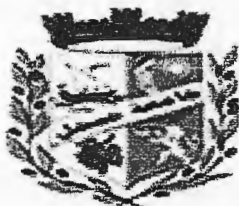


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel

جامعة جيجل

Faculté des Sciences
Dép^t des Sciences de la Terre



كلية العلوم
قسم علوم الأرض

04/05/05

*Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en géologie*

01/02

Option : Géologie de l'Ingénieur

Thème

*Granulométrie et minéralogie des
sables de plage, dunaires, fluviatiles
et concassés utilisés dans le domaine
du bâtiment et des travaux publics
dans la wilaya de Jijel*

Jury :

M. REMOUM K.

M. BOUFAA K.

M. BOUZENOUNE A.

Président

Examineur

Rapporteur

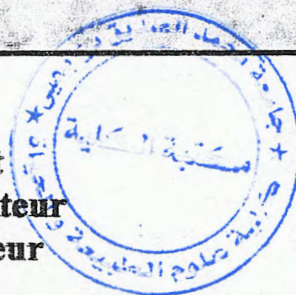
Présenté par :

BOUMENAKH Nabil

GUEBLA Yasser

Soutenu le : 20 Septembre 2005

Année universitaire : 2004/ 2005



Remerciements

*Nous remercions DIEU le tout puissant qui nous a
donné la force, la volonté et le courage pour
accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à formuler notre gratitude et notre
profonde reconnaissance à l'égard de notre
promoteur M. A. Bouzenoune qui nous a toujours
accueilli avec bienveillance et qui n'a ménagé ni son
temps ni ses efforts pour nous guider.*

*Nous remercions encore le LTPE et la DTP de la
Wilaya de Jijel*

*Les camarades Wahid et Khiredidine, et M^e.
Boudjerda S. Pour leurs aides et leurs
encouragements.*

*Nos remerciements aux membres du jury qui ont
accepté de juger notre travail.*

*Enfin nous exprimons notre profonde
reconnaissance à tous les enseignants qui ont
contribué à notre formation.*



Dédicace

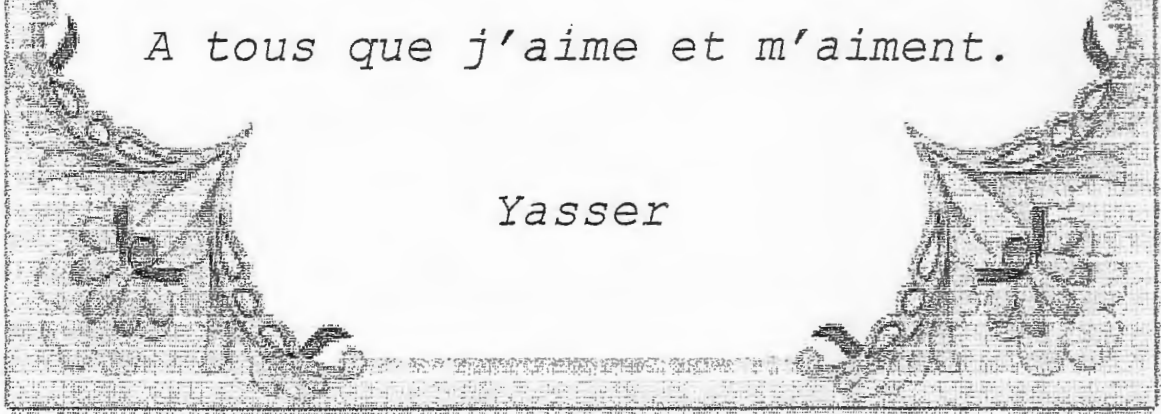
*Je dédie ce modeste travail de fin
d'étude*

*A mes chers parents que dieu me les
garde.*



*A mes frères et sœurs
A toute ma famille
A tous mes amis*

*A tous mes collègues de promotion
2005*

A tous que j'aime et m'aiment.



Yasser



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail de
fin d'étude*

*A ma cher mère que dieu me la
garde.*

A mes frères et sœurs

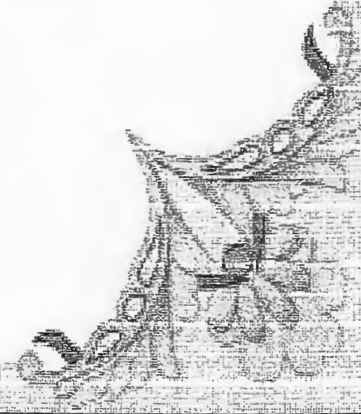
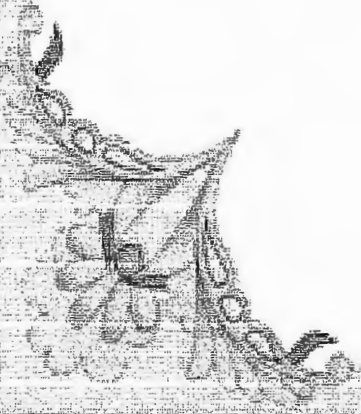
A toute ma famille

A tous mes amis

A tous mes collègues de promotion

2005

A tous que j'aime et m'aiment.



Nabil

Résumé

Les sables utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics (BTP) dans la Wilaya de Jijel proviennent essentiellement de la partie Est de la Wilaya.

La plus grande partie provient des sables naturels; sables de mer extraits de la sablière du port de Djendjen (commune de Taher), et les sables dunaires de la sablière de Oued Zhor (Beni-Belaid). L'autre partie provient des sables concassés de la carrière de Sidi Marouf (W. Jijel). Des sables concassés d'une carrière du massif du Grouz (W. Mila) ont été également étudiés. L'étude a consisté en la détermination des caractéristiques géométriques, physiques et minéralogiques de l'ensemble des sables échantillonnés.

Les caractéristiques géométriques déterminées par analyse granulométrique montrent que les sables dunaires sont des sables 0/2 mm, les sables concassés 0/3 mm, les sables de plages 0/4 mm et les sables fluviatiles 0/6,3 mm. L'ensemble des sables présente une granulométrie continue. La comparaison entre les caractéristiques des sables naturels avec celles des sables concassés des carrières montre une légère différence concernant le pourcentage des fines. Les sables concassés de carrières ont un taux de fines (5,52-10,37 %) relativement plus élevé que celui des sables naturels (0,02-0,48 %). Les modules de finesse des sables étudiés sont compris entre 1,82 et 3,07, ils sont conformes aux spécifications ($MF = 1,8-3,2$) définies par les normes internationales relatives aux granulats utilisés dans le domaine du BTP. Seuls les sables dunaires de la sablière de Oued Zhor présentent un module de finesse relativement faible (1,37).

Les caractéristiques physiques et de propreté étudiées consistent en la masse volumique absolue, le coefficient d'absorption et l'équivalent de sables. Les sables étudiés sont dits **courants**, ils présentent des masses volumiques absolues comprises entre 2,49 et 2,67 g/cm³. L'ensemble des sables présente des coefficients d'absorption (1,15-1,77 %) inférieurs aux valeurs préconisées par les normes (< 5 % pour les bétons hydrauliques). Les sables étudiés sont propres, ils présentent des valeurs d'équivalent de sables ($ES_{piston} = 65,66-96,34$) qui répondent largement aux exigences des normes.

Les caractéristiques minéralogiques montrent que les sables naturels sont principalement silicatés (quartz, fragments de roche, grenat, micas, tourmalines et autres minéraux indéterminés) alors que les sables concassés de carrières sont carbonatés. Les fragments de roches consistent en des débris de roches métamorphiques et constituent, avec les micas, des débris à structure schisteuse indésirables dans la constitution des bétons. Leur importance quantitative reste néanmoins faible. Le constituant principal étant le quartz qui se présente sous forme de grains sains.

Sur la base de l'ensemble de ces propriétés, on peut dire que les sables étudiés peuvent être utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics (BTP) moyennant quelques précautions relatives à la propreté des sables concassés de carrières et à la nature pétro minéralogique des sables naturels.

ملخص.

أن كمية الرمال المستعملة في مجال البناء و الأشغال العمومية لولاية جيجل تأتي في مجملها من الجهة الشرقية للولاية. حيث يستخرج الجزء الأكبر من هذه الرمال من مرملة بلدية الطاهير المتواجدة بالضفة الشرقية لميناء جن جن، أما الجزء الآخر فيتم استخراجها من الكتبان الرملية لمرملة وادي زهور، إضافة إلى رمال محجرة سيدي معروف.

تمثلت الدراسات التي قمنا بها بتحديد بعض الخصائص الهندسية و الفيزيائية و المعدنية لهذه الرمال، إضافة إلى رمال محجرة بجبل غروز * ولاية ميلة * .

الخصائص الهندسية المتمثلة في التوزيع الحجمي لحبيبات الرمال، كمية الحبيبات الدقيقة و معامل نعومة حبيبات الرمال، حيث بينت أن رمال مرملة وادي زهور هي من صنف 2\0 ملم، رمال المحاجر من صنف 3\0 ملم، رمال مرملة الطاهير الشاطئية من صنف 4\0 ملم، أما رمال وادي جن جن * الأمير عبد القادر * و وادي الكبير * سيدي معروف، الميلية * من صنف 6.3\0 ملم. جميع هذه الرمال ذات توزيع حبيبي مستمر.

المقارنة بين خصائص الرمال الطبيعية و رمال المحاجر بينت أن الأخيرة تمتلك نسبة كبيرة من الحبيبات الدقيقة مقارنة بالأولى.

الرمال المدروسة هي ذات كتلة حجمية تتراوح من 2,49 إلى 2,67 غ/سم³ وذات معامل امتصاص الماء من 1,15 % إلى 1,77 % و معامل تقاوة الرمل من 65,66 إلى 96,34 ، هذه القيم مطابقة للمعايير الدولية.

الدراسة المعدنية لهذه الرمال بينت أن الرمال الطبيعية هي ذات أصل سليكاتي تحتوي على الكوارتز، الميكا، فتات صخور متحولة ورقية الشكل مضررة بالإسمنت المستعمل في البناءات وأن رمال المحاجر ذات طبيعة كاربوناتية.

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE II : CADRE GEOGRAPHIQUE ET PHYSIOGRAPHIQUE	
II.1- Situation géographique et localisation des échantillons	6
II.2- Climat et réseau hydrographique	6
CHAPITRE III : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL	
III.1. Introduction	10
III.2. Les grands ensembles géologiques de la petite Kabylie	10
III.2.1. Le domaine interne	10
III.2.1.1. Le socle kabyle	10
III.2.1.2. La dorsale kabyle	10
III.2.2. Le domaine de flyschs	11
III.2.2.1. Le flysch Maurétanien	11
III.2.2.2. Le flysch Massy lien	13
III.2.3. L'oligo-Miocène kabyle	13
III.2.4. Les olistostromes	13
III.2.5. Le Numidien	13
III.2.6. Le domaine externe	14
III.2.7. Les formation post-nappes	14
III.2.8. Les roches magmatiques	14
CHAPITRE IV : SOURCES POTENTIELLES DES SABLES	
IV.1. Introduction	16
IV.2- Les principales roches constituant les formations géologiques de la région	16
CHAPITRE V : ETUDE DES SABLES	
V.1- Introduction	21
V.2- Echantillonnage	21
V.3- Propriétés géométriques	25
V.3.1- Analyse granulométrique	25
V.3.1.1- Définition, but et principe de l'essai	25
V.3.1.2- Module de finesse	26
V.3.1.3- Le pourcentage des fines	26
V.3.2- Granularité, module de finesse et pourcentage des fines des sables de la région de Jijel	27
V.3.2.1- Sables de mer du port de Djendjen (PDJ 01)	30
V.3.2.2- Sables fluviatiles d'Oued Djendjen (ODJ 01)	33
V.3.2.3- Sables fluviatiles d'Oued El Kebir Sidi Marouf (OKS 01)	35
V.3.2.4- Sables fluviatiles d'Oued El Kebir El Milia (OKM 01)	37
V.3.2.5- Sables dunaires de la sablière d'Oued Zhor (OZ 01)	39
V.3.2.6- Sables 0/3 de la carrière de Sidi Marouf (CSM 01)	41
V.3.2.7- Sables 0/3 de la carrière de Bachiri du massif de Grouz (OKS 01)	43
Conclusion	45
V.4- Propriétés physiques	47
V.4.1- Masse volumique absolue	47
V.4.1.1- Définition, but et principe de la mesure de la masse volumique absolue	47
V.4.1.2- Résultats	49

CHAPITRE

I

Introduction Générale

En pétrographie sédimentaire le sable est défini comme une roche détritique meuble constituée de fragments minéraux de petite taille de dimensions comprises entre 2 mm et 0.063 mm et comprenant cinq groupes de très fin à très grossier (Tab. I.1).

Le sable résulte de l'altération de roches préexistantes, du transport et du dépôt de ces débris au cours du temps. Il est principalement composé de fragments de cristaux de quartz, provenant de la dégradation de roches cristallines. Ces petits grains cristallins sont concentrés par les rivières et transportés jusqu'à la mer. Outre le quartz, le sable comprend aussi des fragments minéraux d'origines variées donnant lieu à un sable calcaireux, argileux, ... selon sa composition. On y trouve également des fossiles ou des débris de ceux-ci.

		1µm	2	4	8	16	31	62,5	125	250	500	1mm	2	4	8	16
		Lutites					Arenites					Rudites				
Meubles	Argiles	Silts (aleurites)					Sables					Granules	Graviers	Cailloux		
							Très fin	Fin	Moyen	Grossier	Très grossier					
Consolidé	Argilolites	Silts Siltstones					Grès (même subdivision que les sables)					Conglomérats				

Tableau.I.1- classification pétrographique des roches détritiques (Guillemot - d'après Saaïdi, 1991) .

Comme matériau utilisé dans le domaine du BTP, la granularité du sable est définie différemment selon les normes comme le produit dont les éléments les plus gros ont des diamètres variables (Tab.I.2).

Définition	NF EN 12620 bétons	NF EN 13139 mortiers	NF EN 13043 Bitume et enduits	NF EN 13242 GNT et GTLH
Sables	d = 0 D ≤ 4	d = 0 D ≤ 4	d non précisé D ≤ 2	d = 0 D ≤ 6.3

GNT: grave non traitée GTLH: grave traitée aux liants hydrauliques.

EN 12620 : Granulats pour bétons. EN 13139 : Granulats pour mortiers

EN13043 : Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et autres zones de circulation.

EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.

Tableau.I.2- Limite des dimensions minimale (d) et maximale (D) des sables.

Au delà de cette limite, on trouve le gravillon, puis le galet.

On distingue dans un sable trois catégories de grains:

- les gros grains de D à 2 mm de diamètre;
- les grains moyens de 2 mm à 0.5 mm de diamètre;
- les grains fins au-dessous de 0.5 mm de diamètre.

Généralement les granulats constituent la matière première essentielle du BTP (bâtiments et travaux publics), sans laquelle la réalisation des ouvrages serait aujourd'hui impossible. Ils forment le squelette de béton hydraulique, et de leur qualité dépend en partie celle des logements, des routes, des ponts, etc...

La consommation de ces matériaux de construction évolue d'une année à l'autre dans les différents pays, proportionnellement à l'augmentation de la population. Ainsi, après l'eau, les granulats est la ressource minérale la plus consommable.

L'utilisation de ces ressources au cours des années montre que cette substance est sollicitée par plusieurs contraintes, rendant ainsi son coût très élevé qui se répercute directement sur l'économie. Les sables utilisés dans le BTP doivent présenter des caractéristiques bien spécifiées qui sont liées aux propriétés intrinsèques de la roche (minéralogie, propriétés physiques), aux conditions du gisement (caractéristiques géométriques et propreté) et au type de l'ouvrage.

La wilaya de Jijel a connu dans les dernières années la réalisation de différents ouvrages tels que les ponts, les bâtiments, port de pêche, les routes, l'université, qui ont consommé des quantités considérables de sables.

Selon les données fragmentaires dont on dispose, l'exploitation de sable naturel dans la wilaya de Jijel durant la dernière décennie ^{à connu} des fluctuations en relation avec la durée de la mise en activité des sablières (Tab.I.3 et Fig.I.1). L'évaluation de cette exploitation pendant les années 2002, 2003, 2004 et 2005 réalisée par la direction des travaux publics (DTP) de la wilaya de Jijel.

