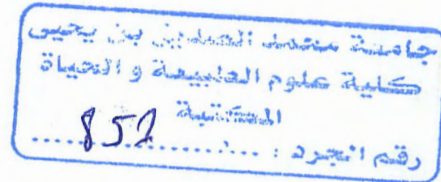


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel
جامعة جيجل

Faculté des Sciences
Dép^t des Sciences de la Terre

كلية العلوم
قسم علوم الأرض



Geo.05/06

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

Option : Géologie de l'Ingénieur



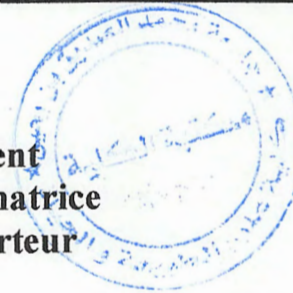
Thème

**CARACTERISTIQUES
GEOMETRIQUES ET MECANIQUES
DES GRANULATS ISSUS DE ROCHES
MAGMATIQUES
(CARRIERES D'EL MILIA)**

Jury :

Mr. ZENIR A.M.
Mme. ZEROUAL F.Z.
Mr. BOUZENOUNE A.

Président
Examinatrice
Rapporteur



Présenté par :

BOUNAMIS Samira
DORBANE Ratiba

Soutenu le : 19 Septembre 2006

Année universitaire : 2005/ 2006

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant tous, nous tenons à remercier notre honorable

encadreur Mr. BOUZENOUNE A..

qui n'a pas hésité de nous diriger et conseiller.

Nous remercions également :

Les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail,

L'ensemble du corps enseignant qui ont donné le meilleur

d'eux même à notre formation d'ingénieurs,

Le personnel du Laboratoire de Travaux Publics de l'Est,

antenne de Jijel, chacun par son nom,

Le personnel des deux carrières, Bouzekri Rabah et

Bouzekri Kamel, chacun à son nom.

Nous tenons à remercier aussi Mr. BOURIDANE A.M,

de la Direction des Mines et des Industries de la wilaya de

Jijel pour son aide.

et Melle. DORBANE.B, technicienne d'informatique qui

nous a aidé lors de la réalisation de ce mémoire,

sans oublier tous ceux qui nous ont assisté et nous ont

encouragé à réaliser ce travail.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs.

A toute ma famille.

A toutes mes amies.

A tous mes collègues de la promotion 2006.

Ratiba



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mes frères

A ma sœur

A toute ma famille.

A toutes mes amies.

A tous mes collègues de la promotion 2006.

Samira

RESUME

Les deux carrières étudiées dans ce mémoire, appartiennent aux massifs anciens de la petite Kabylie, ils se situent dans la partie Sud- Est du Djebel Ouled Arbi qui domine à une altitude de 400 m. Ces deux carrières sont considérées comme l'une des principales sources d'approvisionnement en granulats dans la wilaya de Jijel.

Ces carrières se trouvent à proximité immédiate du principal cours d'eau drainant la région "Oued Boussiaba".

Les granulats produits dans ces deux carrières proviennent de l'exploitation de roche d'origine magmatique (microgranite d'âge miocène). L'étude pétrographique et minéralogique montre que la roche est constituée principalement de Quartz et accessoirement de phénocristaux de Biotite et Plagioclases.

Les propriétés géométriques montrent que ces granulats ont une granularité qui répond aux exigences de spécifications préconisées par SETRA et LCPC.

Les gravillons des deux carrières ont un coefficient d'aplatissement satisfaisant (entre 19 % et 20 %).

Les propriétés physiques relatives à la masse volumique et la propreté des granulats montrent que les granulats d' El Milia sont dits courants ($2,14 - 2,70 \text{ g/cm}^3$), et ont une propreté superficielle relativement acceptable (P comprise entre 0,59 et 1,72 %). Par contre les valeurs d'équivalent de sable sont loin d'être acceptables (ESP entre 38,7-59,44%).

Les propriétés mécaniques (Los Angeles et Micro Deval Humide) montrent que ce sont des matériaux qui peuvent être utilisés dans les couches de fondation des chaussées et dans les bétons destinés aux ouvrages d'art et bâtiments (LA compris entre 21,69 et 23,38 ; MDE entre 22- 26).

SUMMARY

The two careers studied in the memory, belong to the cristallophylien basement "petite Kabylie", it is in the south- eastern part of Djebel Ouled Arbi which dominates at an altitude of 400m. These two careers are classified as the principal locally sources of supplies aggregates in the Jijel area.

These careers are in the vicinity of the principal river draining the area (Boussiaba River). The aggregates produced in these two careers come from the exploitation of magmatic rock (Microgranite of Miocene).

The petrographic and mineralogical study, show that the rock is made up mainly of Quartz and incidentally of phenocrystals of Biotite and Plagioclases.

The geometrical properties show that these aggregates have a granularity which fulfils the requirements recommended by SETRA and LCPC. The fine gravels of the two careers have an acceptable coefficient of flatness (between 19 and 20).

The physics properties relating to the density and purity of the aggregates show that the aggregates of El Milia known as running ($2,14- 2,70 \text{ gr/cm}^3$) and they have a relatively acceptable surface cleanliness (P ranging between 0,59 and 1,72%). On the other hand the values of equivalent of sand are far from being acceptable (ES piston between 38,7 and 59,44%).

The mechanical properties (Los Angeles and Microdeval) show that materials can be used in the sub –bases and in the concrete intend for the structures and buildings (LA ranging between 21,69 and 23,38, MDE between 20 and 26) .

ملخص

توجد في منطقة الميلية محجرتين تصنفان كمورد من أهم الموارد للأحجار في ولاية جيجل هاتين المحجرتين قصد الدراسة في هذه المذكرة؛ تقعان في القسم الجنوبي الشرقي لجبل اولاد عربي الذي يصل ارتفاعه إلى 400 م. وهو بدوره ينتمي إلى منطقة القبائل الصغرى. تتواجد هاتين المحجرتين بجانب أهم مجرى وادي في المنطقة وهو "واد بوسايبية".

إن الأحجار المنتجة في هاتين المحجرتين آتية من استغلال صخر من أصل ناري (ميقروغرانيت دو العمر الميوسيني). الدراسة النسيجية والمعدنية للصخر اثبت أنه يتكون كوارتز؛ و بعض البلورات ذات الحجم الكبير مثل الميكا السوداء و البلاجيوكلاز.

الخصائص البنيوية المتمثلة في التوزيع الحبيبي و معامل الشكل؛ بينت أن الأحجار لها توزيع حبيبي يستجيب للتخصيصات الموضوعية من طرف LCPC – SETRA. وأن الحصى المنتج ذو معامل الشكل يتراوح ما بين 19 إلى 20%. الخصائص الفيزيائية المتمثلة في الكتلة الحجمية و النقاوة السطحية للأحجار؛ أسفرت على أن هذه الأخيرة تدعى عادة ذات كتلة حجمية تتراوح ما بين 2,14 إلى 2,7 غ/سم³ وقيم النقاوة السطحية تقريبا مقبولة (تتراوح ما بين 0,59 إلى 1,72%). إن قيم معامل نقاوة الرمل غير مقبول على العموم ويتراوح ما بين 38,7 إلى 59,44%. الخصائص الميكانيكية المتمثلة في لوس أنجلس و ميكرو دوفال؛ أثبتت أن الأحجار من صنف الحصى تستعمل في طبقات الأساس للبنية التحتية للطرق كما تستعمل أيضا في أنواع الخرسانة الموجه لأعمال البناء كتشييد العمارات؛ الجسور؛ السدود.

SOMMAIRE

Sommaire

-Situation géographique.....	01
CHPITRE I : INTRODUCTION	
I.1- Introduction.....	04
I.2- Définition des granulats.....	04
I.3- Classification des granulats.....	05
I.3-1- Classification suivant l'origine.....	05
I.3-2- Classification suivant la granularité	05
I.3-3- Classification selon la masse volumique réelle	06
I.4- Caractéristiques des granulats.....	06
I.4-1- Caractéristiques intrinsèques.....	06
I.4-2- Caractéristiques de fabrication.....	06
I.5-Utilisation des granulats.....	07
I.6- Les granulats dans la willaya de Jijel.....	08
I.6-1- La production des granulats.....	09
CHPITRE II : CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	
II.1- Introduction.....	13
II.2- Les grands traits géologiques de la petite Kabylie.....	13
II.2-1- Le socle Kabyle.....	14
II.2-2- La dorsale Kabyle.....	14
II.2-3- L'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostromes.....	15
II.2-4- Les séries à caractères des flyschs.....	15
II.2-5- Le flysch Numidien.....	15
II.2-6- Les séries telliennes.....	16
II.2-7- Le miocène poste nappes.....	16
II.2-8- Les roches magmatiques.....	16
CHPITRE III : CADRE GÉOLOGIQUE LOCAL	
III.1- Litho stratigraphie succincte.....	20
III.2- Description pétrographique des roches magmatiques de la région d'El Milia.....	21
III.2.1- Les principaux affleurements de roches magmatiques de la région d'El Milia.....	21

III.2.1.1- Le massif de Beni Toufout.....	21
III.2.1.2- Les microgranites d'El Milia.....	21
III.2.2- Diversité pétrographique.....	24
III.2.2.1- Le granite de Beni Toufout.....	24
III.2.2.2- Les microgranites d'El Milia.....	24
III.2.3- Quelques données géochimiques.....	25
III.3- Pétrographie des roches magmatiques exploitées dans les carrières d'El Milia.....	26
CHPITRE IV : PROCESSUS DE PRODUCTION DES GRANULATS	
IV.1- Introduction.....	28
IV.2- Processus de production de granulats.....	28
IV.2.1- Décapage des terres non exploitables ou la « découverte ».....	29
IV.2.2- L'extraction des matériaux.....	30
IV.2.2.1- Extraction des terrains meubles.....	30
IV.2.2.2- Extraction des roches massives.....	30
IV.2.3- Transfert vers les lieux de traitement.....	31
IV.2.4- Traitement des granulats.....	32
IV.2.4.1- Concassage / broyage.....	32
IV.2.4.2- Le criblage.....	33
IV.2.4.3- Le lavage.....	33
IV.2.4.4- Le stockage et la livraison.....	33
IV.2.4.5- La remise en état du site exploité.....	35
IV.3- Problèmes pouvant survenir.....	35
IV.4- Processus de fabrication de granulats dans les carrières d'El Milia.....	36
CHPITRE V : PROPRIETES DES GRANULATS	
V.1- Prélèvement des échantillons.....	39
V.2- Préparation d'un échantillon.....	40
V.3- Propriétés des granulats.....	42
V.3.1- Propriétés géométriques.....	42
V.3.1.1- Analyse granulométriques.....	42
V.3.1.1.1 : Carrière Bouzekri Rabah (CBR).....	43
V.3.1.1.2 : Carrière Bouzekri Kamel (CBK).....	49
V.3.1.2- Mesure du coefficient d'aplatissement.....	60

V.3.1.2.1-Granulats de la carrière CBR.....	62
V.3.1.2.2- Granulats de la carrière CBK.....	63
V.3.2- Propriétés physiques et de propreté.....	64
V.3.2.1 La masse volumique absolue des granulats.....	64
V.3.2.2- La propreté des granulats.....	68
V.3.2.2.1- Propreté superficielle des gravillons.....	68
V.3.2.2.2- Propreté des sables : Essai d'équivalent de sable à 10% de fines.....	69
V.3.3- Propriétés mécaniques.....	71
V.3.3.1- Essai Los Angeles.....	72
V.3.3.2- Essai Micro Deval Humide.....	73

BIBLIOGRAPHIE**ANNEXES**

Situation géographique:

La ville d'El Milia est située au Nord-Est de l'Algérie (latitude 36° 45'N, longitude 6° 16'E) à 400 Km de la capitale Alger. Elle se trouve au croisement de deux routes Constantine- Jijel et Skikda- Jijel. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la wilaya de Skikda, à l'Ouest par les communes de Oued Adjoule et El Ancer et au Sud par Settara et Ouled Yahia Khedrouche. Elle est à 72 Km de Constantine, 80 Km de Skikda, 57Km de Jijel, à 15 Km de la mer méditerranée. Elle s'étend sur 232.07Km² (Fig.1.a).

La région d'El Milia est caractérisée par un relief montagneux très accidenté, les montagnes occupent 82% de la superficie totale, elles se tiennent jusqu'à 1200m.

On distingue principalement deux régions physiques :

Les zones des plaines : situées dans la vallée de Oued El Kébir, Oued Boussiaba, et les petites plaines de Oued Zhor.

Les zones des montagnes : situées autour de la ville, caractérisées par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.

La carrière de roches bleues est située à 72 kilomètres du chef lieu de la wilaya de Jijel , au sixième kilomètre d'El-Milia sur la route D39 (route de Collo) au lieu dit Bouamrane ,à environ 3 kilomètres de la voie ferrée reliant Jijel- Constantine (Fig.1.a).

- Relief- Hydrologie – Végétation :

Le gisement granitique faisant l'objet d'exploitation appartient aux massifs anciens de Kabylie, il se situe dans la partie sud-est du Djebel Ouled Arbi qui domine à une altitude de 400m (Fig.1.b).

Bien que la région soit classée dans la catégorie du relief fort, au site même de la carrière, l'altitude est plutôt moins forte variant de 30m à 250m.

Le gisement se trouve à proximité immédiate du principal cours d'eau drainant la région « Oued Boussiaba », Ce dernier a été le plus souvent guidé par les failles affectant la région. La couverture végétale est généralement dense et assez uniformément répartie sur les hauteurs ou on distingue des surfaces bien protégées en permanence.

A l'endroit même du site de la carrière on trouve, une végétation de bosquets plus ou moins dense, couvrant le sol meuble provenant de phénomène d'arénisation des granites sous jacents (roche mère)

Malgré les fortes pentes et la pluviométrie de forte abondance, l'érosion hydrique est négligeable par suite du rôle efficace du couvert végétal.



Fig.1.a : Localisation d'El Milia (encyclopédie Encarta, 2005)



Fig.1.b : Localisation des carrières d'El Milia (googlearth, 2005)

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I. 1- Introduction :

Depuis toujours l'Homme a façonné son environnement et son habitat ; d'abord avec les matériaux qui se présentaient à lui : la terre, les pierres, les branchages... Puis très tôt dans l'histoire, il utilise les roches, soit directement, soit en les transformant par la chaleur. Les roches dures telles que le granite, le calcaire ou le grès, servirent de pierres de construction. La fin du 19^{ème} siècle marquera la révolution dans « l'art de construire » avec l'invention du ciment et du béton. Dans le même temps la création des réseaux de chemins de fer, infrastructures routières, des ouvrages d'art, nécessitait des travaux très importants et des matériaux nouveaux et économiques.

Tous ces travaux utilisent des matières premières sous forme de morceaux de roches, soit naturels, sables et graviers soit obtenus artificiellement par concassage de roches naturelles : les granulats.

I.2- Définition des granulats :

Les granulats sont des petits morceaux de roches provenant des carrières, des fonds marins mais aussi du recyclage de matériaux de démolition. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées au texte de la norme française XP-P 18.540 d'octobre 1997. Selon cette norme on appelle granulats un ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm destiné notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation, de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais. Le domaine d'application des granulats peut aider à leur définition :

- utilisés liés avec du ciment ou du bitume, ils représentent 80 à 90 % des mortiers et bétons hydrauliques destinés au bâtiment et ouvrages d'art, mais aussi des enrobés et graves traitées destinés aux assises de chaussées et des voies ferroviaires ;
- utilisés non liés, ils représentent 100 % des drains, des filtres et de certaines assises.

On peut obtenir des granulats :

- par concassage de roches massives, telles que le granite, la diorite, le calcaire, le quartzite,
- par l'exploitation des dépôts de roches meubles laissés par les rivières, les mers (en milieu peu profond), les vents et les glaciers. Dans certains cas, ils peuvent être concassés ultérieurement.

I.3- Classification des granulats :

Il existe plusieurs types de classification pour définir ces matériaux :

I.3. 1- Classification suivant l'origine :

- 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.
 - **Recyclés** : lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

Le Tableau (I.1) donne une idée plus précise de cette définition.

Roches d'origine	Transformations			Usages
	aucune	concassage criblage	thermiques	
Argiles			Argiles expansées	Mortiers Bétons hydrauliques
Limons	Tout-venant	Fines	Verres expansés	
Sables		Sables		
Graviers		Gravillons		
Pouzzolanes		Cailloux Ballasts	Schistes expansés	Graves traitées ou non Enrobés Enduits. Clous
Roches massives				
Minerais		Barytine	Laitiers	Ballasts
Autres origines : démolition de bâtiments et de chaussées		Fines, sables, gravillons, etc.		Filtres Drains

(1) Ces granulats représentent plus de 90 % de la production.

I.3.2-Classification suivant la granularité :

Les granulats sont classés suivant leur granularité, qui est la distribution dimensionnelle de leurs grains, ce qui conduit aux appellations normalisées du tableau (I.2) où **D** et **d** représentent respectivement la plus grande et la plus petite dimension du granulat avec des conditions de refus à **D** et de tamisât à **d** comprises entre 1 et 15 %.

Tableau (I.2) - Définition des différents types de granulats	
Fines	0/D avec $D \leq 0,060 \text{ mm}$ (selon les nouvelles normes européennes $D \leq 0,063 \text{ mm}$)
Sables	0/D avec $D \leq 6,3 \text{ mm}$
Gravillons	d/D avec $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 31,5 \text{ mm}$
Cailloux	d/D avec $d \geq 20 \text{ mm}$ et $D \leq 80 \text{ mm}$
Graves	0/D avec $6,3 < D \leq 80 \text{ mm}$
Ballasts	d/D concassé avec $d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$

Les dimensions d et D sont choisies dans la famille suivante :

0- 0.063- 0.08- 0.1- 0.125- 0.16 -0.2- 0.315- 0.4- 0.5- 0.63- 0.8- 1- 1.25- 1.6- 2- 2.5- 3.15- 4- 5- 6.3- 8- 10-12.5- 14- 16- 20 -25 -31.5- 40- 50- 63- 80- 100- 125 (mm).

I.3.3-Classification selon la masse volumique réelle ρ_r :

La masse volumique réelle d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau déduction faite des vides entre particules. La déduction ne concerne pas les vides compris dans le matériau mais seulement ceux entre les particules.

Les granulats sont dits :

- Légers lorsque ρ_r est inférieur à 2 t/m^3 .
- Courants lorsque ρ_r est compris entre 2 et 3 t/m^3 .
- Lourds lorsque ρ_r est supérieure à 3 t/m^3 .

I.4- Caractéristiques des granulats :

Quel que soit l'usage que l'on en fait –granulats pour béton hydraulique, pour usages routiers ou encore en préfabrication – les granulats se caractérisent par un certain nombre de propriétés qui dépendent : de leur origine géologique, du traitement qu'ils ont subi entre leur extraction et leur passage à l'état de produits finis dans l'usine de traitement.

I.4.1- Caractéristiques intrinsèques :

Entrent dans ce type de caractéristiques : masse volumique réelle, absorption d'eau, Los Angeles, Micro-Deval, résistance au polissage, friabilité des sables, etc...

I.4.2- Caractéristiques de fabrication :

Entrent dans ce type de caractéristiques: granularité, aplatissement, angularité, propreté des sables, propreté superficielle des gravillons, etc...

