrière (DMI, 1999).   | 20          |
| <b>Tableau IV.1.</b> Classe de trafic selon le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée [Guide technique SETRA (1994)].   | 22          |
| <b>Tableau IV.2.</b> Valeurs du module de Young pour la grave non traitée selon le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée [Guide technique SETRA (1994)].   | 29          |
| <b>Tableau IV.3.</b> Indique les coefficients d'équivalence (a) pour chaque matériau.   | 31          |
| <b>Tableau IV.4.</b> Classements des trafics.   | 31          |
| <b>Tableau IV.5.</b> Classification des sols selon la valeur de CBR de densité Proctor modifié maximal.   | 32          |
| <b>Tableau V.1.</b> Organisation et contenu de l'étude de laboratoire d'une GNT.  | 33          |
| <b>Tableau V.2.</b> Organisation et contenu de l'étude de laboratoire d'une GNT.  | 34          |
| <b>Tableau V.3.</b> Classement des GNT selon les caractéristiques des granulats (NF P98-129).   | 35          |
| <b>Tableau V.4.</b> Valeur maximale des écarts.   | 36          |
| <b>Tableau V.5.</b> Représentation des résultats de l'analyse granulométrie de grave non traité de la carrière de Sidi Marouf.  | 39          |
| <b>Tableau V.6.</b> Récapitulatif comparant les grave 0/20 de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.    | 40          |
| <b>Tableau V.7.</b> Représentation des résultats de l'analyse granulométrie de grave non traité de la carrière d'El Milia.  | 41          |
| <b>Tableau V.8.</b> Récapitulatif comparant la grave 0/20 de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.         | 42          |
| <b>Tableau V.9.</b> Tableau récapitulatif les résultats des CU et CC des granulats de la carrière de Sidi Marouf.   | 42          |
| <b>Tableau V.10.</b> Récapitulatif comparant le sable 0/3 de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.     | 43          |
| <b>Tableau V.11.</b> Récapitulatif comparant les classes granulaires (3/8, 8/15) de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, préconisées norme XP P 18-540. | 43          |
| <b>Tableau V.12.</b> Tableau récapitulatif les résultats des CU et CC des granulats de la carrière d'El Milia.  | 44          |

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau V.13.</b> Récapitulatif comparant le sable 0/3 de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.          | 44 |
| <b>Tableau V.14.</b> Récapitulatif comparant les classes granulaires (3/8,8/15,15/25) de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, préconisées norme XP P 18-540. | 45 |
| <b>Tableau V.15.</b> Résultats des propriétés physiques des granulats de la carrière de Sidi Marouf et d'El Milia.   | 47 |
| <b>Tableau V.16.</b> Résultats des mesures d'équivalent de sable (visuel et au piston) des sable de la classe 0/5 (extrait de la GNT) des deux carrières étudiées.   | 49 |
| <b>Tableau V.17.</b> Tableau récapitulatif comparant l'équivalent de sable des sables des carrières étudiées (Sidi Marouf et el Milia) aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.  | 49 |
| <b>Tableau V.18.</b> Nombre de boulets avec un poids de charge en grammes normalisées d'après la norme française NF .P18-573.  | 51 |
| <b>Tableau V.19.</b> Récapitulatif des résultats comparant le coefficient Los Angeles des granulats des deux carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.  | 51 |
| <b>Tableau V.20.</b> Nombre de poids de charge abrasive en grammes normalisé.  | 52 |
| <b>Tableau V.21.</b> Tableau récapitulatif comparant le coefficient Essai Micro-Deval des granulats des deux carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.  | 52 |
| <b>Tableau V.22.</b> Tableau récapitulatif comparant les propriétés mécaniques des granulats des carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.  | 53 |
| <b>Tableau V.23.</b> Tableau récapitulatif des résultats d'essai Proctor modifié sur le GNT de carrière d'El Milia.  | 54 |
| <b>Tableau V.24.</b> Tableau récapitulatif des résultats d'essai Proctor modifié sur le GNT de carrière de sidi Marouf.  | 55 |
| <b>Tableau V.25.</b> Les résultats de La masse volumique sèche et La teneur en eau optimales des deux carrières  | 56 |
| <b>Tableau V.26.</b> Compacité minimale à l'OPM spécifiée suivant le type de GNT.  | 57 |
| <b>Tableau V.27.</b> Résultats de la compacité des GNT des deux carrières.   | 57 |
| <b>Tableau V.28.</b> Récapitulatif des résultats des essais sur les granulats des deux carrières.  | 58 |

---

| <b>Liste des figures</b>  | <b>Page</b> |
|---|-------------|
| <b>Figure I.1.</b> Carte synoptique des routes de la wilaya de Jijel (Agence nationale des Autoroutes).   | 4           |
| <b>Figure I.2.</b> Localisation des carrières sur la carte topographique(1/50000) majeure de la wilaya de JJEL.   | 5           |
| <b>Figure II.1.</b> Schéma structural de la méditerranée occidentale. (M. Durand Delga, 1969, modifié)  | 7           |
| <b>Figure II.2.</b> Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989).   | 10          |
| <b>Figure III.1.</b> Carte géologie représente la région d'El Milia (J.P.Bouillin, 1977).   | 14          |
| <b>Figure III.2.</b> Carte géologique (1/200 000) représente les environs du massif de Sidi Marouf (Durand Delga 1955).   | 16          |
| <b>Figure III.3.</b> Carte des environs du massif d'El Feddous (Durand Delga 1955)<br>4 : emplacement de la coupe 4, 5 : emplacement de la coupe 5.   | 18          |
| <b>Figure III.4.</b> Coupes sériées passant par le massif d'El Feddous (4) et ses environs (5) (Durand Delga 1955).   | 18          |
| <b>Figure III.5.</b> Colonne lithostratigraphie synthétique des formations géologiques du massif d'El Feddous et de ses environs immédiats établie à partir des descriptions de (Boulabina, F. ; Hireche, S ; 2006) et à partir de celles de Durand Delga (1955). | 19          |
| <b>Figure IV.1.</b> Structure de chaussée type et répartition des contraintes.  | 21          |
| <b>Figure IV.3.</b> Évolution de compacité avec l'indice des vides  | 28          |
| <b>Figure V.1.</b> Courbe granulométrique de la fraction 0/20 mm (GNT) de la carrière de Sidi Marouf dans le fuseau 0/20 mm.  | 39          |
| <b>Figure V.2.</b> Courbe granulométrique de la fraction 0/20 (GNT) mm de la carrière d'El Milia dans le fuseau 0/20 mm   | 41          |
| <b>Figure V.3.</b> Courbe granulométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15) de la Carrière de Sidi Marouf.  | 43          |
| <b>Figure V.4.</b> Courbe granulométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15 et 15/25) de la Carrière d'El Milia.   | 45          |
| <b>Figure V.5.</b> Principe de l'essai d'équivalent de sable.   | 49          |
| <b>Figure V.6.</b> Courbe de l'essai Proctor modifié sur la Grave (0/20) de Sidi Marouf.  | 55          |
| <b>Figure V.7.</b> Courbe de l'essai Proctor modifié sur la Grave (0/20) d'El Milia.  | 56          |
| <br><b>Liste des Photos</b>   |             |
| <b>Photo I.2.</b> Présentation de la carrière de Sidi Marouf.   | 6           |
| <b>Photo I.2.</b> Présentation de la carrière d'El Milia.   | 6           |
| <b>Photo III.1.</b> Représentation de la découverte et la roche saine dans la carrière d'El Milia.  | 13          |
| <b>Photo III.2.</b> Vue panoramiques sur les roches carbonatées exploité dans la Carrière de Sidi Marouf.   | 17          |
| <b>Photo V.1.</b> Machine los Angeles.  | 50          |
| <b>Photo V.2.</b> Machine Micro-Deval.  | 52          |

## Introduction générale

Dans les dix dernières années, la wilaya de Jijel a connu une évolution dans le domaine des travaux publics surtout pour les infrastructures et les constructions de bases. Dans ce cadre rentre le nouveau tracé de la route nationale (RN.77) qui va lié directement le port de Djen-Djen à l'autoroute Est-Ouest, le dédoublement de la route nationale (RN.43) entre le port de Djen-Djen et la commune d'El Milia. La réalisation de ces projets nécessite des matériaux **concassés des bonnes qualités**.

La conception et le dimensionnement d'une chaussée s'appuient essentiellement sur trois critères:

- la portance de la plate-forme,
- la qualité des matériaux utilisés en couches de chaussée,
- le niveau du trafic.

Les caractéristiques des matériaux constituant les assises des chaussées doivent répondre à certaines exigences minimales de qualité. En ce qui concerne le corps de chaussée plusieurs catégories de matériaux peuvent être utilisées. Cependant, les ingénieurs, par souci d'économie, sont contraints de tenir compte des distances de transport et des moyens d'exploitation des carrières. Ceci les a amené à utiliser des matériaux très particuliers ou présentent des qualités inférieures et cela dans toutes les couches du corps de chaussée.

Dans la wilaya de Jijel, il existe principalement quatre sources de granulats concassés utilisés dans les assises de chaussées, il s'agit essentiellement de la carrière d'El Milia, de Sidi Marouf, de Chekfa et de Ziama Mansouria.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre des recherches sur l'utilisation de matériaux concassés de substitution en construction des chaussées. Pour cela on a opté sur le choix des deux carrières de Sidi Marouf et d'El Milia. Les études ont été réalisées sur des grave non traite (GNT) au laboratoire de génie géologie dans le sens d'utiliser ces derniers dans les assises de chaussée (couches de base et de fondation).

Les différentes parties de ce mémoire sont organisées de la manière suivante :

- Le premier chapitre définit une présentation de la région,
- Le deuxième chapitre porte sur le cadre géologique régional,
- Le troisième chapitre définit le cadre lithologique des deux carrières étudiés,
- Le quatrième chapitre présente des généralités sur les granulats et les chaussées,
- En fin, le cinquième chapitre est consacré à l'identification et caractérisation des granulats.

Nous terminerons cette étude par une conclusion générale et des discussions sur les critères de spécification technique pour une meilleure optimisation des caractéristiques géotechniques des granulats concassés.

# *Chapitre I*

## *Présentation de la région*



## I. Situation géographique

La wilaya de Jijel est située le long de la côte Est du pays, à un peu plus de 350 km à l'Est de la capitale Alger et environ de 120 km au Nord –Ouest de Constantine. La wilaya est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la Wilaya de Bejaïa, à l'Est par la Wilaya de Skikda, au sud-ouest par la wilaya de Sétif, au sud par la Wilaya de Mila et enfin au sud-est par la Wilaya de Constantine (figure. I.2)

### I.1- généralité sur le climat et le relief de la région :

#### I.1.1– Climat

Le climat de la wilaya de Jijel est de type méditerranéen, il comporte des étés secs et tempérés et des hivers doux et humides, les températures varient entre 20 et 35°C en été, et 5 à 15°C en Hiver. La saison des pluies dure 6 mois environ et les précipitations sont de l'ordre de 1200 mm/an.

#### I.1.2 –Relief

La région de Jijel est caractérisée par un relief montagneux très accidenté .Les montagnes occupent 82% de la superficie totale, elles se tiennent jusqu'à 1500 mètres, on distingue principalement deux régions physiques :

- **Les zones de plaines** : Situées au Nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El Aouana, le bassin de Jijel, les Vallées de Oued El Kebir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hour.

- **Les zones de montagnes** : Elles sont composées de deux zones :

- d'altitude moyenne : Située dans la partie littorale et centrale de la wilaya, caractérisée par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.

- et d'altitude élevée : Située à la limite Sud de la Wilaya. Elle comporte les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont : Tamesguida (1458m), Bouazza (1547 m) et Seddet (956 m).

### I.2. Les réseaux routiers dans la wilaya de Jijel :

#### I.2.1. Réseau routier

Suivant les données de la ministre des travaux publics, la wilaya de Jijel est caractérisée par un réseau routier relativement dense et maillé (Tableau I.1 et Figure I.1). Le développement économique et touristique de la wilaya est lié directement à ce réseau.

| Désignation      | Routes nationales | Chemins de Wilaya | Chemins communaux et pistes | Total   |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------|
| Linéaire en (Km) | 204.30            | 366.30            | 1186                        | 1756.60 |

Tableau. I.1. les valeurs des longueurs du Chemin routiers de la wilaya de Jijel (la ministre des travaux publics).



Figure. I.1. Carte synoptique des routes de la wilaya de Jijel (Agence nationale des Autoroutes).

### I.2.2. Etat du réseau routier

L'état du réseau routier notamment les routes nationales (RN) et les chemins de wilaya (CW) sont généralement moyens, exception pour les chemins communaux (CC) et les CW locale qui présentent un état mauvais (Tableau I.2).

| Route | Moyenne   | Bon état (%) | Etat moyen (%) | Mauvais état (%) |
|-------|-----------|--------------|----------------|------------------|
| RN    | Locale    | 66,13        | 30,69          | 3,18             |
|       | Nationale | 54           | 31             | 15               |
| CW    | Locale    | 31,75        | 6,44           | 61,81            |
|       | Nationale | 35           | 39             | 26               |
| CC    | Locale    | 25           | 30             | 45               |
|       | Nationale | 30           | 35             | 35               |

Tableau. I.2. L'état du réseau routier dans la wilaya de Jijel par apport au Nationale (la ministre des travaux publics).

### I.3. Situation géographiques des carrières :

Les deux carrières qui entrent dans notre objet d'études sont localisées dans la partie Est de la Wilaya de Jijel (Figure I.2).



Figure I.2. : Localisation des carrières sur la carte topographique (1/50000).

#### I.3.1. La carrière de Sidi Marouf

La carrière de source des granulats que nous avons étudiée est localisée dans le massif d'El Feddous, à environ 2Km au Sud –Est de Djebel Sidi Marouf et à environ 1Km au Sud du village de Sidi Marouf. L'accès à la carrière se fait par une piste déviant le chemin reliant Sidi Marouf à Ouled Rabah (Figure. I.2, Photo I.1). Les coordonnées Lambert (carte topographique 1/50000) du massif encaissant la carrière sont :

| X         | Y         |
|-----------|-----------|
| 817.750 m | 374.400 m |

#### I.3.2-Situation de la carrière d'El Milia

La carrière d'El Milia fait partie d'un ensemble des carrières localisent dans le massif de Djebel Ouled Arbi. Ces carrières sont situées à 72 kilomètres du chef lieu de la Wilaya de Jijel, au neuvième kilomètre d'El Milia sur la route CW39 (El Milia - Collo) au lieu dit Bouamrane. La carrière est située dans la partie Sud-Est du Djebel Ouled Arbi, dans la rive Nord de Oued Boussiaba (figure.I.2, Photo I.2). Les coordonnées Lambert de la carrière (carte topographique 1/50000) sont :

| X        | Y        |
|----------|----------|
| 393.675m | 390.240m |



**Photo I.1.** Présentation de la carrière de Sidi Marouf.



**Photo I.2.** Présentation de la carrière d'El Milia.

# *Chapitre II*

*Cadre géologique régional*

## II. Géologie régionale

### II.1- Introduction

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie. Cette dernière est constituée par un édifice d'unités alloctones appartenant au domaine interne, aux nappes des flyschs et au domaine externe (figure.II.1). Ces différentes unités dont l'organisation est très complexe, sont parfois traversées par des venues de roches magmatiques miocènes (figure II.2).

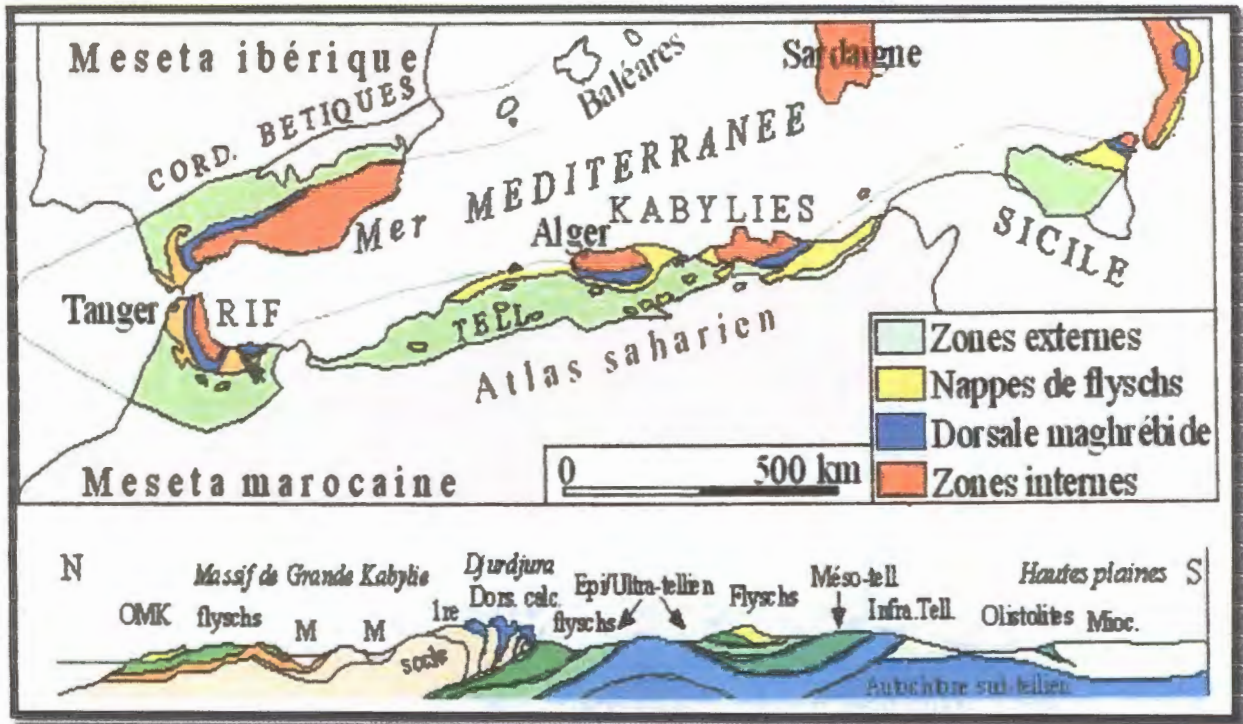


Figure. II.1 : Schéma structural de la méditerranée occidentale.

(M. Durand Delga, 1969, modifié)

### II.2-Formations du domaine Interne

Issu du domaine interne de l'orogène alpin, le domaine Kabyle comprend les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, et l'ensemble des nappes supérieures qu'il supporte.

#### II.2.1-Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle

Le socle de la Petite Kabylie est composé de deux grands ensembles (Delga. 1955, Djellit.H. 1987) :

- un ensemble supérieur, peu métamorphique.
- un ensemble inférieur métamorphique.

##### II.2.1.1- Ensemble supérieur

C'est un ensemble décrit pour la première fois par Ehrmen (1928) et ensuite par Durand Delga (1955), ils comportent de bas en haut :

- Des schistes noirâtres qui surmontent, parfois, des conglomérats remaniant les formations sous-jacentes ;
- Des psammites rouges et vertes à graptolites ;
- Des grès calcaires à tentaculites ;
- Des calcaires à orthocères.

Le contact de base de cet ensemble sur les séries sous-jacentes de l'ensemble métamorphique est interprété comme étant une discordance stratigraphique.

### **II.2.1.2- Ensemble inférieur**

Constitué de gneiss fins parfois ocellés, à intercalation de marbres et d'amphibolites. Les termes de base de cet ensemble conservent des assemblages reliques du faciès des granulites (Djellit.H. 1987).

## **II.2.2-La couverture sédimentaire du socle**

### **II.2.2.1- La dorsale Kabyle**

C'est la couverture calcaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au Nord et les zones telliennes au Sud. Elle est d'âge Jurassique à Eocène. A l'Est de la petite Kabylie la dorsale Kabyle forme les reliefs de Sidi Marouf, de Sidi Driss et El Kentour.

Les séries formant la dorsale Kabyle permettant de la subdiviser en trois termes (J. F. Raoult. 1969 et 1974) :

#### **- La dorsale interne :**

Elle montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du Permo-Trias au Néocomien des dépôts carbonatés représentés par des calcaires, surmontés en discordance par des calcaires néritiques massifs riches en microfaunes benthiques (algues et foraminifères) permettant de dater l'Yprésien et le Lutétien terminal.

#### **- La dorsale médiane :**

Elle est caractérisée par des dépôts marno-calcaires à micro-faunes pélagiques du Turonien au Lutécien inférieur et une lacune stratigraphique au Crétacé moyen.

#### **- La dorsale externe :**

Elle est caractérisée par un Crétacé supérieur et un Eocène détritico-lacuneux, elle comporte des calcaires silicifiés, surmontée en discordance par des conglomérats du Campanien. Ces dernières soulignent une intense érosion au Sénonien. La dorsale externe repose en discordance sur les flyschs.

## **II.3- Les formations de l'Oligo-Miocène et les Olistostromes**

### **II.3.1- L'Oligo-Miocène Kabyle :**

L'Oligo-Miocène Kabyle constitue la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle Kabyle (figure II.2). Il est formé de grès micacés admettant des conglomérats à leurs

bases et des sélexites au sommet, d'âge Oligocène supérieur à Aquitaniens. A cet Oligo-Miocène Kabyle succèdent des Olistostromes (Raoult, 1974-1975, Bouillin, 1977).

### **II.3.2- Les Olistostromes :**

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés dans des passées grés-micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitaniens à Burdigalien inférieur probable (Bouillin et Raoult, 1971, Bouillin et al 1973 et Bouillin 1977).

### **II.4-Formations du domaine des flyschs**

En Algérie, ces formations occupent une position allochtone. Elles sont subdivisées en trois types principaux :

- Flysch maurétanien.
- Flysch massylien.
- Flysch numidien.

#### **II.4.1- Le flysch maurétanien :**

Ce terme a été proposé pour la première fois par Gelard (1969). Le flysch maurétanien comporte des terrains allant du Néocomien au Lutétien. Il montre de bas en haut :

- Un preflysch calcaire du Tithonique – Néocomien, constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidités calcaires.
- Un ensemble de grés épais (300 m) à cassure verte (flysch de Gerrouch) attribué à Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blanches du Cénomien supérieur.
- Des micros brèches à ciment spathique riches en quartz détritiques et parfois des micros conglomérats du Sénonien.
- Au sommet des conglomérats puis de grés micacés tertiaires (Eocène à Oligocène).

#### **II.4.2- Le flysch Massylien "flysch Schisto-gréseux "**

Le terme de flysch massylien a été proposé par Raoult (1969), pour caractériser les formations détritiques Schisto-quartzitiques. Ce flysch comporte une série allant du Néocomien (?) au Lutétien terminal et regroupe trois ensembles qui sont de bas en haut :

- Argile et grés quartzitiques, des grés légèrement calcaires et localement des niveaux conglomératiques de l'Albo-Aptien.
- Marne et calcaires fins du Vraconien, des micros brèches et des conglomérats du sénonien inférieur et moyen auxquels sont associées des phtanites noires.
- Bancs calcaires à microfaune pélagique du Turonien-Cénomaniens.

#### **II.4.3- Le flysch Numidien :**

Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Généralement il occupe la position structurale la plus haute dans l'édifice alpin. Ce flysch numidien comporte de bas en haut (Bouillin 1977) :



- Des argiles sous numidiennes, vari colores de teinte rouge, verte ou violacée à Tubotomaculum d'âge oligocène supérieur ;
- Des grés numidiens en bancs épais à quartz bien roulé datés Aquitanien à Burdigalien inférieur (Lahandère 1979) ;
- Des formations supra-numidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation de sélexites du Burdigalien basale.



Figure. II.2. Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989).

### II.5-Formations du domaine Externe (Tellien)

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléo-marge africaine. Il est caractérisé par la prédominance de faciès marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (J.P. Bouillin, 1977).

Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes nappes, sont du nord vers le sud :

#### -Une série ultra-tellienne :

Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (M. Durand Delga, 1969).

#### - Une série méso-tellienne :

Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate forme constantinoise (J.M. Vila, 1980).

#### - Une série péni-tellienne :

Cette série se particularise par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plate forme (calcaire et marno-calcaire du néritique) et de faciès de bassin caractérisé par des marnes du domaine tellien (M. Durand Delga, 1969).

## II.6 - Formations post-nappes

Comprenant des formations marneuses du Miocène supérieur et des conglomérats grossiers d'âge Pliocène.

### II.6.1- Marnes du Miocène supérieur

Elles reposent en discordance sur le socle kabyle et les terrains sous-jacents de l'Oligocène. Le Tortono-Messinien est attribué à ces formations. Le Tortono-Messinien est constitué de ces marnes bleues à passés calcaires discontinues.

### II.6.2- Formations détritiques du Pliocène

Les formations du Pliocène sont représentées par des dépôts conglomératiques comportant des blocs anguleux de cailloutis, de galets, des graviers, et des sables, dans une matrice argileuse. Ces formations à éléments polygéniques et hétérométriques d'une épaisseur d'environ 30 à 50 m reposant directement sur les marnes du Miocène. C'est la limite entre les dépôts continentaux (pliocène), et les dépôts marins (Tortono-messinien).

## II.7-Formations Quaternaires

Elles sont bien représentées dans le bassin Néogène de Jijel, elles comportent les formations suivantes :

### II.7.1-Les dunes de sables

Elles forment le cordon littoral et comportent :

- Des dunes anciennes : constituée également de sables fins limoneux parfois consolidés.
- Des dunes actuelles : constituée de sables fins parfois consolidés.