Année	Exploitation (M3)	Période d'ouverture des sablières	Production/mois
2002	142804,5	7 mois	20400
2003	68757,5	2 mois	34378
2004	93037	5 mois	18607
2005	53635	2 mois	26817

Tableau.I.3- Volumes des sables naturels extraits des sablières de la wilaya de Jijel, pendant les années 2002, 2003, 2004, 2005 (Données d'après la DTP)

CHAPITRE

II

II.1- Situation géographique et localisation des échantillons

Les sables utilisés dans le BTP dans la wilaya de Jijel proviennent principalement des sablières. En dehors des endroits où les sables font l'objet d'un pillage anarchique, deux sablières fournissent le marché local en ces matériaux de construction:

- la sablière du port de Djendjen (sable de plage);
- la sablière de oued Zhor (sable dunaire).

La sablière de Djendjen est administrativement rattachée à la commune de Taher, elle est située à une vingtaine de kilomètres à l'Est de la ville de Jijel (Fig. II.1). Pour diverses raisons (saison estivale du littoral...), les activités d'exploitations du sable dans la sablière de Djendjen s'échelonnent uniquement sur deux à trois mois par an : généralement du mois janvier au mois de mai.

La sablière de Oued Zhor est administrativement rattachée à la commune d'El Milia, elle est située à une vingtaine de Km au Nord de la ville d'El Milia, juste à l'embouchure de Oued Zhor (Fig. II.1). L'exploitation des sables dunaires s'échelonne sur toute l'année.

Ces deux sablières ont évidemment fait l'objet d'un échantillonnage. Afin d'établir des comparaisons avec les éventuelles autres sources de sables, nous avons échantillonné:

- des sables fluviatiles: le long d'oued Djendjen aux environs d'El Emir Abdelkader et le long d'oued El Kebir aux environs d'El Milia et de Sidi Marouf;
- des sables de carrières provenant des carrières de granulat calcaire de Sidi Marouf (Jijel) et du massif du Grouz (Mila).

Au total, nous avons étudié sept (07) prélèvements provenant de la partie orientale de la wilaya de Jijel (Fig.II.1).

II.2- Climat et réseau hydrographique

La partie orientale de la wilaya de Jijel est caractérisée, du point de vue géomorphologique, par trois ensembles distincts, qui sont du Nord vers le Sud :

- une bande littorale occupée par des plages le plus souvent ouvertes et bordées par un cordon dunaire;
- des plaines alluviales avec des pentes douces, traversées du Sud vers le Nord, par des oueds dont les plus importants sont : Oued Djendjen, Oued Nil, Oued El kebir et Oued Zhor (Fig.II.1)
- une zone montagneuse, représentée par les massifs des Babors, recouverte par de la broussaille, la forêt de chêne-liège et des oliviers. Les sommets les plus importants sont : Babors (1989 m), Tamesguida (1620 m), Riafa (1490 m), Sidi Marouf (1217 m).

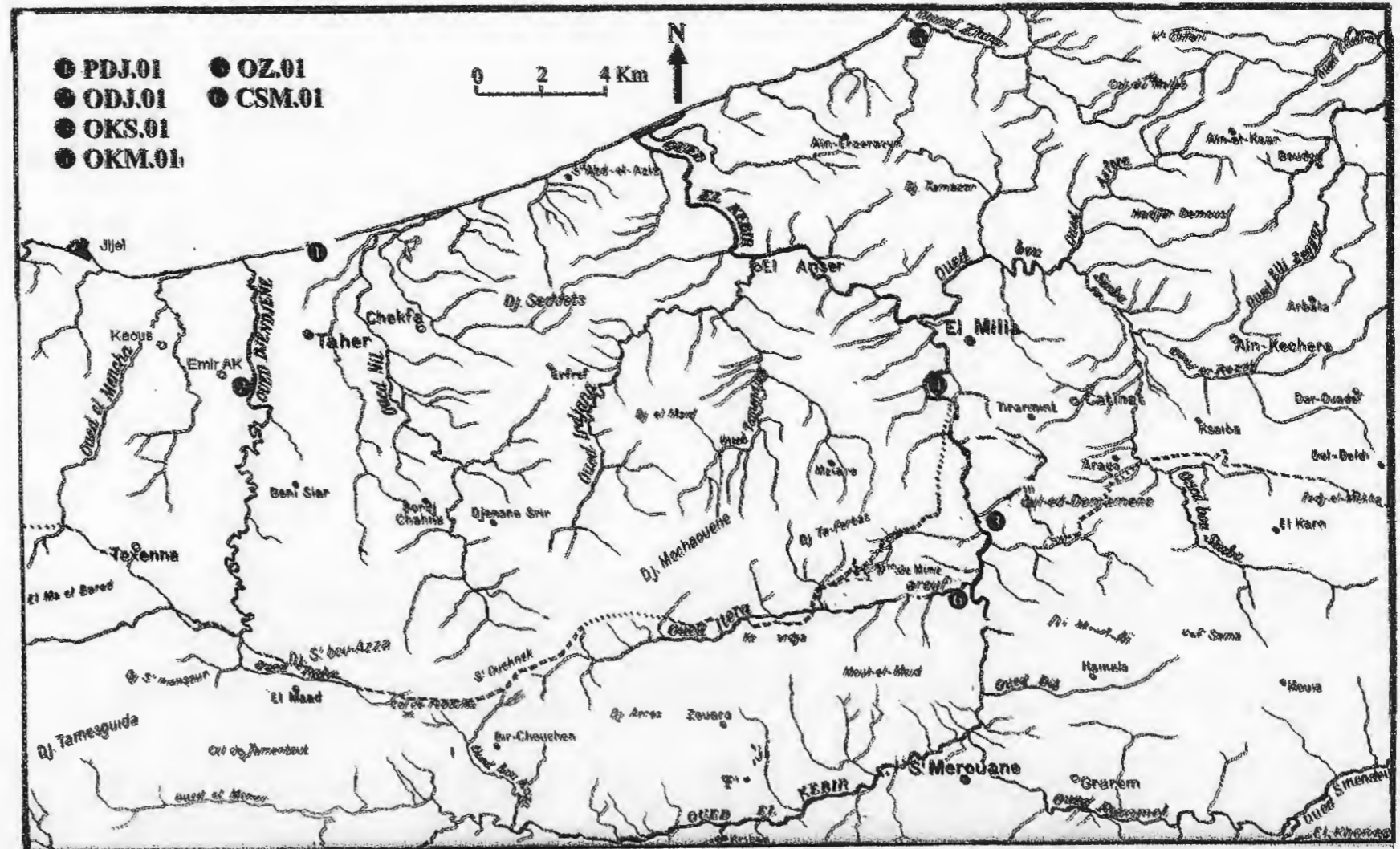


Fig. II.1- Réseau hydrographique et localisation des échantillons. L'échantillon des sables concassés de la carrière du Grouz (CG.01) n'est par représenté sur la carte. (Durand Delga, 1955, légèrement modifiée)

●- Sable du port de Djendjen (PDJ.01), ●- Sable d'Oued Djendjen (ODJ.01), ●- Sable d'Oued El Kebir Sidi Marouf (OKS.01), ●- Sable d'Oued El Kebir El Milia (OKM.01), ●- Sable dunaire d'Oued Zhor (OZ.01), ●- Sable de la Carrière de Sidi Marouf (CSM.01).

CHAPITRE

III

III.1-Introduction

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l'Est algérien. Ces chaînes ont été structurées par l'orogénèse alpine.

Le massif de la petite Kabylie, s'étend sur 150 km, d'Est en Ouest et 50 km, du Nord au Sud, entre la région de Jijel à l'Ouest et le massif de Filfila à l'Est (Skikda).

A l'Est, le massif de l'Edough le limite, tandis qu'à l'Ouest, il est bordé par la chaîne montagneuse des Babors; plus au Sud, il est limité par les formations sédimentaires issues des bassins de flyschs sud kabyle (Fig.III.1).

III.2- Les grands ensembles géologiques de la petite Kabylie

La petite Kabylie est constituée par un édifice d'unités allochtones appartenant au domaine interne, aux nappes des flyschs et au domaine externe.

Ces différentes unités dont l'organisation est très complexe sont parfois traversées par des venues de roches magmatiques du Miocène.

III.2.1- Le domaine interne

Situé au Nord, il comprend le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire représentée par des termes paléozoïques, et par des niveaux surtout carbonatés allant du Trias à l'Eocène de la "dorsale Kabyle" ou "chaîne calcaire"(Fig.III.2).

III.2.1.1- Le socle Kabyle

Les formations du socle kabyle constituent trois pointements amygdalaires le long du littoral Algérien. Ces pointements sont représentés par les massifs de chenoua (Alger) à l'ouest, le massif de grande Kabylie au centre et le massif de petite kabylie à l'Est.

Les formations cristallophylliennes du socle kabyle sont largement représentées en petite Kabylie, elles comportent deux grands ensembles (Durand Delga, 1955, Bouillin, 1977):

- un ensemble inférieur gneissique constitué de para gneiss et de gneiss granulitique, cet ensemble admet par endroits de puissantes intercalations de marbres et d'amphibolites;
- un ensemble supérieur, cet ensemble schisteux est formé de micaschistes et de phyllades. Le socle kabyle ainsi que sa couverture sédimentaire sont charriés sur 30 km vers le Sud (Durand Delga, 1955). *Bouillin 1970*

III.2.1.2- La dorsale kabyle

Elle est nommée "chaîne liasique" (Ficheur, 1909), "chaîne calcaire" (Glangeaud, 1932), et enfin "dorsale kabyle" (Durand Delga, 1969).

Elle marque, grâce à ses reliefs carbonatés, la limite entre le socle kabyle au Nord et les zones telliennes au Sud.

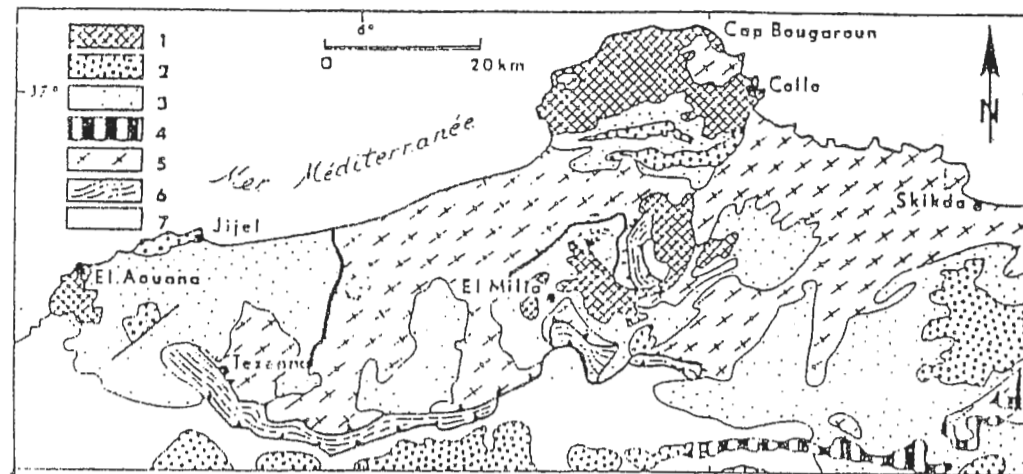


Fig.III.2- Esquisse géologique de la petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989)
 1- Granite Miocène, 2- Numidien, 3- Olgo-Miocène et unités allochthone supra-Kabyle, 4- Dorsale calcaire, 5- socle Kabyle, 6- Unités schistosées infra-Kabyle, 7- Unités telliennes

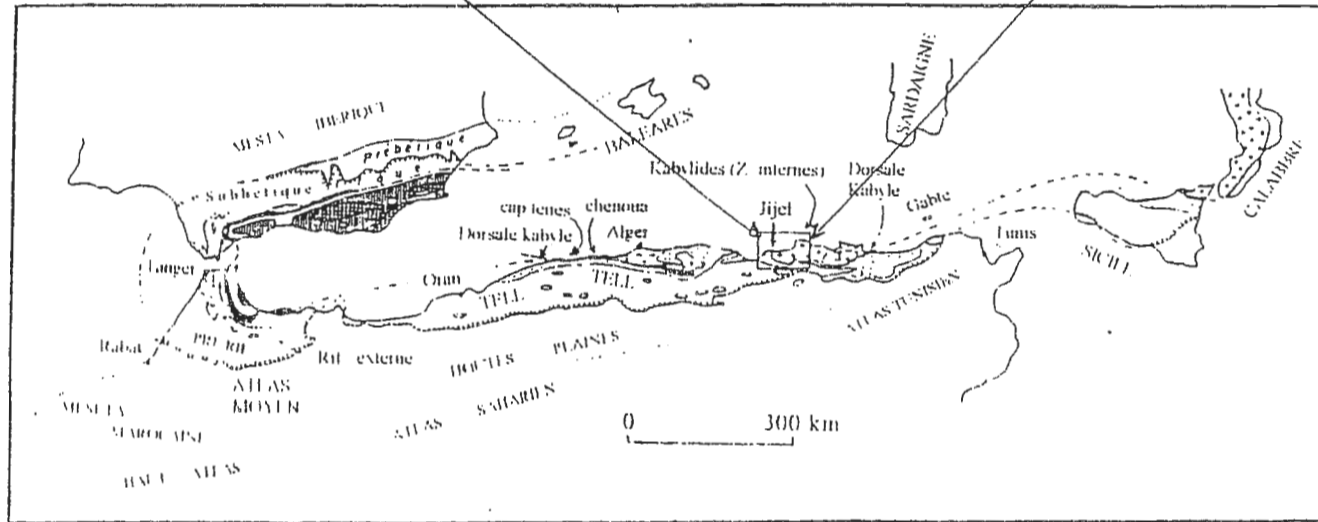


Fig.III.1- Localisation de la petite Kabylie (région de Jijel) dans l'orogène alpin péri-méditerranéen (Durand Delga, 1969, légèrement modifié)

Les formations du flysch Numidien reposent en contact anormal sur toutes les formations précédentes et constituent structurellement la nappe la plus haute de l'édifice alpin.

III.2.6- Le domaine externe

Ce domaine caractérise les zones des nappes telliennes. Elles sont représentées par des séries épaisses allant du Néocomien au Lutétien, qui se sont déposées dans un domaine paléogéographique, que tous les auteurs, situent au Sud du socle Kabyle (Bouillin, 1977). Ce domaine est subdivisé en trois séries (Vila, 1980) :

- une série ultra-tellienne.
- une série tellienne sensu-stricto.
- une série péni-tellienne.

En petite Kabylie l'ensemble tellien est représenté par les séries pénitelliennes qui sont charriées par le socle Kabyle au Nord.

La série est constituée de bas en haut (Bouillin, 1980) :

- un Trias gréseux.
- un Jurassique carbonaté.
- des marno-calcaires au Crétacé inférieur, en discordance sur les termes précédents.
- des marnes du Crétacé moyen-supérieur.
- des marnes à l'Eocène inférieur moyen.

III.2.7- Les formations post-nappes

Il s'agit principalement des formations du Burdigalien-Langhien qui remplissent les petits bassins Miocènes et qui jalonnent les reliefs côtiers de la petite Kabylie : Sahel de Jijel à El-Milia, Collo (Bouillin, 1977).

III.2.8- Les roches magmatiques

En petite Kabylie, les roches magmatiques sont représentées par :

- les roches basiques et ultrabasiques (péridotite, gabbro, diorites, micro diorites et dolorites) de Texenna et Cap Bougarroun.
- les roches volcaniques (rhyolithes, trachéites, andésites, dacite) dans la région de Cavallo, Cap de Fer et Collo.
- les roches granitiques (Granites, Microgranites, et Granodiorites). Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique au Miocène sont une particularité de la partie orientale de la petite Kabylie (Bouillin, 1970).

CHAPITRE

IV

IV. I- Introduction

Pour que des accumulations naturelles de sable susceptibles d'être exploitées dans le BTP puissent se former, il est nécessaire de disposer de roches sources et d'une physiographie favorable. La topographie et le climat jouent un rôle évidemment important.

Le contexte géologique de la région de Jijel est caractérisé par la présence d'une grande variété de roches qui constituent les formations géologiques appartenant aux différents domaines qui viennent d'être décrits.

La superposition de la carte du réseau hydrographique (Fig.II. 1) et de la carte géologique de la région de Jijel (Fig.IV.1) permet de relever les principales formations géologiques susceptibles d'alimenter en grains minéraux les accumulations échantillonnées dans le cadre de cette étude. On suppose naturellement que les accumulations de sable de plage et dunaires représentent des stades ultimes du transport et dépôt des sédiments apportés par le réseau fluvial. Entre le transport fluvial et le dépôt marin ou dunaire, les sédiments ont éventuellement subi la dérive littorale et le transport éolien.