I.5- Utilisation des granulats :

Les granulats sont une matière indispensable pour les besoins de notre société moderne qui exige qualité de vie, commodité des transports... Les granulats sont utilisés dans l'industrie du bâtiment et des travaux publics.

La figure (I.1) donne quelques exemples sur la consommation élémentaire des granulats

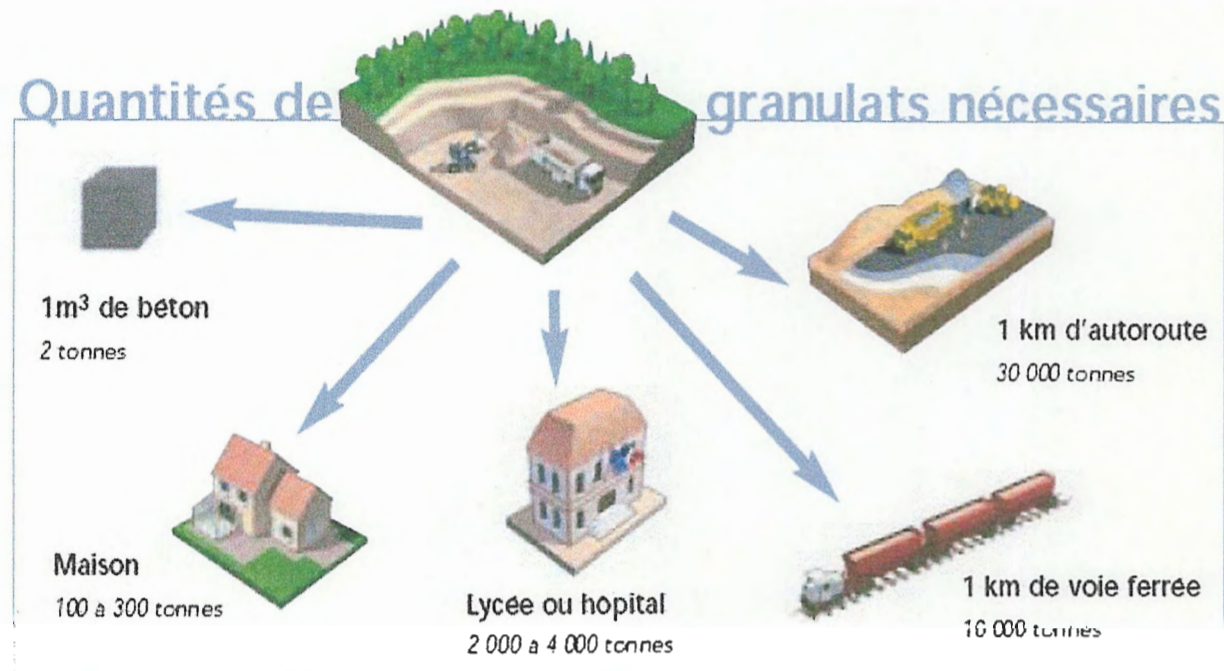


Fig.I.1 : Quelques exemples de consommation élémentaire des granulats (d'après : Lafarge, 2006)

Le granulat est le produit le plus utilisé par l'homme dans le monde après l'eau, son utilisation doit répondre aux spécifications portant sur des propriétés très divers selon le type d'utilisation. Chaque une de ces propriétés doit pouvoir être mesurée par des essais conventionnels définis par des normes précises. Les propriétés des granulats dépendent soit de la nature de la roche, soit des conditions d'exploitation et d'élaboration.

Les granulats sont des matériaux le plus souvent exploités à ciel ouvert. Pour les gisements de roches meubles, le rapport D/E (découverte sur matériau exploitable) est généralement inférieur à 1/3, l'épaisseur minimale de la couche exploitable étant de deux mètres. Pour les gisements de roches massives, ce rapport D/E est généralement inférieur à 1/5, l'épaisseur minimale de la couche étant de l'ordre de 10 mètres.

La taille du gisement à mettre en évidence peut varier beaucoup. Elle dépend essentiellement des besoins locaux. Pour répondre à un besoin permanent, elle devra permettre de satisfaire ce besoin pendant au moins dix ans. Les réserves devront alors être au moins égales à 500 000 t, mais devront parfois dépasser 10 millions de tonnes. Pour répondre à un besoin particulier

limité dans le temps, elle pourra être seulement de quelques dizaines de milliers de tonnes traitées par une installation mobile.

Un transport d'environ 50 Km double le coût des matériaux, il est donc impératif d'exploiter les granulats à la plus faible distance possible du lieu de leur utilisation.

I. 6- Les granulats dans la wilaya de Jijel :

Les granulats dans la wilaya de Jijel proviennent essentiellement de deux sources :

- **Des granulats locaux** : d'après les données de la Direction des Mines et des Industries de la wilaya de Jijel (DMI, 2006) on comptait, en 2005, 5 carrières en activité dans la wilaya de Jijel.

Actuellement (2006), les 5 carrières en activité se répartissent de la manière suivante, en fonction du type de produit extrait :

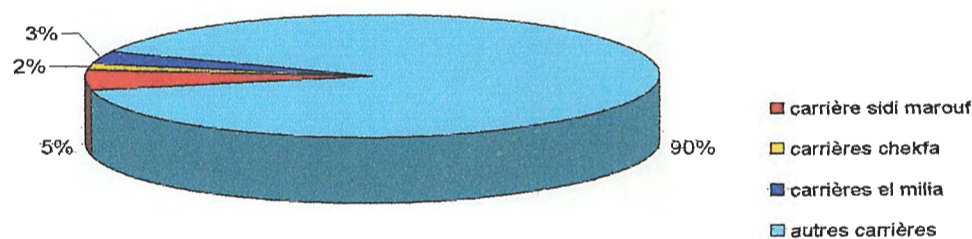
Une Carrière produisant des granulats issus de roches sédimentaires : carrière Bouzekri et Meziani (Sidi Marouf),

Deux carrières produisant des granulats issus de roches métamorphiques : carrière Boughaba et carrière Boussiaba (Chekfa),

Deux carrières produisant des granulats issus de roches magmatiques : carrière Bouzekri Rabah et carrière Bouzekri kamel (El Milia).

- **Des granulats régionaux** : issus essentiellement des carrières situées dans les wilayas limitrophes (Mila, Constantine, Bejaia et Sétif). La figure (I.2) montre le pourcentage respectif de chaque source de granulats dans la wilaya en 2005:

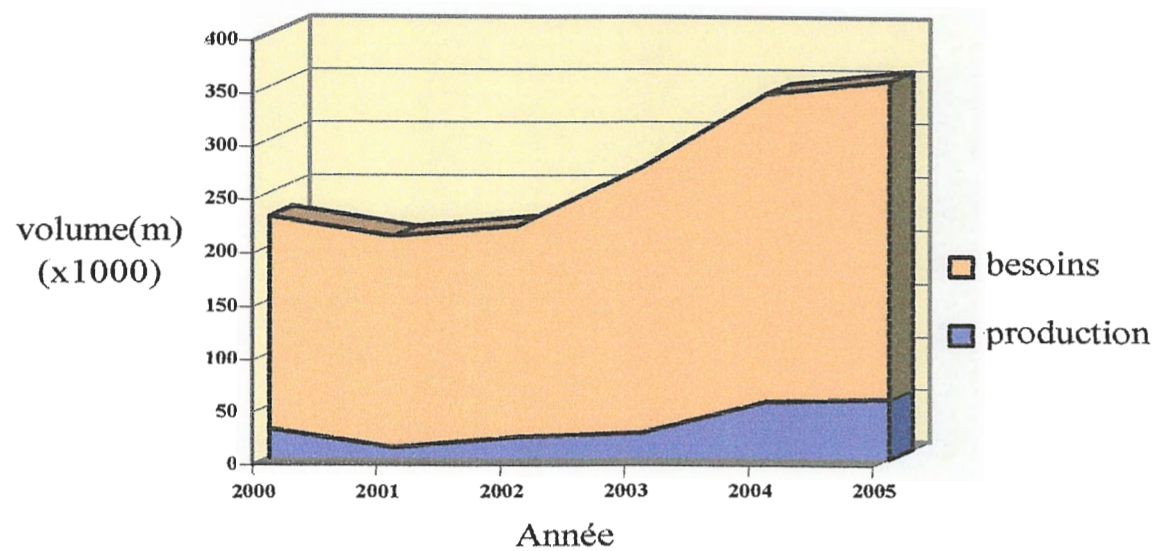
Fig.I.2: Pourcentage respectifs de granulats locaux et régionaux dans la wilaya de Jijel en 2005(Données d'après DMI, 2006)



I.6.1- La production des granulats :

En 2005, la production totale des granulats dans la wilaya de Jijel a été de 56987 m³ ce qui représente une hausse de 3446 m³ par rapport à celle de l'année précédente.

FigI.3- Evolution de la production et des besoins en granulats dans la wilaya de Jijel(données d'après la DMI, 2006)



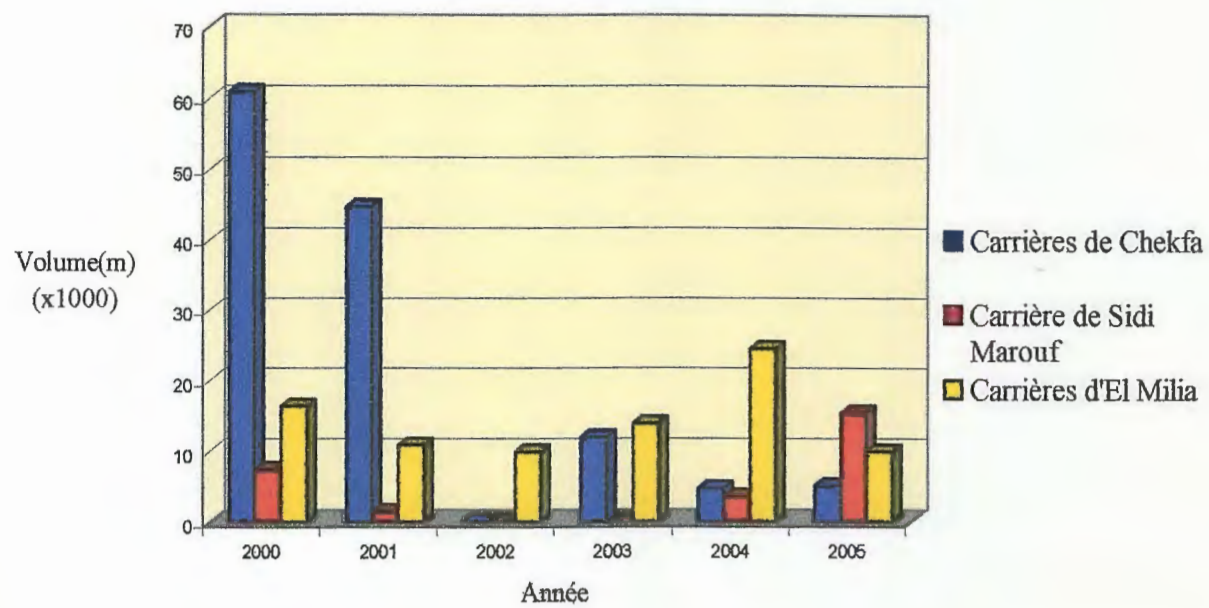
Entre 2000 et 2003, la production des granulats au niveau de la wilaya s'est sensiblement stabilisée aux environs de 30000 m³ par an. En 2004, la production s'élevait à 50000 m³ est restée stable au cours de l'année 2005(Fig.I.3)

Les besoins quantitatifs en granulats sont restés stables entre 2000 et 2002 et marquent une augmentation après cette année, ils dépassent 300000 m³ en 2004-2005.

Dans tous les cas, il ressort que la production des granulats dans la wilaya de Jijel est trop insuffisante, le taux de couverture des besoins exprimés n'a jamais dépassé les 20%. La grande partie de ce matériau provienne des wilayas limitrophes avec des conséquences sur les coûts unitaires liés au transport.

La figure (1.4) montre la production annuelle des granulats au cours des dernières années, de 2000 à 2005, dans les trois carrières situées au niveau de la wilaya.

Fig I.4: Production annuelle des granulats dans la wilaya de Jijel (données d'après DMI, 2006)



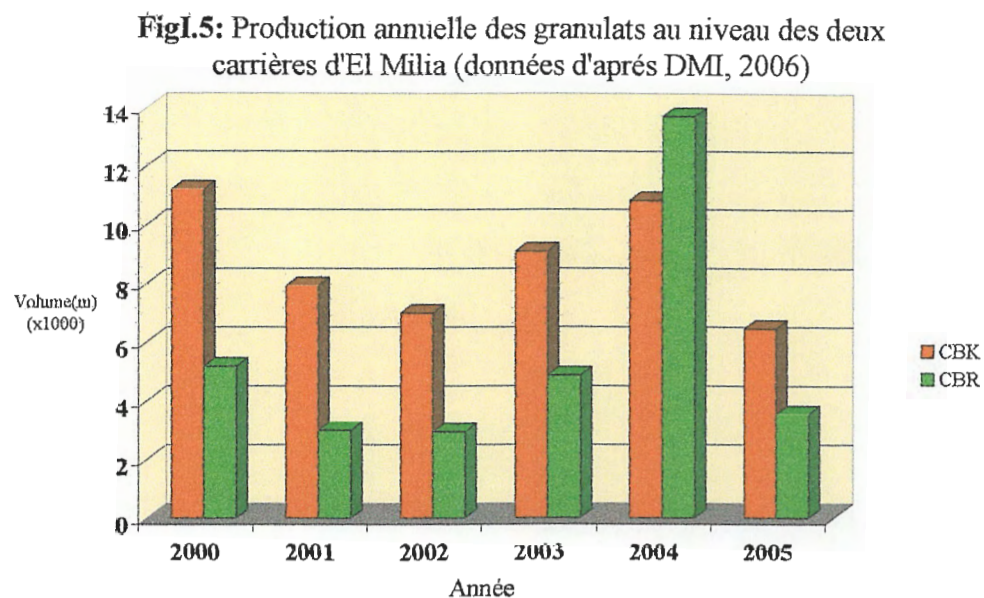
La production dans la carrière de Chekfa est la plus forte en 2000, elle a atteint 60000 m³ puis elle a diminué pour marquer la plus basse moyenne en 2002 et 2004 (Fig.I.4)

La production dans la carrière d'El Milia a varié entre un minimum de 9000 m³ (2002-2005) et un maximum de 20000 m³ (2004).

La production dans la carrière de Sidi Marouf était de 8000 m³ en 2000, puis a diminué à 2000 m³ en 2001. On remarque deux années de suite où la production est nulle au niveau de cette dernière (2002-2003). A partir de 2004, la production a progressé, pour atteindre 4000 m³. En 2005, elle est située aux environs 15000 m³.

Nous rappelons que la carrière de Sidi Marouf, située à environ 70 Km au SE du Chef lieu de la wilaya de Jijel produit des granulats issus de roches carbonatées d'origine sédimentaire (calcaires et dolomies) et que la carrière de Chekfa, située à environ 20 Km de Jijel produit des granulats issus de roches carbonatées d'origine métamorphique. Les deux carrières d'El Milia, objet de notre mémoire, située à environ 60 Km à l'E du chef lieu de la wilaya produisent des granulats issus de roches d'origine magmatiques.

En effet, les granulats issus de ce type de roches (granitoïdes) proviennent de deux carrières : la carrière Bouzekri Kamel (CBK) et la carrière Bouzekri Rabah (CBR). A ce titre nous tenons à remercier les deux gérants de ces deux carrières pour nous avoir permis et aidés à accéder aux sites, et échantillonner les matériaux que nous avons étudiés.



Au cours des six dernières années, la production des deux carrières a évolué en « dents de scie ». Le maximum de production a été atteint en 2004 où les deux carrières totalisaient, une production d'environ 25000 m³ (Fig.I.5). Le taux de production le plus bas a été réalisé pendant l'année 2005 avec une quantité d'environ 8500 m³ (2002) (Fig.I.5).

D'après les résultats du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est- antenne Jijel, les granulats produits par les deux carrières Bouzekri Rabah et Bouzekri Kamel peuvent être utilisés pour la fabrication de bétons ordinaires et dans les travaux routiers (bétons hydrauliques, bétons bitumineux, graves et enduits superficiels).

Ils sont utilisés aussi comme ballasts et pierre de taille (ballasts de la voie ferrée Jijel-Constantine).

L'étude que nous proposons dans ce mémoire a pour but de contribuer à une meilleure connaissance du site dans le but de dynamiser davantage la production des granulats dans les carrières d'El Milia:

Le mémoire est organisé de la manière suivante :

- ❖ Une introduction montrant l'utilité des granulats dans les différents domaines.
- ❖ Le cadre géologique régional de la petite Kabylie,
- ❖ Le cadre géologique local de la région d'El Milia
- ❖ Les processus de production des granulats,
- ❖ Une étude des caractéristiques géométriques, physiques, et mécaniques des granulats élaborés par les deux carrières d'El Milia.

CHAPITRE II

*CADRE
GEOLOGIQUE
REGIONAL*

II.1-Introduction :

La zone mobile du système alpin, constitue, en Algérie, les reliefs de la chaîne tellienne, équivalents géologiques des reliefs alpins d'Europe, qui s'étendent depuis les Monts des Traras, à l'Ouest d'Oran, jusqu'au massif de l'Edough, à l'Est d'Annaba. Ces reliefs sont l'expression de l'écrasement des ensembles géologiques initialement entreposés entre les plaques africaine et européenne dont le rapprochement a débuté il y a de cela - 65 millions d'années. Du point de vue structural, les Maghrébides algériens sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme africaine. Transversalement, on distingue :

1)-Les zones internes :

Situées au nord, elles comprennent (Fig.II.1) :

- a) un socle antétriasique recouvert d'une série sédimentaire écaillée (antérieur à -200 millions d'années)
- b) des terrains cambriens à carbonifères modérément métamorphisés et leur couverture mésozoïque et tertiaire formant la Dorsale calcaire (Entre -200 et -65 millions d'années). Ces zones internes sont surtout développées à l'Est d'Alger où elles constituent les massifs de Grande et Petite Kabylie. A l'Ouest d'Alger, le massif du Chenoua et le Cap Ténès en sont des témoins, réduits aux unités de la Dorsale calcaire. Les zones internes chevauchent le domaine des flyschs et le domaine tellien. En petite Kabylie, les chevauchements sont très plats (in Maradja, 2003).

2)-Les zones externes :

Situées plus au sud, elles regroupent (Fig.II.1) :

- a)-des nappes de flyschs, caractérisées par des formations détritiques argilo-gréseuses d'âge Crétacé/Eocène,
- b)-des nappes telliennes composées essentiellement des séries marno-carbonatées d'âge Crétacé/Eocène.

Ces domaines apparaissent actuellement sous forme d'unités tectoniques anormalement superposées les unes aux autres et charriées sur l'avant pays hodnéen plus au Sud. Ils sont recouverts par un ensemble déritique, allochtone, le Numidien, dont la position est discutée, et par des formations post-nappes du Néogène.

II.2- Les grands traits géologiques de la petite Kabylie :

En petite Kabylie, les grands traits géologiques peuvent être résumés à partir des travaux de M. Durand Delga, 1955 et J.P.Bouillin, 1977). Classiquement on distingue (Fig.II.2) :

-Le socle kabyle,

- Les séries de la chaîne calcaire (ou dorsale kabyle),
- L'oligo miocène kabyle et les olistostromes,
- Les séries à caractères des flyschs,
- Les séries telliennes.