### II.7.2-Les alluvions

Elles sont représentées par des alluvions anciennes et des alluvions actuelles.

- Les alluvions anciennes : constituées essentiellement par des sables limoneux et des sables graveleux parfois consolidés (Durand Delga M .1955).
- Les alluvions actuelles : sont composés d'éboulis et des alluvions et des brèches de pente non consolidées, la taille des éléments peut aller jusqu'à 50 m de diamètre.

## II.8- Roches magmatiques

Elles sont principalement représentées par (figure I.2):

- Des roches basiques et ultrabasiqes (Péridotites, Gabbros, Diorites, Microdiorites et Dolérites) du Texenna.
- Des roches volcaniques (Rhyolites, Trachites, Andésites, Dacites, Rhyodacites, Pyroclastites) dans la région de Cavallo, de Rekkada-Meteletine(Glaçon, 1967).

- Des roches granitiques (Granites, Microgranites, et Granodiorites) dans la région d'El milia. Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique miocène sont une particularité de la partie orientale de la petite Kabylie (Bouillin, 1977. Fougnot. J, 1990. Ouabadi. A, 1994).

## II.9- Aspect structural de la partie occidental de la Petite Kabylie

La structuration géologique du massif de la Petite Kabylie est le résultat de plusieurs phases tectoniques :

### II.9.1- Tectonique anté-Oligocène

La tectonique anté-Oligocène est particulièrement caractérisée par de grands accidents cassants d'ampleur régionale et de direction variée (NS, EW, NE-SW et NW-SE).

Cette tectonique cassante semble être à l'origine de la structuration du massif de Petite Kabylie en horst et grabens.

Par ailleurs, ces grands accidents tectoniques cassants (accidents du socle) semblent avoir guidé la mise en place des roches magmatiques (Bouillin. J.P ; 1977).

### II.9.2- Tectonique Miocène

La tectonique Miocène semble être responsable de la structuration géologique actuelle du massif de la petite Kabylie. Cette tectonique s'est manifestée par des plissements, des charriages et une reprise des jeux des failles qui ont surtout rejouées en faille décrochantes (NW-SE dextre et NE-SW senestre).

Par ailleurs, ces jeux de faille semblent avoir eu un rôle important dans la mise en place des roches magmatiques Miocène et des remontées diapiriques du Trias.

Au néogène, la tectonique est marquée par le retrait de la mer de la plus grande partie des terres émergées. Les invasions marines ne vont atteindre que des aires limitées, notamment les dépressions côtières (bassin de Jijel) ou vont se déposer les marnes bleues du miocène terminal. Les zones montagneuses immergés ont subi une intense érosion et modelage qui leur en donnée l'aspect actuelle.

Le Pliocène et le Miocène, sont affecté tardivement par les failles de direction NE-SW (cuvette de Béni-Siar) ou ENE-WSW dans la région de Rekkada Metletine (Djellit.H ,1987).



# *Chapitre III*

*Cadre géologiques et  
lithologiques des carrières*

### III. Cadre lithologiques des carrières

#### III.1. Cadre lithologiques de la carrière d'El Milia

##### III.1.1. Introduction

La carrière de granulat d'El Milia se situe dans le massif ancien de la petite Kabylie, qui est formée de terrains métamorphiques (micaschistes, gneiss, phyllades) recouverte de lambeaux de l'oligomiocène (argile gréseuse) et traversées par des roches éruptives d'âge miocène (granitique). Sur son parcours, l'oued « Boussiaba » sillonne ces massifs et développe des terrasses alluviales récentes (quaternaire récent).

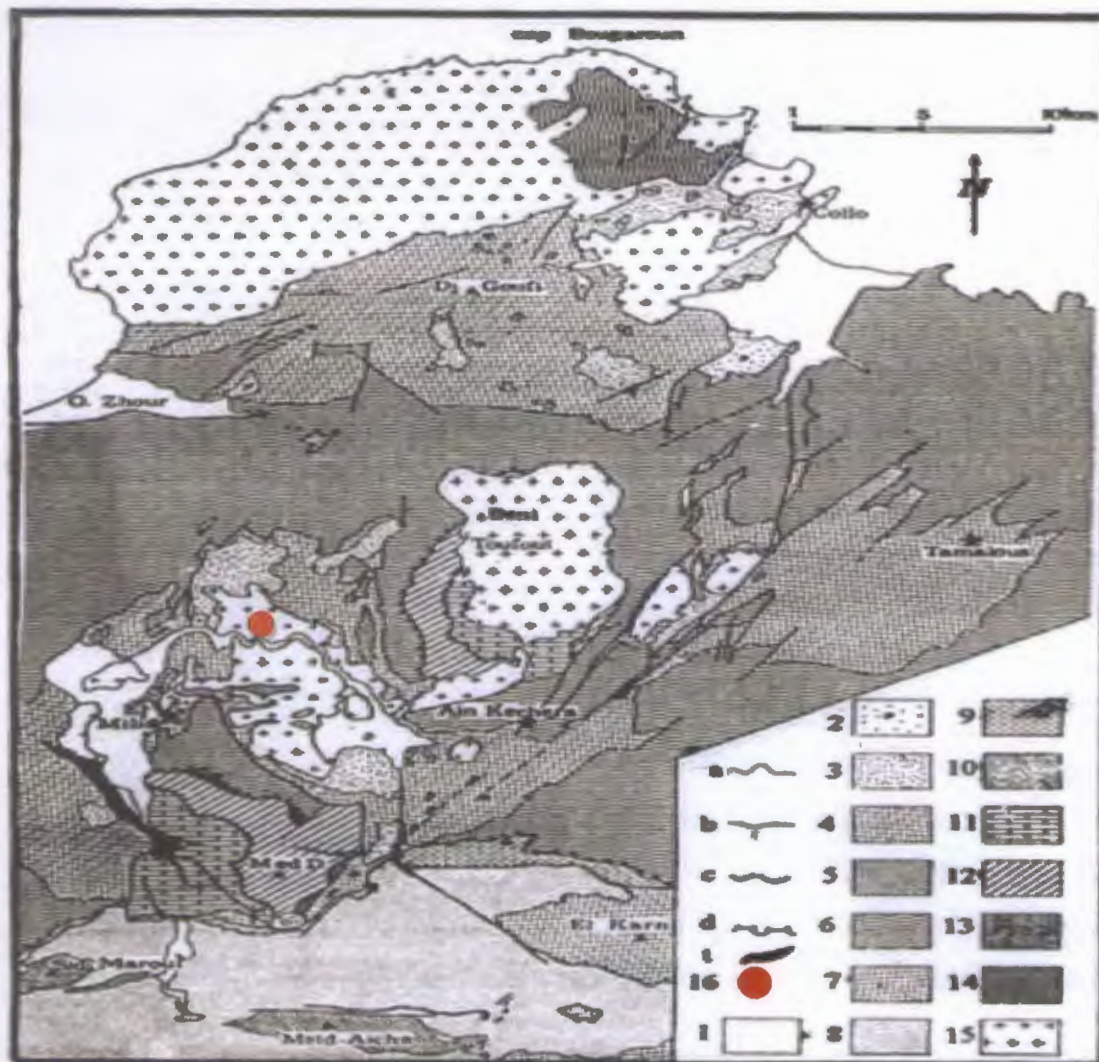
##### III.1.2. Caractéristiques lithologiques de la carrière d'El Milia

La carrière est encaissée dans les formations granitiques d'El Milia constitué principalement par des microgranites d'âge Miocène entrecoupé le socle ancien métamorphique (J.P.Bouillin, 1977, Ouabadi, 1994). Ces microgranites représentent essentiellement le massif d'El Milia qui s'étend jusqu'à la ville (figure III.1).

La découverte dans la carrière varie de centimétrique à métriques (Photo III.1), généralement c'est le résultat d'altération de la roche saine (l'arène granitique).



Photo III.1. Représentation de la découverte et la roche saine dans la carrière d'El Milia.



**Légende**

- 1 : Quaternaire,
- 2 : Pliocène,
- 3 : Miocène post-nappes (Burdigalien-langhien),
- 4 : Oligo-Miocène kabyle, olistostromes et flyschs charriés sur le socle kabyle,
- 5 : Telliens charriés sur le socle kabyle
- 6 : socle kabyle,
- 7 : flyschs massyliens, maurétaniens et numidiens du chaînon d'El Karn et de la forêt des Mouias, en position sud kabyle
- 8 : formations telliennes sénoniennes à éocènes en position sud-kabyle,
- 9 : bande de flysch massylien intercalée entre les formations telliennes et les unités plus septentrionales qui la chevauchent (socle kabyle à l'Est et à l'Ouest, les écaillés du Moul ed Demamène au centre),
- 10 : formations épitelliennes triasiques, jurassiques et du Crétacé inférieur formant les reliefs du Moul ed Demamène et du Sidi Marouf,
- 11 : écaillés inférieures du Moul ed Demamène et des Beni Toufout (séries telliennes et flyschs massyliens plus ou moins schistoés),
- 12 et 13 : unités supérieures métamorphiques du Moul ed Demamène et de Beni Toufout, constituées par des flyschs maurétaniens et leur soubassement épimétamorphisés (12 : unité des Achaïche et unité supérieure des Beni Toufout ; 13 : unité de Sidi Ahmed et de Sidi Rhial),
- 14 : socle à péridotites du cap Bougaroun,
- 15 : roches éruptives miocènes (granites et microgranites pour l'essentiel).
- 16 : la carrière

**Figure. III.1.** Carte géologique très schématique des kabylies de Collo et d'EL Miita (J.P.Bouillin, 1977).

### III.1.3. Pétrographie, minéralogie et chimie du microgranite d'El Milia :

Le microgranite d'El Milia est constitué par une pâte aphanitique formant plus de moitié de la roche et par des phénocristaux et des xénocristaux plurimillimétriques (Ouabadi, 1994) :

- La pâte est essentiellement quartzo feldspathique, elle contient des petites aiguilles de biotites et des petits cristaux de tourmaline.
- Les phénocristaux sont : plagioclases, quartz arrondis, biotite, et cordiérite automorphe.
- Les xénocristaux sont : cordiérites arrondies, grandes cordiérites, et des grenats.

L'analyse géochimique des microgranites d'El Milia a été déterminé par A Ouabadi (1994) ; les résultats des analyses chimiques sont représenté dans le tableau suivant :

| Minéraux                       | Pourcentages (%) |
|--------------------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 64.71            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.51            |
| FeO <sub>3</sub>               | 4.89             |
| MnO                            | 0.05             |
| MgO                            | 2.39             |
| CaO                            | 2.91             |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.18             |
| K <sub>2</sub> O               | 4.30             |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.50             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.16             |

**Tableau III.1.** Variation des éléments majeurs des microgranites d'El Milia (D'après Ouabadi, 1994).

Les roches des massif d'El Milia sont des roches acides (64% < SiO<sub>2</sub> < 69%). Le rapport K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O est toujours supérieur à 1 avec une prédominance de K<sub>2</sub>O sur Na<sub>2</sub>O. Les teneurs en CaO sont toujours inférieurs à 3%. L'alumine oscille autour de 15% (Ouabadi, 1994).

D'après les données de la direction des mines (Tableau.III.2) ; les microgranites d'El Milia sont des roches acides (SiO<sub>2</sub> = 80.98%).

| Minéraux  | % en poids |
|---|------------|
| Silice et silicates                             | 80.98      |
| Anhydrites (CaSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O) | Traces     |
| Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )                 | 2.00       |
| Eau de constitution                             | 1.72       |
| Autres  | 5.27       |

**Tableau III.2.** Résultats de l'analyse chimique des roches des carrières d'El Milia (D'après le rapport de DMI, 2006).

### III.2. Cadre lithologiques de la carrière de Sidi Marouf

#### III.2.1. Introduction

La carrière est encaissée dans le massif de Sidi Marouf qui appartient au domaine externe, ce massif représente la limite sud du massif ancien de la Petite Kabylie (Figure. III.3). Cette région est située immédiatement au front de la nappe bordière chevauchant le flysch du Crétacé inférieur-moyen et les marnes schisteuses du Crétacé supérieur (Sénonien à Eocène.). Les terrains crétacés sont percés par endroit des reliefs carbonatés jurassique appartenant à la couverture méridionale, plissée et fracturée, des massifs anciens Kabyles (Durand delga, 1955).

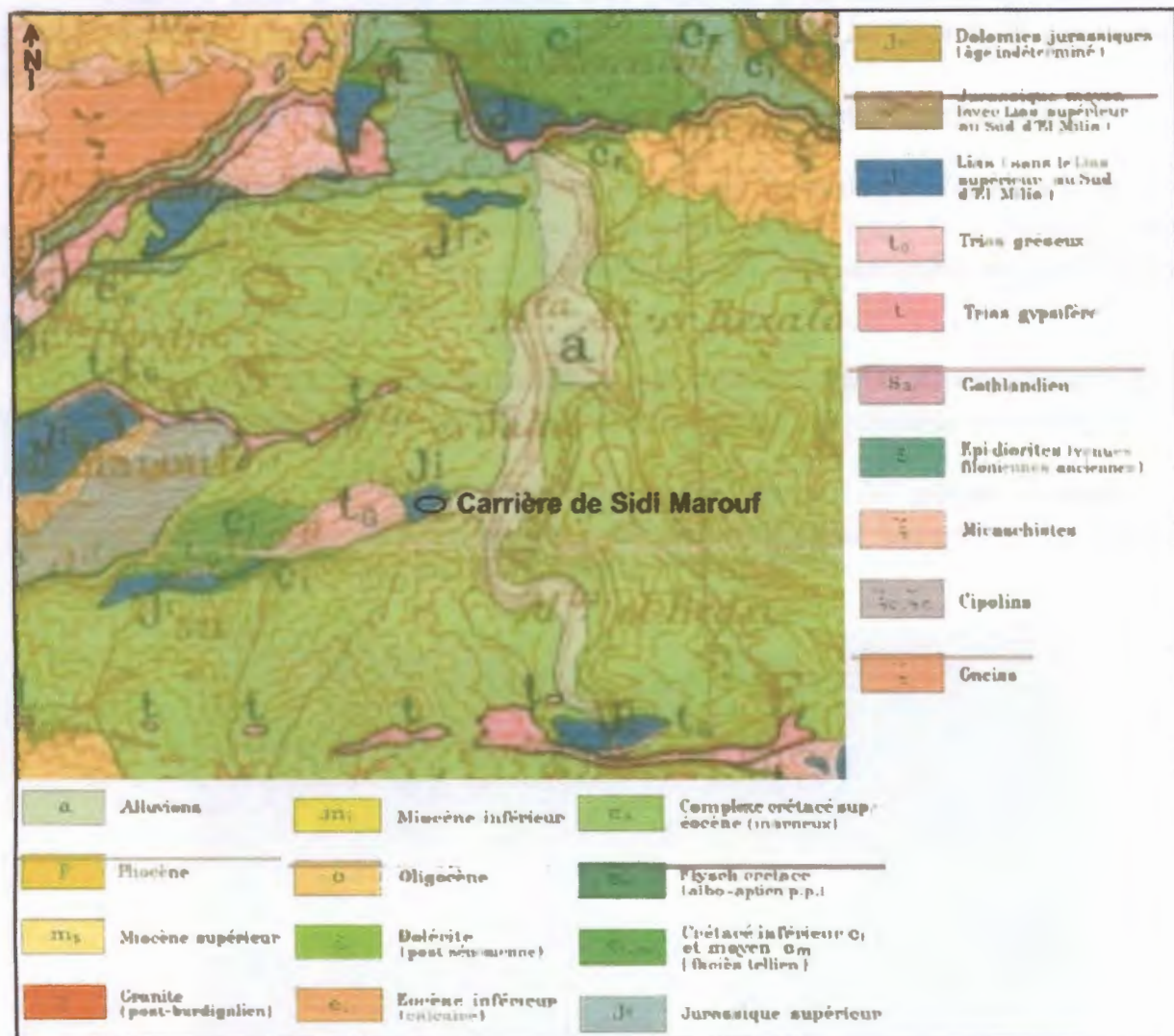


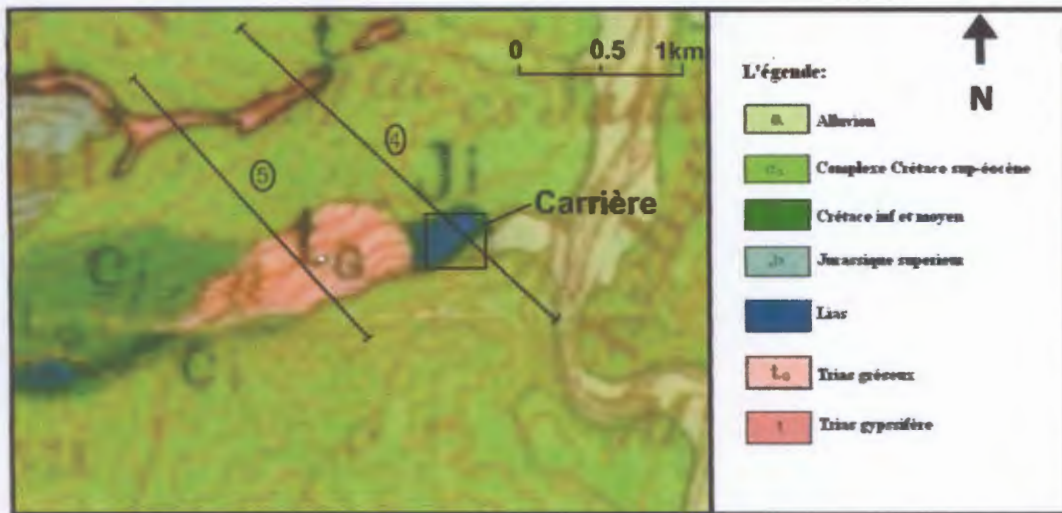
Figure. III.2. Carte géologique 1/200000 représente les environs du massif de Sidi Marouf (Durand Delga 1955)

#### III.2.2. Caractéristiques lithostratigraphique de la carrière de Sidi Marouf

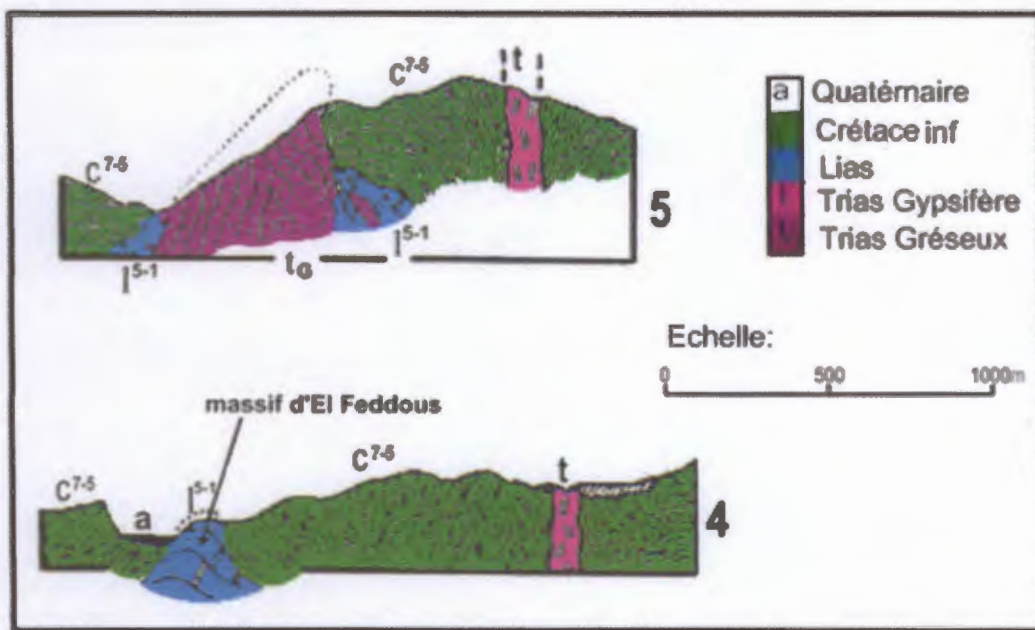
Comme l'ensemble des massifs jurassique de la région de Sidi Marouf, le petit massif d'El Feddous qui produit les granulats, est constitue par des roches calcaires et des dolomies de Lias.



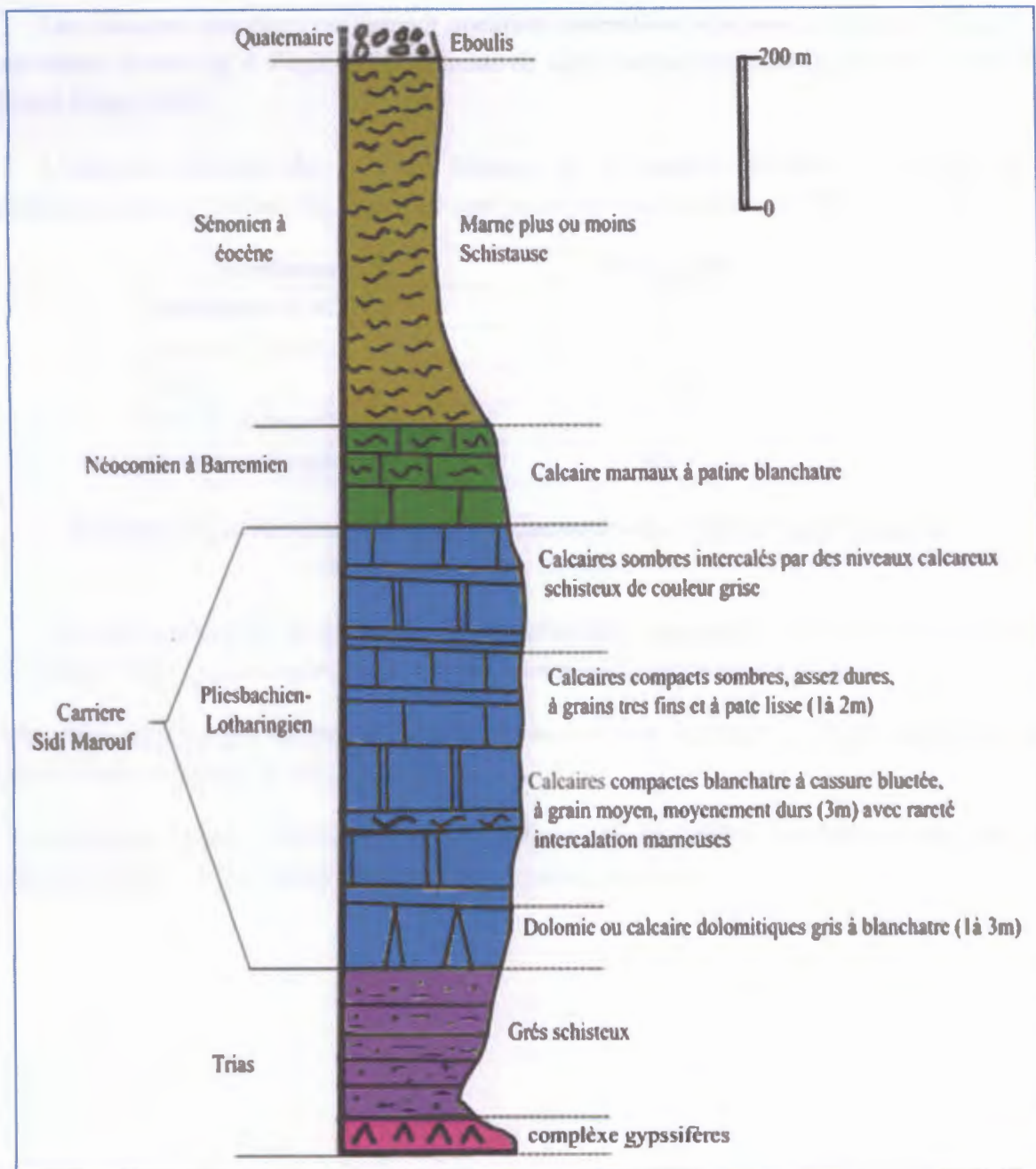
- **Crétacé inférieur** : comporte en discordance sur le Jurassique ou sur le Trias, une série, on flanc nord du massif encaissant la carrière, constituée de calcaires marneux.
- **Crétacé supérieur** : le sénonien repose en discordance sur le massif d'El Feddous et les terrains triasiques avoisinants. Il est représenté essentiellement par d'épaisses marnes plus ou moins schisteuses.
- **Quaternaire** : il est représenté essentiellement par des éboulis.



**Figure. III.3.** Carte des environs du massif d'El Feddous (Durand Delga 1955)  
4 : emplacement de la coupe (4), 5 : emplacement de la coupe (5).



**Figure. III.4.** Coupes sériées passant par le massif d'El Feddous (4) et ses environs (5)  
(Durand Delga 1955).



**Figure. III.5.** Colonne lithostratigraphie synthétique des formations géologiques du massif d'El Feddous et de ses environs immédiats établie à partir des descriptions de (Boulabina, F. ; Hireche, S ; 2006) et à partir de celles de Durand Delga (1955).

### III.2.3. Pétrographie, minéralogie et chimie des roches liasiques exploitées

Les calcaires liasique de la carrière renferment trois faciès principaux, il s'agit de :

- Calcaire compact à cassure grisâtre, parfois bleutée et à grain fin moyennement dur.
- Calcaire compacts à cassure sombre (noirâtre).
- Calcaire schisteux de couleur grise.