IV.2- Les principales roches constituant les formations géologiques de la région

L'examen de la carte géologique (Fig.IV.1) permet de relever les principales roches qui constituent les formations géologiques traversées par Oued Djendjen et ses affluents. Depuis le barrage d'Erraguene jusqu'à l'embouchure de Oued Djendjen. D'après M. Durand Delga (1955) :

- ❖ **Les gneiss** : D'après M.Durand Delga (1955) il s'agit de gneiss à biotite seule; au microscope, le quartz est assez peu abondant et des plagioclases sont plus ou moins séricitisés. Des gouttes de quartz s'observent dans les feldspaths. Le seul mica est une biotite verte, en grosses lames disposés en tous sens, ayant exsudé une partie de son fer sous forme de produits opaques, enveloppe le mica. Des grenats, craquelés, sont assez abondants.
- ❖ **Les micaschistes à muscovite** : le seul mica représenté est la muscovite en chevelus parfois désordonnées, il existe cependant de rares traces de biotite. La richesse en oxydes ferriques du leucoscène semble indiquer que le mica noir était abondant à l'origine et qu'il a été déferrifié. On note aussi un peu de tourmaline verte, des minéraux à contour circulaire (allant jusqu'à 1 mm) et qui ont dû être des grenats sont aujourd'hui pseudomorphosés en minéraux variés (quartz, plagioclases, parfois muscovite).

❖ **Les marnes**

Roches sédimentaires faite de mélange de calcaire et d'argile, celle-ci imposant ses propriétés : 33% à 66% d'argile.

❖ **Les grés**

Roches sédimentaires détritiques formées par des grains de sable enrobés dans un ciment. Les grains peuvent être soit uniquement quartzeux, soit pour partie quartzeux et pour partie feldspathiques, soit encore, mais plus rarement, faits de minéraux fragiles tel que la hornblende, le pyroxène, l'olivine, la calcite et la glauconie.

Les formations géologiques traversées par l'Oued Zhor et ses principaux affluents sont :

❖ **Les micaschistes**

De couleur sombre, légèrement bleuâtres, leurs textures sont grano-lépidoblastiques. Ils ont la composition minéralogique suivante: Quartz, biotite, grenat, tourmaline, très peu de plagioclases, chlorite, calcite et opaque.

❖ **Les gneiss** : Il y a deux types :1- **Gneiss à deux micas**

Ce sont des gneiss ocellés. Leur minéralogie est la suivante : quartz, plagioclases, feldspath potassiques, myrmékites, biotite, muscovite, grenat, apatite, zircon, kaolinite.

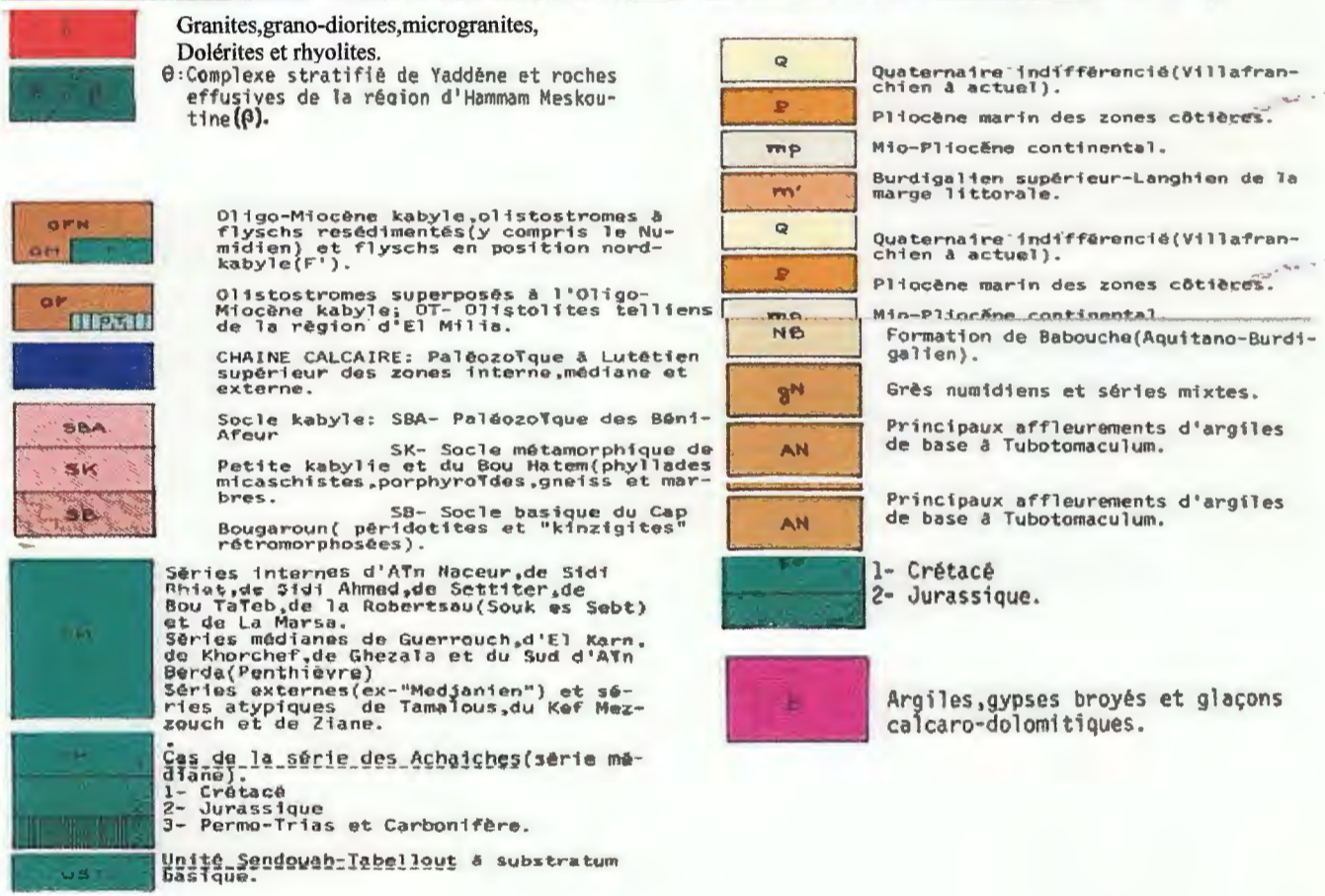
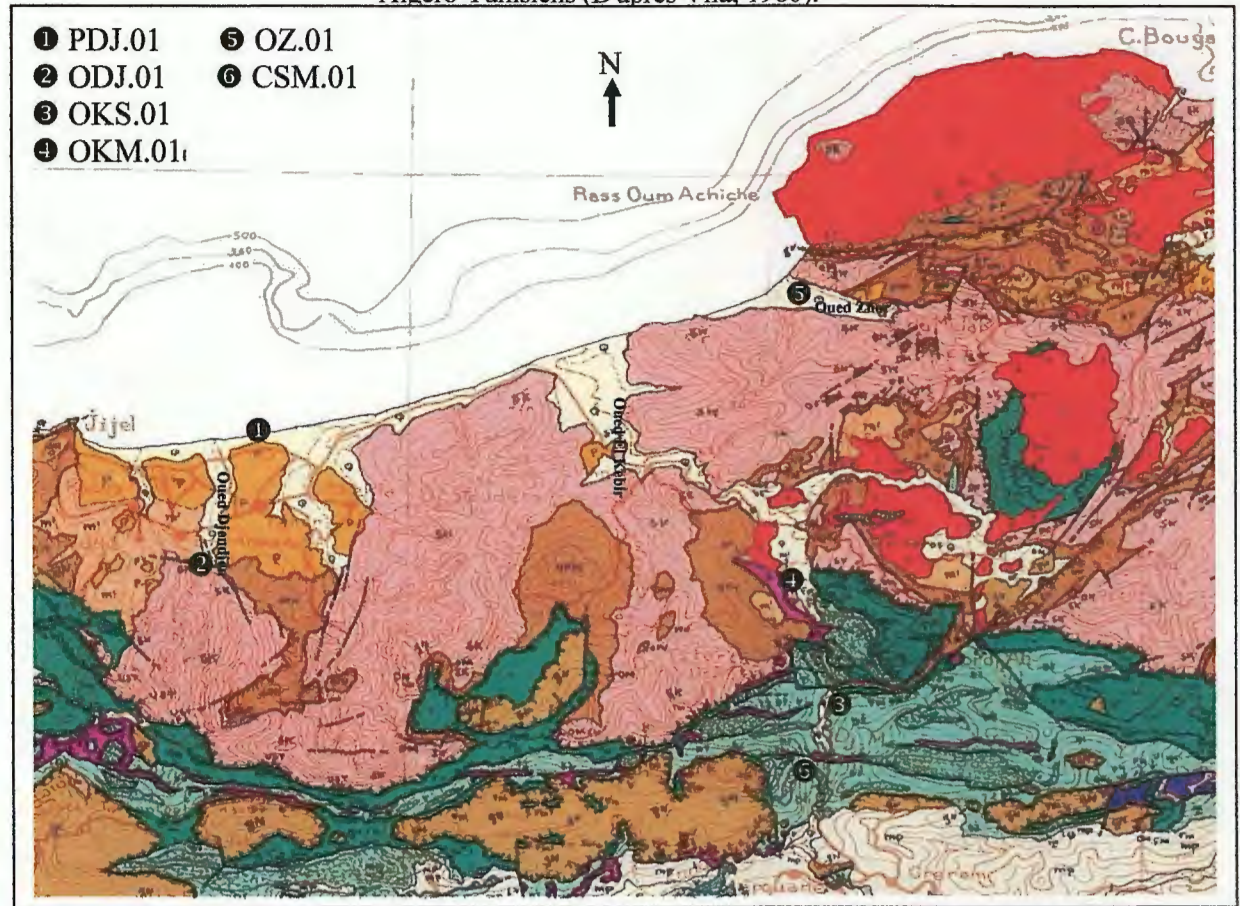
2- **Gneiss leucocrates ou gneiss à muscovite**

Ces gneiss sont très répandus dans la région. Ce sont des ortho gneiss ocellés très riches en feldspaths (plus de 60%), ils ont la composition minéralogique suivante : quartz, feldspath potassique, plagioclase, muscovite, tourmaline, zircon, grenat et apatite.

❖ **Les granites** : Les minéraux rencontrés dans ce faciès sont : quartz, orthose, microcline, plagioclase, myrmékite, biotite, muscovite, sillimanite, grenat.❖ **Les pegmatites** : on a trois types :

- 1- **les pegmatites à plagioclases et à grenats**: de couleur leucocrate à mésocrate, à cause de leur richesse en grenat, elles sont constituées par les minéraux suivants : quartz, plagioclase, muscovite, grenat, columbite-tantalite, scheelite.
- 2- **Les pegmatites à feldspaths potassiques et tourmaline** : leur minéralogie est la suivante : quartz, feldspaths potassiques, plagioclases, muscovite, tourmaline, phosphate.
- 3- **Les pegmatites à plagioclases** : leur composition minéralogique est la suivante : quartz, plagioclases, muscovite, silicate d'alumine (disthène ou sillimanite), cassitérite et phosphate.

Fig. IV.1 – Extrait de la carte structurale 1/500000 du Nord Est de l'Algérie et des confins Algéro-Tunisiens (D'après Vila, 1980).



CHAPITRE

V

V.1- Introduction

Le sable joue un rôle très important lors de la réalisation des ouvrages relevant du secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP). Dans l'industrie du béton par exemple, le sable est souvent déterminant pour la qualité des produits, que ce soit pour l'aspect (esthétique) ou pour les contraintes mécaniques du produit. En effet, le sable influence à la fois les propriétés du béton à l'état frais (rhéologie) et à l'état durci (durabilité et résistance). Par conséquent une caractérisation des matériaux en déterminant les propriétés géométriques, physiques et mécaniques permettrait d'une part d'avoir un béton de qualité et d'autre part de résoudre certains problèmes qui surviennent sur les chantiers.

Le sable est un matériau que l'on trouve dans différents milieux (marin, dunaire, fluviatile, carrière etc...). Le développement du secteur du BTP dans la région de Jijel (réalisation de programmes de logement, barrages, routes, ponts, ports,...) a induit une utilisation massive de ce matériau. Le marché local du sable est alimenté principalement par les plages et les dunes côtières. Une infime quantité est cependant produite par les deux seules carrières actuellement en activité.

Dans ce chapitre nous allons essayer de déterminer les caractéristiques géométriques, physiques et minéralogiques des différents types de sables utilisés dans le domaine de BTP dans la wilaya de Jijel. Pour cela, des échantillons ont été prélevés, principalement dans la partie orientale de la Wilaya (Photo 1) :

- ❖ Sable fluviatile de l'oued Djendjen et de l'oued El Kebir.
- ❖ Sable de plage du port de Djendjen.
- ❖ Sable dunaire de la sablière de Oued Zhor.
- ❖ Sable 0/3 des carrières de Sidi Marouf (Jijel) et du Grouz (Carrière de Bachiri, Mila).

V.2.1- Echantillonnage

Les essais effectués au laboratoire portant nécessairement sur des quantités réduites de matériaux, celles-ci devant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau dans lequel on a fait le prélèvement. Il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Ce problème est complexe à résoudre mais il conditionne en grande partie la fiabilité des résultats obtenus au cours des essais de laboratoire. Le prélèvement d'échantillon se fait en deux temps :

un sous- échantillon. La norme EN 932-2 explique comment réduire encore ce sous échantillon pour arriver à la prise d'essai.

L'échantillonnage au stock est particulièrement difficile car l'hétérogénéité du tas entraîne des risques d'erreurs d'échantillonnage. En effet Lorsque un matériau granulaire est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en éléments de faibles diamètres. On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas (cas des sables concassés), afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin (Fig.V.1)

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

Dans le cas d'une opération de quartage (Fig.V.2), l'échantillon est devisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant les deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial (Fig. V.2).

La réduction de l'échantillon par un diviseur-échantillonneur permet de deviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.

La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir, après trois ou quatre opérations identiques, la quantité de matériaux représentative et nécessaire à l'essai envisagé

Nous avons adopté la première méthode.



Fig.V.1- Prélèvement d'un échantillon.

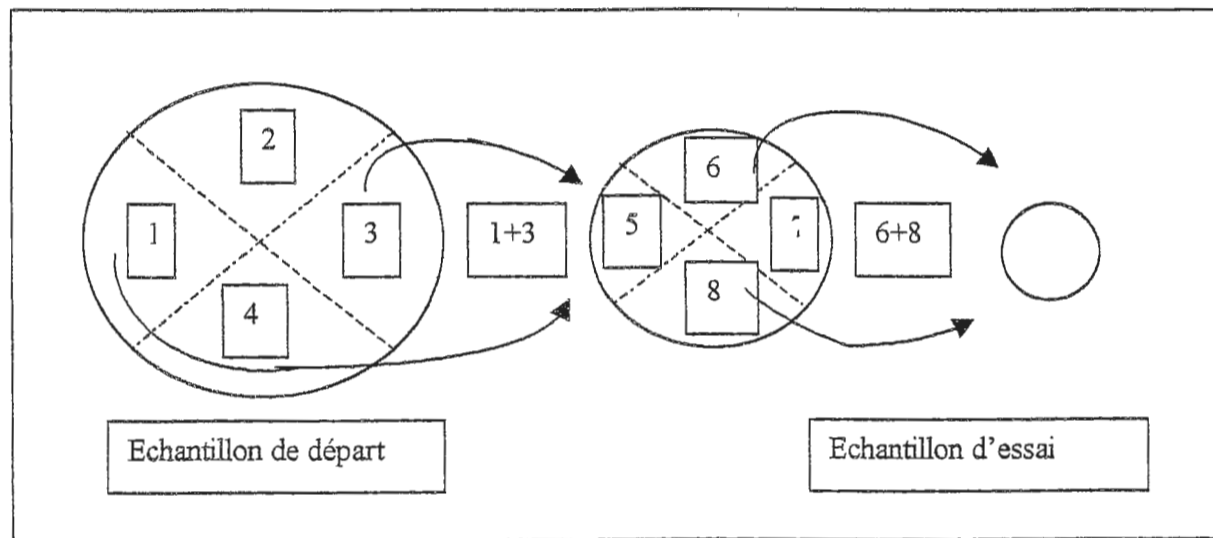


Fig.V.2- Réduction de l'échantillon par quartage

V.3.1.2- Module de finesse (MF)

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est calculé conformément à la norme française NFP 18-540. Selon cette norme, le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages sur les tamis de série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

Une légère différence a été introduite par la norme européenne EN 12620 qui est égale au 1/100 de la somme des refus cumulés (en %) sur les tamis de la série suivante : 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 mm. Le module de finesse permet de juger globalement la granularité d'un sable : un module de finesse élevé indique un sable grossier, un module de finesse faible caractérise un sable fin. Sa valeur dépend surtout de la teneur en grains fins du sable.