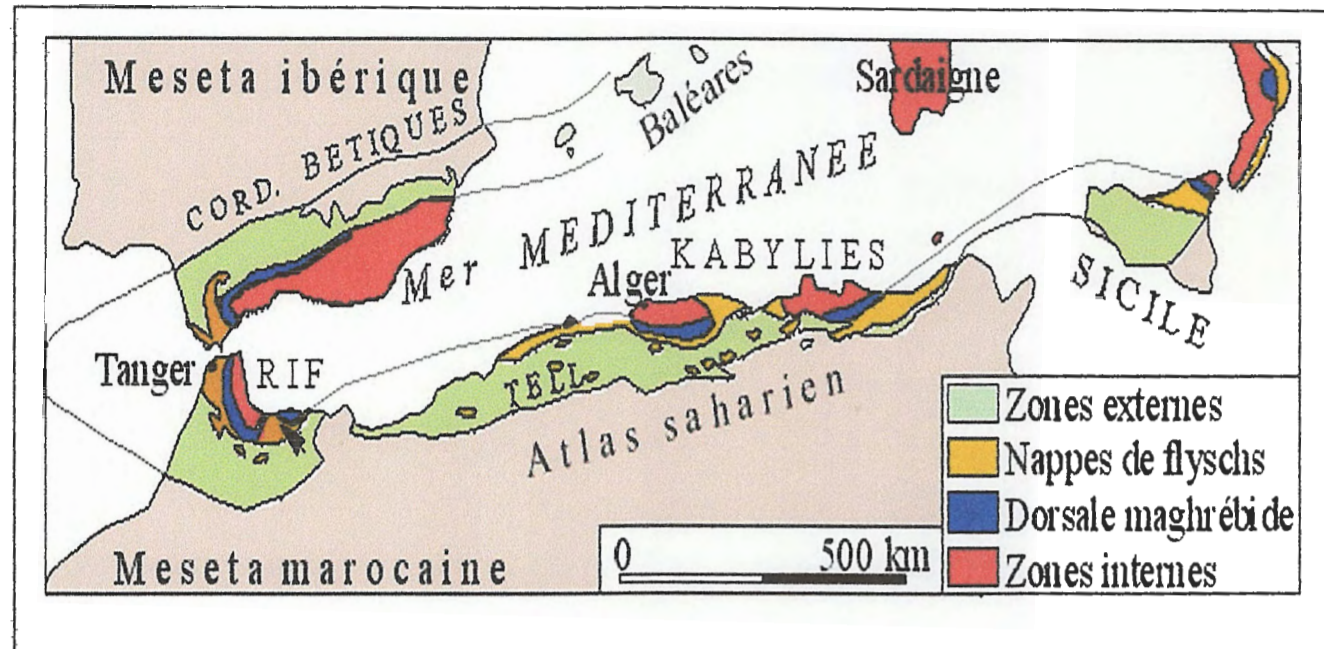


Fig.II.1 : Carte structurale schématique de la chaîne des Magrébides
(D'après : MARADJA 2003).

II.2-1 Le socle kabyle :

Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement représentées en Petite Kabylie (Fig.II.2), elles comportent deux grands ensembles (Bouillin, 1977) :

Un ensemble inférieur constitué de gneiss fins ou oeillés, à intercalation de marbres et d'amphibolites et un ensemble supérieur constitué des schistes satinés où s'intercalent localement des grès et des porphyroïdes oeillés, cet ensemble est surmonté en discordance par des formations siluriennes (Durand Delga, 1955).

II.2.2- La dorsale Kabyle :

Elle est nommée « chaîne liasique » (Ficheur, 1909, in Durand Delga, 1969), « chaîne calcaire » (Glangeaud, 1932, in Durand Delga, 1969) 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.II.2). Dans la région d'El Milia, la dorsale kabyle est absente à l'affleurement

II.2.3 -L'Oligo Miocène Kabyle et les Olistostromes :

*L'Oligo Miocène Kabyle (OMK) :

C'est une formation détritique qui comporte trois termes lithologiques (Bouillin, 1977) :

- un conglomérat discordant sur le socle à la base,
- des grés micacés à débris de socle associés à des pélites micacées,
- des silexites au sommet.

*Les olistostromes :

Ces formations tectonosédimentaires, constituées de flyschs massyliens et maurétaniens, reposent sur l'oligo-miocène kabyle. Des passées de grés micacés semblables à ceux de l'OMK peuvent se trouver intercalées entre les flyschs.

II.2.4- Les séries à caractères des Flyschs :

Caractérisées par des formations détritiques argilo-gréseuses d'âge Crétacé/Eocène (Fig.II.2), elles sont subdivisées en deux types principaux :

*Le flysch Maurétanien :

Comporte de bas en haut (Bouillin, 1977) :

- Un pré flysch calcaire du Tithonique-Néocomien.
- Un ensemble à grés homométriques à cassure verte (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- des phtanites rouges et blancs du Cénomaniens supérieur.
- Un Sénonien microbréchiq.
- Au sommet, des conglomérats puis des grés micacés tertiaires.

*Le flysch Massylien :

Il présente une série allant du Néocomien au Lutétien terminal et regroupe trois ensembles (Bouillin, 1977) :

- A la base, le flysch albo-aptien composé d'argiles et de grés quartzitiques.
- En suite, un ensemble comprenant des marnes et calcaires fins.
- Au sommet, un flysch à marnes microbréchiq. du Turonien-Maestrichien.

II.2.5- Le flysch Numidien :

Il faut signaler la présence du flysch Numidien qui affleure dans la région (Fig.II.2). Ce dernier comprend de bas en haut (Bouillin, 1977, Vila, 1980) :

- des argiles sous-numidiennes, de teinte verte, rouge ou violacée.
- des grés numidiens à quartz roulés,

- des marnes avec des silexites qui atteignent le Burdigalien basal. Le flysch Numidien constitue structurellement la nappe la plus haute de l'édifice alpin. Il est attribué en partie à l'Aquitano-Burdigalien.

II.2.6-Les séries telliennes :

Composées essentiellement de séries marno-carbonatées d'âge Crétacé/Eocène. Du point de vue structural, elles sont constituées par un empilement de trois grandes nappes, ce sont du Nord vers le Sud (Villa, 1980) :

- **les nappes épi-telliennes** : Constituées de terrains marneux allant de l'Albien au Lutétien supérieur.

-**les nappes méso-telliennes** : Qui montrent un dispositif de cinq écailles, formées de sédiments allant du Sénonien au Miocène.

-**les nappes infra-telliennes** : Caractérisées par une structure chaotique : le Trias gypsifère, le Jurassique, le Crétacé ont glissé sur les sédiments, en cours de dépôt, du Miocène inférieur, et ont été remis en mouvement avec celui-ci. Ces glissements ont commencé dès l'Eocène supérieur et se sont poursuivis au cours de l'Oligocène et surtout au Burdigalien (Vila, 1980).

II.2.7-Le Miocène post nappes :

Il est caractérisé par deux cycles sédimentaires :

- un premier cycle, constitué de marnes grises ou bleues, transgressif sur les terrains précédents,

- un deuxième cycle, comprenant essentiellement des grés provenant de la destruction du Numidien.

II.2.8- Les roches magmatiques :

Des phénomènes magmatiques d'âge Miocène se sont développés en Petite Kabylie, où des massifs de roches éruptives de type calco-alcalin sont mis en place (Fig.II.2). Ils comprennent :

- des granites qui occupent des surfaces importantes et qui sont répartis en deux massifs principaux (le massif du Cap Bougaroun au nord, et le massif des Béni Touffout au sud) (Bouillin, 1977).

- des microgranites qui forment généralement des petits massifs éruptifs, localisés aux environs de Collo et d'El Milia,

- des rhyolites,

- des roches mésocrates à mélanocrates (diorite et gabbros) de moindre extension.

Des datations radio chronologique effectuée sur ces granites ont donné les âges suivants :

- Filfila : 15.3 ± 1 Ma

- El Milia : 16.2 ± 0.8 Ma
- Collo : 15.8 ± 0.4 Ma, 15.8 ± 0.9 Ma
- Beni- Touffout : 15.4 ± 0.7 Ma, 15.2 ± 0.7 Ma
- Bougaroun : 16.4 ± 0.3 Ma, 15.6 ± 0.5 Ma

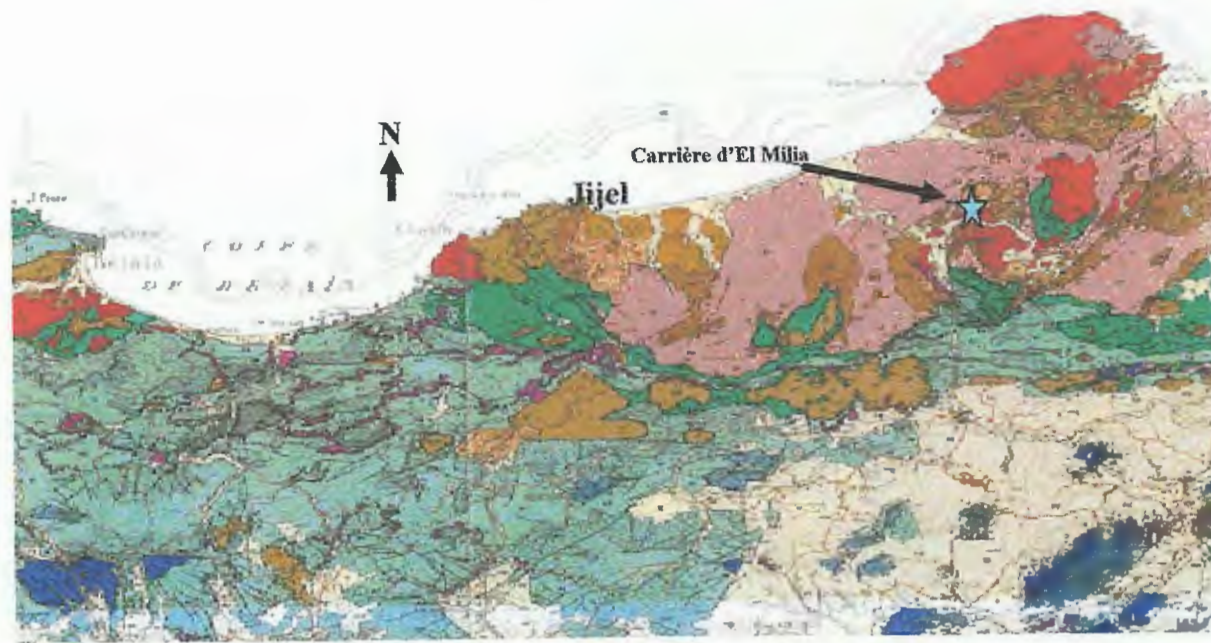







Fig.II.2-Extrait de la carte structurale 1/500000 du Nord Est de l'Algérie et des confins Algéro-Tunisiens (D'après Vila, 1980).

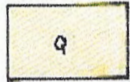

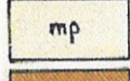

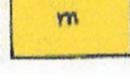
ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES

-  Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.
-  Θ : Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hammam Meskoutine(Θ).

NAPPE NUMIDIENNE


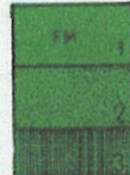

-  NB Formation de Babouche(Aquitano-Burdigalien).
-  δ^N Grès numidiens et séries mixtes.
-  AN Principaux affleurements d'argiles de base à Tubotomaculum.

ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR

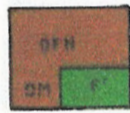


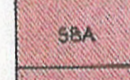


-  Q Quaternaire indifférencié(Villafranchien à actuel).
-  P Pliocène marin des zones côtières.
-  mp Mio-Pliocène continental.
-  m' Burdigalien supérieur-Langhien de la marge littorale.
-  m Miocène marin transgressif indifférencié des nappes telliennes et de leur avant-pays allochtone, parautochtone ou autochtone.

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES


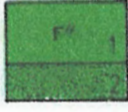


FLYSCHS MAURÉTANIENS

-  FM Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Taïeb, de la Robertsau(Souk es Sebt) et de La Marsa. Séries médianes de Guerrouch, d'El Karn, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda(Penthièvre) Séries externes(ex-"Medjanien") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mez-zouch et de Ziane.
-  FM Cas de la série des Achaïches(série médiane).
1- Crétacé
2- Jurassique
3- Permo-Trias et Carbonifère.
-  UST Unité Sendouah-Tabellout à substratum basique.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE

-  DM Oligo-Miocène kabyle,olistostromes à flyschs resédimentés(y compris le Numidien) et flyschs en position nord-kabyle(F').
-  OF Olistostromes superposés à l'Oligo-Miocène kabyle; OT- Olistolites telliens de la région d'El Milia.
-  CHAÎNE CALCAIRE: Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones interne,médiane et externe.
-  SBA Socle kabyle: SBA- Paléozoïque des Béné-Afeur
-  SK SK- Socle métamorphique de Petite kabylie et du Bou Hâtem(phyllades micaschistes,porphyroïdes,gneiss et marmbres.
-  SB SB- Socle basique du Cap Bougaroun(péridotites et "kinzigites" rétro-morphosées).

FLYSCHS MASSYLIENS

-  FM Séries typiques à phanites ou à brèches vertes et rouges.
-  FM Cas de la série du Ojebel Filfila
1- Crétacé
2- Jurassique.
-  Unités de type Adissa et Sémonien marneux à microbrèches ou à blocs.
-  A- Eocène
F- Sémonien marneux à microbrèches ou à blocs.

CHAPITRE III

*CADRE
GEOLOGIQUE
LOCAL*

Les carrières de granulats d'El Milia se situent dans les massifs anciens de Petite Kabylie, qui sont formés de terrains métamorphiques, (micaschistes, gneiss, phyllades) recouverts de lambeaux de l'Oligo Miocène (argiles gréseuses) et traversés par des roches éruptives d'âge Miocène (granite). Sur son parcours, l'Oued «Boussiaba» sillonne ces massifs et développe des terrasses alluviales récentes (quaternaire récent).

III.1- Litho stratigraphie succincte :

Les différentes séries litho stratigraphiques affleurant dans la région d'El Milia comportent les formations suivantes : (Bouillin, 1977) (Fig.III.1) :

Les formations paléozoïques :

Représentées par des roches métamorphiques : des micaschistes, des phyllades, des gneiss et des marbres.

Les formations triasiques :

Composées de dépôt évaporitiques : de gypses, des ophites, des calcaires, des dolomies, des éléments bréchiques, et des cargneules.

Les formations du Jurassique :

- **Le Lias** : représenté par des dolomies et des calcaires à silex.
- **Le Dogger** : représenté par des calcaires.
- **Le Malm** : constitué de calcaires fins et des radiolarites

Les formations du Crétacé :

- **Le Crétacé inférieur** : caractérisé essentiellement par :

*des dépôts argileux,

*des dépôts marno- calcaires.

- **Le Crétacé supérieur** : représenté par des calcaires et micro brèches à débris de calcaire.

Les formations du Paléogène :

- **Eocène** : contient des calcaires sableux, des argiles, des marnes et des calcaires micro bréchiques bioclastiques.
- **Oligocène** : représenté par des argiles et des grés micacés.

Les formations du Néogène :

- **Miocène** : marnes, grés lithiques, et silexites.
- **Pliocène** : représenté essentiellement par des marnes.

Les formations du Quaternaire : contient des alluvions anciens et récents et des éboulis, et des sables.

La géologie locale de la région d'El Milia se particularise par un développement relativement important de roches magmatiques principalement de la famille des granitoïdes. C'est dans ces roches que sont encaissées les deux carrières produisant les granulats, objet de ce mémoire.

III.2- Description pétrographiques des roches magmatiques de la région d'El Milia :

III.2.1-Les principaux affleurements de roches magmatiques de la région d'El Milia :

Tous les travaux consacrés à la géologie de la région se sont intéressés à des degrés divers aux roches magmatiques (Bouillin, 1977, Ouabadi, 1994).

On distingue plusieurs affleurements de roches magmatiques dans la région d'El Milia :

III.2.1.1- Le massif de Beni Toufout :

Ce massif est constitué principalement par des granites affleurant au centre de la Kabylie de Collo (Fig.III.1). Ils constituent un grand affleurement sous forme quadrangulaire, avec une superficie de 60 Km²environ (Bouillin, 1977). L'âge de sa mise en place n'est pas bien définie, une seule datation a donné un âge de 22 Ma (Ouabadi, 1994).

III.2.1.1- Les microgranites d'El Milia :

Au Sud Ouest de la masse principale du granite de Beni Toufout des microgranites affleurent sur des surfaces très importantes (Fig.III.1). Ces microgranites sont essentiellement représentés par le massif d'El Milia qui s'étend jusqu'à la ville et occupe une superficie de 50 Km².

Ces microgranites sont également représentés par des petits pointements présentant généralement une morphologie en dôme plus ou moins marqué, dont le diamètre moyen est de l'ordre de 1 Km (Ouabadi, 1994).

Les deux carrières étudiées dans ce mémoire sont encaissées dans les microgranites d'El Milia sur la rive nord de Oued Boussiaba.

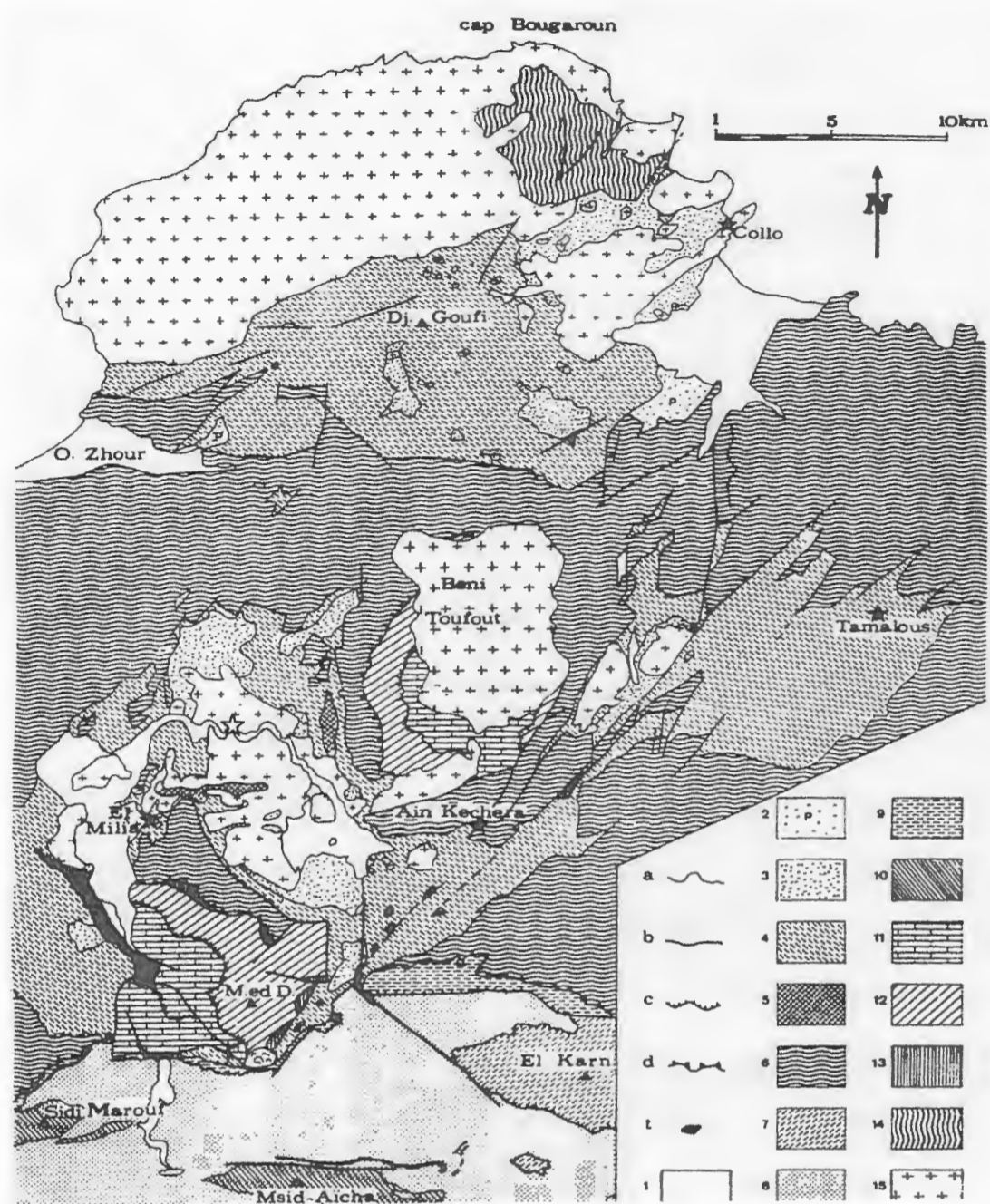


Fig.III.1- Carte géologique de la Kabylie de Collo et d'El Milia (Bouillin, 1977).