Ces calcaires forment la fermeture périclinale orientale de l'anticlinal d'Oued Itera (Figure. III.3 et III.4).

Au cœur de cet anticlinal, d'orientation sensiblement ENE-WSWaffleure un trias principalement gréseux. L'ensemble Trias-Lias se trouve dans un environnement sédimentaire essentiellement marneux du Crétacé-Eocène.

La colonne lithostratigraphie de Djebel El Feddous regroupé les formations suivant (Boulabina, F. ; Hireche, S ; 2006), (Figure. III.3) :

- **Trias** : il borde à l'Oued de massif d'El Feddous, il est caractérisé par des faciès gréseux schistoux. A la limite Nord du massif, il existe un lambeau de Trias argilo-gypseux au sein du Sénonien.

- **Lias** : constitue l'ossature des calcaires exploités et présentent des facies variés.

Les roches carbonatées exploitées dans la carrière ont une épaisseur d'environ 80m, elles sont constituées d'une alternance de bans carbonatés d'abord épais (1 à 3 m) à rares intercalation marneuses, puis de plus faible épaisseur (50 cm), intercalés par des niveaux carbonates schistoux parfois tendres.

On y distingue des bans calcaires sombres gris bleuâtre à grains moyens et à pate fine, imprègnes par des fentes remplies par la calcite et alternant avec des calcaires très compacts.

A la base, il existe des bancs d'environ 1 à 2 m de dolomie. A l'extrême sommet de la carrière, c'est-à-dire au niveau du contact entre le massif et sa couverture, on constate l'existence d'une altération rougeâtre (Photo III.2).



**Photo III.2.** Vue panoramiques sur les roches carbonatées exploité dans la Carrière de Sidi Marouf.

- **Crétacé inférieur** : comporte en discordance sur le Jurassique ou sur le Trias, une série, on flanc nord du massif encaissant la carrière, constituée de calcaires marneux.
- **Crétacé supérieur** : le sénonien repose en discordance sur le massif d'El Feddous et les terrains triasiques avoisinants. Il est représenté essentiellement par d'épaisses marnes plus ou moins schisteuses.
- **Quaternaire** : il est représenté essentiellement par des éboulis.

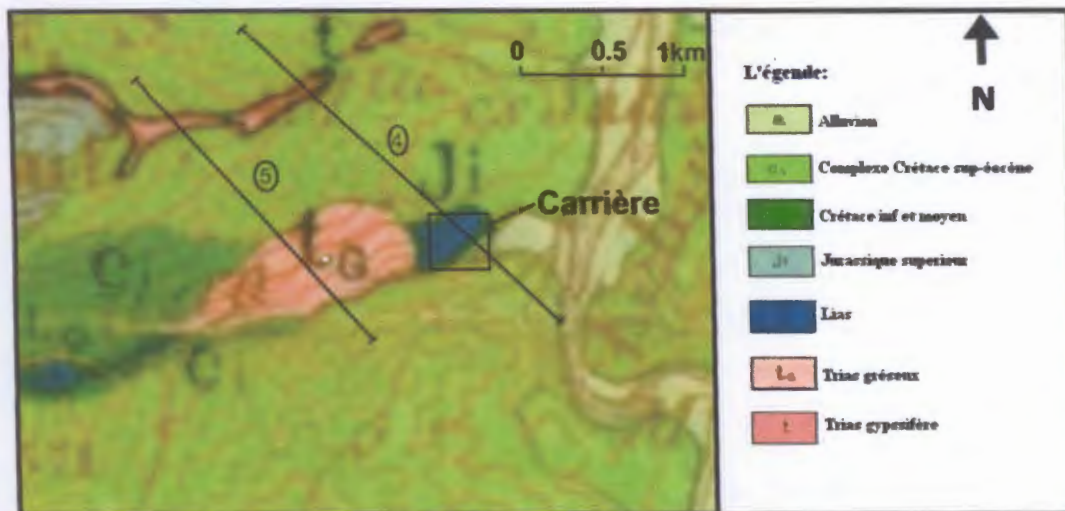


Figure. III.3. Carte des environs du massif d'El Feddous (Durand Delga 1955)  
4 : emplacement de la coupe (4), 5 : emplacement de la coupe (5).

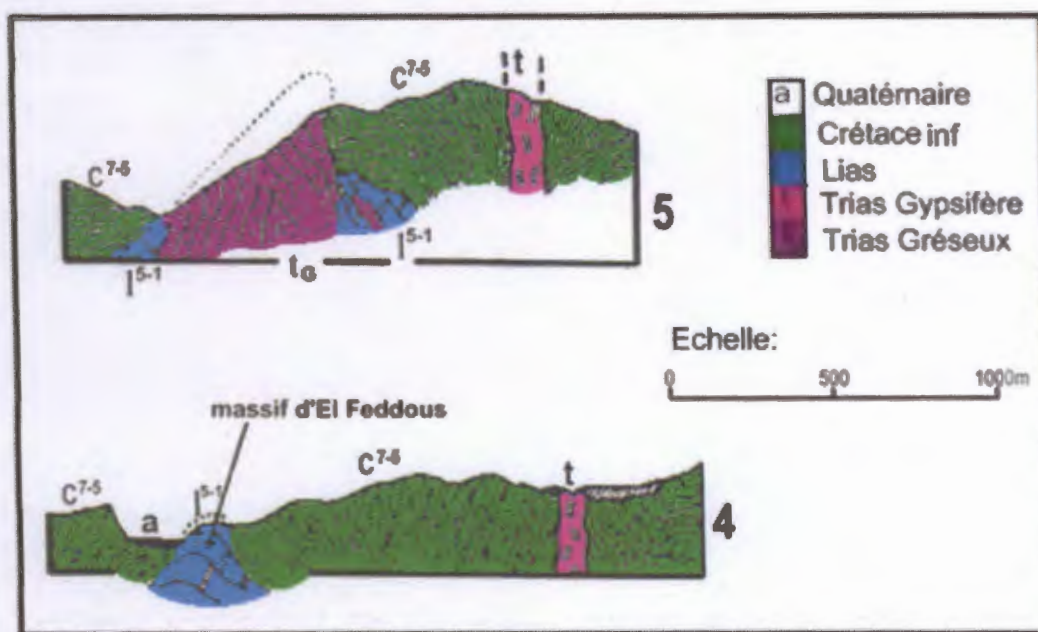
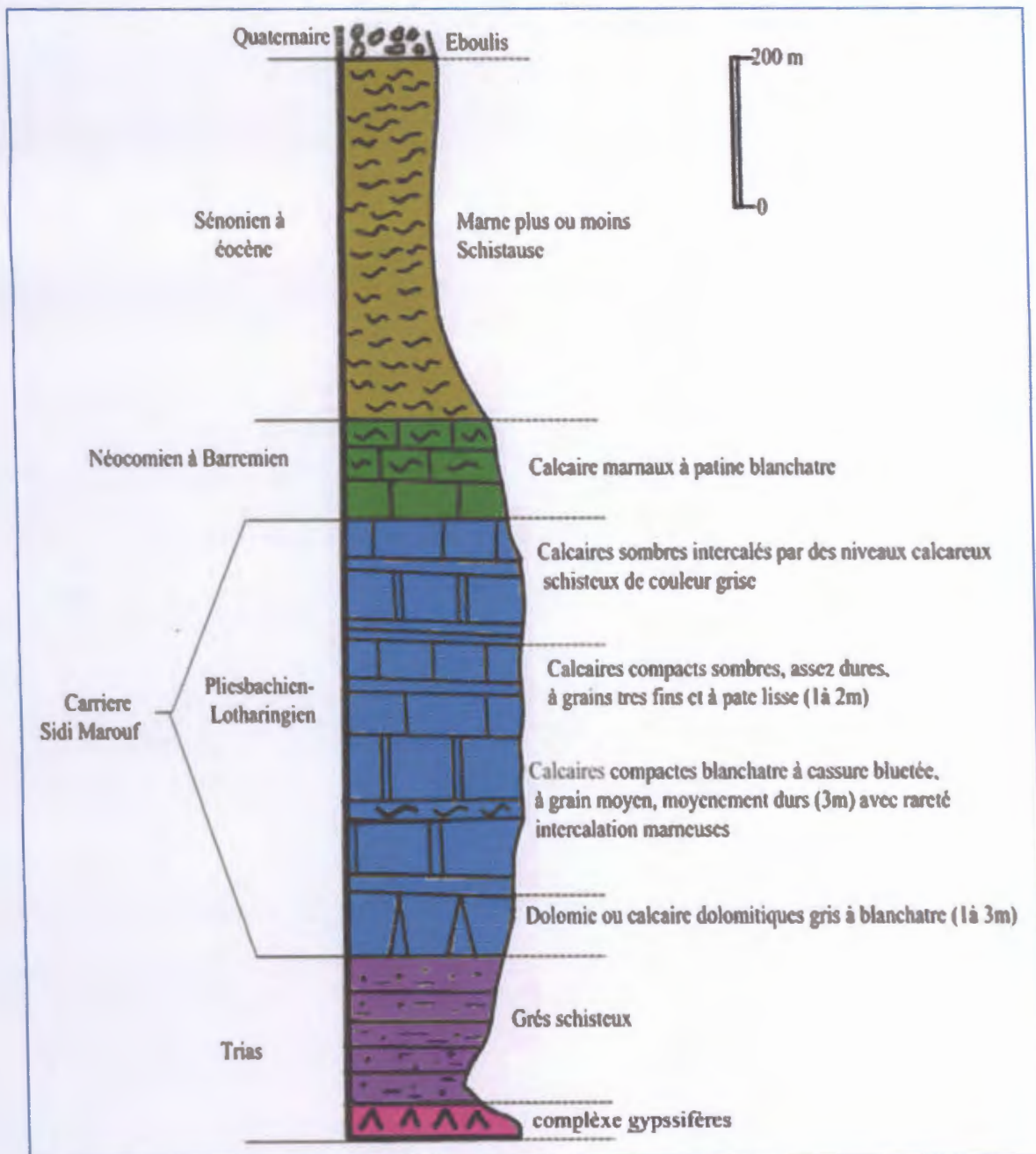


Figure. III.4. Coupes sériées passant par le massif d'El Feddous (4) et ses environs (5)  
(Durand Delga 1955).



**Figure. III.5.** Colonne lithostratigraphie synthétique des formations géologiques du massif d'El Feddous et de ses environs immédiats établie à partir des descriptions de (Boulabina, F. ; Hireche, S ; 2006) et à partir de celles de Durand Delga (1955).

### III.2.3. Pétrographie, minéralogie et chimie des roches liasiques exploitées

Les calcaires liasique de la carrière renferment trois faciès principaux, il s'agit de :

- Calcaire compact à cassure grisâtre, parfois bleutée et à grain fin moyennement dur.
- Calcaire compacts à cassure sombre (noirâtre).
- Calcaire schisteux de couleur grise.

Les calcaires compacts renferment quelques concrétions siliceuses aplaties, l'examen en lame mince prouve qu'il s'agit de phénomène de silicification affectant de calcaires oolitiques (Durant Delga 1955).

L'analyse chimique des calcaires liasique de la carrière ; d'après les données de la direction des mines (tableau.III.3) montre que les carbonates constituent 95% de la roche.

| Constituants                    | % en poids |
|---------------------------------|------------|
| Carbonates (CaCO <sub>3</sub> ) | 95         |
| Silice et silicates             | 3.57       |
| sulfates                        | traces     |
| Eau de composition              | 1.25       |
| Autres composés                 | 0.15       |

**Tableau. III.3.** Résultats des analyses chimiques des roches de la carrière de Sidi Marouf (DMI, 1999).

On note la présence de quelques espèces minérales susceptibles de nuire ou de dégrader les caractéristiques mécaniques des matériaux composites comme les bétons :

- Minéraux argileux provenant de la «découverte» ou des alternances de lits argilo-marneux avec les bancs calcaires ou dolomitiques.
- Les sulfates : gypse (CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O) est présent en très faible quantité, il provient des évaporites triasiques affleurant à proximité des roches exploitées.

# *Chapitre IV*

*Généralité sur les granulats  
et les chaussées*

d'épaisseur environ), par le terme Partie Supérieure des Terrassements (PST), et dont la surface constitue l'arase de terrassement ; et d'une couche de forme éventuelle.

Le sol ne peut seul supporter un trafic routier sans subir d'importantes déformations. C'est pourquoi il est surmonté d'un corps de chaussée dont le rôle principal est la répartition latérale des contraintes dues à des charges roulantes en surface afin de les amener à des niveaux compatibles avec les caractéristiques mécaniques du sol naturel.

| Classe | T5 | T4 | T3              |                 | T2              |                 | T1              |                 | T0              |                 | TS              |                 | TEX   |
|--------|----|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|        |    |    | T3 <sup>-</sup> | T3 <sup>+</sup> | T2 <sup>-</sup> | T2 <sup>+</sup> | T1 <sup>-</sup> | T1 <sup>+</sup> | T0 <sup>-</sup> | T0 <sup>+</sup> | TS <sup>-</sup> | TS <sup>+</sup> |       |
| MJA    | 0  | 25 | 50              | 85              | 150             | 200             | 300             | 500             | 750             | 1 200           | 2 000           | 3 000           | 5 000 |

**Tableau IV.1.** Classe de trafic selon le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée [Guide technique SETRA (1994)].

## IV.2. Définitions et présentation générale des granulats

La norme française (XP P 18-540) définit le granulat comme un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 80 mm, destiné notamment à la confection des mortiers et des bétons ainsi qu'à celle des couches de roulement, de base et de fondation des chaussées et aux voies ferrées.

Les granulats sont dits :

- Naturels lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique,
- Artificiels lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais (basalte, calcaire, grès, etc.),
- Recyclés lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

## IV.3. Classification et nomenclature

La norme française définit la classification des granulats d'après les dimensions de leurs grains exprimées en ouvertures de tamis à mailles carrées en millimètres.

Un granulat est dit :

- d/D s'il satisfait aux conditions suivantes :

Refus sur le tamis de maille D et tamisât au tamis de maille d, compris :

- entre 1 et 15 % si  $D > 1,58d$ ,
- entre 1 et 20 % si  $D = 1,58d$ .

Refus nul sur le tamis de maille  $1,58D$ , tamisât au tamis de maille  $0,63d < 3\%$ , (d) étant = 0,5mm.

- 0/D s'il satisfait aux conditions suivantes :



- refus sur le tamis de maille D compris entre 1 et 15 %,
- refus nul sur le tamis de maille 1,58D.

Il existe six classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes (d) et (D) des granulats rencontrés :

- les fillers 0/D avec  $D < 2$  mm et au moins 70 % de passant à 0,063 mm,
- les sablons 0/D avec  $D = 1$  mm, et moins de 70 % de passant à 0,063 mm,
- les sables 0/D avec  $1 < D \leq 6,3$  mm,
- les graves 0/D avec  $D > 6,3$  mm,
- les gravillons d/D avec  $d \geq 1$  mm et  $D \leq 125$  mm,
- les ballasts d/D avec  $d \geq 25$  mm et  $D \leq 50$  mm.

La norme française NF P 98-129 distingue deux types de Graves Non Traitées (GNT), selon leur mode d'élaboration :

- GNT type A obtenue en une seule fraction directement sur une installation de criblage et de concassage, permettant d'obtenir une compacité à l'OPM  $\geq 80$  %,
- GNT type B obtenue par mélange de deux (ou plusieurs) fractions granulométriques différentes. Elles sont malaxées et humidifiées en centrale, permettant d'obtenir une compacité à l'OPM  $\geq 80$  % pour la catégorie B1  $\geq 82$  % pour la catégorie B2. Ce type de GNT permet d'obtenir une meilleure qualité de mise en œuvre.

#### IV.4. Les fuseaux granulométriques

Le fuseau granulométrique est la zone délimitée par deux courbes granulométriques enveloppes (norme NF P98-129) ; On distingue :

- Le fuseau de spécification propre à la technique considérée, qui définit la zone dans laquelle doivent se situer les fuseaux de tolérance,
- Le fuseau de fabrication, qui contient 95 % des courbes granulométriques du matériau fabriqué. Un fuseau de fabrication est entièrement inclus dans le fuseau de régularité. Sa définition requière au moins 15 valeurs afin d'être suffisamment représentatif et est établi par le producteur de granulats,
- le fuseau de régularité, ou de tolérance, qui définit l'étendue de la zone dans laquelle doivent se situer 95 % des courbes obtenues au cours du contrôle.

#### IV.5. Les différentes approches pour l'étude des matériaux non liés

En fonction de l'échelle d'observation, il y a différentes approches qui peuvent être adoptées pour la détermination et l'étude des caractéristiques des matériaux de chaussées.

#### IV.5.1. L'approche physique (le grain)

L'observation pour cette approche se fait à l'échelle des granulats. On observe les caractéristiques géométriques et mécaniques des grains.

Les observations à relever à l'échelle granulaire afin de déterminer les caractéristiques de la grave non traitée sont les suivantes :

- Les caractéristiques liées à la géométrie globale des grains : la granularité, la taille des grains et leur forme, l'angularité et la rugosité,
- Les caractéristiques mécaniques des grains sont évaluées selon leurs duretés et leurs résistances. La dureté des granulats est un facteur à prendre en compte dans la classification des matériaux non liés des chaussées souples. En absence de liant, les granulats sont amenés à supporter plus d'efforts d'attrition et de fragmentation. La résistance à ce genre d'agression repose sur la nature minéralogique des granulats. Cette résistance est mesurée par l'essai Los Angles (LA) et par l'essai Micro-Deval (MDE).

#### IV.5.2. L'approche de l'ensemble

L'échelle de l'observation est celle d'un échantillon homogène dont les dimensions sont suffisamment supérieures au diamètre maximal des grains afin de pouvoir assimiler l'échantillon à un milieu continu. Grâce à cette approche, il est facile de simuler des sollicitations et de relever les réponses de l'échantillon. Cette approche est l'une des bases des méthodes de dimensionnement rationnel des chaussées. Parmi les essais utilisés, il y a l'essai CBR (Californien Baring Ratio) et l'essai triaxial à chargements répétés (TCR).

#### IV.5.3. L'approche globale

Pour cette approche, l'observation des phénomènes se fait à l'échelle des couches. Elle permet l'étude du comportement de l'ensemble d'une structure de chaussée en prenant en compte les conditions *in situ* non réalisables dans les deux premières approches. Dans le cas des chaussées souples, l'approche globale de l'étude du comportement mécanique des matériaux à l'échelle des couches est basée sur la mesure de la déformation verticale en surface de la chaussée. La méthode réglementaire consiste en une évaluation globale de l'état de la structure et du sol support à partir de la comparaison de la déflexion mesurée avec des seuils prédéfinis. L'approche globale s'appuie sur des essais réalisés sur l'ensemble chaussée-sol support, notamment l'essai de plaque statique et cyclique, la dynaplaque, le manège de fatigue et les chaussées instrumentées.

### IV.6. Caractéristiques géométriques des granulats routiers

Les matériaux constituant les différentes couches d'une chaussée peuvent être des matériaux concassés ou roulés. Cependant, afin de disposer d'un angle de frottement le plus fort possible, il est nécessaire d'exiger un indice de concassage d'autant plus élevé que le trafic est plus important et la charge légale à l'essieu plus lourde.

Les caractéristiques géométriques principales des granulats routiers sont : l'état de surface, l'angularité, la forme et la granularité.

### IV.6.1. Etat de surface des granulats

Dans le cas de grain de diamètre ( $\varnothing > 1$  mm), la rugosité dépend de la structure de la roche. Si le grain est monominéral ( $\varnothing < 1$ mm), la surface est généralement lisse.

En d'autre terme ; pour la premier cas, la rugosité dépend de la tailles des cristaux. Plus une roche a un « grain fin », plus sa cassure est lisse. Par contre, les roches à « gros grain » ont toujours des surfaces rugueuses.

L'état de surface des grains joue un rôle au niveau de la maniabilité des matériaux, de la stabilité des assises non traitées et de la microrugosité des couches de surface. Cependant, l'action du trafic tend à polir la surface des grains, mais il est admis qu'une bonne microrugosité assure généralement une bonne adhérence à faible vitesse.

### IV.6.2. Angularité des granulats

Elle joue un rôle important pour les gravillons de la couche de roulement, en améliorant l'adhérence, et pour ceux des assises de chaussées, dont elle améliore la stabilité. Pour un granulats concassé de roche massive, elle est égale à 100 %. Pour un granulats d'origine alluvionnaire, elle est définie par deux données :

- l'indice de concassage *IC*, proportion en poids d'éléments supérieurs à la dimension *D* du granulats élaboré,
- le rapport de concassage *RC*, rapport entre *d* du matériau soumis au concassage et *D* du granulats obtenu.

Pour les assises de chaussées, l'angularité favorise les propriétés mécaniques en augmentant l'angle de frottement interne, ce dernier augmente d'environ 12° dans un essai triaxial quand on passe des billes de verre entièrement roulées aux billes de verre concassées. Pour les couches de roulement, ce facteur favorise l'adhérence pneumatique, la rupture du film d'eau et le drainage.

La maniabilité et la compactibilité sont également liées à l'angularité; le déplacement relatif des grains et leur mise en place sont facilités lorsqu'ils sont arrondis.

### IV.6.3. La forme des granulats

Elle joue un rôle important à la fois pour les granulats de la couche de roulement, des gravillons plats ayant tendance à se coucher au moment du compactage, et pour les matériaux d'assise, des granulats plats ou allongés réduisant la compacité et la stabilité.

Elle a aussi une grande influence sur les caractéristiques mécaniques des matériaux (Los Angeles, Micro-Deval, fragmentation dynamique).

#### IV.6.4. La granularité des granulats

Elle caractérise la répartition du granulat en tranches dimensionnelles. La granularité a une importance primordiale car elle permet d'obtenir une compacité maximale et d'éviter la ségrégation au moment de la mise en œuvre. La détermination de la granularité des granulats se fait par l'essai d'analyse granulométrique.

### IV.7. Le Compactage des matériaux

#### IV.7.1. Définition

Compacter un matériau, c'est réduire le volume des vides de ce matériau et organiser la structure des grains de manière à obtenir un assemblage plus stable. Cette opération qui s'appelle le compactage peut être obtenue par des sollicitations statiques (compactage statique), dynamiques (compactage dynamique), ou par vibrations (compactage *in situ*).

#### IV.7.2. Rôle du compactage sur la durée de vie des ouvrages

Le compactage met le matériau dans un état suffisamment serré de telle sorte qu'un tassement ultérieur soit impossible ou peu important. Les mouvements relatifs sont réduits ou supprimés, diminuant ainsi l'attrition. En réduisant le volume des vides, le compactage augmente la densité apparente sèche et diminue la perméabilité qui est fonction de l'indice des vides.

Le compactage entraîne une élévation des caractéristiques mécaniques. En effet, le resserrement des grains augmente le nombre de contacts entre eux et par conséquent leur frottement. L'angle de frottement interne et la cohésion en sont accrus. Il y a également augmentation considérable du module de déformation.

#### IV.7.3. Les paramètres influents du compactage

##### ❖ La teneur en eau

L'influence de la teneur en eau et de l'énergie de compactage sur la densité sèche du matériau a été mise en évidence en 1933 par l'ingénieur américain Proctor.

En effet pour une énergie de compactage donnée, si l'on fait varier la teneur en eau  $w$  et l'on représente graphiquement la variation du poids volumique sec  $\gamma_d$  en fonction de cette teneur en eau, on obtient une courbe en cloche qui présente un maximum appelé Optimum Proctor séparant de gauche à droite la branche sèche et la branche humide.

Lorsque la teneur en eau est raisonnable, l'eau joue un rôle de lubrifiant et la densité sèche augmente avec la teneur en eau jusqu'à un maximum (branche sèche). Par contre lorsque la teneur en eau est élevée (branche humide), l'eau absorbe une partie importante de

❖ Le sol-support

Pour une même épaisseur de matériau, un support plus rigide conduit à des densités plus élevées. Les sollicitations développées par un rouleau vibrant sont considérablement influencées par les caractéristiques du sol-support.

IV.7.4. La compacité granulaire

- La compacité ou fraction volumique, notée «  $C$  », est définie comme le volume des particules sur le volume total du matériau granulaire. Elle est un des principaux paramètres pour caractériser la structure du matériau granulaire.

- La compacité du mélange est caractérisée par la teneur en vide. Il est habituellement considéré qu'une bonne compacité (faible teneur en vides) correspond à une bonne résistance aux déformations permanentes. Mais les études expérimentales de [Cross et Brown, 1992, Sousa, 1994] montrent qu'une teneur en vides inférieure à 2-3% entraîne une forte accélération des déformations permanentes.

L'orniérage se produit rapidement à faible teneur en vides car les composants granulaires sont saturés dans le liant et ce dernier agit comme un agent de lubrification, qui favorise des déformations plastiques du squelette granulaire, plutôt que comme un agent de cohésion.

D'un autre côté, une mauvaise compacité entraîne un post-compactage au début de la vie des structures routières et provoque également des déformations permanentes (). Il faut donc assurer une teneur en vides optimale, qui se situe entre 4% et 6%.