La norme, tenant compte des caractéristiques des gisements, fixe les limites à 1.8 et 3.2, mais l'optimum qui donnera le meilleur compromis résistance-maniabilité-maintien de l'homogénéité se situe à $2,5 \pm 0,35$ environ.

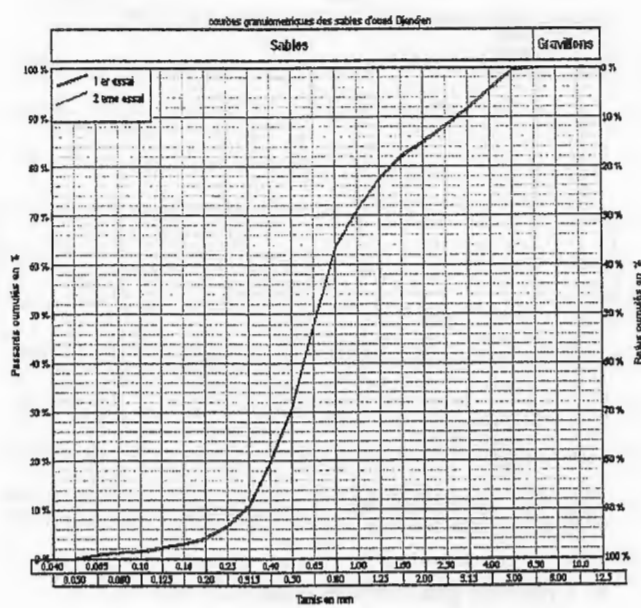
V.3.1.3- Le pourcentage de fines

On définit le pourcentage de fines (f) d'un sable, comme le passant à travers le tamis de 0,063 mm (ou de 0,080 mm). Les fines confèrent au béton frais un pouvoir de rétention d'eau qui permet de s'opposer au ressuage et une cohésion qui assure le maintien de l'homogénéité (absence de ségrégations). Leur excès devient défavorable car il accroît la demande d'eau. Leur absence ne permet pas d'obtenir un béton suffisamment compact et réduit les résistances mécaniques.

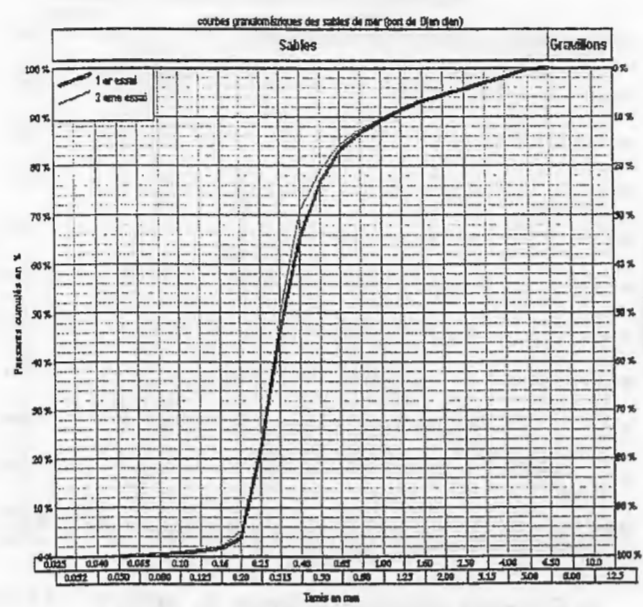
Les récentes normes européennes (EN 13139, EN 12620, EN 13242, EN 13043) ont hiérarchisé les catégories de teneur en fines applicables aux sables. Les différents domaines d'utilisation des sables définis par ces normes sont caractérisés par une ou plusieurs catégories de teneurs en fine définies par la teneur en fines des sables (Tab.V.1)

% passant à 0,063 mm	Catégorie	EN 13139	EN 12620	EN 13242	EN 13043
≤ 3	f_3	+	+	+	+
≤ 5	f_5	+			
≤ 7	f_7			+	
≤ 8	f_8	+			
≤ 10	f_{10}		+	+	+
≤ 16	f_{16}		+	+	+
≤ 22	f_{22}		+	+	+
≤ 30	f_{30}	+			

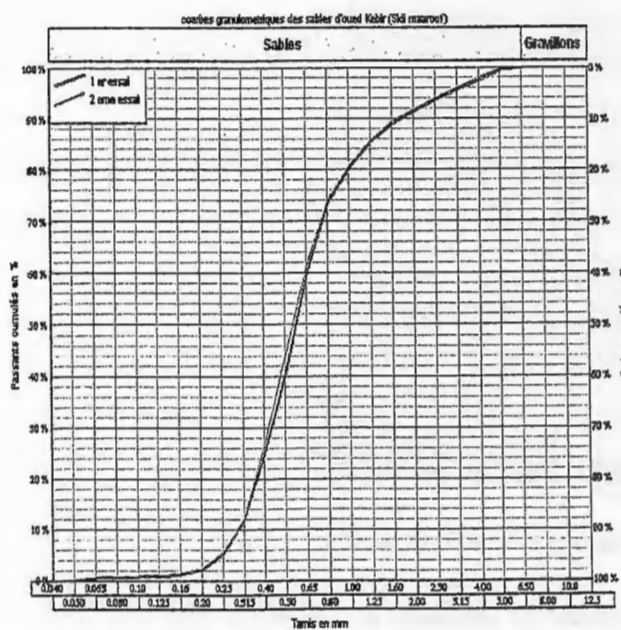
Tableau.V.1- Catégories de teneur en fines applicables aux sables.



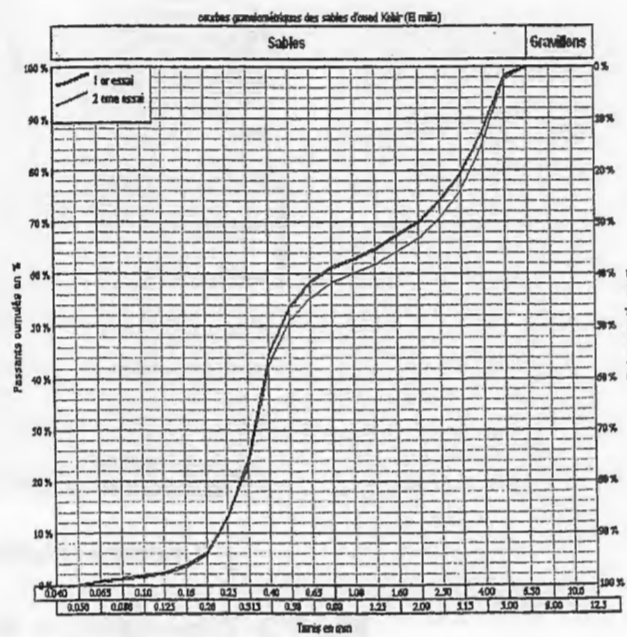
a- Courbes granulométriques de sable (PDJ 01)



b- Courbes granulométriques de sable (ODJ 01)



c- Courbes granulométriques de sable (OKS 01)



d- Courbes granulométriques de sable (OKM 01)

V.3.2.1- Les sables de mer de la sablière du port de Djendjen (PDJ 01)

Compte tenu ^{des} différentes définitions des sables données par les normes (Tab.V.2) on a utilisé dans l'analyse granulométrique les mailles extrêmes des tamis en relation avec la plus petite (d) et la plus grande (D) des grains de sables tels qu'ils sont définis par les normes, soit d égal à 0 ~~soit~~ ^{et} D égal à 6,3 mm.

Définition des sables selon les nouvelles normes européennes	NF EN 12620 NF EN 13139 Granulats pour bétons mortiers	NF EN 13043 Granulats pour mélanges bitumineux et enduits	NF EN 13242 Granulats pour GNT et DTLM
	d = 0 D ≤ 4 mm	d non précisé D ≤ 2 mm	d = 0 D ≤ 6,3 mm

Tableau.V.2- Définition des sables selon les nouvelles normes européennes.

❖ Granularité

La courbe granulométrique du sable de la sablière du port de Djendjen montre une distribution dimensionnelle continue avec un refus nul au tamis 6,3 mm (fig.V.4). On remarque également une prédominance de la fraction 0,20-0,80 mm.

Les prescriptions de granularité tels qu'elles sont définies par les normes sont (Tab.V.3)

	Limite en % de passant		
	2D	1,4D	D
Sables pour mortier et béton	100	95-100	85-99
Sables pour chaussées	100	98-100	85-99

Tableau.V.3- Prescriptions de granularité selon les normes.

On notera néanmoins que ces prescriptions sont applicables aux sable dont D est 1,0 mm, 2,0 mm ou 4,0 mm.

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables de mer de Djendjen sont également satisfaisantes comparativement aux spécifications et tolérances en techniques routières définies par le service français d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA, 1984) et le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC).

	Sables		Sables de mer du port de Djendjen
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	0% pour D= 6,3mm 1,59% pour D= 4mm

Tableau.V.5- Résultats relatifs à la granularité des sables de la sablière du port de Djendjen selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen : $C_u = D_{60}/D_{10}$ est égal à 2 donc la granulométrie est dite uniforme.

❖ Module de finesse

Le module de finesse (MF) est un paramètre qui permet de donner un jugement global sur la granularité des sables. Le MF des sables de mer du port de Djendjen, calculé selon la norme NFP18-540 est de 1,82. selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, le MF des sables de mer de Djendjen est de MF= 2,17 (Tab.V.6).

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables du port de Djendjen calculé d'après la norme NFP 18-540	1,82
MF des sables du port de Djendjen calculé d'après la norme EN 12620	2,17

Tableau.V.6-Résultats de (MF) des sables de mer du port de Djendjen.

Ces valeurs montrent que le MF des sables de mer du port de Djendjen sont plus proche de la limite inférieure fixée par les normes, elles traduisent une relative recharge de ces sables en éléments fins.

❖ Pourcentage en fines

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables de mer du port de Djendjen est de $f = 0,20\%$, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

	Limite en % de passant		
	2D=8mm	1,4D= 5,6mm	D=4mm
Fraction 0/4 du sable fluviatile d'Oued Djendjen	100%	100%	95,77%

Tableau.V.7- Résultats relatifs à la granularité des sables fluviatiles d'Oued Djendjen selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux bétons et mortiers.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $C_u=2,54$ supérieur à 2 donc la granulométrie est dite étalée.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables fluviatiles d'Oued Djendjen, calculé selon la norme NFP18-540 est de 2,73. selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, le MF des sables d'Oued Djendjen est de MF= 3,08 (Tab.V.8)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables fluviatiles d'Oued Djendjen calculé d'après la norme NFP 18-540	2,73
MF des sables fluviatiles d'Oued Djendjen calculé d'après la norme EN 12620	3,08

Tableau.V.8-Résultats de (MF) des sables fluviatiles d'Oued Djendjen.

La valeur du module de finesse du sable fluviatile d'Oued Djendjen ($MF=2,73 < 3,2$) montre qu'il s'agit d'un sable légèrement pauvre en éléments fins.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables fluviatiles d'Oued Djendjen est de $f = 0,40\%$, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf sont représentées au (Tab.V.10)

	Sables		Sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	0% pour D= 6,3mm 2,43% pour D= 4mm

Tableau.V.10- Résultats relatifs à la granularité des sables fluviatiles d'Oued El Kibir Sidi Marouf (OKS 01) selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $C_u=2,00$ donc la granulométrie est dite uniforme.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf, calculé selon la norme NFP18-540 est de 2,48. selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, le MF des sables d'Oued El kibir Sidi Marouf est de MF = 2,84 (Tab.V.11)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf calculé d'après la norme NFP 18-540	2,48
MF des sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf calculé d'après la norme EN 12620	2,84

Tableau.V.11-Résultats de (MF) des sables d'Oued El kibir Sidi Marouf.

La valeur du module de finesse du sable d'Oued El kibir Sidi Maraouf ($MF=2,48 < 3,2$) montre qu'il s'agit d'un sable légèrement pauvre en éléments fins.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables d'Oued El kibir Sidi Maraouf est de $f = 0,08 \%$, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables d'Oued El kibir El Milia sont représentées au (Tab.V.13)

	Sables		Sables d'Oued El Kibir El Milia
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	0% pour D= 6,3mm 12,18% pour D=4mm

Tableau.V.13- Résultats relatifs à la granularité des sables fluviaux d'Oued El Kibir El Milia (OKM 01) selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $C_u=3,20$ donc la granulométrie est dite étalée.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables d'Oued El kibir El Milia, calculé selon la norme NFP18-540 est de 2,76. Selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, le MF des sables d'Oued El kibir El Milia est de MF =3,10 (Tab.V.14)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables d'Oued El kibir El Milia calculé d'après la norme NFP 18-540	2,76
MF des sables d'Oued El kibir El Milia calculé d'après la norme EN 12620	3,10

Tableau.V.14-Résultats de (MF) des sables d'Oued El kibir El Milia.

La valeur du module de finesse du sable d'Oued El kibir El Milia ($MF=2,48 < 3,2$) montre qu'il s'agit d'un sable légèrement pauvre en éléments fins.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulations de béton. La teneur en fine des sables d'Oued El kibir El Milia est de $f = 0,48$ %, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables dunaires de la sablière d'Oued Zhor sont représentées au (Tab.V.16)

	Sables		Sables dunaires d'Oued Zhor
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	0,15% pour D=2mm 0% pour D= 4mm

Tableau.V.16- Résultats relatifs à la granularité des sables dunaires de la sablière d'Oued Zhor (OZ 01) selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $Cu=3,20$ donc la granulométrie est dite uniforme.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables dunaires d'Oued Zhor, calculé selon la norme NFP18-540 est de 1,37. Selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, le MF des sables d'Oued Zhor est de MF = 1,85 (Tab.V.17)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables dunaires d'Oued Zhor calculé d'après la norme NFP 18-540	1,37
MF des sables dunaires d'Oued Zhor calculé d'après la norme EN 12620	1,85

Tableau.V.17-Résultats de (MF) des sables dunaires d'Oued Zhor.

Le module de finesse (MF) du sable OZ 01, calculé à partir de la courbe granulométrique (Fig.V.8) est de (1,37), valeur en de hors de la fourchette des spécifications (entre 1,8 et 3,2). C'est un sable très riche en fractions fines.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables dunaires d'Oued Zhor est de $f = 0,24$ %, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables de la carrière de Sidi Marouf sont représentées au (Tab.V.20)

	Sables		Sables de la carrière de Sidi Marouf
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	8,60% pour D=3mm 0% pour D= 4mm

Tableau.V.19- Résultats relatifs à la granularité des sables 0/3 de la carrière de Sidi Marouf (CSM 01) selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $C_u=19,84$ donc la granulométrie est dite étalée.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables de la carrière de Sidi Marouf, calculé selon la norme NFP18-540 est de 2,71. Selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, Le MF des sables de la carrière de Sidi Marouf est de MF = 2,97 (Tab.V.20)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables de la carrière de sidi marauf calculé d'après la norme NFP 18-540	2,71
MF des sables de la carrière de sidi marauf calculé d'après la norme EN 12620	2,97

Tableau.V.20- Résultats de (MF) des sables de la carrière de Sidi Marouf.

La valeur du module de finesse du sable de la carrière de Sidi Marouf ($MF=2,71 < 3,2$) montre qu'il s'agit d'un sable légèrement pauvre en éléments fins.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables de la carrière de Sidi Marouf est de $f = 10,37\%$, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

Les caractéristiques relatives à la granularité des sables de la carrière du Grouz sont représentées au (Tab.V.22)

	Sables		Sables de la carrière du Grouz
	Béton bitumineux	Autres usage	
Tamisât à 1,58D	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤ 15%	14,17% pour D=3mm 0% pour D= 4mm

Tableau.V.22- Résultats relatifs à la granularité des sables 0/3 de la carrière de Bachiri à Grouz (CG 01) selon les critères utilisés dans les prescriptions appliqués aux chaussées.

Le coefficient d'uniformité ou de Hazen est : $C_u=3,20$ donc la granulométrie est dite étalée.