Légende de la carte

- 1 : Quaternaire,
- 2 : Pliocène,
- 3 : Miocène post nappes (Burdugalien- 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’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 intercalé entre les formations telliennes et les unités plus septentrionales qui la chevauchent (socle Kabyle à l’Est et à l’Ouest, les écaillés du Moule et Demamène au centre),
- 10 : Formations épitélliennes triasiques, jurassiques et du Crétacé inférieur formant les reliefs du Moid Aicha et du Sidi Marouf,
- 11 : Ecaillés inférieures du Moule et Demamène et des Beni Toufout (séries telliennes et flyschs massyliens plus ou moins schistosés),
- 12-13 : Unités supérieures métamorphiques du Moule et Demamène et de Beni Toufout, constituées par des flyschs maurétaniens et leurs soubassements épimétamorphisés,
- 14 : Socle à péridotite de Cap Bougaroun,
- 15 : Roches éruptives miocènes.
- ☆ : Carrière d’El Milia.

III.2.2- Diversité pétrographique :

III.2.2.1- Le granite de Beni Toufout :

Selon les descriptions de J.P. Bouillin (1977) et A. Ouabadi (1994), le granite de Beni Toufout apparaît homogène, avec une structure grenue à grains moyen (2 à 3 mm) et renfermant d'abondantes enclaves.

Ses minéraux essentiels sont :

- **le quartz** : représente environ 20% des phases minérales, il est présent dans la roche sous plusieurs formes cristallines. Il apparaît en majeure partie sous forme de grandes plages xénomorphes et parfois en petits cristaux sub-automorphes (Ouabadi, 1994).
- **Le plagioclase** : c'est un minéral dominant dans les granites de Beni Toufout, se divise en deux types :
 - celui inclus dans les cristaux xénomorphes de feldspath potassique,
 - et celui de la matrice.

Leurs compositions sont de type oligoclase- andésine An 20- 45 (Ouabadi, 1994).

- **Le feldspath alcalin** : apparaît soit en petites plages xénomorphes, soit en gros cristaux xénomorphes (Ouabadi, 1994).
- **La biotite** : occupe environ 15% de la roche, elle se présente principalement en phénocristaux automorphes à subautomorphes.
- **La cordiérite** : elle apparaît sous deux aspects :
 - en individu automorphe de taille moyenne,
 - en cristaux xénomorphes globuleux.

Le granite de Beni Toufout contient aussi des minéraux accessoires tel que la tourmaline, le zircon, l'apatite.. (Ouabadi, 1994).

III.2.2.2- Le microgranite d'El Milia :

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

- La pâte est essentiellement quartzofeldspathique, elle contient des petites aiguilles de biotite et des petits cristaux de tourmaline.

* Les phénocristaux sont :

Plagioclases se présentent en cristaux isolés, parfois cassés longitudinalement,

Quartz arrondis présentant parfois des golfes de corrosion,

Biotite poeciloblastiques englobant des petits plagioclases et même parfois de la mésostase,

Cordiérite automorphe à rares inclusions de biotites automorphes, parfois cassées comme certains plagioclases.

*Les xénocristaux sont :

- **des cordiérites arrondies** à inclusions de sillimanite disposées en faisceaux fibreux.
- **des grandes cordiérites**, à inclusions d'aiguilles de sillimanite et de petits cristaux de quartz, biotite et ilménite.
- **des grenats** renfermant des alignements d'aiguilles de sillimanite probable et de rares inclusions de quartz renfermant eux aussi des aiguilles de sillimanite probable (Ouabadi, 1994).

Le microgranite d'El Milia est remarquable par la présence de quatre cordiérites différentes :

- 1- cordiérite xénocristique à inclusion monominéral de sillimanite,
- 2- grands poeciloblastes de cordiérite à inclusion de sillimanite, quartz, biotite, ilménite,
- 3- cordiérite réactionnelle magmatique provenant de la déstabilisation de grenat hérité,
- 4- phénocristaux automorphes de cordiérite ayant cristallisé directement dans le magma (Ouabadi, 1994).

III.2.3- Quelques données géochimiques :

Les particularités géochimiques des roches granitiques de la région d'El Milia ont été déterminées par A. Ouabadi (1994). Les résultats des analyses chimiques faite par .A. Ouabadi (1994) sur des échantillons prélevé dans les massifs de Beni Toufout et d'El Milia sont illustrés dans le tableau (Tab.III.1) :

minéraux	Beni Toufout	El Milia
SiO ₂	64,71 – 69,22	64,71
Al ₂ O ₃	14,62 – 15,82	15,51
Fe ₂ O ₃	3,09 – 4,89	4,89
MnO	0,05 – 0,06	0,05
MgO	1,52 – 2,39	2,39
CaO	1,95 – 2,91	2,91
Na ₂ O	2,18 – 2,72	2,18
K ₂ O	3,05 – 4,30	4,30
TiO ₂	0,44 – 0,61	0,50
P ₂ O ₅	0,12 – 0,16	0,16

Tab.III.1: Variations des éléments majeurs des granitoïdes des Beni Toufout et d'El Milia (d'après Ouabadi, 1994).

Les roches des Beni Toufout et d'El Milia sont des roches acides ($64\% < \text{SiO}_2 < 69\%$). Le rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ est toujours supérieur à 1 avec une prédominance de K_2O sur Na_2O . Les teneurs en CaO sont toujours inférieures à 3%. L'alumine oscille autour de 15% (Ouabadi, 1994)

III.3 – Pétrographie des roches magmatiques exploitées dans les carrières d'El Milia :

Les carrières se situent dans le lieu dit Douar Ouled Arbi, (Fig.III.1). Elles sont encaissées dans les microgranites d'El Milia, dont les principaux constituants sont : la silice, les feldspaths, les micas blancs (muscovite), et les micas noire (biotite)

Les résultats de l'analyse chimique de ces roches sont résumés dans le tableau (Tab.III.2)

Minéraux	% en poids
Silice et silicates	80,98
Anhydrites ($\text{Ca SO}_4 2\text{H}_2\text{O}$)	traces
Carbonates (CaCO_3)	2,00
Eau de constitution	1,72
Autres	5,27

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

Le tableau indique que les roches des carrières d'El Milia sont des roches acides ($\text{SiO}_2=80,98\%$)

Du point de vue géotechnique on remarque que ces granites contiennent des minéraux tels que les feldspaths et les micas qui, avec des proportions relativement élevées, pourraient diminuer les propriétés mécaniques de ces roches. En effet ces deux minéraux présentent des duretés faibles à moyennes, et montrent souvent un à deux clivages. Ces derniers constituent des zones de faiblesses à partir desquelles se développent d'éventuelles altérations aussi sur les roches en places que sur leurs dérivés granulats incorporés dans les divers domaines d'utilisation (chaussées, béton...).

CHAPITRE IV

PROCESSUS DE PRODUCTION DES GRANULATS



IV.1- Introduction :

Une carrière à ciel ouvert est exploitée à l'air libre, soit à flanc de colline, soit dans une fosse qui va en s'approfondissant et en s'élargissant. Le profil d'une telle carrière montre des gradins constituant le front de taille et progressant horizontalement dans le matériau. La hauteur des gradins va de 10 à 20 mètres ; la pente du talus limitant un gradin a une pente de 60 à 80° dépendante de la tenue des terrains. Entre chaque gradin, il existe des banquettes horizontales réunies entre elles par des rampes, assurant ainsi la circulation des camions qui évacuent les matériaux.

L'exploitation à ciel ouvert démarre par le défrichage du terrain, si celui-ci se trouve en zone boisée. Ensuite, il y a des travaux de découverte des terrains : on enlève les stériles situés au-dessus des matériaux que l'on veut extraire. Ces morts terrains sont déposés en dehors du site d'exploitation pour un gisement se poursuivant en profondeur (c'est-à-dire exploitation dans une fosse ou une cuvette), en arrière de la zone d'extraction pour les exploitations d'une couche plus ou moins horizontale, amorçant ainsi un début de réaménagement poursuivi ultérieurement.

Une fois le matériau " découvert ", débarrassé des morts terrains, les travaux d'extraction peuvent commencer.

IV.2- Processus de production des granulats :

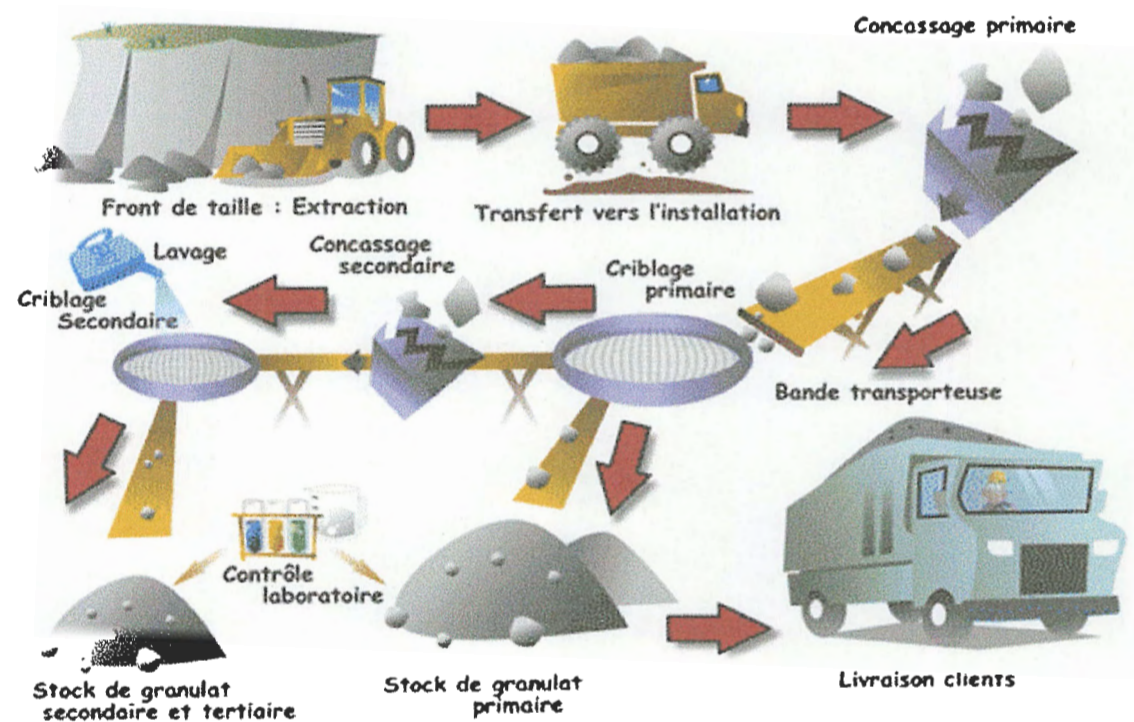


Fig.IV.1-Processus de production de granulats de roches massives (d'après, unicem, 2006)

La production des granulats comprend deux opérations principales : l'extraction des matériaux et leur traitement, qui utilisent des techniques différentes selon qu'il s'agit de roches massives ou de matériaux alluvionnaires, que le gisement se situe hors d'eau ou en eau, que le traitement s'effectue ou non sur le site d'extraction.

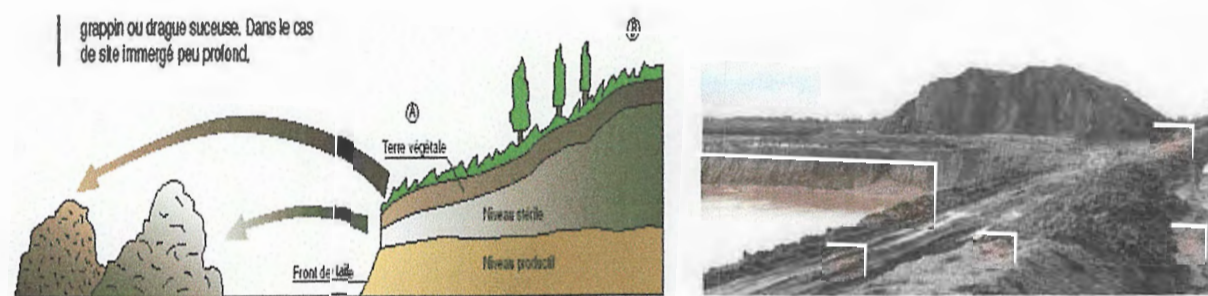
Cependant, dans toutes les carrières à ciel ouvert, cinq étapes principales jalonnent l'activité d'une exploitation, qui s'étale de façon générale sur une durée de 15 à 30 ans :

Les étapes de traitement sont les suivantes (Fig.IV.1) :

- le décapage des niveaux non exploitables,
- l'extraction des matériaux,
- le transfert vers les lieux de traitement,
- le traitement des granulats,
- la remise en état du site exploité.

IV.2.1- Décapage des terres non exploitables ou la « découverte »

Découvrir, c'est retirer les matériaux impropres à la production du gisement. Les matériaux de découverte, terres végétales et matériaux stériles, doivent être stockés indépendamment de façon à pouvoir être réutilisés lors du réaménagement de la carrière sans pour autant gêner les différentes phases de l'exploitation. Le décapage de la terre végétale est généralement effectué au bulldozer, parfois au scraper dans le cas des gisements de grande superficie. La terre est disposée en cordons en périphérie du gisement ou transportée sur une aire de dépôt. Elle pourra éventuellement être utilisée pour le réaménagement de la carrière (Fig.IV.2).



A - Découverte peu importante : exploitation possible.

Stockage de la découverte.

B - Découverte trop importante pour envisager l'exploitation.

Fig.IV.2- Importance de la découverte dans les travaux d'exploitation des granulats

IV.2.2- L'extraction des matériaux :

L'extraction s'effectue dans les carrières avec des techniques différentes selon qu'il s'agit de gisements de roches massives ou de gisements de roches meubles exploités soit à sec, soit en eau.

IV.2.2.1- Extraction des terrains meubles :

-En site terrestre (milieu sec) :

Quand le gisement de granulats alluvionnaires se situe au-dessus du niveau d'eau, deux modes d'extraction sont possibles :

***en fouille**, par pelles hydrauliques pour des hauteurs de gisements n'excédant pas 4 mètres.

***en butte**, par chargeuse sur pneumatiques, dans une grande majorité des cas.

-En site immergé (milieu hydraulique) :

L'extraction peut être réalisée par des engins flottants : drague à godets, à grappin ou drague suceuse. Dans le cas de site immergé peu profond, l'exploitation pourra avoir lieu depuis la rive avec des pelles à câble équipées en draglines, des pelles hydrauliques ou des excavateurs à godets. Le dragage ramène à la surface le 'tout venant' qui est ensuite chargé sur bateaux, sur camions ou sur bandes transporteuses en bord de rive

IV.2.2.2- Extraction des roches massives :

Dans ce type de gisement compact, l'extraction des roches nécessite l'emploi des explosifs. Les tirs de mines provoquent l'abattage d'une grande quantité de matériaux éclatés. Les éclats de roches sont ensuite chargés et transportés au centre de traitement. Procéder à un tir nécessite un plan de tir comprenant :

- 1- le forage de trous (leur disposition, leur nombre), (Fig.IV.3.a)
- 2- le choix des explosifs,
- 3- le déclenchement du tir.

Le tir est placé sous la responsabilité d'un professionnel spécialisé : un tir de mine peut abattre jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de tonnes de roche en une seule opération.

Les opérations de concassage, de débouillage, de triage et de lavage permettent d'obtenir, à partir de matériaux d'origine de la carrière, toute une gamme très variée de granulats qui répond aux divers besoins techniques. Ces opérations peuvent avoir lieu dans des ordres différents et à une plusieurs reprises pour fabriquer des granulats diversifiés à partir de la même roche de départ, qu'elle soit alluvionnaire ou massive.

IV.2.3- Transfert vers les lieux de traitement :

Le transfert des matériaux entre la carrière et l'installation de traitement s'effectue soit en continu par transporteurs à bande soit en discontinu par camions et dumpers pour les extractions terrestres, ou bateaux dans le cas d'exploitations immergées assez loin des rives. Le mode de transport par transporteurs à bande (Fig.IV.3.b) est généralement préféré aux camions (Fig.IV.3.c) pour plusieurs raisons :

- Il est moins bruyant et crée moins de poussière que les camions, et a donc moins de nuisances.
- Il est plus efficace et plus facile à entretenir, donc plus rentable.



a- Extraction des roches par l'emploi des explosifs



b- transfert par transporteurs à bande



c- transfert par camions

Fig.IV.3- Extraction et modes de transport des granulats dans une carrière.

IV.2.4- Traitement des granulats :

Le traitement est réalisé dans des installations automatisées généralement situées sur le site de la carrière, le traitement des granulats comprend toutes les opérations destinées à élaborer des produits finis à partir des matériaux primaires. Les opérations successives de concassage, broyage, criblage et lavage des matériaux extraits de la carrière permettent d'obtenir une gamme de granulats qui, répond aux divers besoins techniques ; et aux besoins de la clientèle.

IV.2.4-1- Concassage / broyage :

On définit le concassage comme la réduction de matières dures en fragments grossiers, de plusieurs millimètres. Il s'effectue dans des concasseurs spéciaux. Les opérations de concassage permettent d'obtenir à partir des matériaux d'origine une gamme très variée de granulats qui répond aux divers besoins techniques.

Il existe différents types de concasseurs (Fig.IV.4.a) : Concasseurs à mâchoires, Concasseurs à percussion, Concasseurs giratoires, Concasseurs à cylindre.

Le choix du concasseur dépend :

- de la grosseur des blocs à admettre,
- du débit souhaité,
- de la nature des roches à exploiter

L'opération de broyage est généralement utilisée pour l'enrichissement d'un sable en éléments fins. On peut résumer ainsi les différentes phases des opérations de concassage et de broyage :

Concassage primaire : pour la réduction en 0/120 à 0/300 mm des matériaux issus de la carrière.