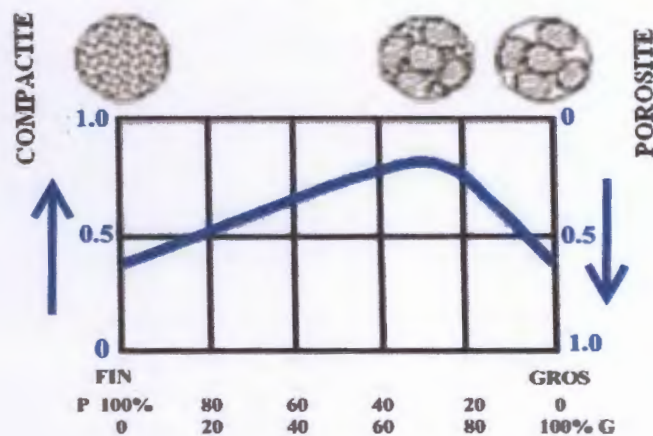


Figure. IV.2. Évolution de compacité avec l'indice des vides

IV.8. Principe de dimensionnement des structures de chaussées

Le dimensionnement d'une chaussée consiste à déterminer la nature ainsi que les épaisseurs des différentes couches du constituant. Il doit lui permettre également de préserver durant sa vie de service les qualités d'uni qui offrent aux usagers un niveau de service admissible.

Durant leur vie de service, les chaussées sont soumises à diverses sollicitations cycliques. En plus des actions mécaniques répétées dues au trafic, elles sont également soumises à des sollicitations hydriques, thermiques et chimiques. Vu la complexité des sollicitations, le dimensionnement est effectué actuellement avec des approches empiriques.

Le dimensionnement des chaussées neuves en France se fait selon les recommandations du Guide Technique de Conception et de Dimensionnement des Structures de Chaussées. Un pré dimensionnement est effectué en fonction de la durée de service visée, de la classe de trafic et de la classe de portance de la plate-forme support.

La grave non traitée est classée en trois catégories en fonction de la classe de trafic, de la propriété des granulats, de leur dureté, de leur indice de concassage et de leur teneur en fines. A chaque catégorie est attribué un module de Young variant entre 200 et 600 MPa. Le coefficient de Poisson est pris égal à 0.35 à défaut d'informations spécifiques.

Afin de prendre en compte le non linéarité du comportement des matériaux non liés, l'assise de la chaussée est supposée compactée en sous-couches ayant des modules de Young décroissants du haut vers le bas avec un rapport constant variant entre 2 et 3 selon la catégorie de la grave (Tableau IV.2).

| Valeur du module de Young pour la GNT<br>( Chaussée souple à faible trafic )   |  |           |   |   |   |   |   |     |   |
|--|--|-----------|---|---|---|---|---|-----|---|
| Chaussée à faible trafic ( T < T3 )  |  |           |   |   |   |   |   |     |   |
| Couche de base   | Catégorie 1 : $E_{GNT} = 600$ MPa<br>Catégorie 2 : $E_{GNT} = 400$ MPa<br>Catégorie 3 : $E_{GNT} = 200$ MPa  |           |   |   |   |   |   |     |   |
| Couche de fondation<br>( GNT subdivisée en sous-couches de 25 cm d'épaisseur ) | $E_{GNT} [1] = k E_{plate-forme\ support}$<br>$E_{GNT} [sous-couche\ i] = k E_{GNT} [sous-couche\ (i-1)]$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>catégorie</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>3</td> <td>2.5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> | catégorie | 1 | 2 | 3 | k | 3 | 2.5 | 2 |
| catégorie  | 1  | 2         | 3 |   |   |   |   |     |   |
| k  | 3  | 2.5       | 2 |   |   |   |   |     |   |

Tableau IV.2. Valeurs du module de Young pour la grave non traitée selon le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée [Guide technique SETRA (1994)].

#### IV.9. Les principales méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles des méthodes :

- les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées.
- Les méthodes dites « rationnelles » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

#### IV.9.1. Méthode de C.B.R

C'est une méthode semi-empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support.

Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie suivent la théorie de BOUSSINESQ ; soit inférieur a une contrainte limite qui est proportionnelle a l'indice C.B.R.

L'épaisseur est donnée par la formule suivant :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{p}}{I_{CBR} + 5}$$

Où :

-  $I_{CBR}$  : indice CBR

En tenant compte de l'influence du trafic, la formule est la suivant :

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p})(75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

Où :

N : désigne le nombre moyen de camion de plus 1500 kg à vide.

P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)

Log : logarithme décimal

Comme cette formule ne tient pas compte de l'importance du trafic (poids lourds), les abaques anglais sont entrés dans la formule de diverses intensités du trafic.

L'épaisseur totale à donner à la chaussée est :

$$e = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

$a_1 \times e_1$  : couche de roulement.

$a_2 \times e_2$  : couche de base.

$a_3 \times e_3$  : couche de fondation.

Ou :

a : coefficients d'équivalence

Le tableau (IV.3) indique les coefficients d'équivalence (a) pour chaque matériau.

| Matériaux utilisés                  | Coefficient d'équivalence |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Béton bitumineux ou enrobe dense    | 2.00                      |
| Grave ciment – grave laitier        | 1.50                      |
| Sable ciment                        | 1.00 à 1.20               |
| Grave concasse ou gravier           | 1.00                      |
| Grave roulée – grave sableuse T.V.O | 0.75                      |
| Sable                               | 0.50                      |
| Grave bitume                        | 1.60 à 1.70               |

Tableau IV.3. Les coefficients d'équivalence (a) pour chaque matériau.

**IV.9.2. Méthode du catalogue des structures**

Cette méthode découle du règlement algérien B60-B61 et elle consiste à déterminer la classe du trafic des poids lourds à la 20<sup>ème</sup> année et la classification du sol support. Une grille combinant les deux données oriente le projecteur sur le type de chaussée qui lui correspond.

➤ **Détermination de la classe du trafic**

Le trafic caractérisé par le nombre de poids lourds de charge utile supérieur à 50 KN par jour la voie la plus chargée.

| Classe de trafic | Trafic poids lourds cumule sur 20 ans |
|------------------|---------------------------------------|
| T <sub>1</sub>   | $T < 7.3 \times 10^5$                 |
| T <sub>2</sub>   | $3.7 \times 10^5 < T < 2 \times 10^6$ |
| T <sub>3</sub>   | $2 \times 10^6 < T < 7.3 \times 10^6$ |
| T <sub>4</sub>   | $7.3 \times 10^6 < T < 4 \times 10^7$ |
| T <sub>5</sub>   | $T > 4 \times 10^7$                   |

Tableau IV.4. Classements des trafics

On commence par la détermination du trafic de poids lourds cumulé sur 20 ans et classer dans l'une des classes définies précédemment.

Le trafic cumulé est donné par la formule :

$$T_c = T_{PL} \left[ 1 + \frac{(1 + \tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right] 365$$

T<sub>PL</sub> : trafic poids lourds par jour sur un seul sens à l'année de mise en service  
 n : durée de vie (n = 20 ans).



➤ **Détermination de la classe du sol**

Le sol doit être classée selon la valeur de CBR de densité Proctor modifiée maximal les différentes catégories sont données par le tableau indique les classe de sols :

| <i>Classe du sol</i> | <i>Indice C.B.R</i> |
|----------------------|---------------------|
| S <sub>1</sub>       | 25 – 40             |
| S <sub>2</sub>       | 10 – 25             |
| S <sub>3</sub>       | 5 – 10              |
| S <sub>4</sub>       | < 5                 |

**Tableau IV.5.** Classification des sols selon la valeur de CBR de densité Proctor modifié maximal.

**IV.9.3. Méthode L.C.P.C**

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O. elle basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression suivante :

$$T_{eq} = \frac{T_{GMA} \cdot a \cdot [(1 + \tau)^n - 1] \cdot 0.7 \cdot P \cdot 365}{[(1 + \tau) - 1]}$$

Où :

- T<sub>eq</sub>** : trafic équivalent par essieu de 13 tonnes
- T<sub>GMA</sub>** : trafic à l'année de mise de service de la route.
- a** : coefficient qui dépend du nombre de voies.
- τ** : Taux d'accroissement annuel.
- n** : durée de vie de la route.
- P** : pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente (en fonction de T<sub>eq</sub> et I<sub>CBR</sub>) à partir de l'abaque L.C.P.C.

# *Chapitre V*

*Identification et  
caractérisation des  
granulats*

## V. Identification et caractérisation des granulats

### V.1. Introduction

Les études relatives à l'identification des granulats concassés utilisés dans les assises de chaussées et l'évaluation de leur qualité se limitent dans un nombre très important d'essai. Pour cette raison, et celle du choix de deux carrières parmi celle existant dans la wilaya de Jijel, on a concentré notre étude sur les graves non traitées utilisées dans les assises (couche de fondation et couche de base), plus l'identification granulométrique des différentes classes produites dans les deux carrières.

### V.2. Méthodologie d'étude d'une grave non traitée (NF P 98-125)

#### V.2.1. Définitions

- **Mélange éprouvé** : grave non traitée ayant fait l'objet d'une étude de formulation antérieure suivant les spécifications de la norme P98-125. Il est caractérisé par la granularité de référence de la formule de base obtenue à l'aide de constituants définis.
- **Formule de base** : formule dont la granularité moyenne est prise comme granularité de référence pour l'exécution du chantier et pour laquelle sont également prescrites la teneur en eau et la masse volumique apparente de mise en œuvre.
- **Etude complète** : Etude dont l'objectif est de définir la formule de base d'une GNT.
- **Etude réduite** : partie de l'étude qui permet de vérifier les caractéristiques de composition d'un mélange éprouvé de GNT « A » ou « B ».

#### V.2.2. Principe

L'étude comporte pour toutes les GNT, la détermination de la formule de base. Les mélanges éprouvés ne nécessitent qu'une étude réduite alors que les autres mélanges doivent faire l'objet d'une étude complète. Le tableau (1 et 2) résume les différentes phases de l'étude de laboratoire.

|   |   | GNT type « A » |               |
|---|---|----------------|---------------|
|   |   | Etude complète | Etude réduite |
| 1   | Identification des granulats  | +              | +             |
| 2   | Conformité au fuseau de spécification                               | +              | +             |
| 3   | Caractéristique de compactage <sup>(1)</sup>                        |                |               |
|   | Essai Proctor modifié   | +              |               |
|   | Aptitude au compactage<br>Vérification de $\rho_{dopm}$ à $w_{opm}$ | +              | +             |
| (1) Pour $D \leq 31.5$ mm.<br>+ : obligatoire au sens de la norme NF P98-129. |   |                |               |

Tableau V.1. Organisation et contenu de l'étude de laboratoire d'une GNT type « A ».

|   |   | GNT type « B » |               |
|---|---|----------------|---------------|
|   |   | Etude complète | Etude réduite |
| 1   | Identification des granulats  | +              | +             |
| 2   | Formule de reconstitution<br>Détermination<br>Vérification de la granularité  | +              | +             |
| 3   | Caractéristique de compactage<br>Essai Proctor modifié<br>Aptitude au compactage<br>Vérification de $\rho_{d\text{opt}}$ à $w_{\text{opt}}$ | +              | +             |
| + : obligatoire au sens de la norme NF P98-129. |   |                |               |

**Tableau V.2.** Organisation et contenu de l'étude de laboratoire d'une GNT type « B ».

Pour les GNT de type « B », s'y ajoute, lorsqu'elle est souhaitée, la caractérisation du comportement mécanique du matériau à l'essai triaxial à chargements répétés (NF P 98-235-1).

### V.2.2.1. Etude complète

#### V.2.2.1.1. Préparation des matériaux

Les matériaux destinés à la réalisation des essais sont prélevés et préparés conformément à la norme NF P 98-230-3.

#### V.2.2.1.2. Identification des granulats

Les granulats sont identifiés par :

- Leur origine,
- Leur nature pétrographie,
- La masse volumique réelle des gravillons  $\rho_r$  (NF P18-554),
- Leur granularité (NF P18-560).
- Les caractéristiques prises en compte dans les normes P18-101 (XP P18-540) et NF P98-129 (tableau V.3).

Lorsque le sable est de nature et/ou d'origines différentes de celles des gravillons, cette identification est complétée par la détermination de la masse volumique réelle du sable,  $\rho_r$  (NF P18-555), et, le cas échéant, de la masse volumique,  $\rho_a$  des fines d'apport (NF P18-558).

|  |    |        |    |    |     |        |    |     |        |     |
|--|----|--------|----|----|-----|--------|----|-----|--------|-----|
| Catégories de résistance des gravillons  | F  | E      |    |    |     | D      |    |     | C      |     |
| Granularité et propreté des gravillons   | IV | IV     |    |    |     | III    |    |     | III    |     |
| Granularité et propreté des graves et des sables(*)  | b  | b ou c |    |    |     | b ou c |    |     | a ou b |     |
| Angularité des gravillons et des sables(*) : Ic (Ic = indice de concassage en pourcentage) |    | 0      | 30 | 60 | 100 | 30     | 60 | 100 | 60     | 100 |
| (*) selon l'usage.   |    |        |    |    |     |        |    |     |        |     |

Tableau V.3. Classement des GNT selon les caractéristiques des granulats (NF P98-129).

### V.2.2.1.3. Granularité et formule de recomposition

Le fuseau de régularité des GNT de type « A » doit être situé à l'intérieur de l'un des fuseaux spécification de la norme NF P98-129.

Les proportions des différentes fractions granulométriques des GNT de type « B » (gravillons, sables, fines éventuellement) sont déterminées de façon à ce que le fuseau granulométrique obtenu par reconstitution à partir du fuseau de régularité des granulats soit à l'intérieur de l'un des fuseaux de spécification de la norme NF P 98-129.

### V.2.2.1.4. Détermination des caractéristiques de compactage

#### a) Objectifs de compacité

Une GNT de type A de  $D \leq 31.5$  mm doit avoir une compacité  $C_{opm}$  (essai Proctor modifié, NF P 98-231-1) supérieur ou égale à 80% (NF P98-125). La compacité  $C_{opm}$  des GNT de type « B », pour la granularité de référence, doit être supérieure ou égale à 80% (exigence de compacité B1) ou 82% (exigence de compacité B2).

La compacité optimale d'un grave,  $C_{opm}$ , correspondante à  $\rho_{dopm}$ , est déterminée par la relation :

$$C_{opm} = 100 \cdot (\rho_{dopm} / \rho_r)$$

Lorsque les sables et les fines ne sont pas de même origine ou de même provenance que les gravillons, la valeur de la masse volumique réelle de la GNT,  $\rho_r$ , est déterminée à partir des masses volumiques réelles (ou absolue, pour les fines) des différents constituants, au prorata de la formule de recomposition.

#### b) Masse volumique apparente de référence ( $\rho_{d REF}$ )

Elle est déterminée par référence à l'essai Proctor modifié (NF P 98-231-1). La masse volumique apparente de référence,  $\rho_{d REF}$ , retenue pour l'exécution du chantier est comprise dans l'intervalle :

$$97\% \cdot \rho_{dopm} < \rho_{d REF} < 100\% \cdot \rho_{dopm}$$

**c) Teneur en eau de référence ( $W_{REF}$ )**

Elle est déterminée par référence à l'essai Proctor modifié (NF P 98-231-1). La valeur  $W_{REF}$  retenue pour l'exécution du chantier est comprise dans l'intervalle :

$$W_{opm} - 1 < W_{REF} < W_{opm} + 0.5$$

**d) Aptitude au compactage**

Si cette vérification s'avère nécessaire, l'aptitude au compactage est déterminée selon la norme NF P98-231-2 ou selon la norme NF P98-231-3.

**e) Tenue au gel**

Dans le cas où GNT mises en œuvre risquent de subir le gel, ces matériaux doivent être soumis à l'essai de gonflement au gel (NF P98-234-2). L'essai est pratiqué sur le matériau compacté à la masse volumique apparente et à la teneur en eau fixées par la norme NF P98-234-2.

**V.2.2.2. Etude réduite d'une GNT**

L'étude réduite comprend :

- l'identification des granulats,
- la vérification de la granularité,
- la vérification des caractéristiques de compactage.

**V.2.2.2.1. Identification des granulats**

Même procédure que celle d'étude complète.

**V.2.2.2.2. Vérification de la granularité**

Pour les GNT de types « A » et « B » (conformes aux spécifications du paragraphe V.2.2.1.3), les écarts entre la courbe granulométrique moyenne du mélange éprouvé et celle du nouveau matériau devront être inférieurs ou égaux aux valeurs indiquées au tableau (V.4).

| Tamis   | Ecart (%)      |                |
|---------|----------------|----------------|
|         | GNT type « A » | GNT type « B » |
| D       | ±4             | ±2             |
| 4 mm    | ±4             | ±2             |
| 0.08 mm | ±2             | ±1             |

**Tableau V.4. Valeur maximale des écarts.**

### V.2.2.2.3. Vérification des caractéristiques de compactage

Si le nouveau matériau est bien identifié comme identique au mélange éprouvé et si la vérification de la granularité (voir tableau 3) est positive, seule la masse volumique apparente de l'essai Proctor modifié est vérifiée à la teneur en eau  $W_{opm}$  du mélange éprouvé.

La compacité,  $C_{opm}$ , obtenue sur le nouveau matériau ne doit pas différer de  $\pm 2\%$  de la compacité,  $C_{opm}$  du mélange éprouvé.

Concernant les GNT produites au niveau des deux carrières elles sont de type « A », mélange éprouvé qui nécessite une étude complète :

- Identification des granulats,
- Conforme au fuseau de spécification,
- Essai de contrôle de qualité,
- Aptitude au compactage.

## V.3. Propriétés géométriques

Les propriétés géométriques (caractéristiques dimensionnelles et morphologiques) sont données notamment par, l'analyse granulométrique et le coefficient d'aplatissement.

Ces propriétés jouent un rôle très important lors la mise en œuvre du granulat, surtout dans les domaines de la réalisation des routes.

### V.3.1. Analyse granulométriques

On appelle analyse granulométrique l'opération permettant de déterminer :

- La granulométrie : c'est-à-dire la détermination de la grosseur des grains et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons,
- La granularité : c'est-à-dire la répartition dimensionnelle des grains dans un granulat.

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures à l'aide de tamis à maille carrée. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de graphique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe appelée courbe d'analyse granulométrique est tracée de manière continue. Le mode opératoire est exprimé dans l'annexe et la norme française NF P.18-560 (annexe AI).

Les résultats des analyses granulométriques sont utilisées à deux fins pour :

- Assurer que les matériaux se situent bien à l'intérieur du fuseau de spécifications,
- Détecter les variations de granulométrie assez importantes pour justifier des ajustements.

A partir de ces courbes, il y a des paramètres qui on a calculés :

#### V.3.1.1. Module de finesses [NFP18-540]

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 des sommes de refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16-0,135-0,63-1,25-2,5-5 mm.

$$MF = 1/100 \sum \text{refus cumulés en \% des tamis de } \{23, 26, 29, 32, 35, 38\}$$

$$MF = 1/100 \sum \text{refus cumulés en \% des tamis de } \{0,16-0,135-0,63-1,25-2,5-5\}$$

#### V.3.1.2. Coefficient de Hazen (d'uniformité) et courbure

- Coefficient d'uniformité ou de Hazen :  $Cu = D_{60}/D_{10}$

- Coefficient de courbure :  $Cc = (D_{30})^2 / D_{60} \cdot D_{10}$

Avec :  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  représentent respectivement les diamètres des éléments correspondants à 10%, 30%, 60% de tamisât cumulé.

-pour  $Cu < 2$  la granulométrie est dite uniforme ou serrée,

-pour  $Cu > 2$  la granulométrie est dite étalée,

-Pour  $1 < Cc < 3$  la granulométrie est dite régulière.

#### V.3.2. La granulométrie des graves

Les analyses granulométriques des granulats ont été réalisées par voie sèche conformément à la norme NF P.18-560 sur la classe granulaire 0/20 (GNT) des carrières de Sidi Marouf et d'El Milia.

##### V.3.2.1. La grave de Sidi Marouf

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le grave non traité 0/20 (tableau V.5), a permis de tracer la courbe granulométrique (Figure V.1). A partir de cette dernière on a calculés les différents paramètres (tableau V.6).

D'après le coefficient d'uniformité  $Cu=7.89$ , on constate que la valeur obtenue et supérieure à 2 indiquent une granulométrie étalée, et régulière ( $Cc=0.87$ ).



| Tamis (mm)                       | Masse des refus cumulé (gr) | Pourcentage refus cumulés (%) | Pourcentage tamisât cumulés (%) |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 31.5                             | 0                           | 0                             | 100                             |
| 20                               | 494.6                       | 8.39                          | 91.61                           |
| 16                               | 936.9                       | 15.89                         | 84.11                           |
| 10                               | 1893.2                      | 32.11                         | 68.89                           |
| 8                                | 2275.3                      | 38.6                          | 61.4                            |
| 6.3                              | 2710.3                      | 45.98                         | 54.02                           |
| 4                                | 3587.4                      | 60.86                         | 39.14                           |
| 2                                | 4354.9                      | 73.88                         | 26.12                           |
| 1                                | 4981.8                      | 84.51                         | 15.49                           |
| 0.5                              | 5384.9                      | 91.35                         | 8.65                            |
| 0.25                             | 5619.3                      | 95.33                         | 4.67                            |
| 0.2                              | 5723.1                      | 97.09                         | 2.91                            |
| 0.125                            | 5825.8                      | 98.83                         | 1.17                            |
| 0.08                             | 5877.9                      | 99.72                         | 0.28                            |
| Rn                               | 5894.3                      | 100                           | 0                               |
| Passant au dernier tamis utilisé | 16.4                        |                               |                                 |
| % de pertes                      | 0.01 <2%                    |                               |                                 |
| Cu                               | 7.89                        |                               |                                 |
| Cc                               | 0.87                        |                               |                                 |

Tableau V.5. Résultats de l'analyse granulométrique de GNT de la carrière de Sidi Marouf.

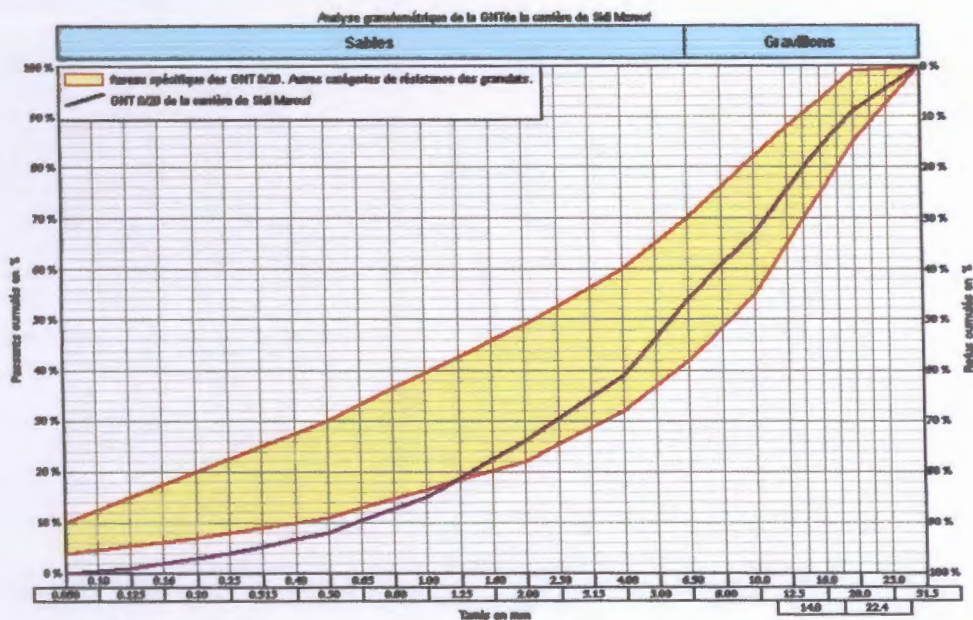


Figure V.1. Courbe granulométrique de la GNT (0/20) de la carrière de Sidi Marouf dans le fuseau de spécification 0/20 mm.

Les valeurs des différents paramètres concernant cette classe granulaire (tamis à 1.58D, refus à D) sont conformes partiellement aux spécifications et tolérances (XP P18-540) relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières (Tableau V.6).

| Catégorie                   | Passants % à |        |                     |                      |         |
|-----------------------------|--------------|--------|---------------------|----------------------|---------|
|                             | 2 D          | 1,58 D | D                   | Tamis Intermédiaires | 0,08 mm |
| a                           | Vsi 100      | Vsi 99 | Li 85 Ls 99<br>e 10 | e 15                 | e 6     |
| b                           |              |        |                     |                      |         |
| c                           |              |        | Li 80 Ls 99<br>e 15 | e 20                 | e 6     |
| Grave de Sidi Marouf (0/20) | 100%         | 100%   | 91.61%              | 68.89%               | 0.28%   |

**Tableau V.6.**Récapitulatif comparant les grave0/20 de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation et de base) préconisées par XF P18-540.

On note qu'à partir du tamis 1.25 mm (Figure V.1), une diminution des éléments fins (la courbe à l'extérieur du fuseau), donc la GNT ne répond que partiellement aux spécifications et nécessite de corrections.

### V.3.2.2. La grave d'El Milia

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le grave non traité 0/20 (tableau V.7), a permis de tracer la courbe granulométrique (Figure V.2). A partir de cette dernière on a calculés les différents paramètres (tableau. V.8).

D'après le coefficient d'uniformité  $C_u=12.22$ , on constate que la valeur obtenue et supérieure à 2 indiquent une granulométrie étalée, et une granularité étalée et régulière ( $C_c=1.61$ ).