❖ **Module de finesse**

Le MF des sables de la carrière du Grouz, calculé selon la norme NFP18-540 est de 3,07. Selon la nouvelle norme européenne EN 12620 applicable aux granulats (sable entre autre) utilisé dans la fabrication des bétons et des mortiers, Le MF des sables de la carrière du Grouz est de MF = 3,30 (Tab.V.23)

	MF
Intervalle de MF défini par la norme EN 12620	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme EN 13139	1,5 – 2,8
Intervalle de MF défini par la norme NFP 18-540	1,8 – 3,2
MF des sables de la carrière du Grouz calculé d'après la norme NFP 18-540	3,07
MF des sables de la carrière du Grouz calculé d'après la norme EN 12620	3,30

Tableau.V.23-Résultats de (MF) des sables du la carrière de Grouz.

La valeur du module de finesse du sable de la carrière du Grouz ($MF=3,07 < 3,2$) montre qu'il s'agit d'un sable légèrement pauvre en éléments fins.

❖ **Pourcentage en fines**

La fraction fine passant au tamis de 0,063 mm est un paramètre important dans toutes formulation de béton. La teneur en fine des sables de la carrière du Grouz est de

$f = 5,52 \%$, valeur inférieure aux 12% fixé par les spécifications (Annexes AII, AIII).

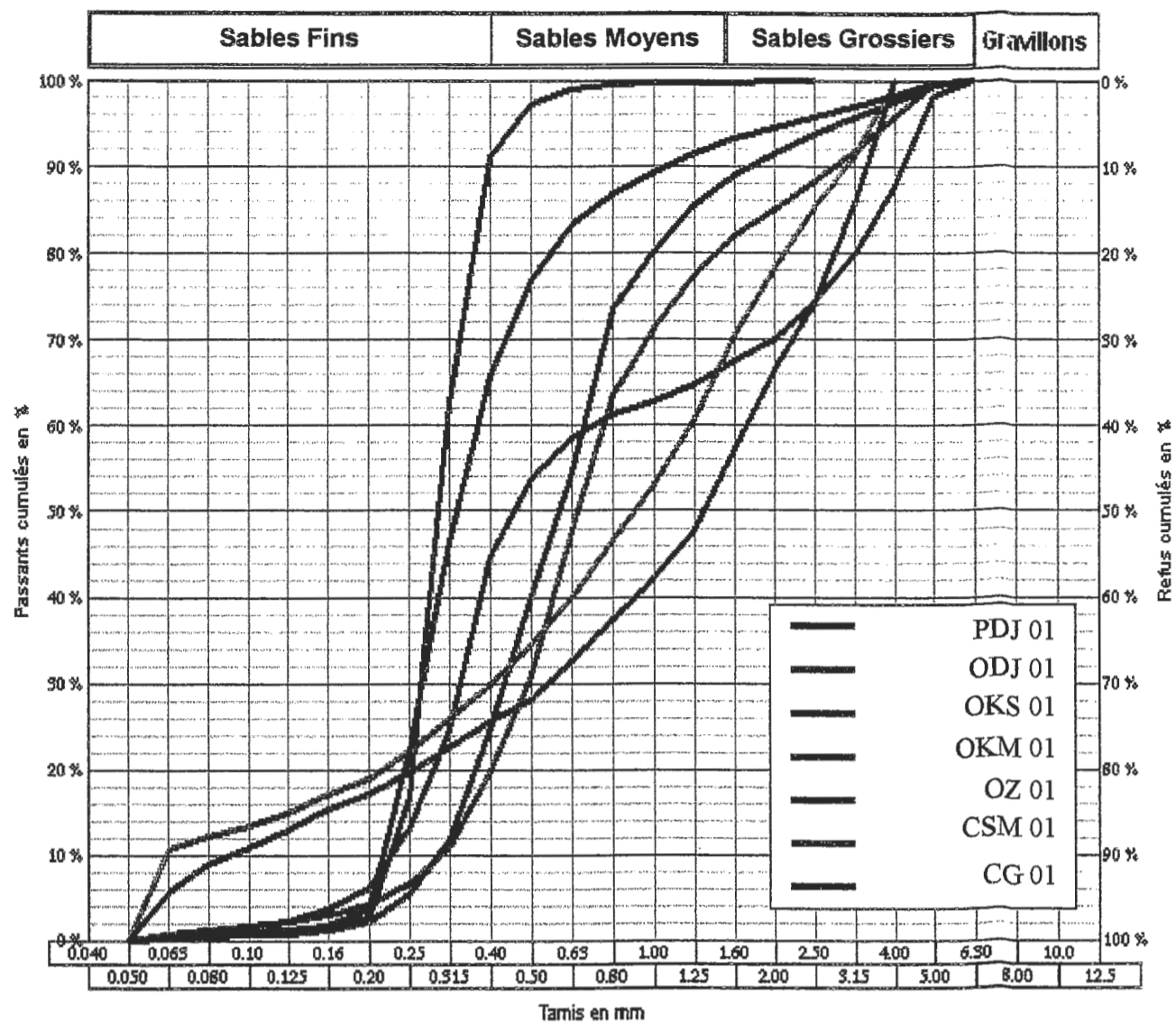


Fig.V.11- Courbes granulométriques des sables étudiés.

V.4.- Propriétés physiques et de propreté

Les propriétés physiques déterminées sont la masse volumique absolue (ρ_{abs}), le coefficient d'absorption et l'équivalent de sables (ES).

V.4.1- Masse volumique absolue (ρ_{abs})

La masse volumique absolue ou réelle (ρ_r) est une caractéristique des granulats dont la détermination est nécessaire pour identifier et mesurer les caractéristiques contrôlant les aspects liés au comportement des mélanges. En effet, la masse volumique des sables est un paramètre qui entre dans les formations des bétons hydrauliques et des enrobés. D'autre part, le béton est un matériau composite dont la densité dépend de celles de ses constituants (sable entre autre). Ainsi les bétons sont dits légers lorsque leur masse volumique est inférieure à 2 t/m^3 , cornants si ρ_{abs} est comprise entre 2 et 3 t/m^3 et lourds si ρ_{abs} est supérieure à 3 t/m^3 .

V.4.1.1.- Définition, but et principe de la masse volumique absolue (ρ_{abs})

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Elle s'exprime en t/m^3 , kg/dm^3 ou g/cm^3 , à titre indicatif, la masse volumique moyenne des granulats silico-calcaires est généralement prise égale, en première approximation, à $2,65 \text{ t/m}^3$ ou $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Le mode opératoire d'exécution de l'essai permettant la mesure de la masse volumique est défini par la norme NFP 18-555 et la norme européenne EN 1097-6.

En fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat, trois méthodes sont généralement employées pour déterminer la masse volumique absolue :

- méthode de l'éprouvette graduée,
- méthode de pycnomètre,
- méthode par pesée hydrostatique.

Les masses volumiques des sables étudiés ont été déterminées par les deux premières méthodes.

Cette méthode consiste à :

- prélever une masse représentative du matériau $M > 200D_{max}$ (dans notre cas on a pris un échantillon de 300 gr)
- dessécher totalement l'échantillon à $105^{\circ}C$.
- quarter l'échantillon, la masse soumise à essai ne doit pas être inférieure à $30 D_{max}$.

Le mode opératoire est résumé dans la figure.V.13

A titre indicatif, et Conformément aux normes (NFP 18-555, EN 12620), les granulats (sable) sont dits :

- légers si $\rho_{abs} < 2t/m^3$.
- courants si $2t/m^3 < \rho_{abs} < 3t/m^3$.
- lourds si $\rho_{abs} > 3t/m^3$

V.4.1.2. Résultats

Pour l'ensemble des sables étudiés, les résultats relatifs à la masse volumique absolue mesurée par la méthode dite de l'éprouvette graduée, représentent la moyenne des trois essais effectués pour chaque échantillon de sable (Tabl.V.25)

Echantillon	Masse volumique absolue (ρ_{abs}) en g/cm^3	
	Méthode dite de l'éprouvette graduée (*)	Méthode dite du pycnomètre.
Sable de mer de sablière du port de Djendjen (PDJ.01)	2,58	2,63
Sable fluviatile de Oued Djendjen (ODJ.01)	2,62	2,66
Sable fluviatile de Oued El kebir Sidi Marouf (OKS.01)	2,49	2,63
Sable fluviatile de Oued El kebir-El Milia (OKM.01)	2,61	2,60
Sable dunaire de la sablière de Oued Zhor (OZ.01)	2,62	2,64
Sable de la carrière de Sidi Marouf (CSM.01)	2,65	2,67
Sable de la carrière du Grouz (CG.01)	2,67	2,66

(*) : Moyenne de trois mesures.

Tableau.V.25- Résultats des essais de mesures des masses volumiques absolues sur les sables de la région de Jijel.

V.4.1.3- Discussion des résultats

La comparaison des résultats des mesures des masses volumiques absolues obtenues par la méthode dite de l'éprouvette graduée et par la méthode du pycnomètre montre une légère différence des valeurs. Dans l'ensemble on constate que les ρ_{abs} mesurées au pycnomètre sont légèrement plus élevées que celles mesurées par la méthode dite de l'éprouvette graduée (Tab.V.26).

La comparaison des ρ_{abs} des différents sables obtenues par la méthode du pycnomètre (méthode plus précise) montre que les sables de carrières ont des ρ_{abs} relativement plus élevées que celles des sables de mer, fluviatiles ou dunaires (Tab.V.26).

Les sables concassés proviennent de deux carrières produisant des granulats calcaires. Dans la carrière de Sidi Marouf (W. Jijel) ce sont des calcaires du Lias qui sont exploités alors que dans la carrière du Grouz (W. Mila) ce sont des calcaires du Cénomaniens qui sont exploités. Le principal constituant des roches ainsi exploitées est la calcite (CaCO_3) qui a une masse volumique absolue de $2,71 \text{ g/cm}^3$ (Tab.V.27).

Minéral ou roche	Masse volumique absolue en g/cm^3
Calcite	2,71
Dolomite	2,87
Quartz	2,65
Argile	2 à 2,6
Feldspaths	2,57 à 2,75
Pyroxènes	3,4
Amphiboles	3 à 3,4
Muscovites	2,8
Biotites	2,7 à 3,3
Chlorites	2,6 à 3
Granulats 4/6 et 6/12 de Sidi Marouf (1)	2,53
Granulats 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25 de Grouz (2)	2,62 à 2,68

Tableau.V.26- Masses volumiques absolues de quelques minéraux pouvant rentrer dans la composition minéralogique des sables de la région de Jijel. (1) d'après Remoum (2002) et (2) d'après Chettah et Nouasra (2005).

Les sables naturels de mer, fluviatiles ou dunaires proviennent de l'altération d'une diversité de roches constituant la région de Jijel (Chapitre.IV), leur composition minéralogique, bien qu'elle soit dominée par le quartz ($\rho_{abs} = 2,65$) présente d'autres constituants (Chapitre.VI). La calcite dans les sables concassés et le quartz dans les autres sables sont probablement les deux minéraux qui sont à l'origine de la différence des masses volumiques absolues. La présence

pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toute force d'attraction capillaire. On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique posé sur une surface non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant.

Selon la norme NFP-18-555, 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 (Mh) et sa masse sèche (Ms), à la masse sèche de l'échantillon :

$$W\% = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{masse sèche}} * 100.$$

$$W\% = \frac{(Mh - Ms)}{Ms} * 100.$$

Le mode opératoire consiste à prélever un échantillon représentatif du matériau (100 à 500 gr pour les sables), peser l'échantillon humide (Mh), ensuite sécher l'échantillon à l'étuve à 105°C pendant 24 heures et enfin peser l'échantillon sec (Ms).

Les sables, qu'ils soient naturels ou concassés, posent les problèmes les plus délicats au point de vue de la propreté. La propreté des sables est généralement mesurée par l'essai dit d'équivalent de sable (ES).

V 4.3.1--Définition, but et principe de l'essai d' ES

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable, il rend compte globalement de la quantité des éléments fins contenus dans ce sable, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. L'équivalent de sable « ES » est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée.

L'essai consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavante, puis après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des éléments sédimentés.

Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 2mm et dont la proportion des éléments passants au tamis à mailles carrées 0,08mm a été ramené à 10% à l'aide d'un sable correcteur (si elle est supérieure à 11%).

L'essai est alors dit « Essai d'équivalent de sable à 10% de fines ».

Actuellement, il existe trois normes réglementaires décrivant cet essai :

- NFP 18-598 pour l'équivalence de sable.
- NFP 18-597 pour l'équivalent de sable à 10% de fines.
- EN.933-8 pour évaluation des fines et équivalent de sable.

L'essai s'effectue sur une prise d'essai de sable humide correspondant généralement à 120g de sable sec mis dans une éprouvette contenant une solution flocculante de composition normalisée. Après agitation de l'éprouvette, on laisse sédimenter pendant 20 minutes. Les particules correspondant à la fraction sableuse tombent au fond de l'éprouvette alors que les particules fines et flocculées restent en suspension au dessus.

On tire la valeur de l'équivalent de sable de la mesure de la hauteur du sédiment et de celle du flocculat.

En fonction du degré d'argilosité du matériau, il existe deux types de mesures : visuelle ou à l'aide d'un piston. La mesure de la hauteur du sédiment se fait normalement à l'aide d'un piston (fig.V.14). Mais^{dans} le cas des sables fins, elle peut être faite à vue. Il conviendrait de toujours indiquer, en particulier pour les valeurs d'équivalent de sables élevés, s'il s'agit d'un ES à vue ou d'un ES à piston. La valeur de l'ES à vue étant toujours sensiblement supérieure à la valeur de l'ES à piston.

V.4.3.2- Résultats

Les résultats de Esp et ESv relatifs aux sables de la région de Jijel étudiés dans cette mesure sont récapitulés dans le tableau (tabl.V.29)

Echantillon	Equivalent de sable à vue			Equivalent de sable à piston		
	Prise 1 ESv1	Prise 2 ESv 2	Moyenne Esv m	Prise 1 Esp1	Prise 2 ESp 2	Moyenne Esp m
Sable de mer de la sablière du port de Djendjen	95,24	94,00	94,62	89,52	89,0	89,26
Sable fluviatile de Oued Djendjen	80,70	79,82	80,26	79,82	78,95	79,38
Sable fluviatile de Oued El Kebir-Sidi Marouf	98,97	98,92	98,94	94,84	97,85	96,34
Sable fluviatile de Oued El Kebir -El Milia	75,00	77,16	76,08	70,31	74,02	72,16
Sable dunaire de la sablière de Oued Zhor	77,39	79,65	78,52	75,65	77,88	76,76
Sable concassé de la carrière de Sidi Marouf	68,60	64,34	66,47	67,77	63,56	65,66
Sable concassé de la carrière de Grouz	84,07	85,71	84,89	83,18	82,85	83,01

Tableau.V.29- Résultats de ESv et Esp relatifs aux sables de la région de Jijel.

V.4.3.3- Discussion des résultats

L'équivalent de sable ES indique le degré de pollution des éléments sableux des granulats. Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient, d'éléments fins nuisibles. Au vue des valeurs d'équivalent de sables préconisées pour les matériaux utilisés dans les bétons hydrauliques et en techniques routières (Tab.V.28), on remarque que les sables étudiés présentent tous des valeurs de ES supérieures au minima fixés par les normes. Ce sont des sables propres à très propres.

Les sables concassés de la carrière de Sidi Marouf présentent les valeurs les plus faibles (Tab V.29) mais restent dans la gamme des valeurs exigées pour les sables utilisés dans les bétons courants.

Les sables de mer de la sablière du port de Djendjen, fluviatiles de Oued El Kebir (région de sidi Marouf) ainsi que les sables concassés de la carrière du Grouz présentent des valeurs de ES très élevées (ES>80).

Ce sont des sables très propres presque totalement dépourvus de fines argileuses, ils sont déconseillés pour le béton de haute qualité par crainte de défaut de plasticité du matériau composite.