Concassage secondaire : pour la réduction des matériaux primaires à 0/20 ou 0/70 mm.

Concassage tertiaire : pour la production de matériaux riches en éléments fins 0/10 à 0/15 mm.

Broyage : pour élaborer des sables riches en éléments fins, et transformer en sable des gravillons excédentaires.

Remarque :

Entre chaque étape, un criblage et un lavage peuvent être fait.

La fabrication des granulats à partir de roches alluvionnaires ne s'effectue que sur les plus gros éléments (galets, gros graviers) ou dans des cas particuliers.

IV.2.4.2- Le criblage :

Le criblage est l'opération par laquelle on produit, à partir d'un ensemble de grains d/D , deux classes granulaires d/m et m/D .

- m est appelée la maille de criblage ;
- La classe d/m est appelée *passant* ;
- La classe m/D est appelée *refus*.

Les opérations de criblage ou de tamisage permettent de sélectionner les grains (Fig.IV.4.b). On peut ainsi, par une succession de criblage, obtenir des matériaux de dimensions différentes : soit correspondant à une dimension bien précise, soit entrant dans une fourchette définie.

IV.2.4.3- Le lavage :

Débourber, laver ou dépoussiérer permet d'obtenir des granulats propres. La propreté des granulats est une nécessité industrielle. La présence de boues, argiles ou de poussières mélangées aux matériaux ou enrobant les grains, empêche leur adhérence avec les liants (ciments, chaux, laitier ou bitume), ce qui interdit alors leur utilisation.

Dans tous les cas, les eaux de lavage sont ensuite décantées dans des bassins spéciaux, de façon à être recyclées dans l'installation. Les opérations de criblage et de lavage sont souvent réalisées conjointement, une rampe de jets d'eau étant disposée au dessus du crible.

IV.2.4.4- Le stockage et la livraison :

- **Le stockage :** En fin de traitement, on obtient des produits de qualité répondant à des critères bien précis :

- nature des granulats : calcaire, silice, éruptif... dépendant du gisement,
- forme des grains : anguleux (concassés), arrondis (roulés)
- granulométrie précise ou fourchette granulométrique.

Des mélanges peuvent être réalisés avec des proportions précises pour chaque composant en vue d'utilisations bien particulières.

Une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers les aires de stockage soit en trémies, soit en silos, soit en stocks libre (Fig.IV.4.c)

- **La livraison :** Les granulats sont livrés à une clientèle généralement de proximité (centrales de BPE, usines de produits en béton, centrales de fabrication d'enrobés, chantiers routiers...), le transport se faisant le plus souvent par camions.

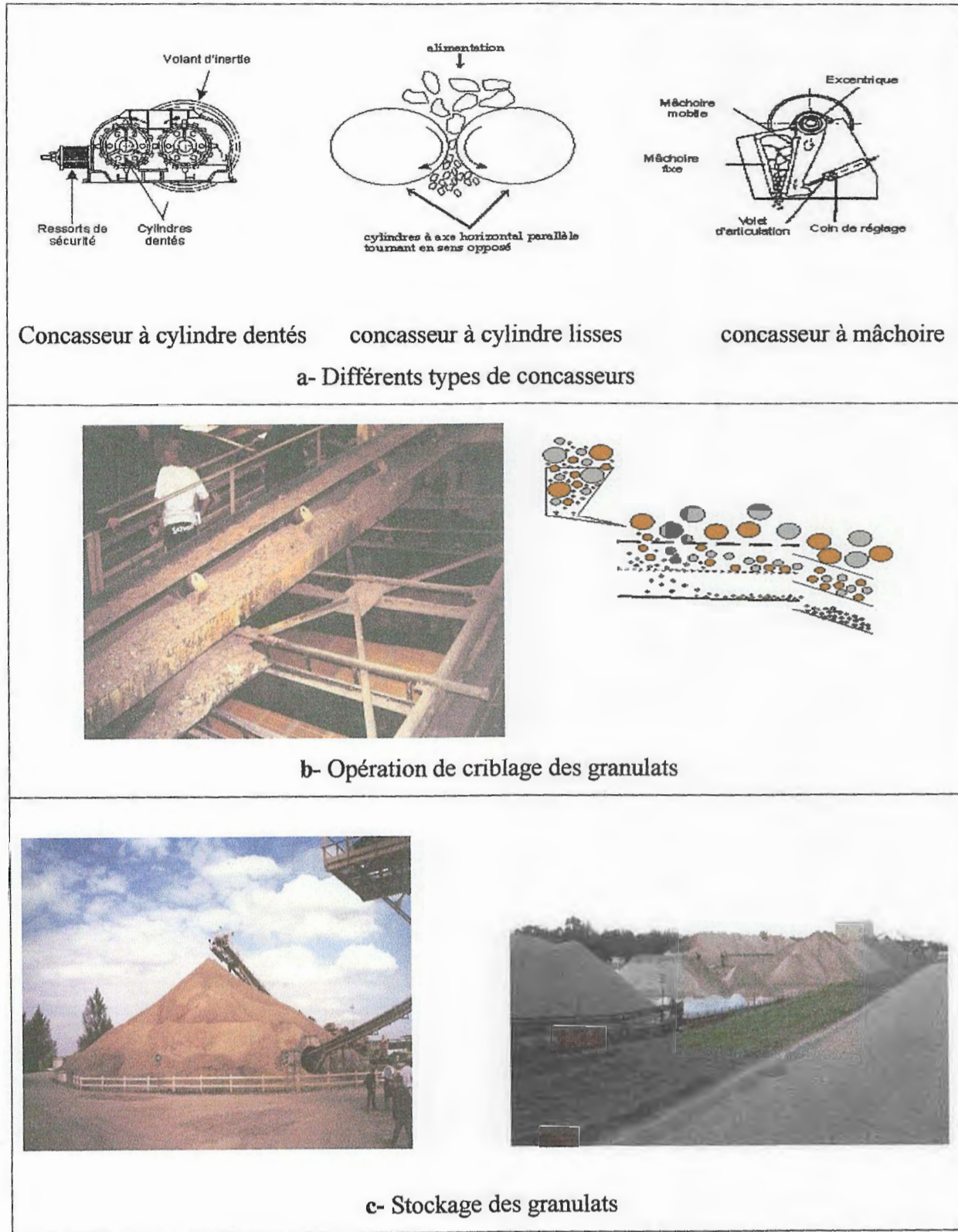


Fig.IV.4- Traitement des granulats

IV.2.4.5- La remise en état du site exploité :

Quand le site d'extraction est épuisé, la carrière ne doit pas être laissée à l'abandon : elle doit être réaménagée. Plusieurs types de réaménagement existent : base de loisirs, terrain de golf, zones de culture, reboisement.....

IV.3-Problèmes pouvant survenir :

Un certain nombre de problèmes liés aux méthodes d'extraction dans les carrières à ciel ouvert surgissent, certains sont parfois dangereux, autant pour la population que pour l'environnement.

* **l'instabilité des fronts de taille**: elle est liée à l'utilisation des explosifs, mais aussi au poids propre des blocs de matériau

* **les impacts visuels consécutifs à l'exploitation** : les fronts de taille et le stockage des remblais en particulier laissent des cicatrices dans le paysage

* **les nuisances et pollutions de l'air** : les bruits de tirs de mines et des engins de transport ou d'extraction des matériaux, et les poussières, peuvent déranger les populations et la faune locales

* **les impacts sur le biotope** : ce sont l'altération de la qualité des eaux de surface et du sol, la dégradation de la biomasse, les risques de ravinement sur les buttes de remblais.

La répercussion de l'exploitation des carrières sur la faune et la flore n'est pas négligeable :

- incidence sur la faune :
 - le bruit des installations, des tirs de mines et des engins de transport fait fuir les animaux sauvages
 - les coupures créées par les fronts de taille empêchent le cheminement habituel des animaux
 - les poissons et les mollusques d'eau douce sont victimes des pollutions chimiques ou mécaniques, du manque d'oxygène, de l'existence d'une turbidité élevée
- incidence sur la flore :
 - les feuilles sont recouvertes de toute sorte de poussières : photosynthèse, évapotranspiration, etc, ne peuvent pas se faire
 - un nouveau microclimat peut redistribuer le rayonnement solaire, impliquant une modification du sens de circulation des masses d'air, des zones d'ombre donc de la variation journalière et saisonnière des températures
 - les solides en suspension empêchent la réalisation de la photosynthèse et la croissance des algues et des plantes d'eau. En effet, les rayons solaires ne peuvent pas pénétrer.

* **autres nuisances** : les ébranlements du sol, la dégradation des voiries, l'absence de protection.

Les nuisances et pollutions de l'air et de l'eau, la répercussion sur la faune et la flore des carrières à ciel ouvert sont seulement temporaire mais peuvent avoir une retombée sur un temps plus long que la durée de l'exploitation. Ce genre de nuisance est difficile à éliminer pendant la durée de l'extraction.

Contre l'instabilité des fronts de taille, on peut préconiser, selon le cas, une amélioration des tirs à l'explosif. Enfin, les impacts visuels et les impacts sur le biotope disparaîtront grâce à un réaménagement ou réhabilitation du site.

IV.4- Processus de fabrication de granulats dans les carrières d'el Milia :

Les deux carrières d'El Milia sont des carrières à ciel ouvert, les différentes phases de production sont les suivantes (Fig.IV.5)

- Le décapage de la découverte :

L'épaisseur de cette dernière est de l'ordre de 0 à 10 mètres.

- L'extraction des roches :

Cette opération nécessite l'utilisation des explosifs, et pour des raisons de sécurité cette opération se fait une fois chaque trois mois.

- Le transport des matériaux vers la station de traitement :

La station de traitement située à quelques mètres de la carrière, le transport s'effectue par des camions SONACOM et Hino

- Le traitement des granulas :

Cette opération commence par un concassage primaire réalisé par un concasseur à mâchoire. Les matériaux obtenus sont ensuite transportés sur un tapis roulant vers un crible de maille 20 mm (mai 2006). Après l'opération de criblage, les granulats qui ont un diamètre inférieur à 20 mm passent dans ce crible et les autres granulats refusés sont envoyés vers un autre concasseur pour une opération de concassage secondaire. L'opération de criblage se répète jusqu'au passage de tous les granulats à travers le crible. A la fin, on obtient des granulats ayant un diamètre compris entre 0 et 20 mm, ces granulats sont stockés à l'air libre non loin de la station de traitement.

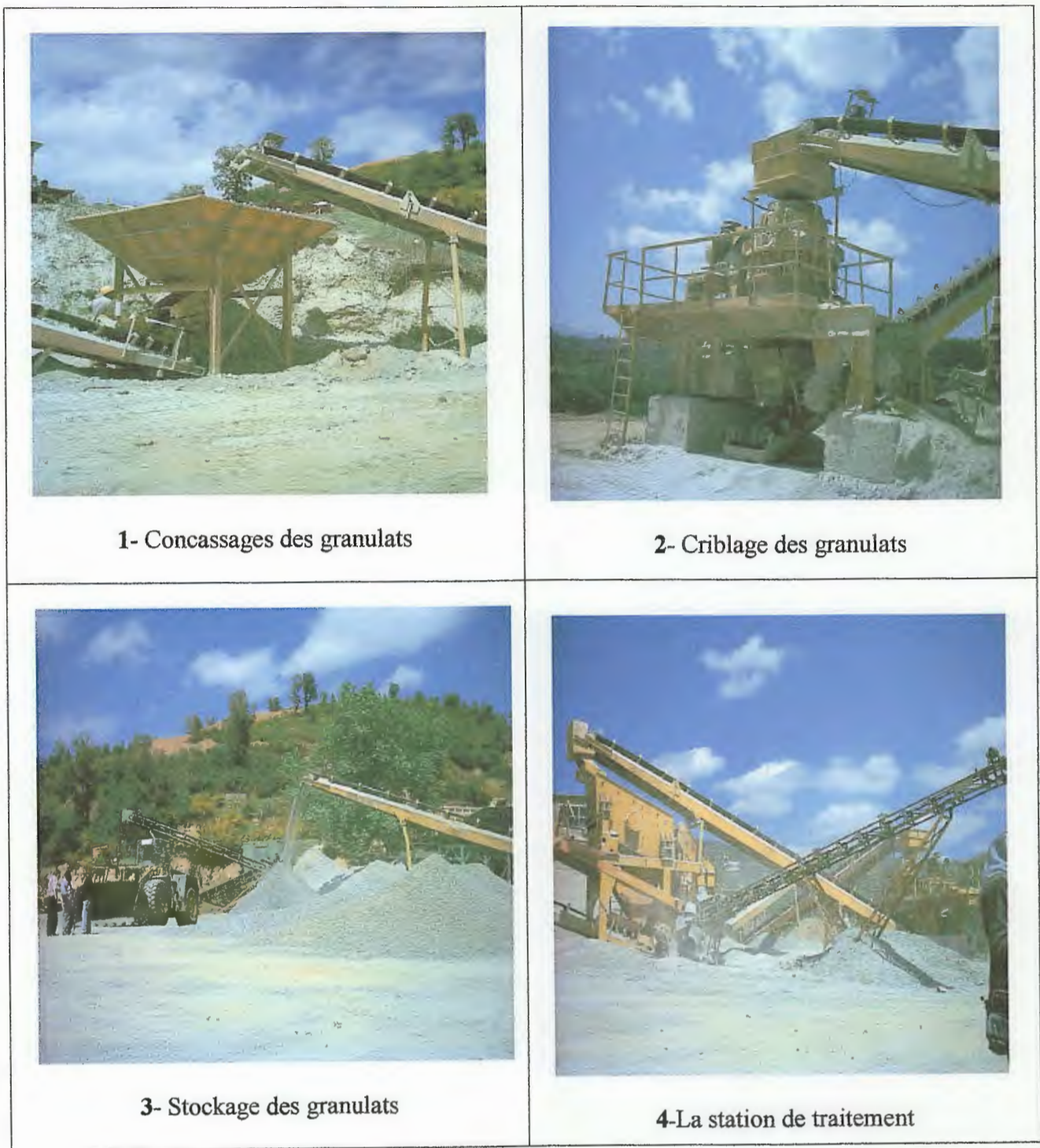


Fig.IV.5 : Concassage, criblage, et stockage des granulats dans les carrières d'El Milia

CHAPITRE V

*PROPRIETES DES
GRANULATS*

Introduction

Les granulats présentent deux types de propriétés : intrinsèques et des propriétés de fabrication. En fonction des moyens dont nous avons disposé, nous avons caractérisé les granulats des deux carrières d'El Milia par leurs :

*** caractéristiques intrinsèques :**

- La masse volumique (gravillons et sables) ;
- Le coefficient Los Angeles (gravillons seulement) ;
- Le coefficient de friabilité des sables (sables seulement) ;
- Les coefficients Deval et Micro Deval (gravillons seulement) ;

*** caractéristiques de fabrication :**

- Granulométrie (sables et gravillons) ;
- Coefficient d'aplatissement (gravillons seulement) ;
- Equivalent de sable (sables seulement) ;
- Propreté superficielle des gravillons.

Pour mesurer ces caractéristiques nous avons utilisé des essais normalisés selon les normes françaises. La réalisation de ces essais a nécessité d'abord un travail de terrain qui s'est déroulé en Mai 2006 et au cours duquel nous avons récolté les échantillons.

V.1-Prélèvement des échantillons :

Les échantillons étudiés dans ce mémoire proviennent des deux carrières actuellement en activité dans la région d'El Milia : la carrière Bouzekri Rabah (CBR), et la carrière Bouzekri Kamel (CBK). Pendant la période d'échantillonnage (Mai 2006) les deux carrières ne produisaient que de la grave concassée 0/20. Par conséquent nous avons échantillonné le matériau produit dans les deux carrières aussi bien à partir du point de chute des granulats ramenés par la bande transporteuse que à partir du stock. A partir du stock, trois échantillons ont été prélevés, le premier à la base du stock, le second au milieu et le troisième au sommet du stock (Fig.V.1.a). Les trois échantillons issus du stock ont été mélangés au laboratoire. Pour déterminer les propriétés géométriques et mécaniques des différents calibres, nous avons effectué au laboratoire de génie géologique (Université de Jijel), à partir de la grave concassée, en utilisant les tamis disponibles au laboratoire, un tamisage manuel qui nous a permis d'obtenir les différentes classes granulaires. Les tamis utilisés sont 3,15 – 8 – 16. Les classes granulaires obtenues sont donc : 0/3, 3/8, 8/16, et la grave concassée 0/20. Nous tenons donc à signaler, qu'en dehors de la grave 0/20 produites par les carrières, les résultats des différents essais, réalisés sur les calibres granulaires, doivent être considérés en

prenant en compte la procédure d'obtention de ces classes granulaires et n'engagent donc pas la responsabilité des carriers, particulièrement pour ce qui concerne les propriétés géométriques. Ces dernières étant fortement influencées par le réglage de la station de traitement.

D'autre part la comparaison des résultats obtenus sur les échantillons du stock et ceux relatifs aux échantillons issus directement du tapis roulant nous permettront d'évaluer l'impact de la procédure d'échantillonnage sur les résultats des différents essais.

V.2- Préparation d'un échantillon :

On constitue, à partir de l'échantillon global, un échantillon de masse dépendant de la nature de l'essai à réaliser. Cet échantillon peut s'obtenir par quartage manuel ou à l'aide de diviseurs automatiques.

* **Quartage** : on constitue un tas présumé homogène et on le divise en 4 quarts. Les deux quarts opposés constitueront le «sous échantillon». On répète l'opération si nécessaire (Fig.V.1.b).

Echantillonneur

Cet appareil de laboratoire (Fig.V.1.c), permet de diviser facilement en deux parties représentatives de 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 l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques (Fig.V.1.d). Celle-ci permet de sélectionner une masse (m) à partir d'un prélèvement de masse $3m$.

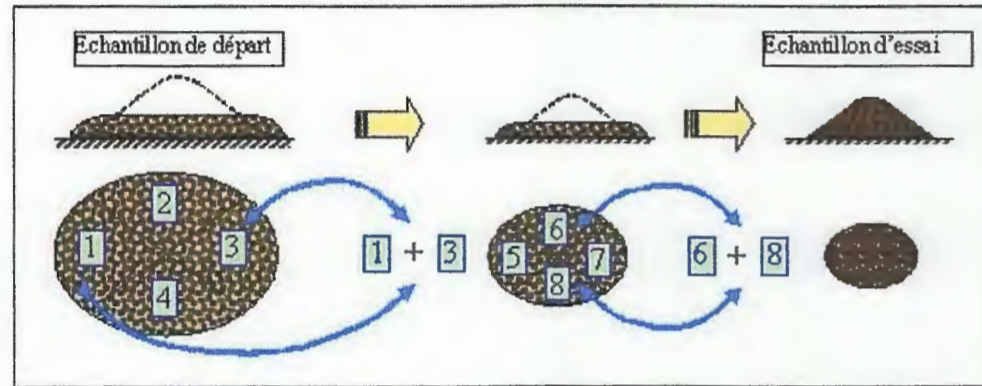
Ces deux procédés peuvent être utilisés séparément ou conjointement, en fonction de la quantité nécessaire à l'essai et de grosseur maximale des grains. Si l'échantillon de départ est d'un volume très important, une ou deux opérations de quartage permettent de diminuer le volume des matériaux, ensuite à l'aide de l'échantillonneur.