Les valeurs des différents paramètres concernant cette classe granulaire (tamis à 1.58D, refus à D) sont conformes aux spécifications et tolérances (XP P18-540) relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières (tableau. V.8).

| Tamis (mm)                       | Masse des refus cumulé (gr) | Pourcentage refus cumulé (%) | Pourcentage tamisât cumulé (%) |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 31.5                             | 0                           | 0                            | 100                            |
| 20                               | 488.8                       | 8.39                         | 91.61                          |
| 16                               | 818.3                       | 14.04                        | 85.96                          |
| 10                               | 1386.6                      | 23.80                        | 76.2                           |
| 8                                | 1624.2                      | 27.88                        | 72.12                          |
| 6.3                              | 2034.1                      | 34.92                        | 65.08                          |
| 4                                | 3450.0                      | 59.22                        | 40.78                          |
| 2                                | 4094.2                      | 70.28                        | 29.72                          |
| 1                                | 4712.6                      | 80.90                        | 19.1                           |
| 0.5                              | 5193.4                      | 89.14                        | 10.86                          |
| 0.25                             | 5489.1                      | 94.23                        | 5.77                           |
| 0.2                              | 5573.4                      | 95.68                        | 4.32                           |
| 0.125                            | 5707.6                      | 97.98                        | 2.02                           |
| 0.08                             | 5788.1                      | 99.36                        | 0.64                           |
| Rn                               | 5825.0                      | 100                          | 0                              |
| Passant au dernier tamis utilisé | 36.9                        |                              |                                |
| % de pertes                      | 0.00                        |                              |                                |
| Cu                               | 12.22                       |                              |                                |
| Cc                               | 1.61                        |                              |                                |

Tableau V.7. Résultats de l'analyse granulométrique de la GNT de la carrière d'El Milia.

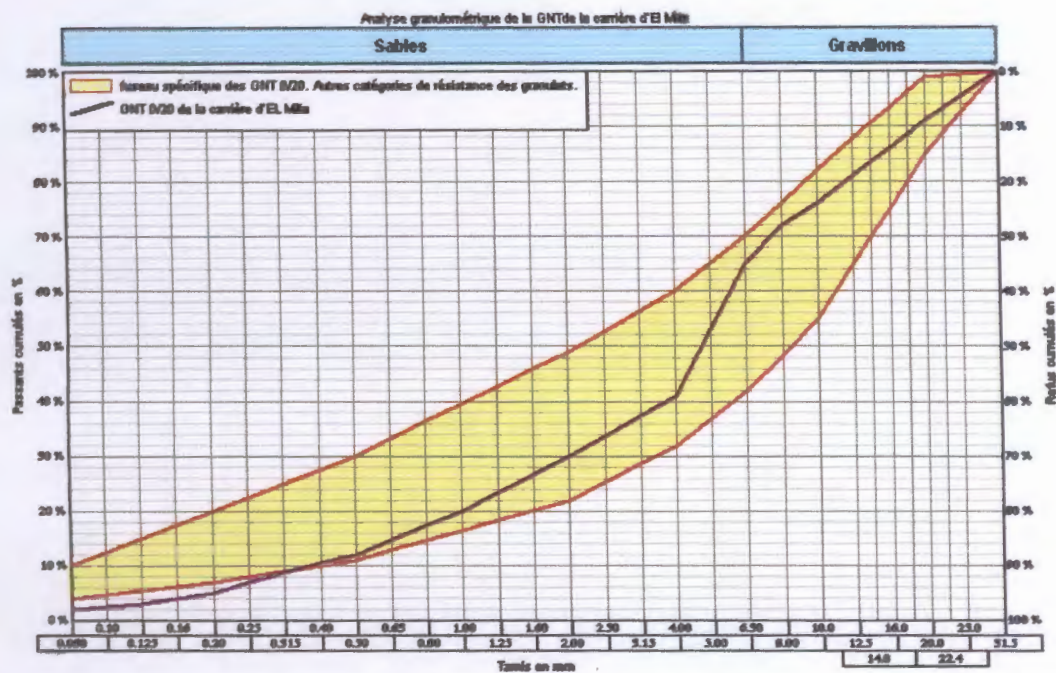


Figure V.2. Courbe granulométrique de la fraction 0/20 mm de la carrière d'El Milia dans le fuseau de spécification 0/20 mm.

On note qu'à partir du tamis 0.315 mm (Figure V.2), une diminution des éléments fins (la courbe à l'extérieur du fuseau), donc la GNT ne répondent que partiellement aux spécifications et nécessite de corrections.

| Catégorie               | Passants % à |        |             |                      |         |
|-------------------------|--------------|--------|-------------|----------------------|---------|
|                         | 2 D          | 1,58 D | D           | Tamis Intermédiaires | 0,08 mm |
| a                       | Vsi 100      | Vsi 99 | Li 85 Ls 99 | e 15                 | e 6     |
| b                       |              |        | e 10        |                      |         |
| c                       |              |        | Li 80 Ls 99 | e 20                 | e 6     |
| Grave d'El Milia (0/20) | 100%         | 100%   | 91.61%      | 76.2%                | 0.64%   |

Tableau V.8. Récapitulatif comparant la grave 0/20 de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.

### V.3.3. Granulométrie des sables et des gravillons

L'objectif est de voir si ces sables et ces gravillons peuvent être utilisés dans les couches de surface des chaussées et de faire une formulation par une GNT type (B).

Les analyses granulométriques des granulats faisant l'objet de ce mémoire ont été réalisées au laboratoire de génie géologique de l'université de Jijel, par voie sèche conformément à la norme NF P.18-560 sur les classes granulaires (0/3, 3/8, 8/15 et 15/25) des carrières de Sidi Marouf et d'El Milia. Les résultats sont comparés par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par la norme XP P 18-540.

#### V.3.3.1. Carrière de Sidi Marouf

D'après les résultats de l'analyse granulométrique sur les classes granulaires, ont permis de tracer les courbes granulométriques (figure V.3). A partir de ces dernières on a calculés les différents paramètres qui sont récapitulés dans les tableaux (V.9, V.10 et V.11).

| classe | Coefficient     | Observation                                  |
|--------|-----------------|--|
| 0/3    | CU=15<br>CC=0.6 | granulométrie est dite étalée et régulière   |
| 3/8    | CU=2.73<br>CC=1 | granulométrie est dite étalée et régulière   |
| 8/15   | CU=1.56<br>CC=1 | granulométrie est dite uniforme et régulière |

Tableau V.9. Tableau récapitulatif les résultats des Cu et Cc des granulats de la carrière de Sidi Marouf

| Catégorie                  | Passants % à |        |                     |                      |         |
|----------------------------|--------------|--------|---------------------|----------------------|---------|
|                            | 2 D          | 1,58 D | D                   | Tamis Intermédiaires | 0,08 mm |
| a                          | Vsi 100      | Vsi 99 | Li 85 Ls 99<br>e 10 | e 15                 | e 6     |
| b                          |              |        | Li 80 Ls 99<br>e 15 | e 20                 | e 6     |
| c                          |              |        |                     |                      |         |
| Sable de Sidi Marouf (0/3) | 100          | 100    | 67.63               | 45.84                | 0.66    |

Tableau V.10. Récapitulatif comparant le sable 0/3 de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.

| Catégorie               |      | Passants (%) à |        |                     |                     |                    |        |
|-------------------------|------|----------------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|--------|
|                         |      | 2 D            | 1,58 D | D                   | (d+D)/2             | d                  | 0,63 d |
| Couche de roulement     | I    | Vsi 100        | Vsi 99 | Li 85 Ls 99<br>e 10 | Li 30 Ls 70<br>e 25 | Li 1 Ls 15<br>e 10 | Vss 5  |
|                         | II   |                |        | Li 80 Ls 99<br>e 15 | Li 25 Ls 75<br>e 35 | Li 1 Ls 20<br>e 15 |        |
| Assises de chaussées    | III  |                |        |                     |                     |                    |        |
|                         | IV   |                |        |                     |                     |                    |        |
| Carrière de Sidi Marouf | 3/8  | 100            | 100    | 93.15               | 58.44               | 27.82              | 8.71   |
|                         | 8/15 | 100            | 100    | 95.05               | 56.77               | 7.71               | 2.18   |

Tableau V.11. Récapitulatif comparant les classes granulaires (3/8,8/15) de la carrière de Sidi Marouf aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, préconisées norme XP P 18-540.

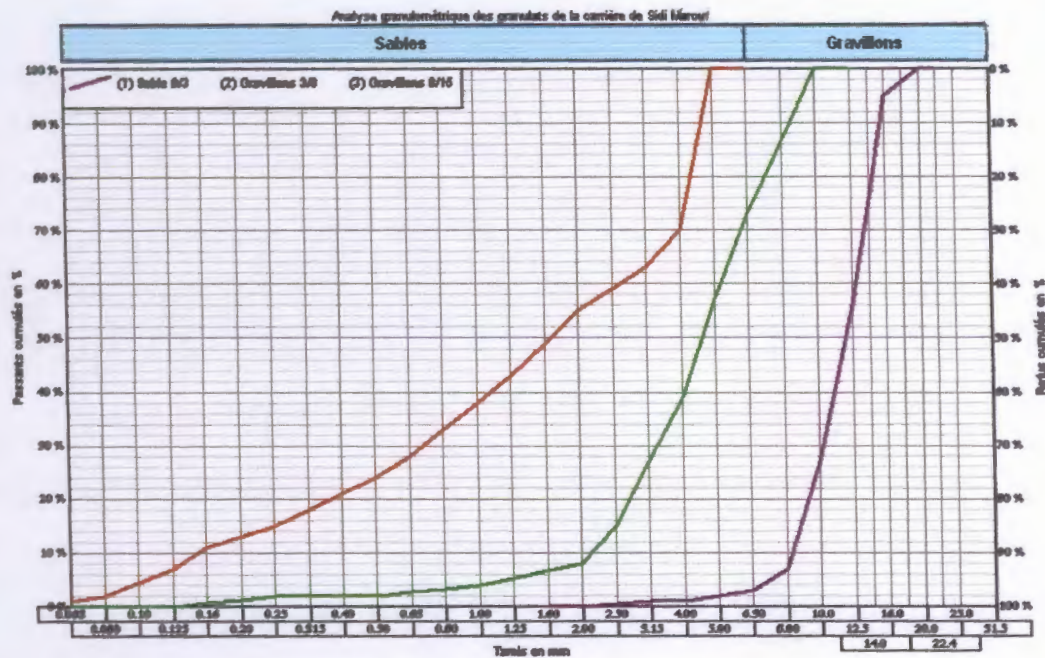


Figure V.3. Courbes granulométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15) de la Carrière de Sidi Marouf.

La comparaison des propriétés géométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15) de la Carrière de Sidi Marouf, avec les spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, imposées par la norme XP P 18-540 (tableau V.9, 10 et V.11), montre qu'ils répondent partiellement à ces spécifications qui exigent :

- Les Passants à D (3 mm)  $\geq 80 \%$ , dans la classe 0/3, il est égal à 67.63 %,
- Les Passants à d (3mm)  $\leq 20 \%$ , dans la classe 3/8, il est égal à 27.82%,
- Les Passants à 0.63d (3mm)  $\leq 5 \%$ , dans la classe 3/8, il est égal à 8.71%.

**V.3.3.2. Carrière d'El Milia**

Les résultats de l'analyse granulométrique sur les classes granulaires (0/3,3/8,8/15,15/25), ont permis de tracer les courbes granulométriques (figure V.4). A partir de ces dernières on a calculés les différents paramètres, qui sont récapitulés dans les tableaux (V.13 et V.14).

| classe | coefficient        | Observation                                  |
|--------|--------------------|--|
| 0/3    | CU=9.16<br>CC=1.6  | granulométrie est dite étalée et régulière   |
| 3/8    | CU=2<br>CC=1.48    | granulométrie est dite uniforme et régulière |
| 8/15   | CU=1.39<br>CC=1.01 | granulométrie est dite uniforme et régulière |
| 15/25  | CU=1.33<br>CC=1.08 | granulométrie est dite uniforme et régulière |

**Tableau V.12.** Tableau récapitulatif des résultats des Cu et Cc des granulats de la carrière d'El Milia

| Catégorie              | Passants % à |        |                     |                      |         |
|------------------------|--------------|--------|---------------------|----------------------|---------|
|                        | 2 D          | 1,58 D | D                   | Tamis Intermédiaires | 0,08 mm |
| a                      | Vsi 100      | Vsi 99 | Li 85 Ls 99<br>e 10 | e 15                 | e 6     |
| b                      |              |        | Li 80 Ls 99<br>e 15 | e 20                 | e 6     |
| c                      |              |        |                     |                      |         |
| Sable d'El Milia (0/3) | 100          | 100    | 89.00               | 65.78                | 6.2     |

**Tableau V.13.** Récapitulatif comparant le sable 0/3 de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés pour chaussées (couches de fondation, de base) préconisées par XF P18-540.

| Catégorie            |       | Passants (%) à |        |       |         |       |        |
|----------------------|-------|----------------|--------|-------|---------|-------|--------|
|                      |       | 2 D            | 1,58 D | D     | (d+D)/2 | d     | 0,63 d |
| Couche de roulement  | I     | Vsi 100        | Vsi 99 | Li 85 | Li 30   | Li 1  | Vss 5  |
|                      | II    |                |        | Ls 99 | Ls 70   | Ls 15 |        |
| Assises de chaussées | III   |                |        | e 10  | e 25    | e 10  |        |
|                      | IV    |                |        | Li 80 | Li 25   | Li 1  |        |
| Carrière d'El Milia  | 3/8   | 100            | 100    | 98.39 | 54.14   | 12    | 7.57   |
|                      | 8/15  | 100            | 100    | 97.5  | 61.88   | 21.5  | 1.26   |
|                      | 15/25 | 100            | 100    | 98.92 | 63.28   | 13.94 | 0.06   |

Tableau V.14. Récapitulatif comparant les classes granulaires (3/8,8/15,15/25) de la carrière d'El Milia aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, préconisées norme XP P 18-540.

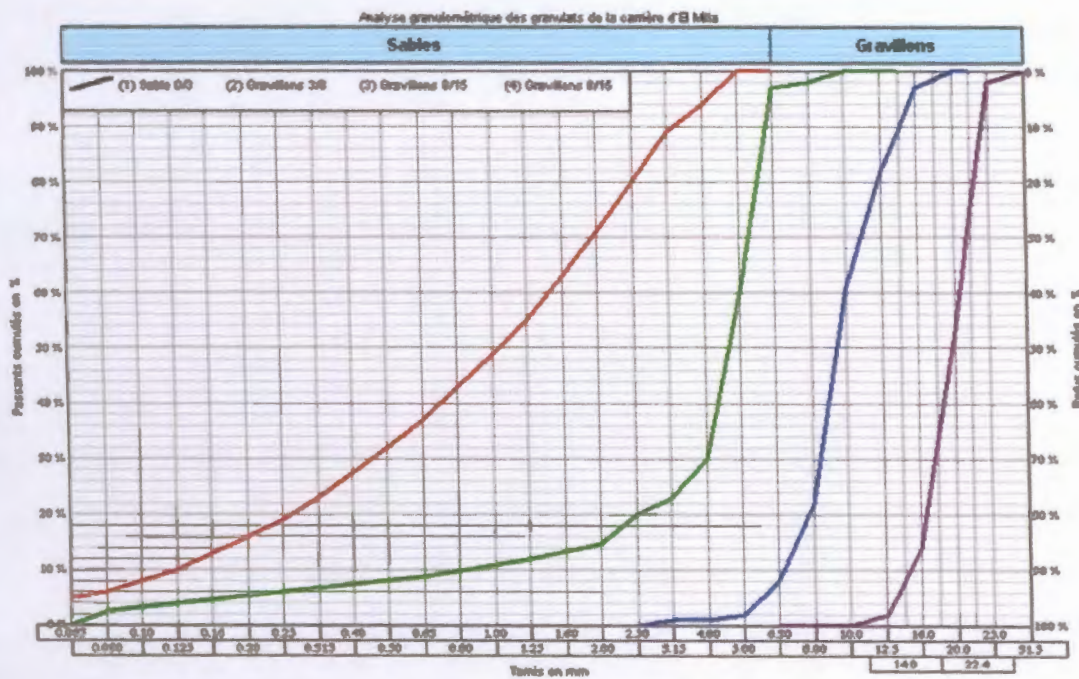


Figure V.4. Courbe granulométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15,15/25) de la Carrière d'El Milia.

La comparaison des propriétés géométriques des classes granulaires (0/3,3/8,8/15,15/25) de la Carrière d'El Milia, avec les spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières, imposées par la norme XP P 18-540 (Tableau V.13 et 14), montre qu'ils répondent partiellement à ces spécifications qui exigent :

- Les passants à d (8mm)  $\leq$  20 %, dans la classe 8 / 15, il est égal à 21,5 %,
- Les passants à 0.63 d (1,89mm)  $\leq$  5 %, dans la classe 3 / 8, il est égal à 7,57 %.

### V.4. Propriétés physiques

Les principales propriétés physiques mesurées sont :

- la masse volumique,
- la propreté des granulats : a été approchée par l'équivalent de sable.

#### V.4.1. La masse volumique des granulats

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps, exprimée en  $t/m^3$ ,  $Kg/dm^3$ ,  $gr/cm^3$ . De même que l'on distingue le volume apparent et le volume absolu, on distingue ;

-La **masse volumique absolu** ( $\rho_{abs}$ ) : qui est la masse d'un mètre cube d'un matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.



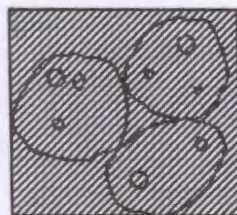
Volume hachuré = volume absolu (sans pores)

-la **masse volumique réelle** ( $\rho_{réel}$ ) : qui est la masse d'un mètre cube d'un matériau, déduction faite des vides entre particules .la déduction ne concerne pas les vides compris dans le matériau mais seulement ceux entre les particules.



Volume hachuré = volume réelle (apparente)

-la **masse volumique apparente** ( $\rho_{app}$ ) : qui est la masse d'un mètre cube d'un matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules .la masse volumique apparente d'un matériau pourra voir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminé à partir d'un matériau compacté ou non compacté.



Volume hachuré = volume du récipient

Dans le cadre de ce mémoire, on a fait un essai pour la détermination de la masse volumique réelle ( $\rho_{réel}$ ), la masse volumique imbibée, le coefficient d'absorption d'eau et la teneur en eau ; sur le GNT 0/20 (des carrières Sidi Marouf et d'El Milia) dans laboratoire de génie géologie.



L'essai a été réalisé sur une masse de l'échantillon supérieur à 0.2 D kg pour la fraction 0/20 mm, conformément à la norme française NF P.18-554 (annexe A.II).

La masse volumique réelle est définie par la relation :

$$\rho_r = M_s / (M_a - M'a)$$

Avec :

$\rho_r$  : la masse volumique réelle.

$M_s$  : la masse sèche de l'échantillon.

$M_a$  : la masse de l'échantillon imbibé dans l'air.

$M'a$  : la masse de l'échantillon imbibé dans l'eau.

La masse volumique réelle imbibée  $\rho_{ri}$  ( $T/M^3$ ) est définie par :

$$\rho_{ri} = M_a / (M_a - M'a)$$

Le coefficient d'absorption  $A_b$ (%) est définie par :

$$A_b = 100(M_a - M_s) / M_s$$

La teneur en eau  $w$ (%) est définie par :

$$w = 100 (M - M's) / M_s$$

$M's$  : la masse de l'échantillon avant le lavage.

La masse volumique absolue  $\rho_{abs}$ ( $T/M^3$ ) est définie par :

$$\rho_{abs} = M_s / V_t$$

Les résultats de l'essai sont indiqués dans le tableau suivant :

| Mesures                                       | GNT de la carrière de Sidi Marouf | GNT de la carrière de d'El Milia |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| $M_0$ (gr)                                    | 4000                              | 4000                             |
| $M's$ (gr)                                    | 3924,5                            | 3872,8                           |
| $M_s$ (gr)                                    | 2301,2                            | 2168,5                           |
| $M_a$ (gr)                                    | 2323,1                            | 2205,4                           |
| $M'a$ (gr)                                    | 1414,6                            | 1280,5                           |
| <b>Résultats</b>                              |                                   |                                  |
| La masse volumique réelle ( $T/M^3$ )         | 2.53                              | 2.34                             |
| La masse volumique réelle imbibée ( $T/M^3$ ) | 2.55                              | 2.38                             |
| Le coefficient d'absorption d'eau (%)         | 0.95                              | 1.70                             |
| La teneur en eau (%)                          | 1.92                              | 3.28                             |
| La masse volumique absolue ( $T/M^3$ )        | 2.53                              | 2.50                             |

Tableau V.15. Résultats des propriétés physiques des granulats de la carrière de Sidi Marouf et d'El Milia.

Ces données sont très importantes pour le compactage des graves non traité, c'est-à-dire pour la détermination de la compacité de la GNT.

#### V.4.2. Propreté des granulats

La qualité des granulats utilisés dans les techniques routiers, est très importante surtout pour les graves non traitées utilisée dans la réalisation des corps des chaussées. 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.

Dans notre étude en a pris en considération :

- La propreté de sable (essais d'équivalent de sable pour les graves).

##### V.4.2.1. Propreté des sables « Essai équivalent de Sable pour les Graves »

L'équivalent de sables est un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent. Il permet donc de caractériser l'importance des fines par une valeur numérique (Tableau. V.16).

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm d'un sable extrait de GNT. Après le passage au tamis à mailles carrés de 5mm conformément à la norme NF P18-598.

Il existe deux types de mesures des valeurs d'équivalent de sable :

- L'équivalent de sable à piston :

$$ES_p = (H_2 / H_1) * 100$$

- L'équivalent de sable à vue :

$$ES_v = (H'_2 / H_1) * 100$$

- $H_1$  : hauteur de sable propre + éléments fins,
- $H_2$  : hauteur de sable propre seulement à vue.
- $H'_2$  : hauteur de sable propre seulement par piston.

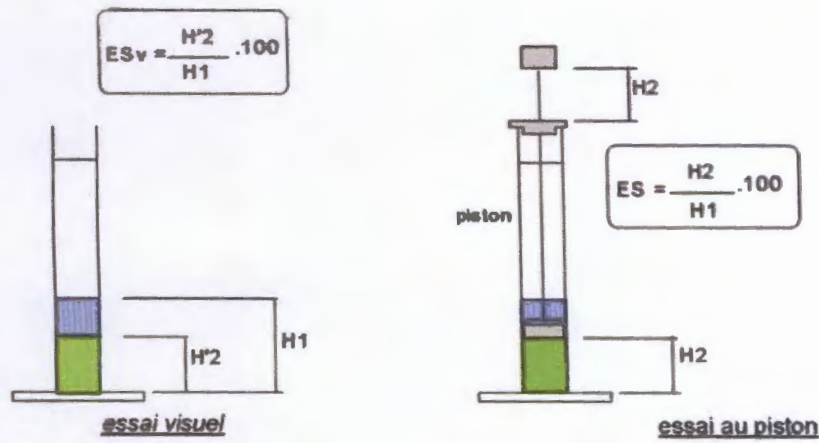


Figure V.5. Principe de l'essai d'équivalent de sable.

Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| Carrière    | Masse en gr | Prise N° | Résultats (%) |       | Résultats moyens (%) |       |
|-------------|-------------|----------|---------------|-------|----------------------|-------|
|             |             |          | ESV           | ESP   | ESV                  | ESP   |
| Sidi Marouf | 120         | 1        | 28.35         | 27.16 | 28.06                | 26.35 |
|             |             | 2        | 27.77         | 25.55 |                      |       |
| El Mila     | 120         | 1        | 68.25         | 65.08 | 62.89                | 61.16 |
|             |             | 2        | 57.53         | 57.24 |                      |       |

Tableau V.16. Résultats des mesures d'équivalent de sable de la classe 0/5 (visuel et au piston) des sable (extrait de la GNT) des deux carrières étudiées.

Pour la grave de Sidi Marouf les résultats d'équivalent de sable (**ESV=28.06%**, **ESP=26.35%**) ne réponde pas aux spécifications et tolérances relatives utilisés en techniques routières, préconisées par la norme XP P18-540 (Tableau V.17); mais les résultats d'équivalent de sables pour la Grave d'El Milia (**ESV =62.89%**, **ESP=61.16%**) répondant aux spécifications et tolérances relatives utilisés en techniques routières (Tableau V.22) pour les GNT dans les couches d'assises des chaussées.

| Catégorie            |   | Spécifications et tolérances selon la norme XP P 18-540 | Carrière d'El Milia |       | Carrière de Sidi Marouf |       |
|----------------------|---|---|---------------------|-------|-------------------------|-------|
|                      |   |   | ESV                 | ESP   | ESV                     | ESP   |
| Couche de roulement  | a | ≥ 60  |                     |       |                         |       |
| Assises de chaussées | b | ≥ 50  | 62.89               | 61.16 | 28.06                   | 26.35 |
|                      | c | ≥ 40  |                     |       |                         |       |

Tableau V.17. Tableau récapitulatif comparant l'équivalent de sable des sables des carrières étudiées (Sidi Marouf et el Milia) aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.

## V.5. Propriétés mécaniques

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).