Essai ou propriété	symbole	unité	Sables étudiés							B.H Dans Les chaussées	B.H Autres usages	B.B Béton bitumineux
			PDJ01	ODJ01	OKS01	OKM01	OZ01	CSM01	CG01			
Propriétés géométriques												
Granularité	G		Figure (V.11)									
Coefficient de Hazen	Cu		2,00	2,54	2,00	3,2	1,26	19,84	16,00			
Coefficient de courbure	Cc		0,78	0,99	0,81	0,50	0,79	2,03	1,56			
Pourcentage de fines	f	%	0,83	6,68	6,80	6,22	1,12	21,14	12,62		≤ 12	
Module de finesse	MF		1,82	2,73	2,48	2,76	1,37	2,71	3,07		≥ 1,8 ≤ 3,2	
Pourcentage de perte		%	0,13	0,22	0,28	0,20	0,36	0,19	0,34		≤ 2	
Propriétés physiques												
Masse volumique absolue (éprouvette)	ρ_{abs}	g/cm ³	2,58	2,62	2,49	2,61	2,62	2,65	2,67			
Masse volumique absolue (pycnomètre)	ρ_{abs}	g/cm ³	2,63	2,66	2,63	2,60	2,64	2,67	2,66			
Coefficient d'absorption	Ab	%	1,70	1,76	1,86	1,49	1,68	1,15	1,53		≤ 5	
Teneur en eau	W	%	0,31	6,06	6,82	5,40	0,28	0,26	1,43			
Equivalent de sable à vue	ESv	%	94,62	80,26	98,94	76,08	78,52	66,47	84,89		≥ 65	
Equivalent de sable à piston	ESp	%	89,26	79,38	96,34	72,16	76,76	65,66	83,01	≥ 75	≥ 60 ≥ 50	

Tableau.V.30- Tableau récapitulatif des mesures relatives aux propriétés géométriques et physiques des sables étudiés.

B.B: bétons bitumineux.

B.H: bétons hydrauliques.

CHAPITRE

VI



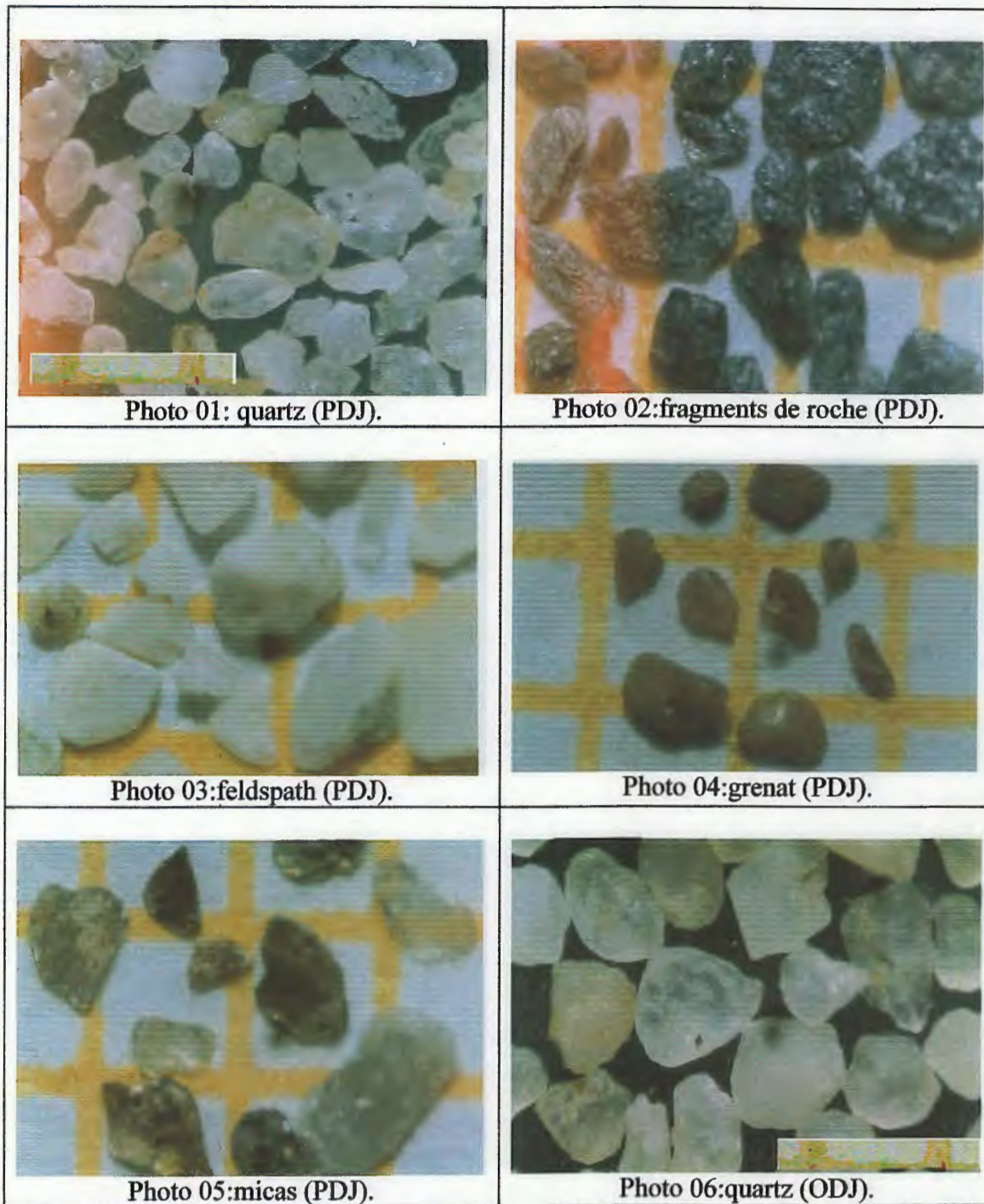
VI.1- Introduction

De nombreuses caractéristiques intrinsèques des granulats et des matériaux composites qui en dérivent dépendent de la nature minéralogique des principaux constituants qui composent ces matériaux. Les sables sont des granulats fins utilisés dans la fabrication du béton et dans les techniques routières, ils sont généralement constitués par des mélanges de plusieurs espèces minérales qu'il convient de déterminer. Ces espèces minérales présentent des caractéristiques telles que la dureté, l'altération, la sensibilité à l'eau, réaction vis-à-vis des liants hydraulique...etc., qui conditionnent pour une grande part de nombreuses propriétés des matériaux composites telles que l'abrasivité, l'aptitude au polissage et la résistance à l'usure (Tab. VI.1).

Minéraux	Masse volumique absolue (t/m ³)	Dureté (kg/mm ²) (Vickers)	Altération	Sensibilité à l'eau	Observations
Olivine	3,5	820	Souvent altérée		
Silicates de métamorphisme	2,5 à 4,3	800 à 1300			
Pyroxènes	3,4	680			
Amphiboles	3 à 3,4	730		Moyenne	
Muscovite	2,8	85	Inaltérable		Forme défavorable pour l'adhésivité
Biotite	2,5 à 3,3	90	Souvent différenciée	Forte	Alcali-réaction avec les ciments
Chlorite	2,6 à 3			Forte	
Argiles	2 à 2,6			Très forte	Très hydrophiles défavorables pour l'adhésivité
Quartz	2,65	1280	Inaltérable		Alcali-réaction si structure cryptocristalline. Léger défaut d'adhésivité aux liants hydrocarbonés
Calcédoine					Faible alcali-réaction
Opale					Très forte Alcali-réaction
Verre volcanique	2	600			Forte Alcali-réaction
Feldspaths	2,57 à 2,75	690 à 720	Souvent altérés		
Calcite	2,71	110			
Dolomite	2,87	350			Alcali-réaction en présence d'argiles
Hématite	5,2			Les formes ± hydratées du fer pouvant être très sensibles à l'eau	
Pyrite		1050		Forte	

Tableau.VI.1- Principales caractéristiques des minéraux (d'après Tourenq et Primel, 1990).

PLANCHE I



Principaux minéraux identifiés dans les sables de la sablière du port de Djendjen (PDJ) et les sables d'Oued Djendjen(ODJ).

VI.3- Description succincte des principaux minéraux identifiés**a) Minéraux identifiés dans les sables de mer de la sablière du port de Djendjen**

Le quartz: c'est un minéral transparent, de taille et de forme variable, parfois aggloméré, constitue la partie essentielle du sable (pl. I, photo 01).

Les fragments de roches: ils se présentent sous forme de fragments plus ou moins schistosés, de couleur et de forme variable (pl. I, photo 02).

Feldspath: minéral blanchâtre, de taille et de forme variées (pl. I, photo 03).

Les grenats: de couleur marron, leur contour est sub-arrondi, de tailles variables (pl. I, photo 04).

La biotite: on la reconnaît grâce à ses lamelles brunes empilées les unes sur les autres et ses contours très caractéristiques pseudo hexagonaux (pl. I, photo 05).

La muscovite: on la devine par sa forme en paillettes incolores (pl. I, photo 05).

b) Minéraux identifiés dans les sables fluviatiles de Oued Djendjen

Quartz: minéral transparent, de taille et de forme variable, constitue une grande partie du sable (pl. I, photo 06).

Les fragments de roches: ils se présentent sous forme de fragments plus ou moins schistosés, de couleur, de forme et de taille différente (pl. II, photo 01).

Les grenats: on les reconnaît grâce à ses contours sub-arrondis et sa couleur marron (pl. II, photo 02).

Les feldspaths: minéraux de couleur blanchâtre, de taille et de forme variable (pl. II, photo 03).

Les micas: on la devine par sa forme en paillettes (pl. II, photo 04).

Minéraux indéterminés : (pl. II, photo 05).

c) Minéraux identifiés dans les sables fluviatiles de Oued El Kebir(Sidi Marouf)

Le quartz: minéral transparent, parfois de couleur jaunâtre (pl. II, photo 06).

Les fragments de roches: ils se présentent sous forme de fragments non schisteux, de couleur, de forme et de taille différente (pl. III, photo 01).

Les grenats: de couleur marron, leur contour est sub-arrondis, de tailles variables (pl. III, photo 02).

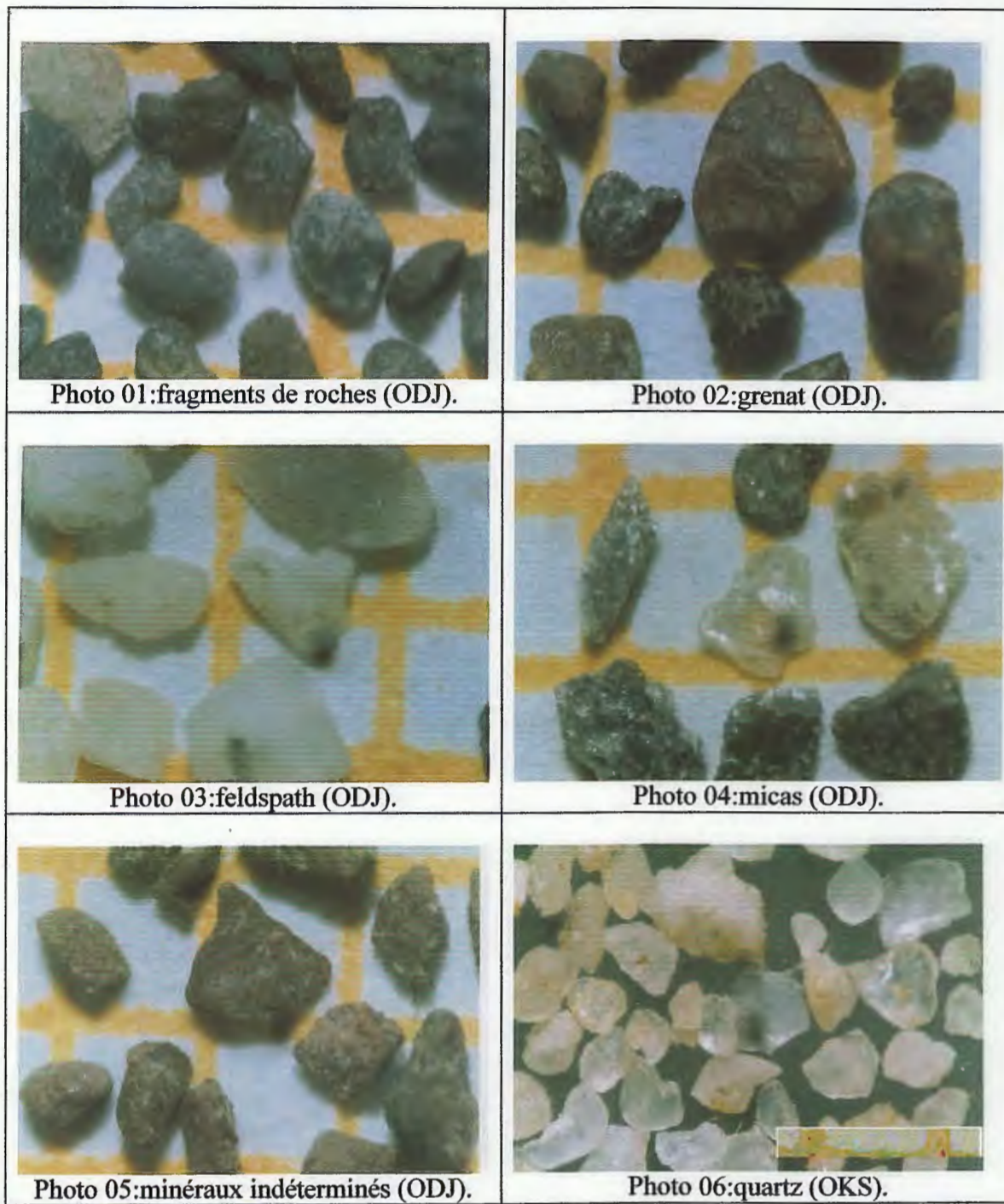
Les micas: on la devine par sa forme en paillettes (pl. III, photo 03).

Minéraux indéterminés: (pl. III, photo 04).

d) Minéraux identifiés dans les sables fluviatiles de Oued El Kebir(El Milia)

Le quartz: c'est un minéral transparent parfois de couleur jaunâtre, constitue la partie essentielle du sable (pl. III, photo 05).

PLANCHE II



Principaux minéraux identifiés dans les sables d'Oued Djendjen(ODJ) et les sables d'Oued El Kebir-Sidi Marouf (OKS).

Les fragments de roches: ils se présentent sous forme de fragments plus ou moins schistosés, de couleur et de forme variable (pl. III, photo 06).

Les grenats: de couleur marron, leur contour est sub-arrondi, de tailles variables (pl. IV, photo 01).

Les micas: on la devine par sa forme en paillettes (pl. IV, photo 02).

Minéraux indéterminés: (pl. IV, photo 03).

e) Minéraux identifiés dans les sables dunaires de la sablière de Oued Zhor

Le quartz: minéral transparent de couleur jaunâtre, constitue la majorité du sable (pl. IV, photo 04).

Les grenats: de couleur marron, leur contour est sub-arrondi, de tailles variables (pl. IV, photo 05).

La tourmaline: ces tourmalines sont allongées, à contours émoussés ou en grains sub-arrondi, de couleur noire (pl. IV, photo 06).

Minéraux indéterminés: (pl. V, photo 01).

f) Minéraux identifiés dans les sables concassés de la carrière de Sidi Marouf

La calcite: de couleur blanchâtre à grisâtre, en rhomboédres, le plus abondant (pl. V, photo 02).

Le quartz: c'est un minéral transparent, de taille et de forme variable, en trace (pl. V, photo 03).

g) Minéraux identifiés dans les sables concassés de la carrière du Grouz

Certains échantillons montrent que les éléments constitutifs de ces faciès conglomératiques sont représentés par des calcaires beaucoup plus clairs, sublithographiques cimentés par une calcite blanche spathique.

Les fossiles: Ils sont représentés par des tests brisés de lamellibranches et quelques foraminifères à tests agglutinés (orbitoline) leur taille est comprise entre 0,3 et 0,6mm.