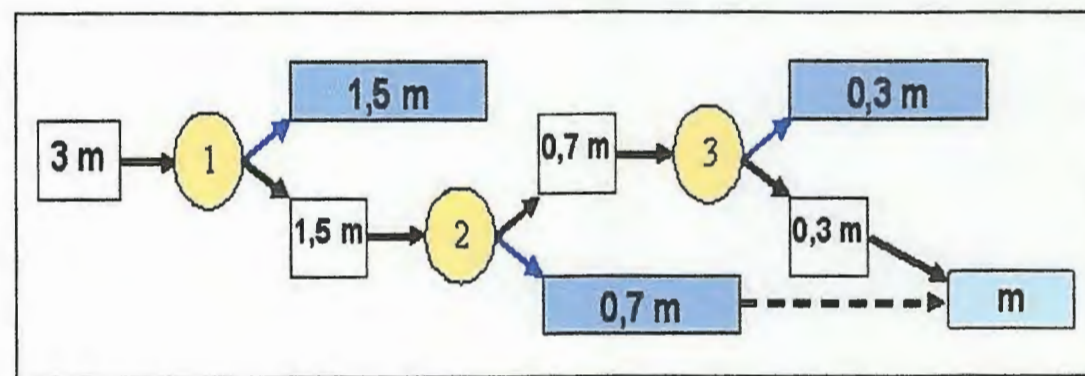
a- Prélèvement d'un échantillon en stock dans les carrières d'El Milia



c- Echantillonneur



b- Opération de quartage.



d- Schéma d'une opération de répartition en utilisant l'échantillonneur

Fig.V.1 : Echantillonnage des granulats.

V.3- Propriétés des granulats :

V.3.1- 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 des granulats.

V.3.1.1- Analyse granulométriques :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers. A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé sur la partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

Les différentes analyses granulométriques que nous avons réalisées ont été faites au laboratoire de génie géologique du département de géologie, université de Jijel et au laboratoire des travaux publics de l'est, antenne de Jijel. L'analyse a été réalisée sur quatre classes granulaires : 0/3- 3/8- 8/16 et 0/20, pour lesquelles des courbes granulométriques, ont été tracées et à partir de ces courbes, différents paramètres ont été calculés :

* le module de finesse : c'est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat.

- selon la norme Française (NFP 18-540) :

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentage sur les tamis de la série suivante : 0.16 -0.315 -0.63 -1.25 -2.5 -5 mm.

- selon la norme européenne (EN 12620) :

Le module de finesse est égal au 1/100 de la sommes des refus cumulés exprimée en pourcentage sur les tamis de la série suivante : 0.125 -0.25 -0.5 -1 -2 -4 mm.

*un coefficient dit de Hazen ou d'uniformité C_u : $C_u = D_{60} / D_{10}$

*un coefficient dit de courbure C_c : $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$

D10, D30, D60 représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, et 60% de tamisât cumulé.

- pour $C_u < 2$ la granulométrie est dite uniforme,

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

V.3.1.1.1 : Carrière Bouzekri Rabah (CBR) :

• Sable 0/3 :

Deux échantillons de sable de la carrière CBR ont fait l'objet d'une analyse granulométrique. Le premier est obtenu par le tamisage de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock, le second est issu de la grave 0/20 échantillonnée à partir du point de chute du matériau ramené par la bande transporteuse. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer les courbes respectives (Fig.V.2). A partir de ces courbes les coefficients C_c et C_u ainsi que le module de finesse MF ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.1)

	Tamisât à 1,58D (4,97mm)	Refus à D (3,15mm)	%des fines (passant à 0,08mm)	%des fines (passant à 0,063mm)	MF Selon la norme NFP18,540	MF Selon la norme EN12620	C_c	C_u
Sable 0/3 (stock)	100%	2,04%	3,81	1,57	2,54	2,87	0,79	08,0
Sable 0/3 (bande transporteuse)	100%	1,12%	3,80	0,51	2,70	2,98	1,02	10

Tab.V.1 :Tableau récapitulatif des résultats relatifs à l'analyse granulométrique des sables issus de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock et tapis roulant de la carrière CBR.

Discussion des résultats :

D'après le coefficient d'uniformité C_u on constate que les valeurs obtenues sont relativement élevées, supérieur à 2 dans les deux cas (sable du stock et de la bande transporteuse) indiquant une granulométrie étalée.

Selon la norme française NF 18-540, les granulats destinés aux bétons hydrauliques doivent présenter un module de finesse qui doit être compris entre 1,8 et 3,2, selon les résultats obtenus sur les sables étudiés, ces derniers peuvent être largement utilisés dans les bétons hydrauliques (Tab.V.1).

• Gravillons 3/8 :

Les deux échantillons de gravillon (Tapis et Stock) ont été mélangés pour obtenir un seul échantillon sur lequel on a réalisé l'analyse granulométrique. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer la courbe (Fig.V.3). A partir de cette courbe les différents paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.2) avec leur comparaison aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA – LCPC (1984) :

d=3mm, D=8mm 1,58d=4,74mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Gravillon 3/8 de la carrière CBR
	Béton bitumineux	Autres usages	
Cu	-	-	1,59
Cc	-	-	1,02
Tamisât à 1,58D (12,64mm)	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	0,79%
Tamisât à d	≤ 15%	≤ 15%	4,84%
Tamisât à 0,63d (1,89mm)	≤ 3%	≤ 4%	-

Tab.V.2- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique des gravillons 3/8 de la carrière CBR comparés aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA -LCPC (1984)

D'après le coefficient d'uniformité Cu, on constate que la valeur obtenue est inférieure à 2 indiquant une granulométrie uniforme. Les valeurs de différents paramètres concernant les gravillons 3/8 de la carrière CBR (tamisât à 1,58D, refus à D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) sont largement conformes à celles préconisées par SETRA et LCPC (Annexe.A.I), ces gravillons peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.2).

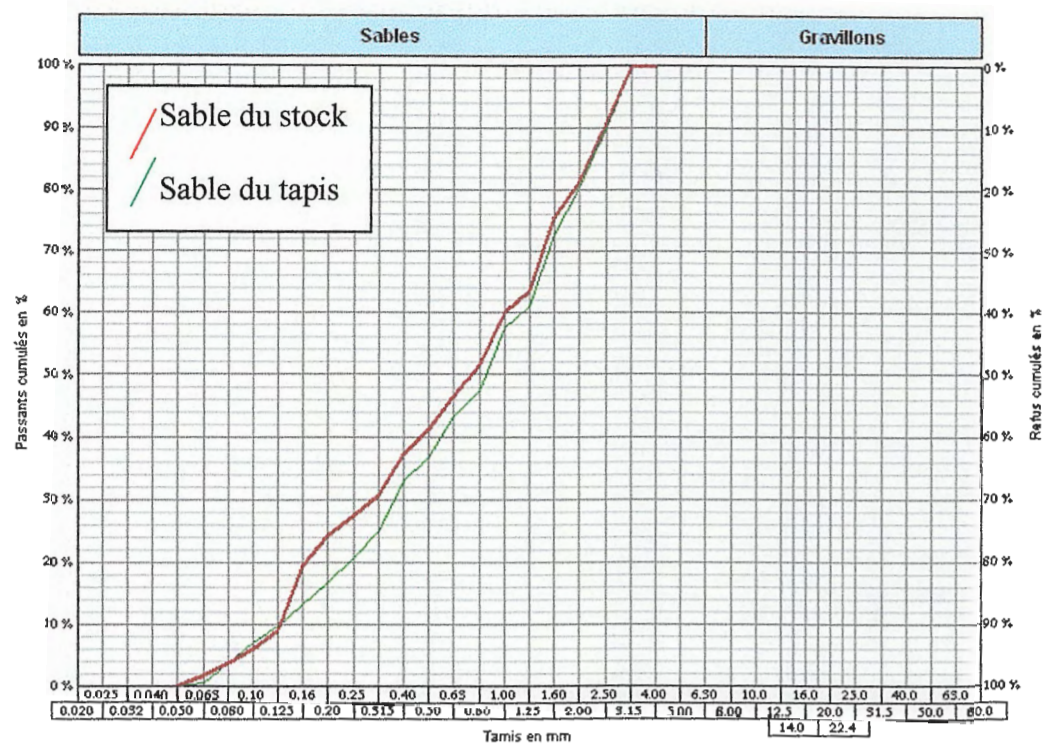


Fig.V.2 : Courbes granulométriques du sable 0/3 issus des granulats échantillonnés à partir du stock et du tapis roulant produits dans la carrière CBR

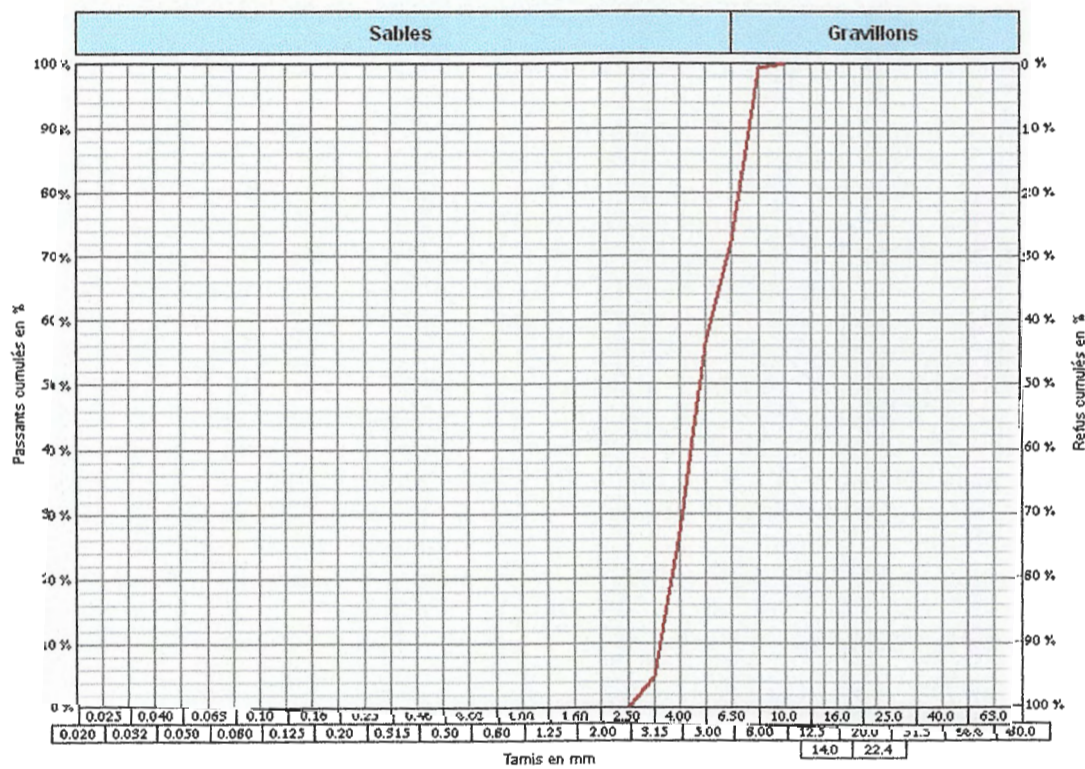


Fig.V.3-Courbe granulométrique de gravillon 3/8 de la carrière CBR

• **Gravillons 8/16 :**

Les deux échantillons de gravillon ont été mélangés pour obtenir un seul échantillon destiné à l'analyse granulométrique. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer la courbe respective (Fig.V.4). A partir de cette courbe, les différents paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.3) avec leur comparaison aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA – LCPC (1984) :

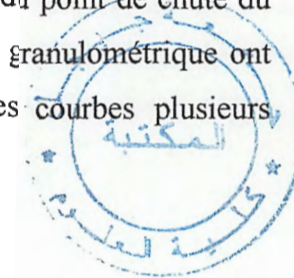
d=8mm, D=16mm 1,58d=12,64mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Gravillon 8/16 de la carrière CBR
	Béton bitumineux	Autres usages	
Cu	-	-	1,56
Cc	-	-	1,00
Tamisât à 1,58D (25,28mm)	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	00%
Tamisât à d	≤ 15%	≤ 15%	3,12%
Tamisât à 0,63d (5,52mm)	≤ 3%	≤ 4%	-

Tab.V.3- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique des gravillons 8/16 de la carrière CBR comparées aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA – LCPC (1984)

D'après le coefficient d'uniformité Cu, on constate que la valeur obtenue est inférieure à 2 indiquant une granulométrie uniforme. Les valeurs de différents paramètres concernant les gravillons 8/16 de la carrière CBR (tamisât à 1,58D, refus à D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) sont largement conformes à celles préconisées par SETRA et LCPC (Annexe.A.I), ces gravillons peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.3).

• **Grave concassée 0/20 :**

Deux échantillons de grave concassée de la carrière CBR ont fait l'objet d'une analyse granulométrique. Le premier échantilloné à partir du stock, le second du point de chute du matériau ramené par la bande transporteuse. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer les courbes respectives (Fig.V.5). A partir de ces courbes plusieurs paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.4)



d=0mm, D=20mm 1,58d=00mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Grave 0/20 de la carrière CBR (échantillon du stock)	Grave 0/20 de la carrière CBR (échantillon du tapis roulant)
	Béton bitumineux	Autres usages		
Tamisât à 1,58D (31,5mm)	100%	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	15,41%	3,40%
Tamisât à d (à 0,063mm)	≤ 15%	≤ 15%	0,47%	0,06%
Tamisât à 0,63d (0,063mm)	≤ 3%	≤ 4%	0,47%	0,06%

Tab.V.4- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock et tapis roulant de la carrière CBR, comparées aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA –LCPC (1984)

D'après le tableau (Tab.V.4) on constate que les valeurs des différents paramètres (tamisât à 1,58D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) de la grave 0/20 de la carrière CBR (stock et tapis roulant) sont largement satisfaisant et sont conformes aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (Annexe.A.I).

Pour le refus à D la valeur de la grave du tapis est satisfaisante, par contre la valeur de la grave du stock (15,41) dépasse légèrement celle préconisée par LCPC et SETRA (1984).

En général et à partir de ces résultats les graves 0/20 de la carrière CBR peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.4).

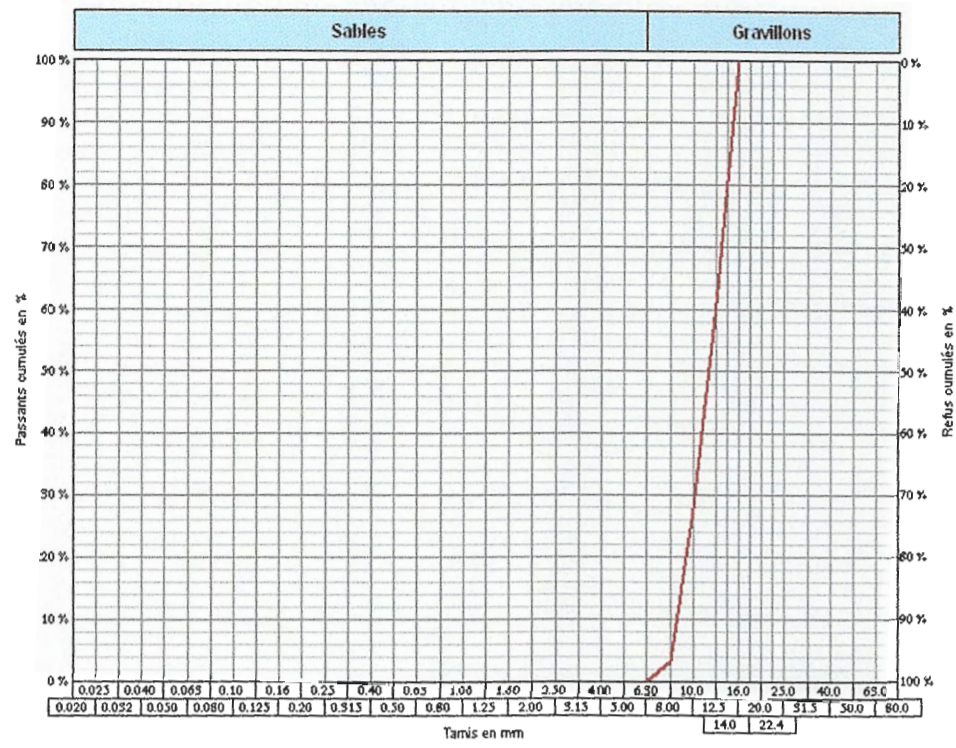


Fig.V. 4-Courbe granulométrique des gravillons 8/16 de la carrière CBR

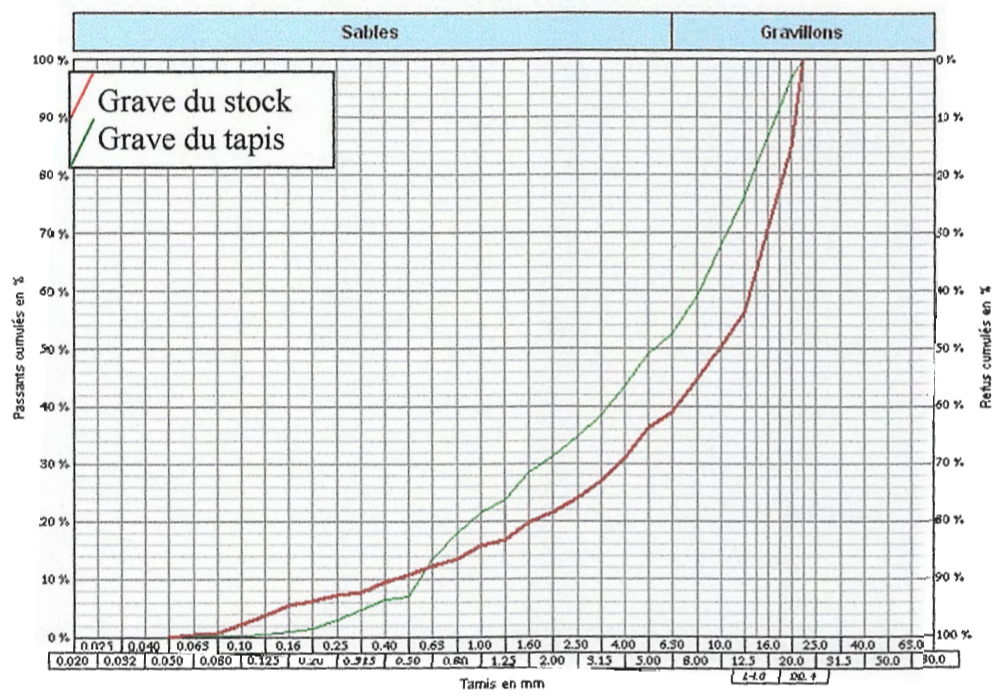


Fig.V.5 : Courbes granulométriques de la grave 0/20 des granulats échantillonnés à partir du stock et du tapis roulant produits dans la carrière CBR

V.3.1.1.2 : Carrière Bouzekri Kamel (CBK) :**• Sable 0/3 :**

Deux échantillons de sable de la carrière CBK ont fait l'objet d'une analyse granulométrique. Le premier est obtenu par le tamisage de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock, le second est issu de la grave 0/20 échantillonnée à partir du point de chute du matériau ramené par la bande transporteuse. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer les courbes respectives (Fig.V.6). A partir de ces courbes les coefficients Cc et Cu ainsi que le module de finesse MF ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.5)

	Tamisât à 1,58D	Refus à D	%des fines (passant à 0,08mm)	%des fines (passant à 0,063mm)	MF Selon la norme NFP18,540	MF Selon la norme EN12620	Cc	Cu
Sable0/3 (Stock)	100%	1,83%	3,61	1,27	2,60	2,89	0,79	08
Sable 0/3 (Bande transporteuse)	100%	0,82%	1,67	0,48	2,77	3,05	1,01	10

Tab.V.5 :Tableau récapitulatif des résultats relatifs à l'analyse granulométrique des sables issus de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock et tapis roulant de la carrière CBK.