Dans ce mémoire nous avons insisté sur les propriétés mécaniques des GNT (de Sidi Marouf et El Milia).

### V.5.1. La résistance à la fragmentation par choc « Essai Los Angeles »

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par choc et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat (Tableau. V.19). Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottements dans la machine Los Angeles (Photo V.1). A un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau. Dans la machine Los Angeles, introduire la prise d'essai  $M = 5000$  g et la charge de boulets de la classe granulaire choisie (chaque classe granulaire réaliser par un nombre de boulets avec un poids de charge en grammes normalisées d'après la norme française NFP18-573, tableau V.18). Après 500 rotations de la machine, à une vitesse régulière comprise entre 30 et 33 tr/min, recueillir le granulat et le tamiser à 1,6 mm, peser le refus  $m'$ .

Par définition le coefficient Los Angeles est le rapport :

$$LA = (m / M) * 100$$

Avec :

- LA : coefficient Los Angeles,
- M : masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai (après lavage),
- $M = M - m'$  : masse sèche des éléments inférieurs à 1,6 mm,
- $m'$  : masse sèche des éléments supérieurs à 1,6 mm.



Photo V.1. Machine los Angeles.

| Classes granulaires<br>(en mm) | Nombres<br>boulets | Poids total de la charge<br>(en grammes) |
|--------------------------------|--------------------|--|
| 4 -6.3                         | 7                  | 3030 (à+20 à-150)                        |
| 6.3-10                         | 9                  | 3960 (à+20 à-150)                        |
| 10-14                          | 11                 | 4840 (à+20 à-150)                        |
| 10-25                          | 11                 | 4840 (à+20 à-150)                        |
| 16-31.5                        | 12                 | 5280 (à+20 à-150)                        |
| 25-50                          | 12                 | 5280 (à+20 à-150)                        |

**Tableau V.18.** Nombre de boulets avec un poids de charge en grammes normalisés (NF .P18-573).

L'essai a été réalisé au niveau du laboratoire de travaux publics de l'Est. Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| Catégorie | Couches de fondation, de base et de liaison |     | Propriété mécanique des granulats des carrières |                     |
|-----------|---|-----|---|---------------------|
|           | LA  | Vss | Carrière de Sidi Marouf                         | Carrière d'El Milia |
|           |   |     | LA  | LA                  |
| A         | /   |     | 20.94   | 18.12               |
| B         | 25  |     |   |                     |
| C         | 30  |     |   |                     |
| D         | 35  |     |   |                     |
| E         | 45  |     |   |                     |

**Tableau V.19.** Récapitulatif des résultats comparant le coefficient Los Angeles des granulats des deux carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.

Dans le domaine des techniques routières et sur la base du coefficient LA obtenu, on peut dire que les granulats (surtout GNT) des carrières de sidi Marouf et d'el Milia peuvent être utilisés surtout dans les assises de chaussées (couche de fondation, de base et de liaison).

**V.5.2.La résistance à l'usure des gravillons « essai Micro Deval Humide »**

L'essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive (Tableau V.20). Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient Micro-Deval est faible, meilleur est le matériau (annexe A.V).

Dans les cylindres de la machine (Photo V.2), introduire chaque prise d'essai M = 500 g et la charge abrasive (billes en acier de 10 mm de diamètre) correspondant à la classe granulaire choisie. Les essais peuvent s'effectuer à sec ou en présence d'eau. Dans ce dernier cas, on ajoutera 2,5 litres d'eau par essai. Après rotation des cylindres à une vitesse de 100 tr/min pendant 2 heures, tamiser le matériau sur le tamis de 1,6 mm et peser le refus m'.

Par définition le coefficient Micro-Deval est le rapport :

$$MDE = (m/M)*100 \text{ (en présence d'eau)}$$

$$MDS = (m/M)*100 \text{ (en milieu sèche)}$$

- 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.

| Classe granulaire (mm) | Charge abrasive (grammes) |
|------------------------|---------------------------|
| 4 - 6.3                | 2000 ±5                   |
| 6.3 -10                | 4000 ±5                   |
| 10 -14                 | 5000 ±5                   |

Tableau V.20. Nombre de poids de charge abrasive en grammes normalisé.



Photo V.2. Appareil Micro-Deval.

L'essai est réalisé au laboratoire de génie civil sur la classe granulaire 10 /14 et les résultats sont les suivant :

| Catégorie | Couches de fondation, de base et de liaison |  | Propriété mécanique des granulats des carrières |                     |
|-----------|---|--|---|---------------------|
|           | MDE   |  | Carrière de Sidi Marouf                         | Carrière d'El Milia |
|           | Vss   |  | MDE   | MDE                 |
| A         | /   |  | 24.58   | 14.24               |
| B         | 20  |  |   |                     |
| C         | 25  |  |   |                     |
| D         | 30  |  |   |                     |
| E         | 45  |  |   |                     |

Tableau V.21. Tableau récapitulatif comparant le coefficient Essai Micro-Deval des granulats des deux carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.

Dans le domaine des techniques routières et sur la base du MDE obtenu, on peut dire que les granulats (surtout GNT) peuvent être largement utilisés dans les assises des chaussées et les couches des liaisons. Et dans les couches de roulement des routes peuvent être limité pour la carrière d'El Milia (Tableau. V.21). Les granulats de la carrière Sidi Marouf peuvent être utilisées raisonnablement pour assises des chaussées; au delà de ces valeurs, les granulats des deux carrières ne peuvent pas être utilisés (Tableau V.21).

l'énergie de compactage. Elle occupe la place des grains solides et aucun tassement n'est possible.

#### ❖ La nature du matériau

Le comportement et les sollicitations développés par les matériaux sont plus ou moins fonction de leur nature. De façon générale, la courbe Proctor est très aplatie pour les sables et par contre présente un maximum très marqué pour les argiles plastiques.

Pour les matériaux à courbe Proctor aplatie, le compactage est peu influencé par la teneur en eau. Ces matériaux sont peu sensibles à l'eau mais il est souvent difficile d'améliorer leurs caractéristiques (énergie de compactage à fournir plus importante).

#### ❖ L'énergie de compactage

Pour un matériau donné, si l'énergie de compactage augmente, le poids volumique maximum augmente et les courbes deviennent plus pointues. La densité sèche après compactage augmente avec la charge de la roue et la pression de gonflage.

La réponse des matériaux granulaires aux sollicitations cycliques qui n'atteignent pas les charges de rupture peut être de trois types (Martinez (1980)) :

- Adaptation : l'énergie dissipée et la déformation permanente sont nulles. La réponse du matériau est réversible et élastique,
- Accommodation : les déformations permanentes sont stabilisées et l'énergie dissipée n'est pas nul (phénomène d'hystérésis). La réponse réversible est non linéaire ;
- L'énergie dissipée et les déformations permanentes augmentent avec la sollicitation jusqu'à la stabilisation ou la rupture (déformation plastique).

#### ❖ L'angularité, la forme, la granularité et le pourcentage des fines

Des matériaux très anguleux se mettent difficilement en place entraînant l'augmentation de l'énergie de compactage.

Un matériau ayant une bonne granularité aura une densité maximale plus élevée qu'un matériau creux ou ayant un excès de sable. La compacité augmente avec le coefficient d'uniformité ( $C_U = D_{60}/D_{10}$ );  $D_{60}$  et  $D_{10}$  sont les diamètres des tamis qui laissent passer respectivement 60 % et 10 % du matériau.

Pour une énergie de compactage donnée, l'indice des vides décroît avec le pourcentage d'éléments fins ( $< 80\mu\text{m}$ ).

Les valeurs obtenues du LA et MDE pour les carrières montre que ces GNT appartiennent à la **catégorie de résistance type « C »** pour la carrière Sidi Marouf et **catégorie de résistance type « B »** pour la carrière d'El Milia (Tableau. V.24) ; donc peuvent être utiliser les granulats des deux carrières largement dans les assises de chaussée et moindre dans les couches des surfaces (Tableau. V.22).

| Catégorie | Couches de fondation, de base et de liaison |    |     | Couche de roulement | Propriété mécanique des granulats des carrières |       |                     |       |
|-----------|---|----|-----|---------------------|---|-------|---------------------|-------|
|           | LA +MDE                                     | LA | MDE | LA +MDE             | Carrière de Sidi Marouf                         |       | Carrière d'El Milia |       |
|           | V <sub>ss</sub>                             |    |     |                     | LA  | MDE   | LA                  | MDE   |
| A         | /   | /  | /   | 30                  | 20.94   | 24.58 | 18.12               | 14.24 |
| B         | 35  | 25 | 20  | 40                  |   |       |                     |       |
| C         | 45  | 30 | 25  | 50                  |   |       |                     |       |
| D         | 55  | 35 | 30  | /                   |   |       |                     |       |
| E         | 80  | 45 | 45  | /                   |   |       |                     |       |

**Tableau V.22.** Tableau récapitulatif comparant les propriétés mécaniques des granulats des carrières aux spécifications imposées par la norme XP P18-540.

### V.5.3. Le compactage

#### V.5.3.1. Détermination de la teneur en eau de ressuage (Essai Proctor modifié)

Cet essai simule l'évolution du matériau au cours du compactage et permet de déterminer pour une énergie de compactage donnée, la teneur en eau de ressuage ( $w_r$ ) pour une masse volumique apparente sèche de ressuage (densité sèche maximale).

Conformément à la norme NF P 94-093, l'essai consiste à compacter l'échantillon dans un moule standard, à l'aide d'une dame normalisée, à raison de 56 coups par couche (5 couches). Le compactage s'effectue avec des teneurs en eau initiale ( $w_0$ ) croissantes (au moins quatre essai) rapportées au poids du matériau sec. Après chaque opération on mesure la masse volumique humide apparente ( $\rho_h$ ) du matériau et la teneur en eau ( $w_r$ ) puis on calcule la masse volumique sèche ( $\rho_d$ ) conformément à la norme NF P98-231-1. La teneur en eau final ( $w_r$ ) est déterminée par séchage de l'ensemble de l'éprouvette d'essai selon la norme NF P94-050.

La masse volumique apparente sèche  $\rho_d$  est calculée par la formule :

$$\rho_d = \left[ \frac{\rho_h}{100 + w_f} \right] \cdot 100$$

On trace ensuite la courbe Proctor du matériau avec en abscisse les teneurs en eau et en ordonnée les masses volumiques sèches. On détermine ensuite la teneur en eau de ressuage ( $w_r = w_{opt}$ ) qui correspond à la masse volumique sèche maximale ( $\rho_{dr} = \rho_{dmax}$ ).

#### ❖ Teneur en eau de ressuage ( $w_r$ )

- Le matériau est considéré comme n'ayant pas perdu d'eau au compactage si  $w_0 - w_r \leq 0,3 \%$ .



- La teneur en eau de ressuage  $w_r$  est la valeur limite maximale de la teneur en eau initiale pour laquelle il n'y a pas de perte d'eau.
- Un matériau est considéré comme drainant dans le cadre de l'essai lorsque le compactage s'accompagne d'une perte d'eau ( $w_0 - w_F \leq 0,3 \%$ ).
- Si  $0,3 \% < w_0 - w_F \leq 0,5 \%$ , alors par convention,  $w_r = w_0$ .
- Si pour une teneur en eau initiale  $w_{0i}$  on a après compactage  $w_{0i} - w_{F1} < 0,3 \%$  et que pour la teneur en eau initiale suivante  $w_{0i+1}$  on a :  $w_{0i+1} - w_{F1+1} > 0,5 \%$ . Dans ce cas :

$$w_r = \frac{w_{0i} + w_{0i+1}}{2}$$

Cette formule n'est pas applicable pour des écarts entre  $w_{0i}$  et  $w_{0i+1}$  supérieurs à 1 %. Si l'écart entre  $w_{0i}$  et  $w_{0i+1}$  est supérieur à 1 %, il faut réaliser un essai à une teneur en eau intermédiaire.

L'essai a été fait au laboratoire de génie géologique du département de géologie, conformément à la norme française NF P 98-231-1 (annexe B.I) et de mode opératoire conformément à la norme françaises NF P 94-093, sur la classe 0/20 (GNT) produite au niveau des carrières Sidi Marouf et d'El Milia.

#### V.5.3.1.1. Carrière d'El Milia

Les résultats d'essai Proctor modifié sur GNT 0/20 de carrière d'El Milia sont groupés dans le tableau (V.23).

| Mesure                    | symboles                       | point 1 | point 2 | point 3 | Point 4 |
|---------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| La masse en état naturel  | $M_0$ (gr)                     | 5500    | 5500    | 5500    | 5500    |
| Masse du moule            | (gr)                           | 6032.2  | 6032.2  | 6032.2  | 6032.2  |
| Volume du moule           | $V_m$ (cm <sup>3</sup> )       | 2244.69 | 2244.69 | 2244.69 | 2244.69 |
| Masse total humide        | $M_t$ (gr)                     | 10573.5 | 10833.1 | 10885.5 | 10938.5 |
| Masse humide nette        | $M_h$ (gr)                     | 4541.6  | 4796.3  | 4838.69 | 4896.0  |
| Masse sèche               | $M_s$ (gr)                     | 4372.8  | 4532.9  | 4495.9  | 4496.0  |
| Masse d'eau               | $M_w$ (gr)                     | 168.8   | 263.4   | 342.9   | 372.4   |
| Teneur en eau initial     | $w_0$ (%)                      | 4       | 6       | 8       | 10      |
| Teneur en eau final       | $w_F$ (%)                      | 3.86    | 5.81    | 7.63    | 8.23    |
| La masse volumique humide | $\rho_h$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.023   | 2.14    | 2.16    | 2.19    |
| La masse volumique sèche  | $\rho_d$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.94    | 2.022   | 2.01    | 2.02    |

**Tableau V.23.** Tableau récapitulatif des résultats d'essai Proctor modifié sur le GNT de carrière d'El Milia.

D'après les résultats dans le tableau (V. 23) et la courbe (figure V.6) on note que :

- $w_{01} - w_{F1} \leq 0,3 \%$ ,
- $0,3 \% < w_{02} - w_{F2} \leq 0,5 \%$ ,

Donc la teneur en eau de ressuage  $w_r = w_{02}$  et  $w_{opm} = w_{F2}$

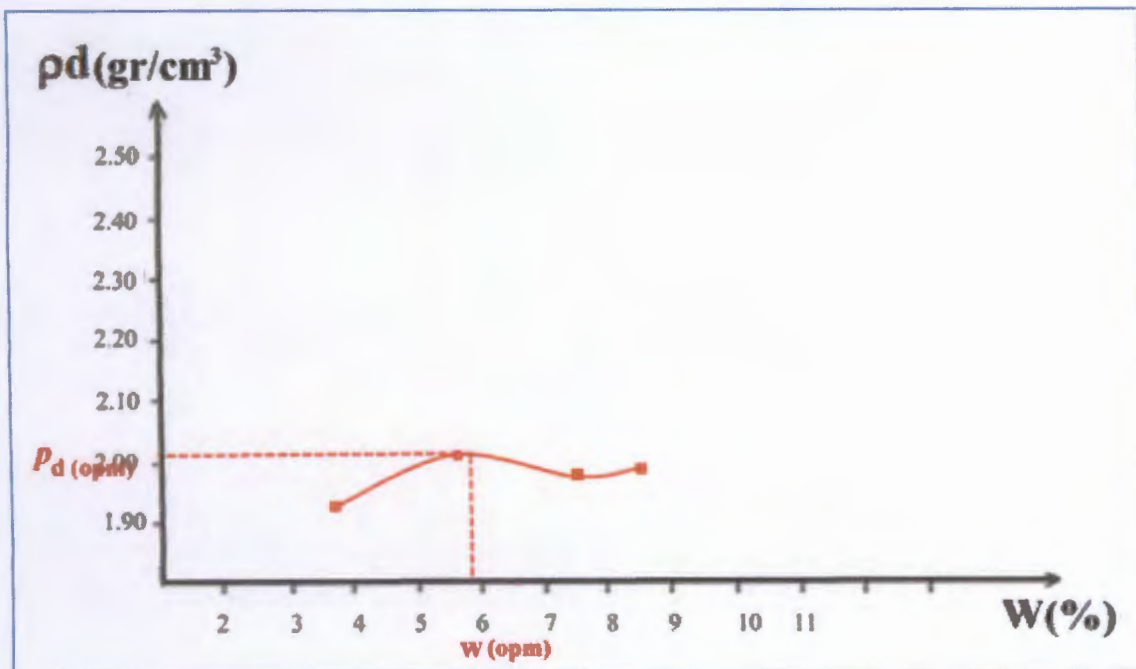


Figure V.6. Courbe de l'essai Proctor modifié sur la Grave (0/20) de Sidi Marouf.

#### V.5.3.1.2. Carrière de Sidi Marouf

Les résultats d'essai Proctor modifié sur GNT 0/20 de carrière de Sidi Marouf sont groupés dans le tableau (V.24).

| Mesure                    | symboles                       | point 1 | point 2 | point 3 | Point 4 |
|---------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Masse à l'état naturel    | $M_0$ (gr)                     | 5500    | 5500    | 5500    | 5500    |
| Masse du moule            | (gr)                           | 6032.2  | 6032.2  | 6032.2  | 6032.2  |
| Volume du moule           | $V_m$ (cm <sup>3</sup> )       | 2244.69 | 2244.69 | 2244.69 | 2244.69 |
| Masse total humide        | $M_t$ (gr)                     | 11106.1 | 11266.8 | 11188.5 | 11164.9 |
| Masse humide nette        | $M_h$ (gr)                     | 5072.9  | 5229.6  | 5147.7  | 5096.1  |
| Masse sèche               | $M_s$ (gr)                     | 4875.1  | 4948.1  | 4808.2  | 4729.5  |
| Masse d'eau               | $M_w$ (gr)                     | 197.85  | 281.5   | 339.5   | 367.48  |
| Teneur en eau initial     | $w_0$ (%)                      | 4       | 6       | 8       | 10      |
| Teneur en eau final       | $w_f$ (%)                      | 3.99    | 5.69    | 6.96    | 7.77    |
| La masse volumique humide | $\rho_h$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.26    | 2.32    | 2.96    | 2.27    |
| La masse volumique sèche  | $\rho_d$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.17    | 2.19    | 2.14    | 2.11    |

Tableau V.24. Tableau récapitulatif des résultats d'essai Proctor modifié sur le GNT de carrière de sidi Marouf.

D'après les résultats dans le tableau (V.24) et la (figure V.7) on observe que :

- $w_{01} - w_{F1} \leq 0,3 \%$ ,
- $0,3 \% < w_{02} - w_{F2} \leq 0,5 \%$ ,

Donc la teneur en eau de ressuage  $w_r = w_{02}$

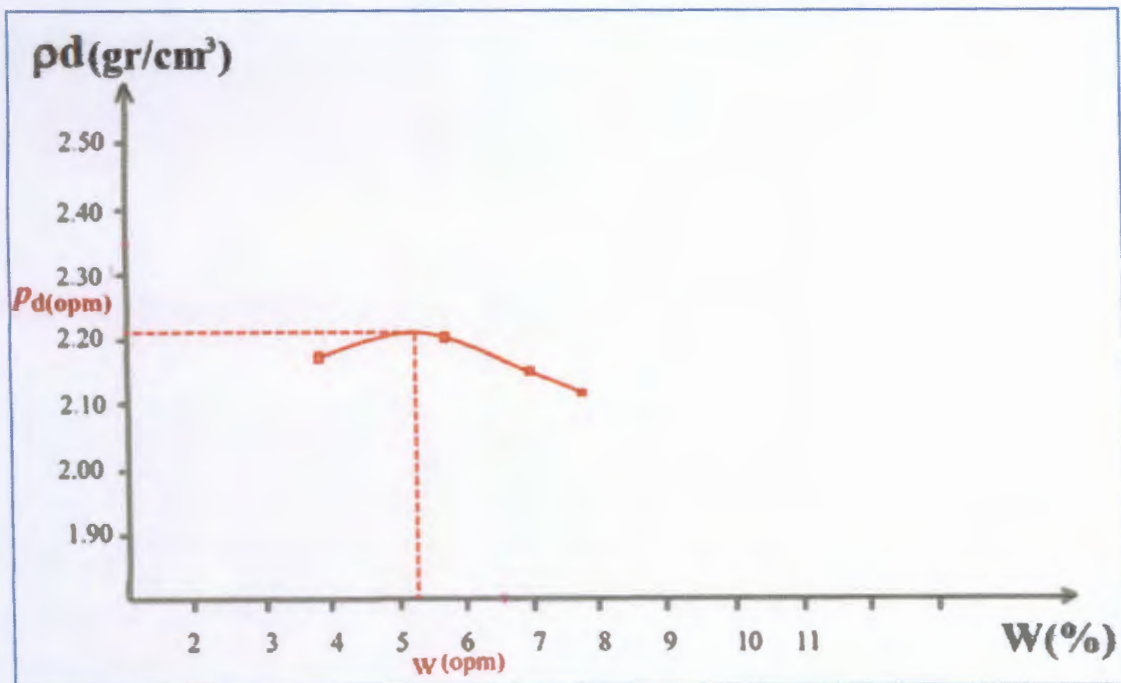


Figure V.7. Courbe de l'essai Proctor modifié sur la Grave (0/20) d'El Milia.

Après avoir tracé les courbes  $\rho_d = f(w_F)$  qui permettent de déterminer la valeur maximale de la masse volumique sèche de ressuyage ( $\rho_{dr}$ ) pour une teneur en eau finale de ressuyage ( $w_{fr}$ ), les résultats sont groupés dans le tableau (V.25).

| Paramètres   |                    | Carrière de Sidi Marouf | Carrière d'El Milia |
|--|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Teneur en eau de ressuyage ( $w_r$ )                     | %                  | 6                       | 6                   |
| Masse volumique sèche de ressuyage ( $\rho_{dr}$ )       | gr/cm <sup>3</sup> | 2.19                    | 2.02                |
| Masse volumique sèche maximale ( $\rho_{doptm}$ )        | gr/cm <sup>3</sup> | 2.21                    | 2.02                |
| Teneur en eau optimale ( $w_{optm}$ )                    | %                  | 5.9                     | 5.25                |
| Masse volumique apparente de référence ( $\rho_{dREF}$ ) | gr/cm <sup>3</sup> | 2.14                    | 1.96                |
| Teneur en eau de référence ( $w_{REF}$ )                 | %                  | 6.9 – 5.4               | 6.25 – 4.75         |

Tableau V.25. Les résultats de La masse volumique sèche et La teneur en eau optimales des deux carrières.

### V.5.3.2. La compacité de la graves

À l'Optimum Proctor Modifié, la compacité des GNT, dans les conditions définies dans la norme NF P 98-125, doit respecter les spécifications du tableau (V.26) dans lequel on distingue deux catégories d'exigences pour les GNT de type «B» : B1 et B2.

| Type de GNT                                 | Compacité à l'OPM |
|---|-------------------|
| GNT type « A » (*)                          | ≥80               |
| GNT type « B » : B1                         | ≥80               |
| GNT type « B » : B2                         | ≥82               |
| (*) pour « D » inférieur ou égal à 31.5 mm. |                   |

**Tableau V.26.** Compacité minimale à l'OPM spécifiée suivant le type de GNT.

La compacité optimale d'une grave correspondante à ( $\rho_{dopm}$ ) est déterminée par la relation :

$$C_{opm} = 100. (\rho_{dopm} / \rho_r)$$

$\rho_{dopm}$  : masse volumique sèche optimale.

$\rho_r$  : masse volumique réel.