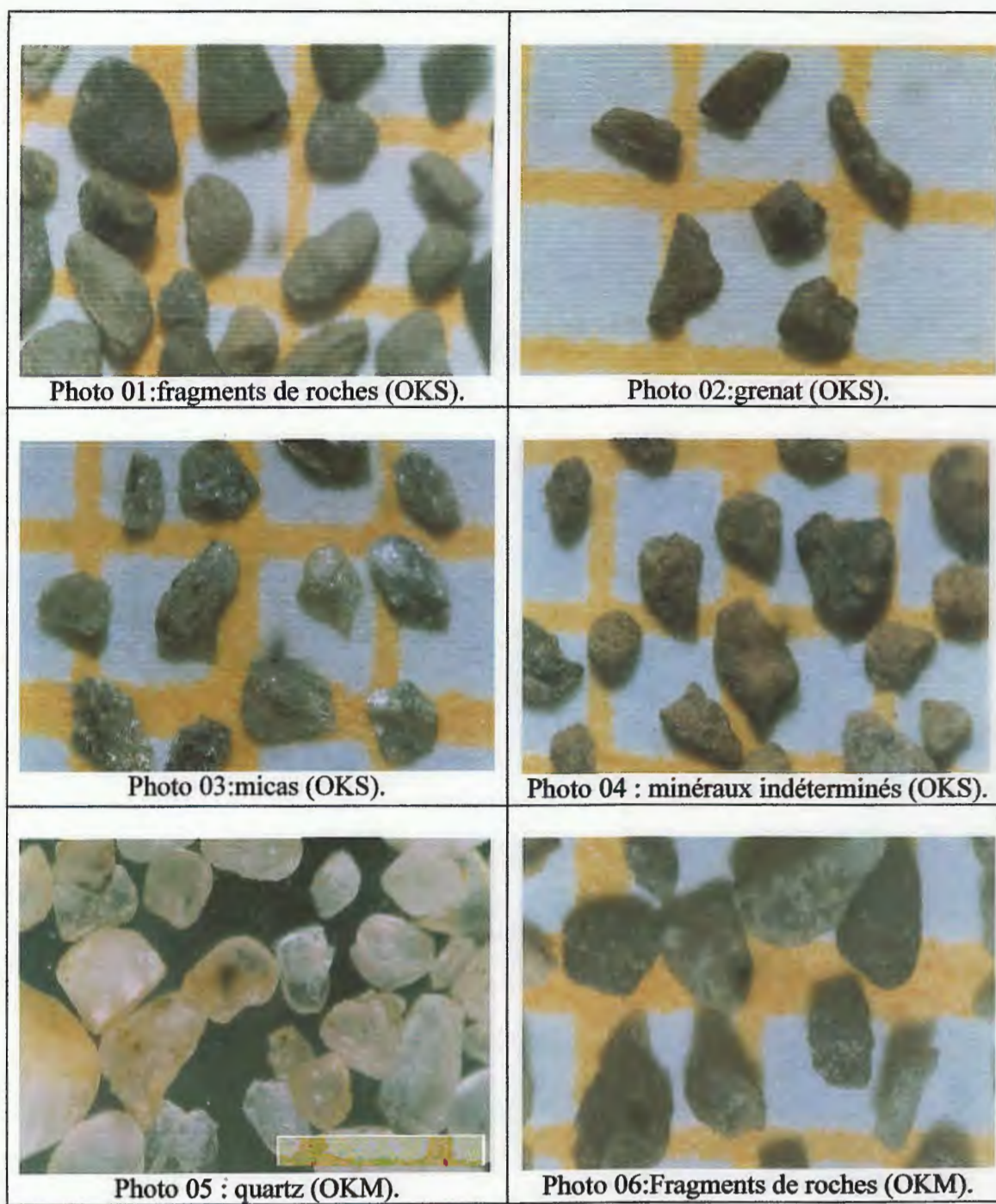
Le ciment : Les fossiles irrégulièrement repartis, sont enrobés dans un ciment calcaire crypto cristallin (micrite) de taille inférieure à 0,01mm, riche en inclusions non transparentes de nature argileux. La porosité de dissolution est très peu développée elle est représentée par quelques pores vides n'excédant pas 0,08mm de diamètre.

Leur analyse minéralogique montre qu'il contient les minéraux suivants :

La calcite: de couleur blanchâtre à grisâtre, en rhomboédres, le plus abondant (pl. V, photo 04 et pl. VI, photo 05).

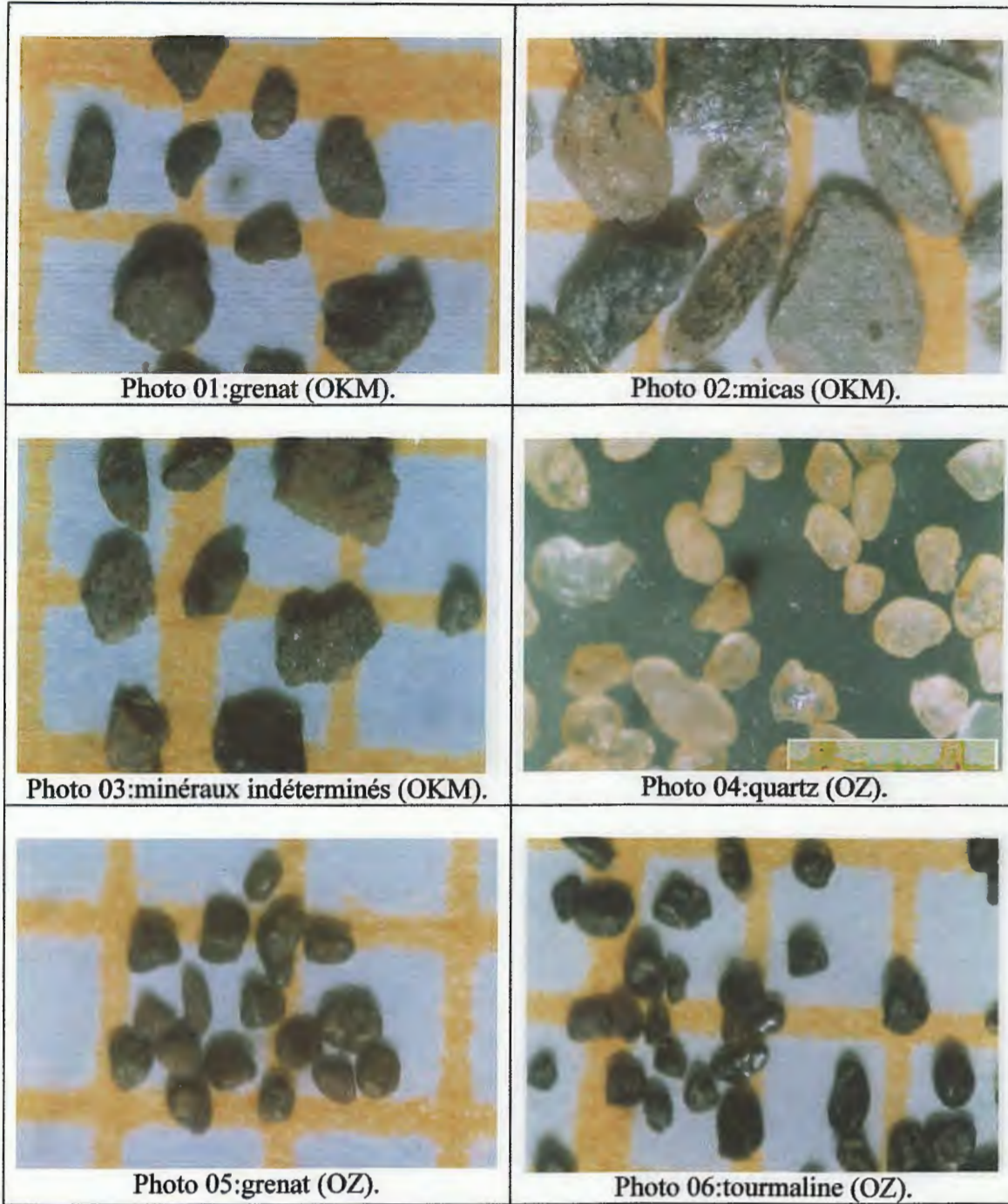
La silice: de couleur, de forme et de taille variable (pl. V, photo 06).

PLANCHE III



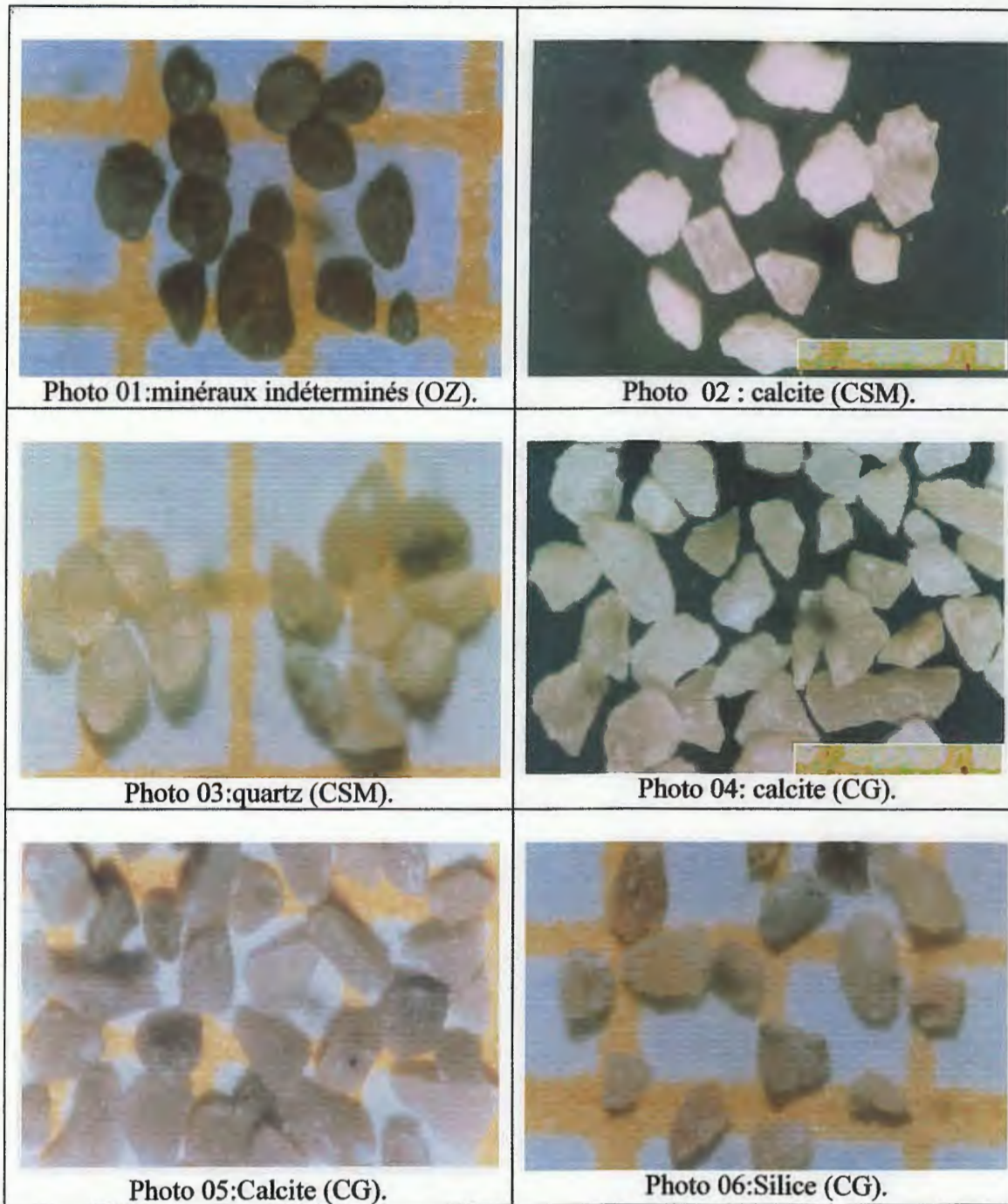
Principaux minéraux identifiés dans les sables d'Oued El Kebir-Sidi Marouf (OKS) et d'El Milia (OKM).

PLANCHE IV



Principaux minéraux identifiés dans les sables d'Oued El Kebir-El Milia (OKM) et les sables dunaires de la sablière d'Oued Zhor (OZ).

PLANCHE V



Principaux minéraux identifiés dans les sables 0/3 de la carrière de Sidi Marouf (CSM) et les sables 0/3 de la carrière de Bachiri du massif du Grouz (CG).

VI.4- Comportement des sables étudiés vis-à-vis de l'alcali-réaction (AR)**VI.4.1- Définition du phénomène d'AR**

L'alcali-réaction est une réaction chimique entre certaines formes de silice, de carbonates, de silicates, pouvant être présents dans les granulats et les alcalins du béton. Elle correspond à une attaque des granulats par le milieu basique du béton et provoque la formation d'un gel de réaction (silicate alcalin), dont l'expansion engendre, sous certaines conditions, des gonflements. Les trois conditions nécessaires à l'existence de l'alcali-réaction sont :

- une teneur élevée en alcalin dans la phase liquide interstitielle du béton ;
- la présence de produits réactifs dans les granulats (minéraux réactifs) ;
- de l'eau ou un environnement humide.

Il existe deux types de réactions alcali- granulats pouvant se produire dans les bétons : l'alcali-silica réaction (ASR) et l'alcali-carbonate réaction (ACR). Les deux réactions sont nuisibles lorsqu'elles produisent des produits expansifs exerçant des pressions suffisantes pour créer une microfissuration dans le béton (Planche VI , photo 1, 2, 3)

VI.4.1.1- Alcali-Silica Réaction : "ASR"**VI.4.1.1.1- Définition**

L'ASR est une réaction entre les molécules de silice des particules constituant le granulat et les ions hydroxydes associés avec les ions de sodium (Na) et potassium (K) dissous dans la solution interstitielle. Le produit de la réaction est un gel de silice qui est expansif en présence d'humidité et provoque des fissures dans le granulat et dans la pâte de ciment (Pl. VI, photo 01). Ces fissures permettent une circulation plus accrue de l'humidité et entraîne une expansion du gel en remplissant davantage les fissures et cause ainsi une expansion plus importante: un^e autoperpétuation du cycle est en quelque sorte assurée.

VI.4.1.1.2- Source des alcalins (alkalis)

La source principale des alcalins (Na, K) dissous est le ciment lui-même. A cause des différences dans les réactivités chimiques et des tailles des différents ions, l'alcali totale est mesurée comme

$$(\text{wt \% Na}_2\text{O}) + (0,658 \% \text{ de wt \% K}_2\text{O})$$

Les alcalins nuisibles peuvent également provenir de sources autres que le ciment, comprenant l'eau souterraine, l'eau de mer, les produits chimiques dégivrant, les engrais.

VL4.1.1.3- Sources de la silice

La silice (SiO_2) est l'oxyde le plus abondant dans la croûte terrestre. Exception faite de quelques calcaires purs (CaCO_3) et dolomites ($\text{CaMg} [\text{CO}_3]_2$) presque toutes les roches contiennent un peu de silice (Tab. VI.3). La réaction est d'autant plus rapide et plus intense lorsque la forme de la silice est plus soluble. La silice mal cristallisée (plus ou moins amorphe) est la plus réactive.

VL4.1.1.4- Prévention et remède

L'expansion dans ces bétons réactifs est produite par les matériaux contenant la silice la plus amorphe (mal cristallisée) et dissous dans la solution interstitielle hautement alcaline de la pâte qui en se solidifiant produit un gel expansif dans les particules siliceux. Avec l'expansion, le gel migre en dehors de la particule et peut pénétrer la pâte et se rassemble dans les vides piéger, les pores et les microfissures. Les gels formés à la surface des particules de granulat avant le durcissement (d'habitude réparti dans toute la pâte) sont riches en chaux.

Ces gels riches en chaux sont considérés comme inoffensifs et incapables de produire des expansions. Les pouzzolanes réagissent rapidement avec les alcalins et entraîne l'incorporation de ces alcalins dans un gel inoffensif (non expansif). Les masses de gel formées ultérieurement, spécialement à l'intérieur des granulats, sont capables d'absorber de l'eau et de provoquer des expansions. Ces gels provoquent des fissures dans les particules du granulat et se rassemblent dans des poches, fissures et fentes. Le gel dans les poches peut gonfler, ouvrir n'importe quelle fracture et crée de nouvelles fissures.

Une fois les réactions d'ASR apparaissent dans le béton, elles continueraient jusqu'à la détérioration complète du béton tant que les ions alcalins nuisibles, les granulats réactifs et l'eau sont disponibles. On ne connaît aucune méthode pour neutraliser la réaction sans endommager le béton.

La vitesse de la réaction dépend de la solubilité des minéraux contenant la silice, du type de gel formé, de la quantité d'alcalins dissous dans l'eau et de la disponibilité de l'eau. Un bon drainage ralentirait la réaction et un bon système vides-air ralentirait l'expansion. Un faible rapport eau-ciment ou une faible perméabilité ralentirait le mouvement de l'eau à travers le béton ou à travers les pores et ainsi ralentirait la réaction et l'expansion qui en résulterait. Au contraire, un rapport eau-ciment élevé avec un ciment riche en alcalins activerait le processus.

- l'expansion est habituellement limitée à la particule elle-même.

les principaux agents responsables des dégâts dans les bétons affectés par l'ACR semblent être des agrégats constitués de calcaires dolomitiques impurs.