D'après le coefficient d'uniformité Cu on constate que les valeurs obtenues sont relativement élevées, supérieur à 2 dans les deux cas (sable du stock, et de la bande transporteuse) indiquant une granulométrie étalée.

Selon la norme française NF 18-540, les granulats destinés aux bétons hydrauliques doivent présenter un module de finesse qui doit être compris entre 1,8 et 3,2 ; selon les résultats obtenus sur les sables étudiés, ces derniers peuvent être largement utilisés dans les bétons hydrauliques.

• Gravillon 3/8 :

Les deux échantillons de gravillon (Tapis et Stock) ont été mélangés pour obtenir un seul échantillon destiné à l'analyse granulométrique. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer la courbe (Fig.V.7). A partir de cette courbe les différents paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.6) avec leurs comparaisons aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA – LCPC (1984) :

d=3mm, D=8mm 1,58d=4,74mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Gravillon 3/8 de la carrière CBK
	Béton bitumineux	Autres usages	
Cu	-	-	2,00
Cc	-	-	1,8
Tamisât à 1,58D (12,64mm)	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	1,35%
Tamisât à d	≤ 15%	≤ 15%	5,20%
Tamisât à 0,63d (1,98mm)	≤ 3%	≤ 4%	-

Tab.V.6- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique de gravillon 3/8 de la carrière CBK comparées aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA –LCPC (1984)

D'après le coefficient d'uniformité Cu, on constate que la valeur obtenue est égale à 2 indiquant une granulométrie étalée. Les valeurs de différents paramètres concernant les gravillons 3/8 de la carrière CBK (tamisât à 1,58D, refus à D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) sont largement conformes à celles préconisées par SETRA et LCPC (Annexe.A.I), ces gravillons peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.6).

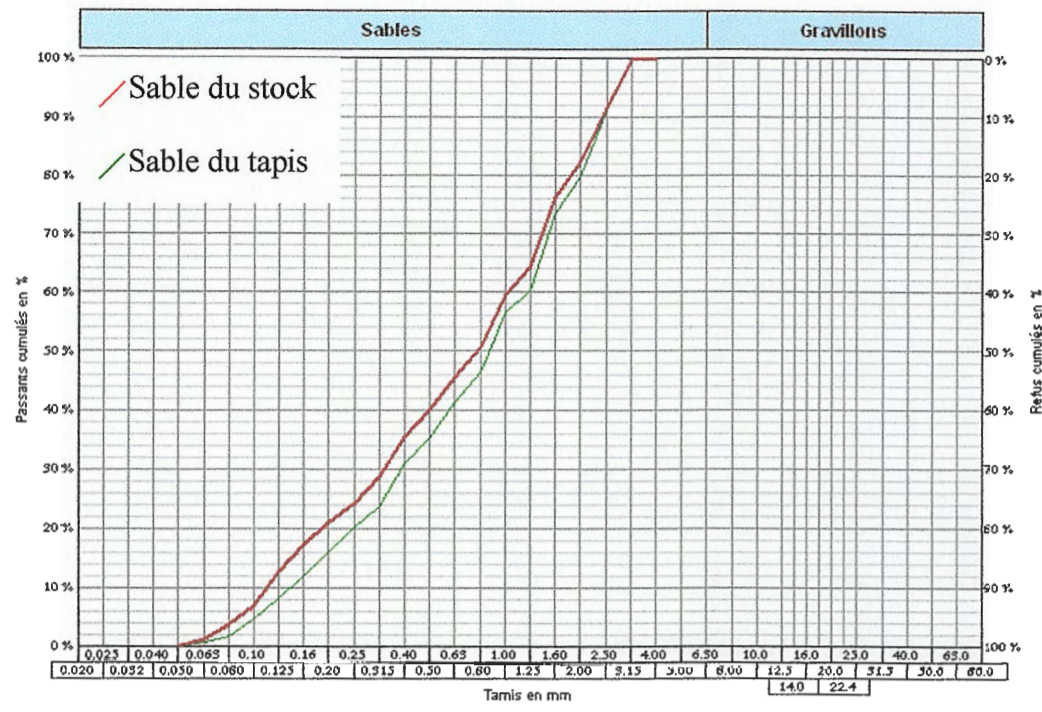


Fig.V.6 : Courbes granulométriques des sables 0/3 issus des granulats échantillonnés à partir du stock et du tapis roulant produits dans la carrière CBK

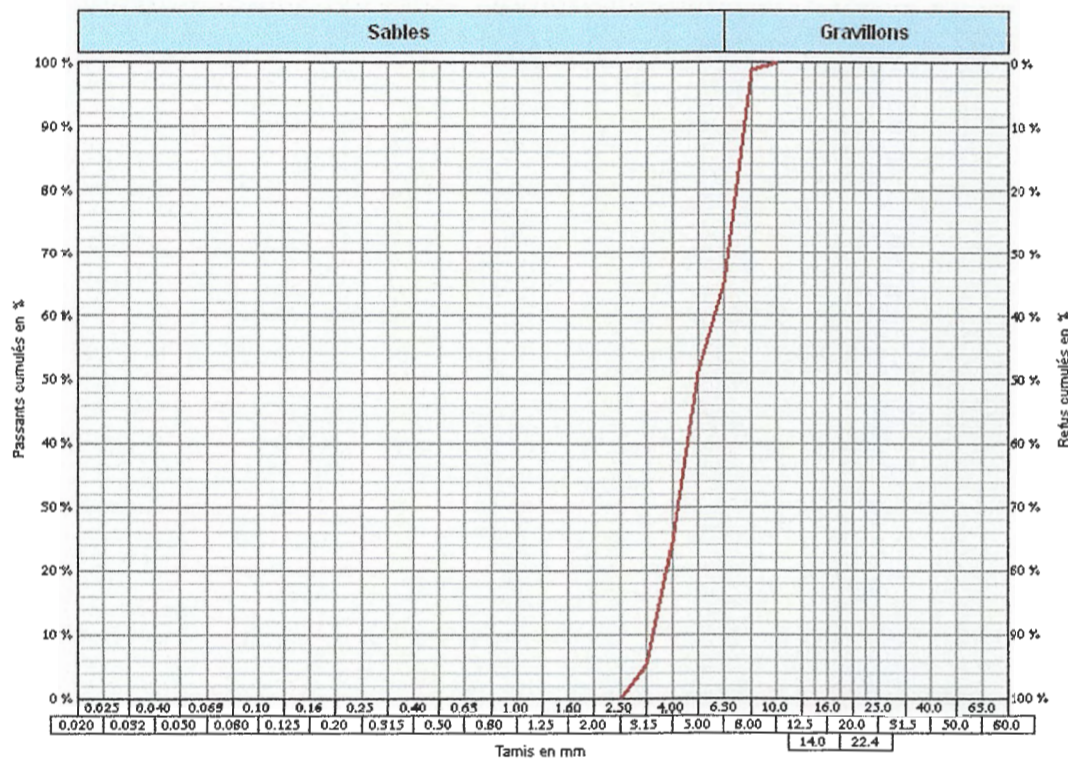


Fig.V.7- Courbe granulométrique de gravillon 3/8 de la carrière CBK

• **Gravillon 8/16 :**

Les deux échantillons de gravillon ont été mélangés pour obtenir un seul échantillon pour faire l'analyse granulométrique. Les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer la courbe respective (Fig.V.8). A partir de cette courbe les différents paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.7) avec leur comparaison aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA – LCPC (1984) :

d=8mm, D=16mm 1,58d=12,64mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Gravillon 8/16 de la carrière CBK
	Béton bitumineux	Autres usages	
Cu	-	-	1,56
Cc	-	-	1,00
Tamisât à 1,58D (25,28mm)	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	1,16%
Tamisât à d	≤ 15%	≤ 15%	1,23%
Tamisât à 0,63d (5,52mm)	≤ 3%	≤ 4%	-

Tab.V.7- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique de gravillon 8/16 de la carrière CBK comparées aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA –LCPC (1984)

D'après le coefficient d'uniformité Cu, on constate que la valeur obtenue est inférieure à 2 indiquant une granulométrie uniforme. Les valeurs de différents paramètres concernant les gravillons 8/16 de la carrière CBK (tamisât à 1,58D, refus à D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) sont satisfaisantes comparativement à celles préconisées par SETRA et LCPC (Annexe.A.I), ces gravillons peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.7).

• **Grave concassée 0/20 :**

Deux échantillons du grave concassée de la carrière CBK ont fait l'objet d'une analyse granulométrique. Le premier échantillonné à partir du stock, le second du point de chute du matériau ramené par la bande transporteuse, les résultats de l'analyse granulométrique ont permis de tracer les courbes respectives (Fig.V.9). A partir de ces courbes plusieurs paramètres ont été calculés et récapitulés dans le tableau (Tab.V.8)

d=0mm, D=20mm 1,58d=00mm D>1,58d	SETRA -LCPC (1984)		Grave 0/20 de la carrière CBK (échantillon du stock)	Grave 0/20 de la carrière CBK (échantillon du tapis roulant)
	Béton bitumineux	Autres usages		
Tamisât à 1,58D (31,5mm)	100%	100%	100%	100%
Refus à D	≤ 15%	≤ 15%	13,99%	9,24%
Tamisât à d (à 0,063mm)	≤ 15%	≤ 15%	0,02%	0,06%
Tamisât à 0,63d (0,063mm)	≤ 3%	≤ 4%	0,02%	0,06%

Tab.V.8- Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique de la grave 0/20 échantillonnée à partir du stock et tapis roulant de la carrière CBK, comparées aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA –LCPC (1984)

D'après le tableau (Tab.V.8) on constate que les valeurs des différents paramètres (tamisât à 1,58D, refus à D, tamisât à d, tamisât à 0,63d) de la grave 0/20 de la carrière CBK (stock et tapis roulant) répondent aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984) (Annexe.A.I).

En général et à partir de ces résultats les graves 0/20 de la carrière CBR peuvent être utilisés en techniques routières (Tab.V.8).

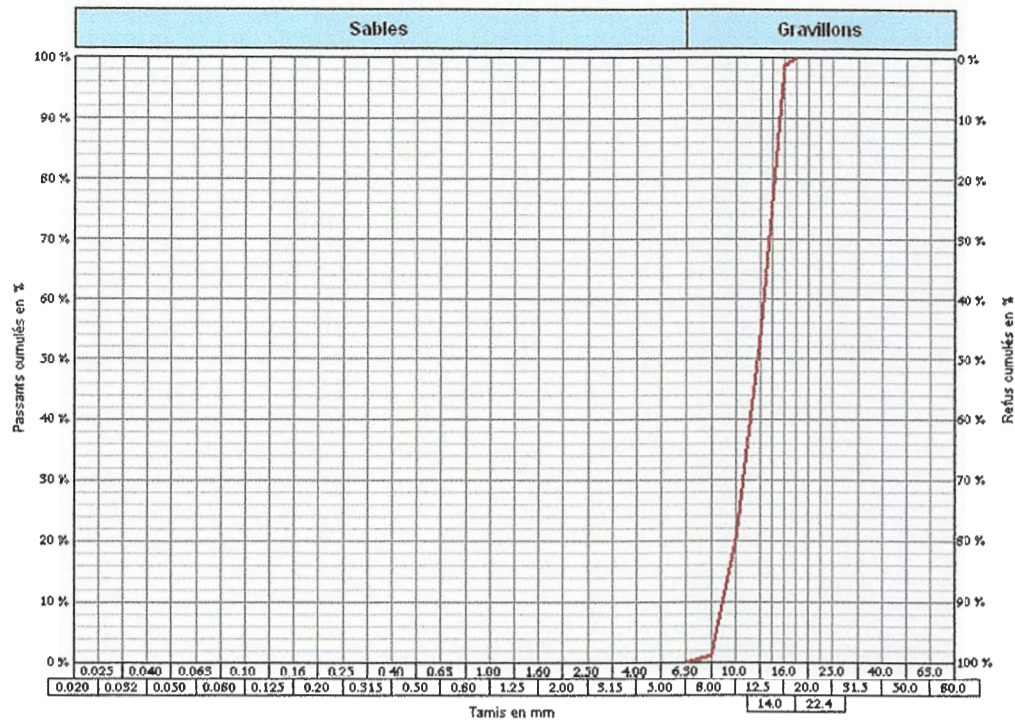


Fig.V. 8-Courbe granulométrique de gravillon 8/16 de la carrière CBK

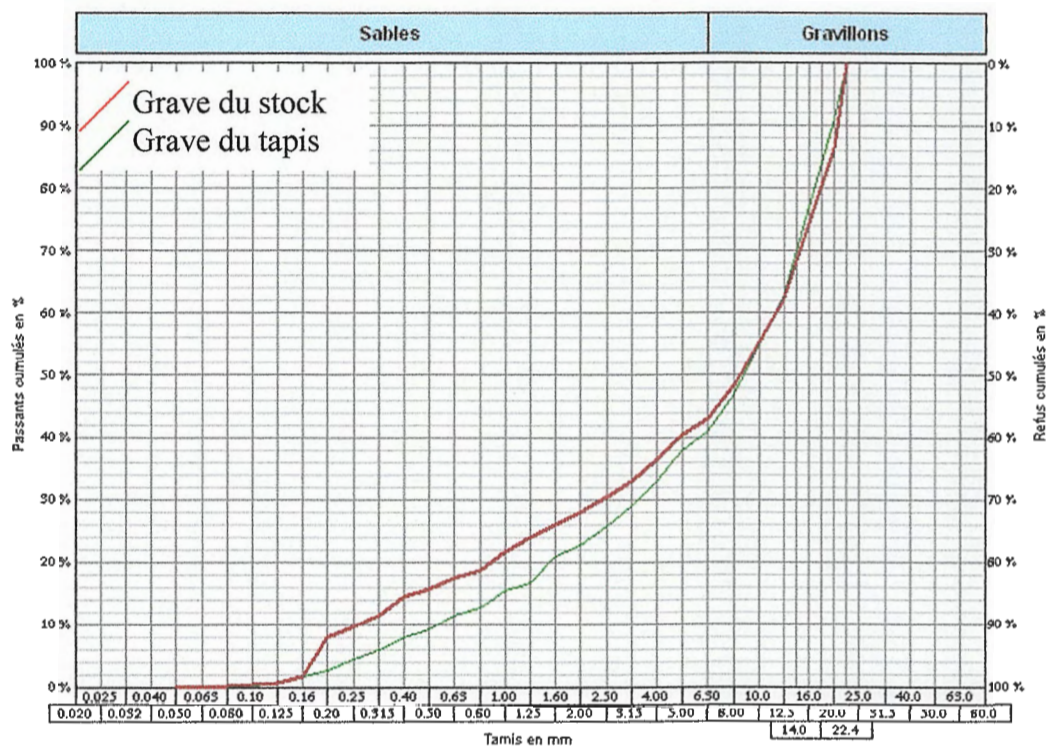


Fig.V.9 : Courbes granulométriques du grave 0/20 des granulats échantillonnés à partir du stock et du tapis roulant produits dans la carrière CBK

Conclusion : synthèse des résultats relatifs à l'analyse granulométrique :

La granularité interne d'un granulat joue un rôle très important pour tous les usages, c'est pour cela, LCPC et SETRA propose plusieurs critères à vérifier avant de décider qu'un granulat est adéquat ou non pour un certains usages.

Dans notre travail on a vérifié certains de ces critères. Les résultats concernant la carrière CBR sont récapitulés dans le tableau (Tab.V.9) :

Propriétés géométriques des granulats de la carrière CBR	Spécification et Tolérances (SETRA-LCPC 1984)		Sable 0/3		Gravillon 3/8	Gravillon 8/16	Grave 0/20	
	Bétons bitumineux	Autres usages	Stock	tapis			Stock	Tapis
Tamisât à 1,58d	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤15%	2,04%	1,12%	0,79%	00%	15,41%	3,40%
Tamisât à d	≤15%	≤15%	-	-	4,84%	3,12%	-	-
% de fines (passant au 0,08mm)	-	-	3,81%	3,80%	-	-	0,74%	0,14%
% de fines (passant au 0,063mm)	-	-	1,57%	0,51%	-	-	0,47%	0,06%
Module de finesse (selon la norme EN12620)	1,5 - 2,8	-	2,87	2,98	-	-	-	-
Module de finesse (selon la norme NFP18-540)	1,8 - 3,2	-	2,54	2,70	-	-	-	-

Tab.V.9 : Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique des granulats de la carrière CBR

Discutions des résultats :

- Pour le tamisât à 1,58d, les résultats obtenus sont satisfaisants par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984) pour tous les calibres étudiés (0/3, 3/8, 8/16, 0/20) de la carrière CBR.
- Pour le refus à D on a des valeurs acceptables sauf pour la grave 0/20 du stock qui dépasse légèrement les valeurs préconisées (15,41) par LCPC et SETRA (1984). Pour ce critère on remarque aussi qu'il y a de petites différences entre la valeur du stock et du tapis pour les sables et une grande différence entre les valeurs du stock et du tapis concernant la grave de la carrière CBR.

- Pour le tamisât à d les résultats obtenus concernant les gravillons 3/8 et 8/16 de la carrière CBR sont largement satisfaisants et répondent aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984).
- Pour le pourcentage des fines selon la norme française 18-540 ou selon la norme européenne 12620 concernant les deux calibres 0/3 et 0/20, les valeurs du stock et du tapis sont sensiblement identiques pour les sables 0/3 selon la norme française (3,81 et 3.80) et légèrement différentes pour la grave 0/20 selon les deux normes (0.74 et 0.14 selon NF et 0.47 et 0.06 selon EN) et pour les sables selon la norme européenne (la différence est entre les valeurs du stock et du tapis). En général les valeurs du tapis sont plus petites par rapport à celles du stock.
- Pour le module de finesse les résultats obtenus concernant les sables 0/3 de la carrière CBR sont satisfaisants par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA. Cependant on remarque qu'il y a une petite différence entre l'échantillon du tapis et l'échantillon du stock, les valeurs du tapis sont légèrement plus grandes pour les deux normes.