Les résultats de la compacité des GNT des deux carrières (tableau V.27) satisfaisent la spécification normalisée (≥ 80%) ; mais la compacité du GNT de la calcaire (Sidi Marouf) est supérieure à celui du microgranite (El Milia).

| granulats          | GNT (0/20) de Sidi Marouf | GNT (0/20) d'El Milia |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| Compacité optimale | 87.35 %                   | 86.32%                |

**Tableau V.27.** Résultats de la compacité des GNT des deux carrières.

## V.6. Conclusion

La caractérisation de la grave non traitée (GNT) des carrières de Sidi Marouf et d'El Milia permet de conclure que (tableau V.28) :

- Les graves non traitées (0/20) présentent une granulométrie répondant partiellement aux spécifications et tolérances relatives à la granularité des granulats utilisés en techniques routières (couche de fondation et de base), préconisées par la norme française XP P18-540; avec un pourcentage des fines très faible. Pour la GNT de Sidi Marouf il s'agit des éléments inférieurs au tamis 1.25mm, pour celle d'El Milia c'est les éléments inférieurs au tamis 0.315mm ; des corrections doivent être faites sur ces GNT,

- Une granularité et propreté des graves de catégorie (a) pour la carrière d'El Milia avec une valeur d'équivalent de sable de 61.16 % et une valeur non satisfaisante de 26.35 % pour la carrière de Sidi Marouf,

- La grave non traitée de deux carrières appartient à la catégorie de résistance de type (C) avec une valeur de 20.94 du coefficient Los Angeles et de 24.58 du Micro-Deval Humide pour la carrière de Sidi Marouf et de 18.12 et 14.24 successivement pour la carrière d'El Milia,

- Pour les propriétés mécaniques de GNT pendant le compactage, la carrière de Sidi Marouf et d'El Milia présentent successivement une masse volumique apparente de référence

( $\rho_{d\text{ REF}}$ ) d'une valeur supérieur de 2.14 gr/cm<sup>3</sup> et 1.96 gr/cm<sup>3</sup>, une teneur en eau de référence ( $w_{\text{REF}}$ ) de 6.9% à 5.4 % et de 6.25 % à 4.75 %, et une compacité satisfaisante de 87.35 et 86.32%.

| Catégories de résistance des gravillons                                  | /        | Spécifications et tolérances préconisées des normes |          |          |          | GNT (0/20) de Sidi Marouf | GNT (0/20) d'El Milia |
|--|----------|---|----------|----------|----------|---------------------------|-----------------------|
|  |          | F   | E        | D        | C        | C                         | C                     |
|  | LA       | /   | ≤45      | ≤35      | ≤30      | 20.94                     | 18.12                 |
|  | MDE      | /   | ≤45      | ≤30      | ≤25      | 24.58                     | 14.24                 |
| Granularité et propreté des gravillons                                   | /        | V   | IV       | III      | II       | III                       | III                   |
| Granularité et propreté des graves                                       | /        | b   | b ou c   | b ou c   | a ou b   | ?                         | a                     |
|  | PS (Vsi) | 50  | 50 ou 40 | 50 ou 40 | 60 ou 50 | 26.35                     | 61.16                 |
| Masse volumique sèche de ressuage ( $\rho_{dr}$ )                        | /        |   |          |          |          | 2.19                      | 2.02                  |
| Masse volumique sèche maximale ( $\rho_{d\text{max}}$ )                  | /        |   |          |          |          | 2.21                      | 2.02                  |
| Teneur en eau optimale ( $w_{\text{opt}}$ )                              | /        |   |          |          |          | 5.95                      | 5.25                  |
| Masse volumique apparente de référence ( $\rho_{d\text{REF}}$ )          | /        |   |          |          |          | >2.14                     | >1.96                 |
| Teneur en eau de référence ( $w_{\text{REF}}$ )                          | /        |   |          |          |          | 6.9 – 5.4                 | 6.25–4.75             |
| Compacité  | ≥80      |   |          |          |          | 87.35                     | 86.32                 |
| Vss : valeur spécifique supérieure<br>Vsi : valeur spécifique inférieure |          |   |          |          |          |                           |                       |

Tableau V.28. Récapitulatif des résultats des essais sur les granulats des deux carrières.

***Conclusion  
générale***

### Conclusion générale

Dans le cadre d'un important programme d'aménagement du territoire initié par les pouvoirs publics, la wilaya de Jijel a connue ces dix dernières années la réalisation et la réhabilitation de plusieurs routes (pénétration entre Djen-Djen et l'autoroute Est-Ouest, dédoublement de la route nationale N°43).

Les matériaux concassés utilisés pour la réalisation de ces projets sont issus principalement des quatre carrières existant dans la région de Jijel. Les études au laboratoire des granulats de la carrière de Sidi Marouf et d'El Milia ont permis d'apprécier les possibilités d'utilisation de ces derniers en corps de chaussées notamment en couche de base.

La carrière d'El Milia est encaissée dans des roches éruptives d'âge miocène, constituée principalement par des microgranites entrecoupés le socle ancien métamorphique. Les études pétrographiques ont montré que les microgranites d'El Milia sont des roches acides ( $\text{SiO}_2=80.98\%$ ).

La carrière de Sidi Marouf est encaissée dans le massif de Sidi Marouf qui appartient au domaine externe, les roches exploitées sont des roches carbonatées constituées par des calcaires de Lias. L'observation sur terrain et l'étude pétrographique ont montré l'existence de plusieurs faciès et hétérogénéités.

Les deux carrières produisent les Graves non traitées (0/20) et des autres calibres (0/3, 3/8, 8/15 et 15/25). Les Graves non traitées sont utilisées dans les couches de fondation et de base (les assises de chaussées).

Pour les deux carrières et conformément à la norme NF P 98-129 et XP P 18-540; la GNT est classée dans la catégorie « C » de la résistance ( $LA=20.94$ ,  $MDE=24.58$  pour la carrière de Sidi Marouf,  $LA=18.12$ ,  $MDE=14.24$  pour la carrière d'El Milia), avec une granularité qui répond partiellement aux fuseaux de spécification (le pourcentage des éléments inférieure à 1.25 mm pour la carrière de Sidi Marouf et à 0.315 mm pour la carrière d'El Milia est faible), cela nécessite la reconstitution suivant la formule de base selon la norme NF P 98-129.

Les propriétés physiques relatives à la masse volumique et la propreté des granulats montrent que la masse volumique réelle  $\rho_r=2.53 \text{ T/M}^3$  pour la carrière de Sidi Marouf,  $\rho_r=2.34 \text{ T/M}^3$  pour la carrière d'El Milia. Ces granulats d'un équivalent de sable pour les graves présentant des valeurs non satisfaisantes ( $ESp = 26.35 \%$  et  $ESv = 28.06\%$ ) pour la carrière Sidi Marouf; et des valeurs satisfaisantes ( $ESp = 61.16 \%$  et  $ESv = 61.16 \%$ ) pour la carrière d'El Milia selon la norme XP P 18-540.

Pour les propriétés mécaniques de GNT pendant le compactage, les deux carrières présentent une teneur en eau de ressuage  $w_r=6\%$  ( $\rho_{dopm} = 2.21 \text{ gr/cm}^3$  pour la carrière Sidi Marouf,  $\rho_{dopm} = 2.02 \text{ gr/cm}^3$  pour la carrière d'El Milia), et une teneur en eau optimale ( $w_{opm}$ ) de 5.9 % pour la carrière Sidi Marouf et 5.25 % pour la carrière d'El Milia. La compacité de GNT est satisfaisante (87.35% pour la carrière de Sidi Marouf et de 86.32% pour celle d'El Milia).

# ***Bibliographie***



Références bibliographiques

- **Andrieux, J. & Djellit, H. (1989)**: Structure de la Petite Kabylie occidentale (Algérie) flyschs ultra et flyschs externes. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Se, P1191-1196.
  - **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.
  - **Bouillin, J.P. (1979)**: La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie): une région- clef pour l'interprétation de la tectonique Alpine de la chaîne littorale d'Algérie. Thèse. Paris. Mém. Soc. Géol. France. Nouv. Série. L VII, n°135,84P.
  - **Bouillin, J.P. ; Durand Delga, M.; Gélard, J.P. ; Leikine, M.; Raoult, J.F.; Raymond, D. ; Téfiiani, M. & Vila, J.M. (1970)**: Définition d'un flysch massylien et d'un flyschmaurétanien au sein de flyschs allochtones de l'Algérie. C.R.Acad.Sci.Paris (D). T270, série D. P 2249-2252.
  - **Bouillin, J.P. & Raoult, J.F. (1971)**: Présence sur le socle Kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néo-autochtone? Comte Rendu : Somm. Soc. Géol. France, 7 :117P.
  - **Boulabrina, F. ; Hireche, S. (2006)** : Caractéristiques géométriques et géomécaniques des granulats de la carrière de Sidi Marouf (wilaya de Jijel). Mémoire d'ingénieur, département de géologie, Université de Jijel.
  - **Bounamis, S. ; Dorbane, R. (2006)** : caractéristiques géomécaniques et mécaniques des granulats issus de roches magmatiques (carrières d'el milia). Mémoire d'ingénieur, département de géologie, Université de Jijel.
  - **Chettah, W. ; Nousra, K. (2005)** : Caractéristiques géométriques et géomécaniques des granulats des carrières du massif du Grouz (wilaya de Mila). Mémoire d'ingénieur, département de géologie, Université de Jijel.
  - **JUPAIN, R, LANCHON, R (1995)**.- Granulats, Sols, Ciments et Béton.
  - **HABIBALLAH, T. (2005)**. - Modélisation des déformations permanentes des graves non traitées. Application au calcul de l'ornièrage des chaussées souples. - Thèse de doctorat Génie civil, Université de Limoge- 177 pages.
  - **Laboratoire des travaux publics de l'Est, Jijel –LTPE- (2008)**: contrôle de qualité sur matériau (Grave concassée) de la carrière d'El Milia, rapport inédit, 10p.
  - **JEUFFROY, G. ; SAUTEREY, R (1985)**.- assises des chaussées -144 pages.
  - **J.M.Villa (1980)** : La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro – tunisiens. Thèse de Doct. D'état, Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 3 Vol. p 665. Paris.
  - **Ouabadi, A. (1994)** : Pétrologie, Géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap-Bougaroun, Beni-Toufout et Filfila) Algérie Nord orientale. Thèse Doct. Univ Rennes I, France.
  - **Raoult, J.F. (1974)**: Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mem. Soc. Géol. France, 53, 121, 163P.
  - **Remoum, K., (2002)**: Essai de caractérisation géologique et géotechnique des carrières de granulats de Sidi Marouf, Chekfa et El Milia, Wilaya de Jijel, Mém. Magistère.Univ. Tébessa.
  - **SETRA, LCPC (1984)**: Les granulats en techniques routières – Spécifications. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (France) et Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France).
-

## Références bibliographiques

---

### -Association française de Normalisation:

NF P.18-101(1983) GRANULATS: Vocabulaire, définition et classification.

XP P 18-540 (Octobre 1997) : Granulats Définitions, conformité, spécifications.

P 18-560 (Septembre 1990) : Granulats ; Analyse granulométrique par tamisage.

P 18-598 (Octobre 1991) : Granulats Équivalent de sable.

P 18-591 (Septembre 1990) : Granulats ; Détermination de la propreté superficielle.

P 18-554 (Décembre 1990) : Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux.

P 18-574 (Décembre 1990) : Granulats ; Essai de fragmentation dynamique.

P 18-573 (Décembre 1990) : Granulats ; Essai Los Angeles.

P 18-572 (Décembre 1990) : Granulats ; Essai d'usure micro-Deval.

P 18-561 (Septembre 1990) : Granulats ; Mesures du coefficient d'aplatissement.

P 18-553 (Septembre 1990) : Granulats Préparation d'un échantillon pour essai.

NF P.98-125 (Novembre 1994) CHAUSSEES : Graves non traitées (Méthodologie d'étude en laboratoire).

NF P.98-129 (Novembre 1994) CHAUSSEES : Graves non traitées (Définition - Composition - Classification).

NF P.98-231-1 (Février 1999) CHAUSSEES : Essais relatifs aux chaussées ; Comportement au compactage des matériaux autres que traités aux liants hydrocarbonés (Partie 1 : Essai Proctor modifié adapté aux graves et sables utilisés en assises de chaussées).

NF P.98-231-3(Février1999) CHAUSSEES : détermination du comportement au compactage des matériaux d'assises autres que traités aux liants hydrocarbonés.

NF P.98-080-1 (Novembre 1992) CHAUSSEES : Terminologie (partiel : Terminologie relative au calcul de dimensionnement des chaussées).

NF P.98-082 (Novembre 1994) CHAUSSEES :dimensionnement des chaussées routières (détermination des tracs routiers pour le dimensionnement des structures de chaussées).

### Sites web:

- Google earth 2010.

- [www.ac-Nancy-Metz.fr/enseign/batiment-/ressources/laboratoire/...](http://www.ac-Nancy-Metz.fr/enseign/batiment-/ressources/laboratoire/...)

-[www.wilaya de jijel.net/pop-dtp.html](http://www.wilaya de jijel.net/pop-dtp.html).

-[www.ministre des travaux publics .net](http://www.ministre des travaux publics .net).

-<http://cataloguesetra.documentation.équipement.gouv.fr/>

---

# *Annexes*

**Annexe.A.I. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE**

|                         |  |                            |
|-------------------------|--|----------------------------|
| Normalisation française | Granulats<br>Analyse granulométrique<br>par tamisage | P 18-560<br>Septembre 1990 |
|-------------------------|--|----------------------------|

**1-OBJET**

La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour la détermination de la granularité des granulats dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 80 mm.

**2 -DOMAINE D'APPLICATION**

La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

**3 RÉFÉRENCES**

NF P 18-101 Granulats – Vocabulaire – Définitions - Classifications. (1)

P 18-553 Granulats - Préparation d'un échantillon pour essai.

NF X 11-501 Tamis et tamisage - Toiles métalliques et tôles perforées dans les tamis de contrôle - Dimensions nominales des ouvertures.

NF X 11-504 Tamis et tamisage - Tissus métalliques et tôles perforées dans les tamis de contrôle - Exigences techniques et vérification.

NF ISO 5725 Application de la statistique - Fidélité des méthodes d'essai -Détermination de la répétabilité d'une méthode d'essai normalisée et de la reproductibilité par essais inter laboratoires. (Indice de classement : X 06-041.)

**4 -GENERALITE****4.1- DEFINITIONS**

- GRANULARITE** : Distribution dimensionnelle des grains ;
- REFUS SUR UN TAMIS** : Matériau qui est retenu sur un tamis ;
- TAMISAT** (ou passant) : matériau qui passe à travers le tamis.

**4.2- PRINCIPE DE L'ESSAI**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaire de taille décroissante. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisates sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

**5 - APPAREILLAGE****5.1- APPAREILLAGE D'USAGE COURANT :**

- Appareillage spécifique à la norme NF P18-553
- Étuveventilée réglée à  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
- Un dispositif de lavage.
- Balance** dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Bac, brosse, pinceau.

**5.2- APPAREILLAGE SPECIFIQUE :**

Tamis dont l'ouverture est conforme à la norme NF X 11-501 et de diamètre 250 mm.

Parmi les tamis de contrôle définis dans cette norme, on utilise généralement ceux donnés par la norme NF P 18-101 pour la classification des granulats.

Le contrôle des tamis sera effectué suivant les indications données dans la norme NF X 11-504.

**6 - PREPARATION DE L'ECHANTILLON**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. La masse  $\bar{M}$  de l'échantillon pour essai doit être supérieure à  $0,2 \bar{D}$ , avec  $\bar{M}$  exprimé en kilogrammes et  $\bar{D}$  plus grande dimension spécifiée en millimètres.

## 7 – EXECUTION DE L'ESSAI

### 7.1- DETERMINATION DE LA MASSE SECHE (Ms) DE L'ECHANTILLON SOUMIS A L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

L'essai s'effectue sur le matériau à la teneur en eau à laquelle il se trouve avant l'analyse afin d'éviter un séchage qui présente des inconvénients : perte de temps due au séchage avant tamisage, risque d'agglomération des particules par séchage ; A partir de l'échantillon pour laboratoire, il est donc préparé 2 échantillons pour essai. L'un de masse  $M_{1h}$  pour déterminer la masse sèche de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique, l'autre de masse  $M_h$  pour effectuer l'analyse granulométrique.

-Pesée des deux échantillons ;

-Dessiccation complète du premier échantillon  $M_{1h}$  et pesée, soit  $M_1$  sa masse sèche.

La masse sèche ( $M_s$ ) de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique est calculée de la manière suivante :  $M_s = (M_{1s} / M_{1h}) * M_h$ .

### 7.2- LAVAGE :

Dans le cas de matériaux particulièrement argileux, l'échantillon est trempé préalablement au lavage, pendant plusieurs heures.

L'échantillon humide, avec éventuellement les eaux de trempage, est versé sur un ou plusieurs tamis de décharge protégeant le tamis de lavage. La maille du tamis de lavage correspond à la plus petite maille de la colonne utilisée lors du tamisage. On veillera à ce que l'eau ne déborde pas du tamis de lavage.

Cette opération peut se faire à l'aide d'un vibro-tamis. On considère que le matériau est correctement lavé lorsque l'eau s'écoulant sous le tamis de lavage est claire.

Le tamisât est : soit éliminé avec les eaux de lavage, soit éventuellement récupéré pour d'autre analyse. Le refus est récupéré et séché jusqu'à masse constante. Soit  $M_{si}$  la masse correspondante.

### 7.3- TAMISAGE :

- Verser le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de maille décroissante.

- Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle. On agite chaque tamis en donnant à la main des coups réguliers sur la monture. D'une manière générale, on peut considérer qu'un tamisage est terminé lorsque le refus ne se modifie pas de 1 % en une minute de tamisage.

- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.

### 7.4- PESEES :

- Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à : 100 g si  $d < 1$  mm, 200 g si  $d$  compris entre 1 et 4 mm et 700 g si  $d > 4$  mm.

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille. Soit  $R_1$  la masse de ce refus.

- Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur ; ajouter le refus obtenu à  $R_1$  et peser l'ensemble. Soit  $R_2$  la masse des deux refus cumulés.

- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots, R_i, \dots, R_n$ .

- Peser s'il y en a, le tamisât au dernier tamis. Soit  $T_n$  sa masse.

- Si après essai, les résultats montrent qu'un (ou plusieurs) tamis a (ont) été surchargé(s), l'essai doit être refait manuellement à partir de ce tamis.

## 8 - EXPRESSION DES RESULTATS

### 8.1- CALCULS :

Les résultats des différentes pesées cumulées sont portés sur une feuille d'essai dont un modèle est donné en annexe A.

Les masses des différents refus cumulés  $R_i$  sont rapportées à la masse totale calculée de

l'échantillon pour essai sec mis et les pourcentages des refus cumulés ainsi obtenus.

$((R_i / M_s) * 100)$  inscrit sur la feuille d'essai. Les pourcentages de tamisats correspondants sont égaux à  $100 - ((R_i / M_s) * 100)$ .

**Pour la carrière de Sidi Marouf :**

-Premier échantillon sable 0/3 :

$M_s = 1200$  g

| Tamis mm   | Masse des refus cumulés ( $R_i$ ) en gr | % refus cumulés $(R_i / M_s) * 100$ | % tamisats cumulés $100 - (R_i / M_s) * 100$ |
|--|---|-------------------------------------|--|
| 5  | 0                                       | 0                                   | 100  |
| 4  | 352.3                                   | 29.93                               | 70.07  |
| 3,15   | 381                                     | 32.37                               | 67.63  |
| 2,5  | 437.2                                   | 37.14                               | 62.86  |
| 2  | 524.9                                   | 44.60                               | 55.40  |
| 1,25   | 673.5                                   | 54.16                               | 45.84  |
| 1  | 734.2                                   | 62.38                               | 37.62  |
| 0,63   | 846.8                                   | 71.95                               | 28.05  |
| 0,5  | 893.9                                   | 75.95                               | 24.05  |
| 0,315  | 963.7                                   | 81.88                               | 18.12  |
| 0,25   | 997.7                                   | 84.77                               | 15.23  |
| 0,16   | 1053.7                                  | 89.53                               | 10.47  |
| 0,125  | 1100.8                                  | 93.53                               | 6.47   |
| 0,08   | 1156.9                                  | 98.30                               | 1.70   |
| < 0,08   | 1176.9                                  | 99.34                               | 0.66   |
| $T_n + R_n = 1176.9$                                   |   |                                     |  |
| $100 * M_{s1} - (R_n + T_n) / M_{s1} = 0,01 \% < 2 \%$ |   |                                     |  |

- Deuxième échantillon Gravier 3/8 :

$M = 2000$  g ;  $M_s = 1925.3$ g

| Tamis mm   | Masse des refus cumulés ( $R_i$ ) en gr | % refus cumulés $(R_i / M_s) * 100$ | % tamisats cumulés $100 - (R_i / M_s) * 100$ |
|--|---|-------------------------------------|--|
| 10   | 0                                       | 0                                   | 100  |
| 8  | 131.8                                   | 6.85                                | 93.15  |
| 6,3  | 505.4                                   | 26.28                               | 73.72  |
| 5  | 818.2                                   | 42.56                               | 58.44  |
| 4  | 1160.5                                  | 60.36                               | 39.64  |
| 3,15   | 1387.7                                  | 72.18                               | 27.82  |
| 2.5  | 1630.1                                  | 84.79                               | 15.21  |
| 2  | 1755.0                                  | 91.29                               | 8.71   |
| 1  | 1844.9                                  | 95.96                               | 4.04   |
| 0.5  | 1873.0                                  | 97.42                               | 2.58   |
| 0,08   | 1916.2                                  | 98.16                               | 1.84   |
| < 0,08   | 1922.5                                  | 99.32                               | 0.33   |
| $T_n + R_n = 1922.5$                                   |   |                                     |  |
| $100 * M_{s1} - (R_n + T_n) / M_{s1} = 0,01 \% < 2 \%$ |   |                                     |  |

- Troisième échantillon Gravillon 8/15 :

$M_s = 3951.3 \text{ g}$

| Tamis mm                             | Masse des refus cumulés (Ri) en gr | % refus cumulés (Ri / Ms) *100 | % tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100 |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 20                                   | 0                                  | 0                              | 100                                     |
| 16                                   | 195.8                              | 4.95                           | 95.05                                   |
| 12,5                                 | 1707.6                             | 43.23                          | 56.77                                   |
| 10                                   | 2882.4                             | 72.97                          | 27.03                                   |
| 8                                    | 3645.5                             | 92.29                          | 7.71                                    |
| 6,3                                  | 3814.7                             | 96.57                          | 3.43                                    |
| 5                                    | 3864.2                             | 97.82                          | 2.18                                    |
| 4                                    | 3882.4                             | 98.28                          | 1.72                                    |
| 3.15                                 | 3894.7                             | 98.6                           | 1.4                                     |
| 2                                    | 3914.1                             | 99.09                          | 0.91                                    |
| < 0,08                               | 3950.0                             | 99.99                          | 0.01                                    |
| Tn + Rn = 3951.3g                    |                                    |                                |   |
| 100 * Ms1 - (Rn + Tn) / Ms1 = 0,01 % |                                    | < 2%                           |   |

Pour la carrière d'El Milia:

-Premier échantillon sable 0/3 :

$M = 1200 \text{ g}$  ;  $M_s = 1164.6$

| Tamis mm                             | Masse des refus cumulés (Ri) en gr | % refus cumulés (Ri / Ms) *100 | % tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100 |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 5                                    | 0                                  | 0                              | 100                                     |
| 4                                    | 61.4                               | 5.28                           | 94.72                                   |
| 3,15                                 | 127.9                              | 11.00                          | 89.00                                   |
| 2,5                                  | 233.4                              | 20.07                          | 79.93                                   |
| 2                                    | 333.2                              | 28.66                          | 71.44                                   |
| 1,25                                 | 514.1                              | 44.22                          | 65.78                                   |
| 1                                    | 583.1                              | 56.00                          | 49.84                                   |
| 0,63                                 | 726.5                              | 62.5                           | 37.5                                    |
| 0,5                                  | 792.5                              | 68.17                          | 31.83                                   |
| 0,315                                | 892.5                              | 76.78                          | 23.22                                   |
| 0,25                                 | 934.2                              | 80.36                          | 19.64                                   |
| 0,16                                 | 1007.1                             | 86.63                          | 13.37                                   |
| 0,125                                | 1039.7                             | 89.44                          | 10.66                                   |
| 0,08                                 | 1090.5                             | 93.80                          | 6.2                                     |
| < 0,08                               | 1162.4                             | 99.99                          | 0.01                                    |
| Tn + Rn = 1162.6                     |                                    |                                |   |
| 100 * Ms1 - (Rn + Tn) / Ms1 = 0,01 % |                                    | < 2 %                          |   |

- Deuxième échantillon Gravillon 3/8 :

$M = 2000 \text{ g}$  ;  $M_s = 1969.7 \text{ g}$

| Tamis mm | Masse des refus cumulés (Ri) en gr | % refus cumulés (Ri / Ms) *100 | % tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100 |
|----------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 12.5     | 0                                  | 0                              | 100                                     |
| 10       | 2.5                                | 0.14                           | 99.96                                   |
| 8        | 27.7                               | 1.61                           | 98.39                                   |
| 6,3      | 54.9                               | 3.2                            | 96.8                                    |
| 5        | 784.9                              | 45.86                          | 54.14                                   |
| 4        | 1369.6                             | 80.03                          | 19.97                                   |
| 3,15     | 1506.1                             | 88.0                           | 12.00                                   |

|                                      |        |       |       |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|
| 2.5                                  | 1557.1 | 90.98 | 9.02  |
| 2                                    | 1581.9 | 92.43 | 07.57 |
| 1.25                                 | 1608.2 | 93.97 | 6.03  |
| 0.63                                 | 1632.3 | 95.38 | 4.62  |
| 0,08                                 | 1711.3 | 98.41 | 1.39  |
| < 0,08                               | 1906.8 | 99.96 | 0.04  |
| Tn + Rn = 1969.7g                    |        |       |       |
| 100 * Ms1 - (Rn + Tn) / Ms1 = 0,04 % |        | < 2%  |       |

- Troisième échantillon Gravillon 8/15 :

M = 4000 g ; Ms = 3931.4 g

| Tamis mm                             | Masse des refus cumulés (Ri) en gr | % refus cumulés (Ri / Ms) *100 | % tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100 |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 20                                   | 0                                  | 0                              | 100                                     |
| 16                                   | 101.4                              | 2.5                            | 97.5                                    |
| 12,5                                 | 684.1                              | 17.40                          | 82.6                                    |
| 10                                   | 1538.1                             | 39.12                          | 61.88                                   |
| 8                                    | 3085.3                             | 78.5                           | 21.5                                    |
| 6,3                                  | 3635.4                             | 92.48                          | 7.52                                    |
| 5                                    | 3881.1                             | 98.74                          | 1.26                                    |
| 4                                    | 3919.0                             | 99.69                          | 0.21                                    |
| 3.15                                 | 3930.8                             | 99.99                          | 0.01                                    |
| Tn + Rn = 3931.4g                    |                                    |                                |   |
| 100 * Ms1 - (Rn + Tn) / Ms1 = 0,01 % |                                    | < 2%                           |   |

-Quatrième échantillon Gravillon 15/25 :

M=6200g ; Ms = 6195.0 g

| Tamis mm | Masse des refus cumulés (Ri) en gr | % refus cumulés (Ri / Ms) *100 | % tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100 |
|----------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 31,5     | 0                                  | 0                              | 100                                     |
| 25       | 66.9                               | 1.08                           | 98.92                                   |
| 20       | 2873.9                             | 46.72                          | 63.28                                   |
| 16       | 5293.9                             | 86.06                          | 13.94                                   |
| 12.5     | 6067.4                             | 98.63                          | 1.37                                    |
| 10       | 6147.9                             | 99.94                          | 0.06                                    |
| 8        | 6151.2                             | 100                            | 0                                       |

### 7.2- PREPARATION DES RESULTATS :

Les pourcentages des tamisats cumulés ou ceux des refus peuvent être présentés soit sous forme de tableau (Exploitation statistique), soit le plus souvent sous forme de courbe.