Les deux principaux carbonates, la calcite et la dolomite, sont présents avec des proportions presque égales. Les particules de submicroscopiques des minéraux non carbonatés (insoluble dans HCL dilué) composent 10% à 25% de la roche et consistent en:

- des minéraux argileux ;
- de la pyrite ou autres sulfures de fer ;
- du quartz.

La couleur gris-foncé ou presque noire typique de l'agrégat est due à la présence des disséminations de sulfure de fer. La texture à grain fin de la roche cause une rupture subconchoïdale.

VI.4.1.2.2- prévention et remède :

L'ACR peut être évité à travers

- en évitant les calcaires dolomitiques impurs utilisés comme granulats;
- utilisation de ciment pauvres en alcalins (à l'heure actuelle, 0,45% en poids d'eq. Na_2O est considéré la limite supérieure pour la prévention de l'ACR), (<http://www.tfhr.com>).

VI.4.2- Application aux sables étudiés

Sur la base de leur composition minéralogique, les sables de la région de Jijel étudiés dans le cadre de ce mémoire peuvent être regroupés en deux catégories :

- des sables siliceux dont le contenu minéralogique est principalement dominé par des quartz et accessoirement des fragments lithiques et autres minéraux tels que les grenats, micas et feldspaths.

Ce type est représenté par les sables de mer de la sablière du port de Djendjen, les sables fluviaux de Oued Djendjen et de Oued El Kebir et les sables dunaires de la sablière de Oued Zhor.

- Des sables carbonatés dont la composition minéralogique est dominée par de la calcite et accessoirement quartz, sulfures et oxydes de fer.

Ce type est représenté par les sables concassés des carrières de Sidi Marouf et du Grouz.

Compte tenu des descriptions relatives aux phénomènes d'alcali-réaction et des caractéristiques minéralogiques des sables étudiés on peut dire que dans l'ensemble ces derniers sont relativement pauvres voire dépourvus de minéraux sensibles en milieu

alcalin. On note néanmoins la présence de quelques espèces minérales susceptibles de nuire de dégrader les caractéristiques mécaniques du béton.

VI.3.2.1. Minéraux nocifs ou réactifs identifiés dans les sables siliceux

a- Les micas (biotite et muscovite)

Ces espèces minérales proviennent principalement des roches métamorphiques constituant le socle cristallophyllien de la petite kabylie. Elles se présentent dans les sables siliceux étudiés sous forme de grains minéraux indépendants soit incorporés dans les fragments de roche le plus souvent schisteux.

Selon l'échelle de dureté de Mohs, la biotite et la muscovite ont une dureté de $\sim 2,5$ qui leur permet une rupture facile. Ces minéraux, faisant partie des phyllosilicates, se présentent généralement en prismes aplatis à clivage (001) parfait. Ce clivage leur confère un débit en minces lamelles flexibles et élastiques. La densité de ces micas est de $\sim 2,7$.

Tenant compte de ces facteurs, l'utilisation des matériaux micacés doit être faite avec prudence. Le clivage (001) parfait crée une direction préférentielle de faiblesse dans le matériau micacé qui est d'autant plus ennuyeux lorsque les lamelles de micas sont alignées en lits parallèles dans la roche ou le matériau. En géotechnique, la construction sur ou avec de tels matériaux est très déconseillée.

D'autre part, ces phyllosilicates sont sensibles à l'eau et lorsqu'ils rentrent dans la composition des matériaux composites (béton entre autres) ils sont sujets, sous climat humide, à des altérations précoces et intenses; leur forme aplatie est très défavorable pour l'adhésivité des liants sur les granulats. En outre la biotite est parfois considérée comme un minéral réactif vis à vis de l'alcali réaction.

b- quartz et feldspaths

Le quartz et les feldspaths sont des tectosilicates présentant une densité moyenne et des duretés respectivement de 6 et 7. Le Quartz est dépourvu de clivage mais présente des cassures conchoïdales alors que le feldspath est parfois pourvu de deux clivages orthogonaux (90°).

Le quartz et le k-feldspath (orthoclase), en particulier quand ils sont incorporés dans les classes granulaires du sable (0,063 - 2 mm), sont fortement évalués comme matériaux de construction. Ils sont les ingrédients principaux du béton, du bitume, des briques et du ciment. Cependant, lorsqu'ils sont mélangés au ciment portland, les granulats riches en certaines variétés de Quartz peuvent poser des problèmes.

En effet, la silice amorphe ou le Quartz imparfaitement cristallisé ou fortement déformé peut réagir avec la pâte de ciment. Le produit de la réaction est un gel dont le volume augmente en

évidence dans les sables étudiés, la pyrite a ce pendant été signalée dans les calcaires exploitées dans la carrière de Sidi Marouf (Remoum, 2002).

d- les sulfates : gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Le gypse est un minéral caractérisé par une faible dureté et une faible densité et la présence de clivage. En plus il est relativement soluble dans l'eau. Bien qu'il est présent en très faible quantité dans les sables concassés de la carrière de Sidi Marouf sa présence est à signaler. Il proviendrait des évaporites triasiques affleurant à quelque mètre de la carrière.

Lorsqu'on compare les caractéristiques des sables naturels avec celles des sables concassés de carrière, on constate qu'elles ne sont pas très différentes. Exception faite du pourcentage des fines contenues dans les sables de carrière et qui peut être corrigé en améliorant la procédure de sa fabrication, ce type de sable peut très bien constituer un éventuel substitut des sables naturels exploités dans la région de Jijel.. En raison de l'exploitation parfois anarchique et abusive des sables qui a des conséquences directes sur la dynamique littorale (érosion côtière...) et sur les équilibres des écosystèmes, les pouvoirs publics viennent d'ailleurs de promulguer une réglementation interdisant toutes exploitation de sables naturels à partir de l'année 2007.

BIBLIOGRAPHIE

- Amri, K. (1996):** Cinématique des déformations ductiles et fragiles de la région des Beni Belaid-Oued Zhor (Petite Kabylie). Thèse Magistère. USTHB, Alger, 144p.
- Andrieux, J. et Djellit, H. (1989):** Structure de la petite Kabylie occidentale (Algérie) flyschs ultra et flyschs externes. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Se □, 1191-1196.
- Bouillin, J.P ; Durand Delga, M.; Gélard, J.P ; Leikine, M.; Raoult, J.F.; Raymond, D ; Téfiani, M. et Vila, J.M. (1970):** Définition d'un flysch massylien et d'un flysch maurétanien au sein de flyschs allochtones de l'Algérie.C.R.Acad.Sci.Paris (D)., t.270, pp.2249-2252.
- Bouillin, J.P. et 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? Comptes Rendu :Somm. Soc. géol. France, 7 :117
- Bouillin, J.P. (1977):** Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie), thèse Doct., Uni. P. et 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. Mém. Soc. géol. France, 135: 1-84.
- Chettah, W., Nouasra, k; (2005):** Les propriétés géométriques et mécaniques des granulats du massif du Grouz (Wilaya de Mila). Mém. Ing. Univ Jijel. 100p
- Djellit, H. (1987):** Evolution tectonométamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place de nappes de flyschs en petite Kabylie occidentale (Algérie).Thèse Doct. Uni. de Paris,
- Dupain, R; Lanchon, R. Saint-Arroman, J.C., (1995):** granulats, sols, ciments et bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Paris, Edition Casteilla, 236p.
- Durand Delga, M. (1955):** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, 24: 533p
- Durand Delga, M. (1969):** Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berbéris. Bull. Ser. Carte géol. Algérie, 39: 89-131
- Ficheur, E. (1903):** Les terrains anciens et l'Eocène métamorphique dans les massifs Numidiens. Bull. Soc. Géol. France., p.407-431
- Gelard, J.P. (1969):** Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch maurétanien (grande Kabylie). Bull. Soc. géol. France, (7), XI, Paris, pp 676-686.
- Glangeaud, L. (1932):** Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2^é S., N° 8 (Thèse, Paris).

Kehal, A. (1998): Géologie, pétrographie et géochimie des formations du socle de petite Kabylie dans la région des Beni Belaid (Algérie Nord orientale). Altération hydrothermale et minéralisations à Sn, Ta, Nb... liées aux pegmatites. Mem. Magistère. Univ USTHB.

Raoult, J.F. (1969): Relation entre la Dorsale Kabyle et les Flyschs sur la transversale de Dj. Ghédir, phase tangentielle Eocène, paléogéographie (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. géol. France, XI, Paris.

Raoult, J.F. (1974): Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mem. Soc. Géol. France, 53, 121: 1-163

Remoum, K. (2002): Essai de caractérisation géologique et géotechnique des carrières des granulats de Sidi Marouf, Chekfa et d' El Milia (Wilaya de Jijel), Mémoire de Magistère, Uni. Tébessa: 112 p.

Saaidi, E. (1991): Traité de sédimentologie. Afrique orient. Maroc : 399 P.

Saaidi, E. (1998): Dictionnaire de géologie et géomorphologie. Afrique orient. Maroc, 97 : 415p.

SETRA, L.C.P.C. (1984): Les granulats en techniques routières – Spécifications. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (France) et Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France).

Tourenq, C., Denis, A (1990): Propriétés des granulats, essais et spécifications. In "granulats : géologie, ressources, environnement, législation, élaboration; matériels, essais, contrôle" sous la direction de G. Arquie et C. Tourenq. Edition Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées. pp. 131-165.

Vila, J. M. (1980): La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doct. Paris VI, 663p.

Association Française de normalisation NFP 18-555 (1980) Granulats: Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.

NFP 18-558 (1981) Granulats: Détermination de la masse volumique absolue des sables.

NFP 18-560 (1978) Granulats: Analyse granulométrique par tamisage.

NFP 18-597 (1978) Granulats: Détermination de la propreté des sables : ES à 10% de fines.

NFP 18-598 (1978) Granulats: Détermination de la propreté des sables : Essai équivalent de sable.

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

<http://www.tfhrc.gov/pervenant/pccp/pletro>.

NORME FRANÇAISE ENREGISTRÉE	GRANULATS ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE	NF P 18-560 Octobre 1978
1-OBJET		
La présente norme a pour but de définir le mode opératoire pour la détermination de la granularité des granulats dont les dimensions sont comprises entre 80 micromètres et 80 millimètres.		
2 – DOMAINE D'APPLICATION		
La présente norme s'applique aux d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiments et des travaux publics.		
3 – GENERALITE		
3.1- DEFINITIONS		
-GRANULARITE : Distribution dimensionnelle des grains ;		
-REFUS SUR UN TAMIS : Matériau qui est retenu sur un tamis ;		
-TAMISAT (ou passant) : Matériau qui à travers les mailles d'un tamis.		
3.2- 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 tamisats 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).		
4 – APPAREILLAGE		
4.1- APPAREILLAGE SPECIFIQUE :		
Tamis de contrôle dont l'ouverture sera conforme à la norme NF X 11-501.		
Parmi les tamis de contrôle définis dans cette norme, on utilise généralement ceux donnés par la norme NF P 18-304 pour la classification des granulats.		
4.2- APPAREILLAGE D'USAGE COURANT :		
- Appareillage spécifique à la norme NF P18-553 (Granulats-Préparation d'échantillon pour essai).		
-Un dispositif permettant de sécher les granulats sans provoquer d'évolution granulométrique.		
-Un dispositif de lavage.		
-Une balance dont la portée est compatible avec la masse totale de l'échantillon et ayant une précision de $\pm 1\%$. Pour les masses supérieures à 10 kg, une précision de $\pm 5\text{gr}$ peut être admise.		
-Bac, brosse, pinceau.		
5 – PREPARATION DE L'ECHANTILLON		
Effectuer les différentes opérations de partage avant essai, suivant la norme NF P18-553.		
La masse de l'échantillon pour essai dépend des dimensions des éléments les plus gros qu'il contient. Il est recommandé de se tenir dans les limites définies par la formule suivante :		
$200 D < M < 600 D$		
Où M est la masse de l'échantillon exprimée en gramme et D la dimension maximale exprimée en millimètres des plus gros éléments.		



- Deuxième échantillon pour analyse granulométrique : $M_h = 6890$ g
 Masse totale sèche : $M_s = M_{1s} / M_{1h} * M_h = 6380$ g
 Masse sèche après lavage : $M_{s1} = 6224$ g.

Tamis en mm	Masse des refus cumulés (Ri) en gr	% refus cumulés (Ri / Ms) *100	% tamisats cumulés 100 - (Ri / Ms) *100
20	0	0	100
16	695	11	89
10	3332	52	48
6,3	4378	69	31
4	4962	78	22
2	5463	86	14
0,5	5945	93	7
0,2	6123	96	4
0,08 (Rn)	6222	98	2
Passant au dernier tamis utili (Tn)	1		
Tn+Rn = 6223			
100 * Ms1 - (Rn + Tn) / Ms1 = 0,01 %		< 2 %	

OBSERVATIONS :

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.

8. REFERENCES

NF P 18 -304 «Granulométrie des granulats ».

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

NF X 11-501 « Tamisats et tamisage - toiles métalliques et tôles perforées dans les tamis de contrôle - dimensions nominale des ouvertures ».

NF X 11-504 «Tamisat et tamisage - toiles métalliques et tôles perforées dans les tamis de contrôle - exigences techniques et vérifications ».

NF X 11-507 « Analyse granulométrique – tamisage de contrôle ».

Annexe. A.III

Granulats pour bétons hydrauliques

(Dupain et al. 1995)

	Valeur spécifiée Vs à 90%	Valeur limite absolue Vs ± U
Filliers		
Passant à 2mm	≥ 99%	≥ 94%
Passant à 0,125mm	≥ 80%	≥ 75%
Passant à 0,063mm	≥ 65%	≥ 65%
SABLES		
Passant à D mm	≥ 85%	≥ 80%
Passant à 0,08 mm	≤ 12%	≤ 15%
Module de finesse	≥ 1,8 et ≤ 3,2 (tolérance 0,35)	≥ 1,65 et ≤ 3,35 (tolérance 0,50)
GRAVILLON		
Passant à (d + D)/2	≤ moyenne + 17,5 ≤ 75	≤ Vss + 10
Pour D ≥ 2,5 d	≥ moyenne - 17,5 ≥ 25	≥ Vsi - 10
Absorption d'eau	≤ 5%	≤ 5,5%
Propreté des sables		
ESv	≥ 75	≥ 70
Esp	≥ 70	≥ 65
	65 et 60 pour les sables concassés et broyés)	(60 et 55 pour sables concassés et broyés)
Valeur de bleu Vb	≤ 1	≤ 1,3

5.1 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU DU TAMISAT

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

5.2 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN FINES ET PRÉPARATION DU ABLE CORRECTEUR

tamiser sous eau le deuxième échantillon de masse M h sur le tamis de 0.08 mm.

Sécher et peser les éléments retenus sur ce tamis pour déterminer la teneur en fines f exprimée en pourcentage, du sable ; ce refus servira de sable correcteur.

Si m_s est la masse de ce refus à 0.08 mm,

$$F = 100 - m_s (100 + \omega) / M h$$

La masse m_{sc} de sable correcteur (refus sec à 0.08 mm) à ajouter pour la préparation d'un échantillon pour essai, exprimée en gramme, est donnée par la formule :

$$m_{sc} = 120 - 1200/f$$

5.3 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS POUR ESSAI

si f est inférieur à 11 %, il n'y a pas lieu d'utiliser de sable correcteur et l'essai s'effectue directement sur le troisième échantillon, la masse de l'échantillon pour essai, exprimée en gramme, est alors égale à :

$$120(1 + \omega / 100)$$

si f est inférieur à 11 %, ajouter à la masse du troisième échantillon une quantité de sable correcteur sec m_{sc} calculée suivant la formule donnée à l'article 5.2 la masse de l'échantillon pour essai, exprimée en grammes, est alors égale à :

$$1200/f * (1 + \omega / 100)$$

dans tous les cas, préparer deux échantillons par essai.

6 EXÉCUTION DE L'ESSAI

voir norme nf p 18-598, chapitre 2.3.

7 EXPRESSION DES RÉSULTATS

la propreté du sable est, par définition, mesurée au piston et donnée par la formule :

$$p_s = h_2/h_1 * 100$$

ces résultats sont donnés avec une décimale.

La détermination portant sur deux échantillons, la propreté du sable est la moyenne des deux valeurs obtenues.

La valeur de la moyenne est arrondie à l'entier le plus voisin.

(*) NF P 18-598 «équivalent de sable », homologuée en avril 1966 sous l'indice NF P 08-501

(**) NF P 18-553 «préparation d'un échantillon pour essai».