#### Tracé de la courbe :

Il suffit de porter les divers pourcentages de tamisats ou des différents refus cumulés sur la feuille de papier semi-logarithmique.

En abscisse : les dimensions des mailles, sur une échelle logarithmique.

En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

La courbe représentant la distribution granulométrique des éléments doit être tracée de manière continue et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points.

### 7.3- VALIDITE DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

La somme des masses Rn et Tn différer de plus de 2 % de la masse Ms1.



## Annexes A. II

|                            |  |                           |
|----------------------------|--|---------------------------|
| Normalisation<br>Française | Granulats<br>Mesures des masses volumiques, de la porosité du<br>coefficient d'absorption et de la teneur en eau des<br>gravillons et cailloux | P 18-554<br>Décembre 1990 |
|----------------------------|--|---------------------------|

## 1. Objet

La présente norme a pour objet de définir les modes opératoires pour la mesure des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau d'un gravillon ou de cailloux définis par la norme P 18-101.

## 2. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

## 3. Généralités

**3.1** La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

**3.2** Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique.

**3.3** La masse volumique réelle imbibée est définie comme le quotient de la masse de l'échantillon imbibé dans les conditions du paragraphe 3.2 par le volume qu'il occupe (volume réel).

**3.4** La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon.

**3.5** La teneur en eau est définie comme le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon.

## 4. Appareillage

**Appareillage d'usage courant** nécessaire à la préparation d'un échantillon pour essai (voir la norme P 18-553)

**Etuve** ventilée réglée à  $105 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ .

**Balance** dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.

**Panier** en toile métallique à mailles  $\leq 3 \text{ mm}$  ou récipient en tôle perforée à perforations  $\leq 3 \text{ mm}$  de dimensions adéquates, muni d'anses métalliques servant à la suspendre au fléau de la balance.

**Récipient** dans lequel on peut suspendre librement le panier ou le récipient en tôle perforée.

**Tamis** de 4 mm.

**Chiffons** absorbants de dimensions adéquates.

## 5. Matériau soumis à l'essai

L'échantillon pour essai doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553.

La masse de l'échantillon pour essai doit avoir une masse  $M$  supérieure à  $0,2 D$ , avec  $M$  exprimé en kilogrammes et  $D$  en millimètres.

## 6. Exécution de l'essai

**6.1 Détermination de la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état**

Peser l'échantillon, soit  $M$  sa masse.

Noter ensuite la masse  $M'_s$  de cet échantillon, séché sans lavage préalable.

**6.2 Détermination dans l'air de la masse sèche de l'échantillon.**

Laver l'échantillon sur le tamis de 4 mm.

Le sécher à l'étuve à  $105 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$  jusqu'à masse constante c-à-d jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure. Ne diffèrent pas de plus de 0,1 %.

Le laisser refroidir et le peser ; soit  $M_s$  sa masse.

### 6.3 Détermination dans l'air de la masse de l'échantillon imbibé.

Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique.

Peser ensuite l'échantillon après avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement, soit  $M_a$  sa masse.

### 6.4 Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon imbibé

Après la pesée précédente, placer l'échantillon imbibé dans le panier en toile métallique, le suspendre au fléau de la balance, l'immerger dans l'eau à 20 °C à l'aide du récipient prévu à cet effet, agiter le panier afin d'éliminer toute présence de bulles d'air avant la pesée.

Peser ensuite l'échantillon soit  $M'_a$  sa masse.

### 6.5 Détermination dans l'air de la masse de l'échantillon saturé en eau

Obtenir la saturation en eau complète de l'échantillon par une désorption sous vide (trompe à eau) pendant 2 h suivie d'une immersion dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique. Si la porosité est inférieure à 3 %, il y a lieu de laisser les échantillons immergés dans l'eau une semaine entière à la pression atmosphérique ou 24 h à une pression supérieure à 2 Mpa.

Peser ensuite l'échantillon après l'avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement, soit  $M_w$  sa masse.

### 6.6 Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon saturé en eau

Après la pesée précédente, placer l'échantillon saturé en eau dans le panier en toile métallique, le suspendre au fléau de la balance, l'immerger dans l'eau à 20 °C à l'aide du récipient prévu à cet effet, agiter le panier afin d'éliminer toute présence de bulles d'air avant la pesée.

Peser l'échantillon soit  $M'_w$  sa masse.

## 7. Expression des résultats

### 7.1 Masse volumique réelle $T/m^3$

$$\rho_r = \frac{M_s}{M_a - M'_a}$$

### 7.2 Coefficient d'absorption d'eau %

$$A_b = 100 \frac{M_a - M_s}{M_s}$$

### 7.3 Masse volumique réelle imbibée $T/m^3$

$$\rho_{ri} = \frac{M_a}{M_a - M'_a}$$

### 7.4 Porosité %

$$n = 100 \frac{M_w - M_s}{M_w - M'_w}$$

### 7.5 Teneur en eau %

$$w = 100 \frac{M - M_s}{M_s}$$

## Annexe A. III

## 1. OBJET

|                         |   |                               |
|-------------------------|---|-------------------------------|
| Normalisation française | Granulats<br>DETERMINATION DE LA PROPRETE<br>Superficielles | NF P 18-591 Septembre<br>1990 |
|-------------------------|---|-------------------------------|

La présence norme a pour objet de définir de mode opératoire pour la détermination de la propreté superficielle des granulats supérieur a 2 mm.

## 2. DOMAINE D'APPLICATION

La présence norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

## 3. GÉNÉRALITÉS

## 3-1 définition

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0.5 mm (ou 1.6mm pour les ballasts) mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm

## 3-2 Principe de l'essai

Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

## 4. APPAREILLAGE

- Tamis de 0.5 mm ou 1.6 mm
- Eventuellement un tamis de décharge.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0.1%.
- Etuve ventilée réglée à  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$

## 5. Préparation de l'échantillon pour essai

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P18-553. La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieur à  $0.2 D$ , avec M exprimé en Kg et D (plus grande dimension spécifiée) en millimètres.

## 6. Exécution de l'essai

Préparer deux échantillon à partir de l'échantions pour laboratoire : l'un de masse  $M_{h1}$  pour déterminer la masse sèche de l'échantillon pour essai, l'autre de masse  $M_h$  pour déterminer la masse sèche des éléments inférieurs à .5 mm ou 1.6 mm pour le ballast.

## 6.1 Détermination de la masse sèche pour l'échantillon pour l'essai

- Peser les deux échantillons  $M_{1h}$  et  $M_h$ .
- Sécher le premier échantillon à l'étuve à  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante, c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'un heure, ne diffèrent pas de plus de 0,1%.
- le peser, soit  $M_{1s}$  sa masse sèche.

La masse sèche  $M_s$  de l'échantillon soumis à l'essai de propreté est :  $M = M_{1s} \cdot M_{1h} / M_h$

## 6.2 Détermination de la masse sèche des éléments inférieurs à 0,5 mm ou 1,6 mm

- Effectuer l'essai sur le matériau à la teneur en eau à laquelle il se trouve avant essai.
- Tamiser sous eau l'échantillon  $M_h$  sur le tamis de 0,5 ou 1,6 mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire.
- Recouper le refus et le sécher à l'étuve à  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante. Le tamiser à nouveau sur le tamis de 0,5 mm ou 1,6mm pendant une minute et le peser, soit  $m$  sa masse sèche.
- La masse sèche  $m$  des éléments inférieure à 0,5 ou 1,5 mm est égale :  $m = M_s - m'$

## 7. Expression des résultats

La propreté superficielle est donnée par :  $P = m / M_s \times 100$

## Annexe A.IV : Détermination de la propreté des sables : Equivalent de sable

|                         |   |                          |
|-------------------------|---|--------------------------|
| Normalisation Française | Granulats<br>Détermination de la propreté des<br>sables : Equivalent de sable | P 18-59§<br>Octobre 1991 |
|-------------------------|---|--------------------------|

**1. Objet**

La présente norme a pour objet de définir une caractéristique des sables intitulée «équivalent de sable» et de fixer la méthode permettant de déterminer cette caractéristique.

**2. Domaine d'application**

La présente norme s'applique aux sables, d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

**3. Généralités**

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

**4. Appareillage et produits utilisés****4.1 Appareillage****4.1.1 Appareillage d'usage courant**

Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond.

Spatule et cuillère.

Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200 ml.

Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.

Chronomètre donnant la seconde.

Réglet de 500 mm, gradué en millimètres.

Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes.

Bacs pour tamisage.

**4.1.2 Appareillage spécifique**

Éprouvettes cylindriques et transparentes en matière plastique de diamètre extérieur constant à  $\pm 0,5$  mm, de diamètre intérieur de  $32 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  et d'une hauteur de  $430 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ .

Chaque éprouvette porte des traits de repères gravés à :

$100 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$  et  $380 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$  de la base.

L'éprouvette est fermée par un bouchon de caoutchouc ; l'équipement comprend deux éprouvettes et deux bouchons.

Un piston taré, conforme à la figure 2, constitué par :

- une tige de  $440 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$  de longueur ;
- une embase de  $25 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  de diamètre, dont la surface inférieure est plate, lisse et perpendiculaire à l'axe de la tige et qui comporte latéralement trois vis de centrage du piston dans l'éprouvette, avec un léger jeu. Ses parties plongeantes sont en métal inoxydable (laiton ou acier inoxydable) ;
- un manchon de  $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  d'épaisseur, qui s'adapte sur l'éprouvette cylindrique et permet de guider la tige du piston, en même temps qu'il sert à repérer l'enfoncement du piston dans l'éprouvette. Ce manchon comporte une vis qui permet de le bloquer sur la tige du piston, ainsi qu'une encoche pour le passage du réglet ;
- un poids fixé à l'extrémité supérieure de la tige pour donner à l'ensemble du piston taré, hormis le manchon, une masse totale de  $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$  ;
- un tube laveur, conforme à la figure 3, constitué par un tube rigide (acier inoxydable ou cuivre écroui) de diamètre extérieur de  $6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  et de diamètre intérieur de  $4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ . Ce tube laveur est muni à la partie supérieure d'un robinet, à la partie inférieure d'un embout fileté en métal inoxydable formant dièdre, chaque face du dièdre étant percée d'un trou de  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  ;
- un flacon, transparent en verre ou en matière plastique, d'environ 5 l, muni d'un système desiphon, dont le fond est placé à 1 m au-dessus de la table de travail ;

- un tube de caoutchouc, ou de plastique, de 1,50 m de longueur environ et de 5 mm de diamètre intérieur environ reliant le tube laveur au siphon ;
- un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon dans l'éprouvette cylindrique;
- une machine d'agitation, manuelle ou électrique, capable d'imprimer à l'éprouvette un mouvement horizontal, rectiligne et périodique de  $20 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$  d'amplitude et de période 1/3 seconde.

#### 4.1.3 Produits utilisés

##### 4.1.3.1 Solution concentrée

La préparation de la solution concentrée s'effectue à partir :

- de chlorure de calcium cristallisé, qualité produit pur,
- de glycérine à 99 % de glycérol, qualité pharmaceutique,
- de formaldéhyde en solution à 40 % en volume, qualité pharmaceutique,
- d'eau distillée ou déminéralisée.

Préparer un litre de solution concentrée avec :

- $111 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  de chlorure de calcium anhydre,
- $480 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$  de glycérine,
- 12 à 13 g de la solution de formaldéhyde.

Il est recommandé de stocker la solution concentrée dans des flacons en matière plastique contenant  $125 \text{ ml} \pm 1 \text{ ml}$ , pour des raisons de commodité d'emploi et de meilleure conservation de cette solution.

##### 4.1.3.2 Solution lavante

La solution lavante est préparée, en prenant  $125 \text{ ml} \pm 1 \text{ ml}$  de la solution concentrée et en diluant à  $5 \text{ l} \pm 0,005 \text{ l}$  avec de l'eau distillée.

Pour la préparation de la solution lavante, à partir de la solution concentrée, on peut se contenter sur les chantiers d'eau déminéralisée au lieu d'eau distillée et même d'eau potable.

Remplacer la solution lavante au bout d'un mois, ou avant si un léger dépôt ou des troubles apparaissent. En outre, rincer et nettoyer à l'eau distillée la bonbonne de 5 l à chaque remplissage.

Le mélange est vigoureusement agité avant utilisation.

Dans le cas où la solution concentrée est stockée dans un flacon de 125 ml, rincer plusieurs fois le flacon et verser les eaux de rinçage dans le flacon de 5 l avant de diluer le contenu de ce dernier à 5 l.

#### 5. Préparation de l'échantillon pour essai

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g.

Si l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation.

Sur celui-ci, procéder à la préparation d'un échantillon pour la détermination de la teneur en eau  $w$  et de deux échantillons pour essai.

L'essai s'effectue sur le sable à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour essai doit être de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ .

##### 5.1 Détermination de la teneur en eau du tamisât

A partir du premier échantillon, déterminer la teneur en eau  $w$  exprimée en pourcentage sur deux prises de 100 à 200 g par une méthode rapide telle que : séchage au gaz, rayonnement infrarouge,...

##### 5.2 Préparation des échantillons pour essai

La masse de l'échantillon pour essai, exprimée en grammes, est alors égale à :

Dans tous les cas préparer deux échantillons par essai.

$$120 \left( 1 + \frac{w}{100} \right)$$

#### 6. Exécution de l'essai

##### 6.1 Mise en place de la première prise d'essai

La solution lavante ayant été siphonnée dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait repère inférieur, la prise d'essai humide, correspondant à une masse sèche de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  de matériau, est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement.

Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

Laisser reposer dix minutes.

## Annexe A. V:

|                 |   |                                  |
|-----------------|---|----------------------------------|
| NORME FRANÇAISE | <b>GRANULATS</b><br>Coefficient d'usure micro-Deval | <b>P 18-572</b><br>Décembre 1990 |
|-----------------|---|----------------------------------|

**1. Objet**

La présente norme a pour objet de le mode opératoire pour la mesure de la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats.

**2. Domaine d'application**

La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés du bâtiment et du génie civil.

**3. Généralité****3.1 But de l'essai**

L'essai micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des roches, cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

**3.2 Définition d l'essai**

L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produit par frottement réciproques dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

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

4-6,3 mm, 6,3-10mm, 10-14mm et 25-50mm.

Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm une charge abrasive est utilisée.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime en  $100 \cdot m / M$

Par définition, cette quantité sans dimension, est appelée suivant la méthode employée :

- Coefficient micro-Deval sec du granulat ( $M_{DS}$ )
- Coefficient micro-Deval en présence d'eau du granulat ( $M_{DE}$ )

**4. Appareillage****4.1 Appareillage d'usage courant**

**Jeu de tamis** de 1,6 - 4 - 6,3 - 8 - 10 - 14 - 25 - 40 et 50 mm, le diamètre des montures ne devant pas être inférieur à 200 mm.

Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau (P 18-553) et une analyse granulométrique par tamisage (18 560).

**4.2 Appareillage spécifique**

L'appareil micro-Deval est conforme aux caractéristiques essentielles suivantes :

Il comporte un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre inférieur de  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  et une longueur utile de  $154 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  pour les gravillons compris entre 4 et 14mm et de  $400 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  pour les 25-50 mm. Les cylindres d'essais sont en acier inox (Z2 CN 18 -10) d'épaisseur supérieur ou égale à 3 mm. Ils ont pesés sur deux arbres horizontaux.

Cheque cylindre permet d'effectuer un essai.

L'intérieur des cylindres ne doit présenter aucune saillie due à la soudure ou mode de fixation, ils sont fermés par un couvercle plat d'environ 8 mm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint placé sur le couvercle.

La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de 10 mm de diamètre en acier inox Z 30 C 13.

Le contrôle du diamètre des billes peut se faire rapidement en faisant passer sur deux barreaux parallèles. D'écartement 9,5 mm, ou par pesée de lots de 10 billes usagées dont la masse ne doit pas être inférieure à 34 g.

Un moteur (environ 1 KW) doit assurer aux cylindres une vitesse de rotation régulière de  $100 \text{ tr/min} \pm 5 \text{ tr/min}$

Un dispositif doit permettre d'arrêter automatiquement le moteur à la fin de l'essai.

## 5. Préparation de l'échantillon pour essai

### 5.1 Prise d'échantillon

La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 2 kg pour les gravillons entre 4 et 14 mm et 40kg pour les 25-50 mm L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553

### 6.2 Préparation de l'échantillon pour essai

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des classes granulaires type. Les 25-50 mm doivent contenir 60% de 25-40 mm

Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure, ne diffèrent pas de plus 0,1%

Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.

La masse de l'échantillon pour essai est de 500±2g pour les 4-14 mm et de 10 kg pour les 25-50 mm

## 6. Exécution de l'essai

### 6.1 Essai sur les gravillons compris entre 4 et 14 mm

Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive, puis les 500g de matériau préparé suivant les dispositions du chapitre 5. La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après.

| Classes granulaires (mm) | Charge abrasive (g) |
|--------------------------|---------------------|
| 4 - 6,3                  | 2000±5              |
| 6,3 - 10                 | 4000±5              |
| 10 - 14                  | 5000±5              |

Pour effectuer un essai en présence en présence d'eau, On ajoute 2,5 l'eau.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de 100 tr/ min pendant 2 h ou 12000 t.

Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulats.

Laver soigneusement à la pissette intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.

Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; la charge abrasive ( à l'aide d'un aimant par exemple) .procéder plusieurs fois pour faciliter l'opération.

Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105 °C, jusqu'à masse constante.

Peser ce refus au gamme près, soit m' le résultat de la pesée.

### 6.2 Essai sur les granulats compris entre 25 et 50 mm

Introduire dans le cylindre d'essai disposé vers le haut, les 10000 g de matériau préparé suivant les dispositions du chapitre 5.

Pour effectuer l'essai en présence d'eau on ajoute 2 l d'eau.

Mettre les cylindre en rotation à une vitesse de 100 tr /min ±5 tr /min pendant 2 h20 minute ou 14 000 rotations.

Après essai recueillir le granulat dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes d'éléments. Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre en recueillant dans le bac l'eau et les parties minérales entraînées.

Tamiser le matériau du bac sur le tamis de 1,6 mm en prévoyant un tamis de décharge.

Laver l'ensemble sous un jet d'eau en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.

Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve réglée à 105 °C jusqu'à masse constante.

Peser ce refus au gamme près, soit m' le résultat de la pesée.

### 7. Expression des résultats

Le coefficient micro-Deval  $M_{DE}$  ou  $M_{DS}$  est par définition le rapport :

$$100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$$

Où :

$M$  est la masse sèche de l'échantillon pour essai (500 ou 10 000 g),

$m = M - m'$  est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm

---



## Annexe. B.I:

|                 |                              |                            |
|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| NORME FRANÇAISE | chaussées<br>Proctor modifié | P 98-231-1<br>Février 1999 |
|-----------------|------------------------------|----------------------------|

**1. Domaine d'application**

Le présent document spécifie un essai Proctor adapté aux matériaux de chaussées. L'adaptation de l'essai Proctor modifié porte sur quelques dimensions du matériel spécifique, sur des points particuliers du mode opératoire, et sur les conditions d'interprétation des résultats d'essai.

Il s'applique à la fois aux matériaux non traités (graves ou sables) et aux matériaux traités avant prise : les caractéristiques communes à ces matériaux sont qu'ils présentent un caractère drainant pouvant rendre impossible l'interprétation de l'essai Proctor NF P 94-093, et qu'ils sont destinés à être compactés pour réaliser une assise de chaussée.

**3. Définitions, symboles et abréviations**

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

**3.1. Teneur en eau initiale  $w_{0i}$** 

La teneur en eau initiale est la valeur de la teneur en eau du matériau avant compactage pour l'essai de rang  $i$ .

**3.2. Teneur en eau finale  $w_{Fi}$** 

La teneur en eau finale est la valeur de la teneur en eau du matériau après compactage pour l'essai de rang  $i$ .

**3.3. Teneur en eau de ressuage  $w_r$** 

— le matériau est considéré comme n'ayant pas perdu d'eau au compactage si  $w_0 - w_r \leq 0,3 \%$  ;  
— la teneur en eau de ressuage  $w_r$  est la valeur limite maximale de la teneur en eau initiale pour laquelle il n'y a pas de perte d'eau.

**3.4. Matériaux drainants**

Un matériau est considéré comme drainant dans le cadre de cet essai lorsque le compactage s'accompagne d'une perte d'eau ( $w_0 - w_r > 0,3 \%$ ).

**3.5. Masse volumique sèche de ressuage  $\rho_{dr}$  en grammes par centimètre cube**

C'est la masse volumique apparente sèche du matériau soumis à l'essai Proctor. Elle est calculée à partir de la teneur en eau de ressuage.  $w_{0i}$  est la teneur en eau initiale, déterminée avant compactage pour l'essai de rang  $i$  selon la norme

NF P 94-050, exprimée en pourcentage ;  $w_{Fi}$  est la teneur en eau finale, déterminée pour l'essai de rang  $i$  selon la norme NF P 94-050, exprimée en pourcentage

;  $W_r$  est la teneur en eau de ressuage, exprimée en pourcentage ;

$\rho_{dr}$  est la masse volumique apparente sèche de ressuage, exprimée en grammes par centimètre cube ;

$\rho_h$  est la masse volumique apparente humide, exprimée en grammes par centimètre cube ;

$\rho_d$  est la masse volumique apparente sèche, exprimée en grammes par centimètre cube.

**4. Principe**

Le matériau est compacté selon le principe de la norme NF P 94-093 en utilisant des moules et disques d'espacement ayant des dimensions spécifiques. On détermine la valeur de la masse volumique apparente de ressuage correspondant à une perte d'eau fixée, au compactage.

**5. Appareillage**

L'appareillage spécifique pour l'essai Proctor modifié adapté aux chaussées est celui prévu dans la norme NF P 94-093 Proctor, pour sa partie «essai Proctor modifié» à l'exception des spécifications suivantes :

- moule CBR de hauteur  $152 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  ;
- disque d'espacement :
  - de diamètre  $150,9 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ,
  - de hauteur  $25,4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  ;

- dame de compactage Proctor modifié avec un diamètre du mouton de  $50.5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ .
- NOTE : Le volume de matériau à compacter (volume réel du moule au sens de la norme NF P 94-093) doit être connu à 0,5 % près.

### 6. Mode opératoire

Réaliser l'essai suivant la norme NF P 94-093 — Essai Proctor modifié.

Réaliser au moins trois points de mesure de rang  $i$  à au moins trois teneurs en eau différentes.

Pour chaque point de mesure, on détermine :

- la teneur en eau initiale  $w_{0i}$  ;
- la teneur en eau finale  $w_{Fi}$ .

La teneur en eau finale  $w_{Fi}$  est déterminée par séchage de l'ensemble de l'éprouvette d'essai selon la norme NF P 94-050.

Si  $0,3 \% < w_0 - w_F \leq 0,5 \%$ , alors par convention,  $w_r = w_0$ .

Si pour une teneur en eau initiale  $w_{0i}$  on a après compactage  $w_{0i} - w_{Fi} < 0,3 \%$  et que pour la teneur en eau initiale suivante  $w_{0i+1}$  on a :

$$w_{0i+1} - w_{Fi+1} > 0,5 \%$$

Dans ce cas :  $w_r = \frac{w_{0i} + w_{0i+1}}{2}$

Cette formule n'est pas applicable pour des écarts entre  $w_{0i}$  et  $w_{0i+1}$  supérieurs à 1 %.

Si l'écart entre  $w_{0i}$  et  $w_{0i+1}$  est supérieur à 1 %, il faut réaliser un essai à une teneur en eau intermédiaire.

### 7. Calcul et expression des résultats

Pour chaque point de mesure de rang  $i$ , la masse volumique apparente sèche  $\rho_d$  est

calculée par la formule :  $\rho_d = \left[ \frac{\rho_h}{100 + w_f} \right] \cdot 100$

On trace un graphique avec en abscisse la valeur moyenne de la teneur en eau finale pour le rang  $i$  et en ordonnée la valeur moyenne de  $\rho_d$  correspondante. La valeur de la masse volumique apparente sèche de ressuage  $\rho_{dr}$  est lue sur le graphique.

### 8. Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit faire référence au présent document et indiquer :

- les éléments d'identification des mélanges étudiés ;
- la courbe  $\rho_{dr}$  en fonction de  $w_F$  ;
- les valeurs  $w_r$  et  $\rho_{dr}$  ;
- les incidents éventuels susceptibles d'avoir agi sur les résultats.