Propriétés géométriques des granulats de la carrière CBR	Spécification et tolérances		Sable 0/3,15		Gravillon	Gravillon	Grave 0/20	
	Bétons bitumineux	Autres usages	Stock	tapis	3,15/8	8/16	stock	tapis
Tamisât à 1,58d	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Refus à D	≤15%	≤15%	1,83%	0,82%	1,35%	1,16%	13,99%	9,24%
Tamisât à d	≤15%	≤15%	-	-	5,20%	1,23%	-	-
% de fines (passant au 0,08mm)	-	-	3,61%	1,67%	-	-	0,09%	0,08%
% de fines (passant au 0,063mm)	-	-	1,27%	0,48%	-	-	0,02%	0,06%
Module de finesse (selon la norme EN12620)	1,5 - 2,8	-	2,89	3,05	-	-	-	-
Module de finesse (selon la norme NFP18-540)	1,8 - 3,2	-	2,60	2,77	-	-	-	-

Tab.V.10 : Tableau récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique des granulats de la carrière CBK

Discussions des résultats :

- Pour le tamisât à 1,58d, les résultats obtenus sont satisfaisants par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984) pour tous les calibres étudiés (0/3, 3/8, 8/16, 0/20) de la carrière CBK.
- Pour le refus à D on a des valeurs acceptables. Pour ce critère on remarque qu'il y a de petites différences entre la valeur du stock et du tapis pour les sables 0/3 et entre les valeurs du stock et du tapis concernant la grave 0/20 de la carrière CBK.
- Pour le tamisât à d les résultats obtenus concernant les gravillons 3/8 et 8/16 de la carrière CBK sont largement satisfaisants par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984).
- Pour le pourcentage des fines que ce soit selon la norme française 18-540 ou selon la norme européenne 12620, les résultats concernant les deux calibres 0/3 et 0/20 sont légèrement différentes (la différence est entre les valeurs du stock et du tapis). En général les valeurs du tapis sont plus petites par rapport à celles du stock.
- Pour le module de finesse les résultats obtenus concernant les sables 0/3 de la carrière CBK sont satisfaisants par rapport aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA. Cependant on remarque qu'il y a une petite différence entre l'échantillon du tapis et l'échantillon du stock, les valeurs du tapis sont légèrement plus grandes pour les deux normes.

Dans l'ensemble on constate que l'échantillonnage a une légère influence sur les résultats obtenus particulièrement ceux relatifs au stock et au tapis.

Les courbes granulométriques des différentes classes granulaires sont illustrés dans les figures (Fig.V.10, Fig.V.11, Fig.V.12, Fig.V.13)

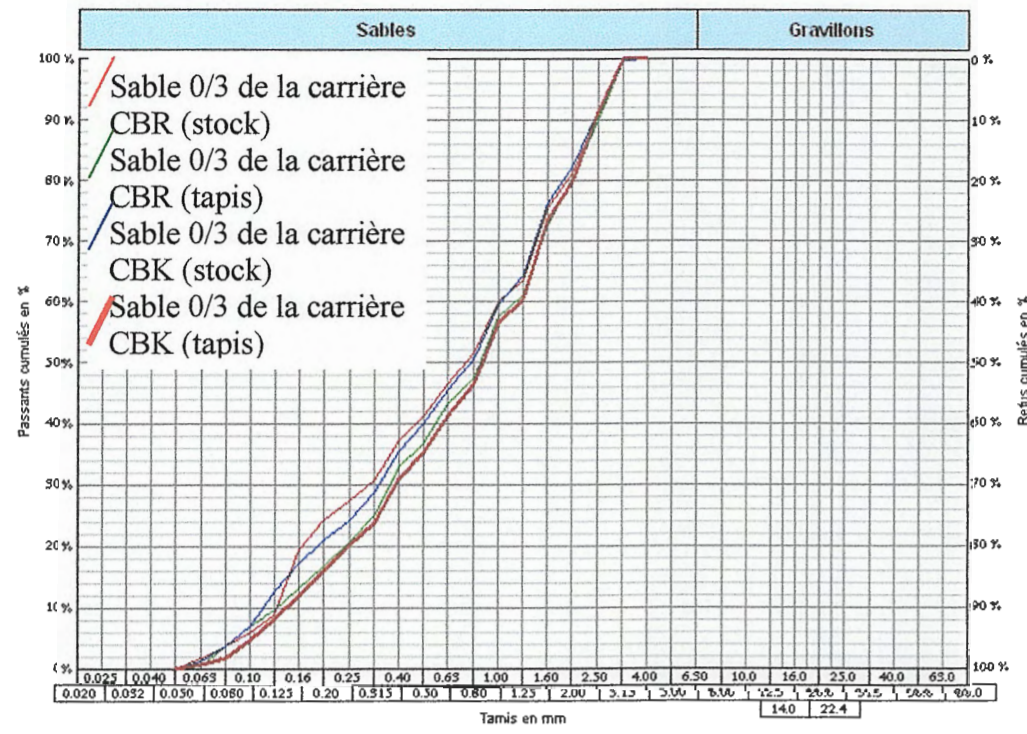


Fig.V.10 : Courbes granulométriques des sables 0/3 des deux carrières

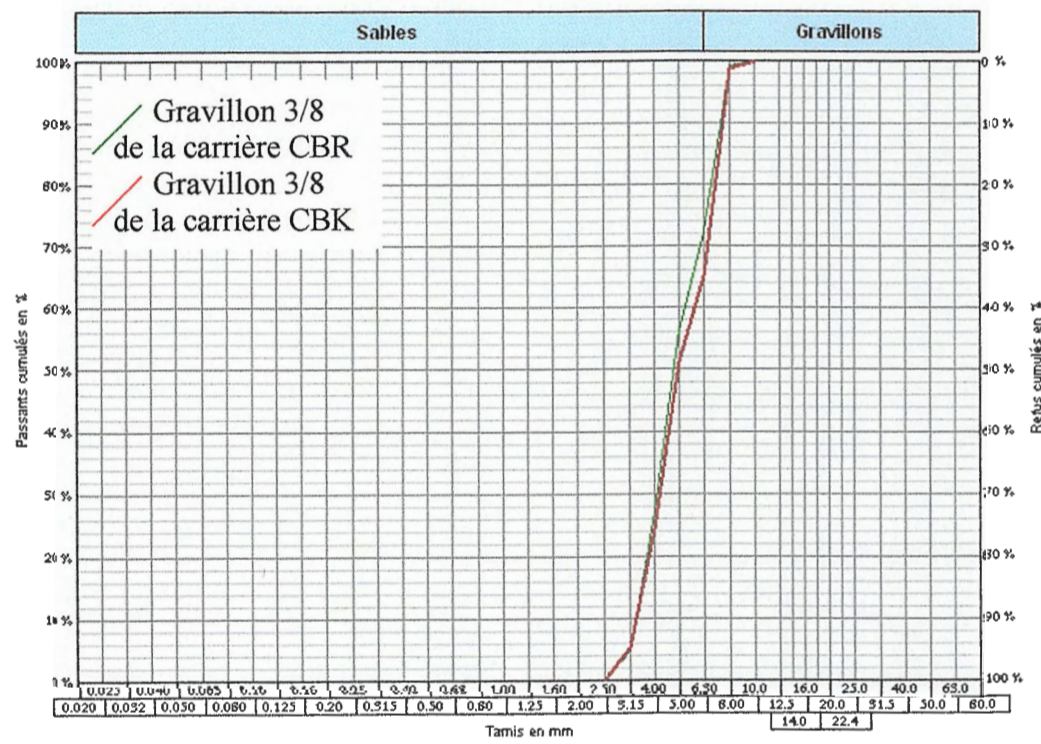


Fig.V.11 : Courbes granulométriques des gravillons 3/8 des deux carrières

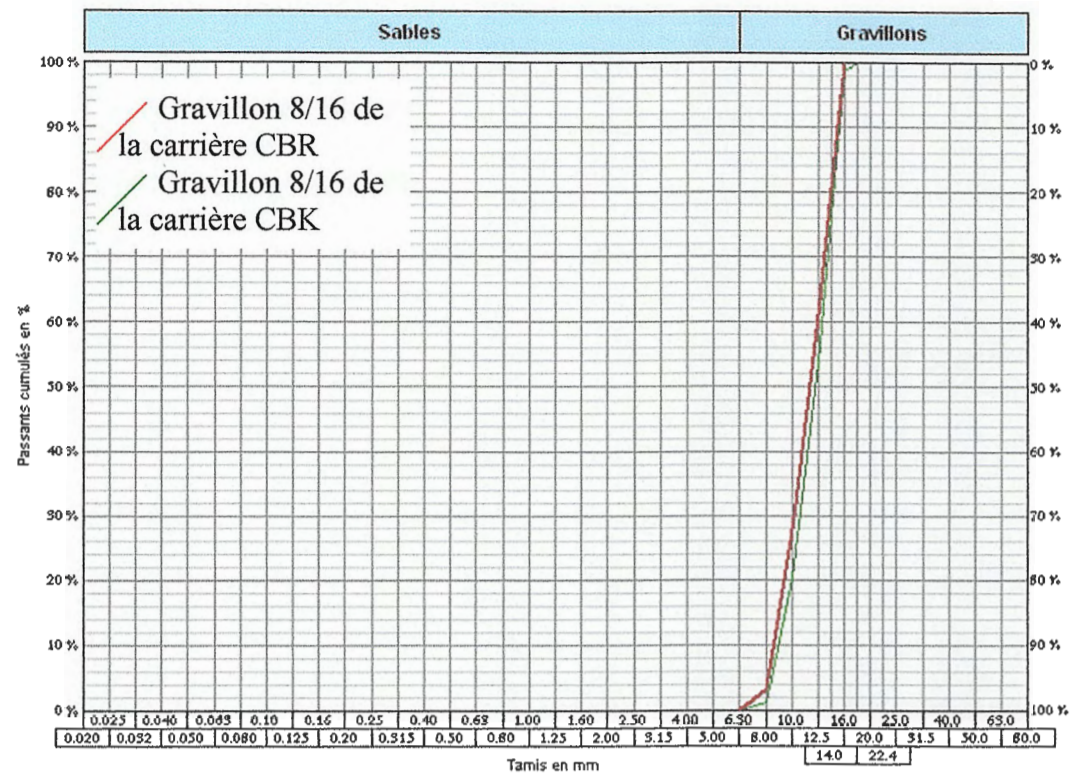


Fig.V.12 : Courbes granulométriques des gravillons 8/16 des deux carrières

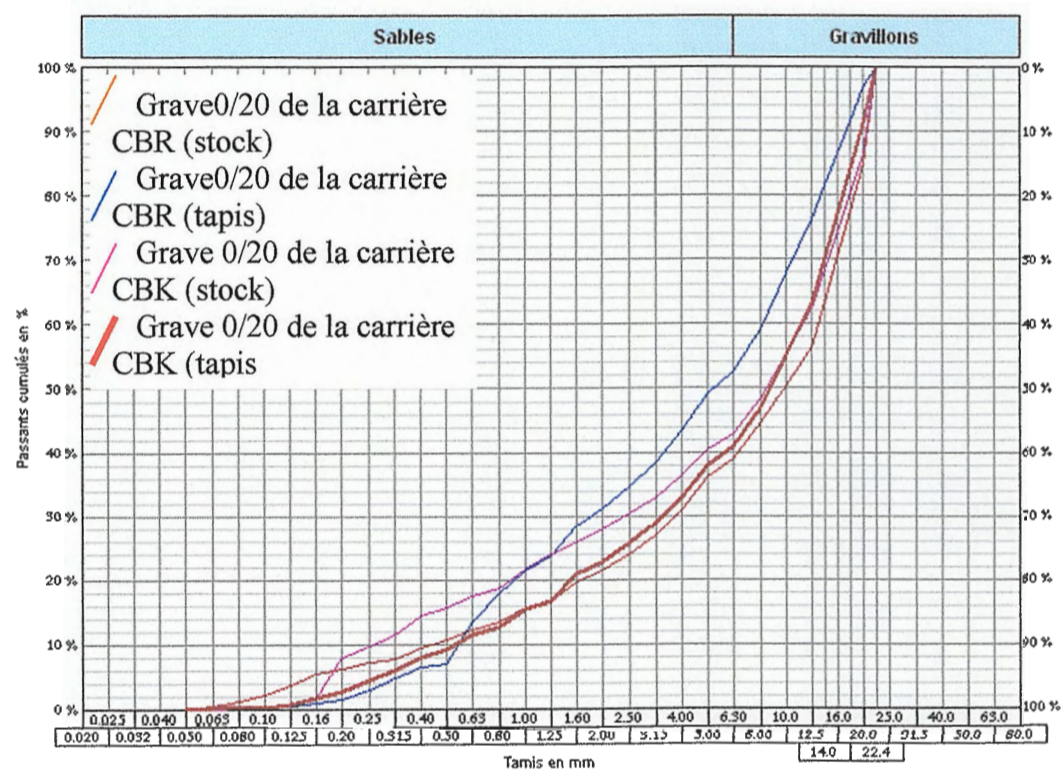


Fig.V.13 : Courbes granulométriques de la grave 0/20 des deux carrières

Les différentes courbes granulométriques montrent que la granulométrie des différentes classes granulaires des granulats des carrières d'El Milia CBR et CBK est une granulométrie étalée.

- la figure V.10 représente les différentes courbes granulométriques des sables 0/3 des deux carrières. D'après la figure on remarque un petit décalage entre la courbe du stock et la courbe du tapis que ce soit pour la carrières CBR ou pour la carrière CBK.
- la figure V.11 représente les différentes courbes granulométriques des gravillons 3/8 des deux carrières, les courbes sont tracées à partir des deux échantillons extraits du tamisage de la grave 0/20 des carrières sur les tamis 3 mm et 8 mm, on constate que les deux courbes sont pratiquement superposées. La procédure d'obtention du calibre 3/8 en est à l'origine de cette superposition.
- la figure V.12 représente les deux courbes granulométriques des gravillons 8/16 des deux carrières, les courbes sont tracées à partir des deux échantillons extraits du tamisage de la grave 0/20 des carrières sur les tamis 8 mm et 16 mm . Comme pour les gravillons 3/8, le décalage entre la courbe de la carrière CBR et la courbe de la carrière CBK est nul. La procédure d'obtention du calibre 8/16 mm est certainement aussi à l'origine de cette superposition.
- la figure V.13 représente les différentes courbes granulométriques de la graves 0/20 des deux carrières. D'après la figure on remarque un petit décalage entre la courbe du stock et la courbe du tapis que ce soit pour la carrière CBR ou pour la carrière CBK.

V.3.1.2- Mesure du coefficient d'aplatissement :

L'élaboration des bétons de ciment ainsi que la réalisation des corps de chaussées et des couches de roulement, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser un béton très compact, et, par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat,

- Une série de tamis normalisés à mailles,
- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées (Fig.V.14)



Fig.V.14 : Grilles à fentes

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur L , distance minimale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat,
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat (Fig.V.15)

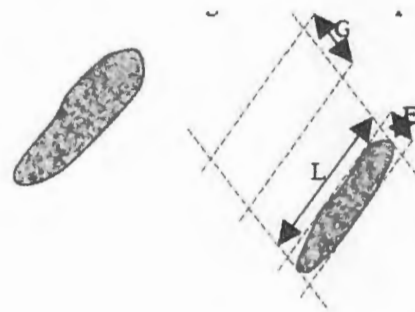


Fig.V.15: Forme d'un granulat

L'essai consiste en une double opération de tamisage :

Le tamisage classique sur une colonne de tamis normalisés à mailles carrées afin de séparer les granulats en une succession de classes granulaires d/D dont les dimensions sont telles que $D = 1,25d$.

Les différentes classes granulaires d/D ainsi isolées sont tamisées une à une sur une grille à fentes parallèles d'écartement $e=d/1,58$ (ce qui correspond aussi à : $E=d/2$).

On peut donc associer à chaque classe granulaire d/D un tamis à fente correspondant à la largeur E . La correspondance entre classes granulaires d/D et grilles à fentes de largeur E est donnée dans le tableau (Tab.V.11)

Classe granulaires d/D (mm)	31,5/40	25/31,5	20/25	16/20	12,5/16	10/12	8/10	6,3/8	5/6,3	4/5
Ecartement E des grilles à fentes (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5

Tab.V.11 : Correspondance entre classes granulaires d/D et largeur E des grilles à fentes utilisées.

V.3.1.2.1- Granulats de la carrière CBR :

• Gravillons 3/8 :

Les résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 3/8 de la carrière CBR sont résumés dans le tableau (Tab.V.12)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles à fentes		
Classe granulaire d/D	Mgi(gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Mei(gr)	Ai=(Mei/Mgi)*100
6,3 8	618,82	4	150,13	24,26
5 6,3	362,27	3,15	61,5	16,97
4 5	617,77	2,5	102,84	16,64
M=∑Mgi=1598,86 gr		∑Mei=314,47gr		
A = (∑Mei/∑Mgi)*100=19,29%				

Tab.V.12- Résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 3/8 de la carrière CBR

• Gravillons 8/16

Les résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 8/16 de la carrière CBR sont résumés dans le tableau (Tab.V.13)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles à fentes		
Classe granulaire d/D	Mgi(gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Mei(gr)	Ai=(Mei/Mgi)*100
12,5 16	1282,94	8	171,96	13,40
10 12,5	1109,07	6,3	232,23	20,93
8 10	814,73	5	198,08	24,31
M=∑Mgi=3206,74 gr		∑Mei=602,27gr		
A= (∑Mei/∑Mgi)*100=19,54%				

Tab.V.13- Résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 8/16 de la carrière CBR

V.3.1.2.2- Granulats de la carrière CBK :**• Gravillons 3/8**

Les résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 3/8 de la carrière CBK sont résumés dans le tableau (Tab. V.14)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles à fentes		
Classe granulaire d/D	Mgi(gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Mei(gr)	Ai= (Mei/Mgi)*100
6,3 8	585,68	4	144,52	24,67
5 6,3	356,75	3,15	72,2	20,23
4 5	699,95	2,5	111,23	15,89
M=∑Mgi=1642,38 gr		∑Mei=327,95gr		
A= (∑Mei/∑Mgi)*100=20,26%				

Tab.V.14- Résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 3/8 de la carrière CBK

• Gravillons 8/16

Les résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 8/16 de la carrière CBK sont résumés dans le tableau (Tab. V.15)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles à fentes		
Classe granulaire d/D	Mgi(gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Mei(gr)	Ai= (Mei/Mgi)*100
16 20	40,35	10	3,77	9,34
12,5 16	156,41	8	272,73	17,43
10 12,5	1169,57	6,3	289,43	24,74
8 10	665,34	5	166,36	25,00
M=∑Mgi=2031,67 gr		∑Mei=732,32gr		
A= (∑Mei/∑Mgi)*100=19,12%				

Tab.V.15- Résultats des mesures du coefficient d'aplatissement des granulats 8/16 de la carrière CBK

Le tableau (Tab.V.16) est un tableau récapitulatif comparant les coefficients d'aplatissements des gravillons des carrières CBR et CBK aux spécifications préconisées par SETRA- LCPC (1984).

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL/J					Coefficient d'aplatissement des gravillons des deux carrières			
		≤25	25 à 150	150 à 300	300 à 750	≥750	Carrière CBR		Carrière CBK	
							Classe 3/8	Classe 8/16	Classe 3/8	Classe 8/16
Enrobés Hydro-carbonés	Couches de liaison (béton Bitumineux)	≤30	≤30	≤25	≤20	≤20	19,29	19,54	20,26	19,12
		≤30	≤25	≤20	≤20	≤20				
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≤25	≤20	≤20	≤15	≤10				
	Bétons hydrauliques	≤30	≤30	≤25	≤25	≤25				
Bétons hydrauliques		≤30								
		≤34								

Tab.V.16 : Tableau récapitulatif comparant les coefficients d'aplatissements des gravillons des carrières CBR et CBK aux spécifications préconisées par SETRA- LCPC (1984)

D'après les résultats obtenus récapitulés dans le tableau (Tab.V.16) on peut dire que les granulats des carrières CBR et CBK ont un coefficient d'aplatissement qui répond aux exigences des spécifications préconisées par SETRA- LCPC (1984) (Annexe.A.III). Ils ne peuvent cependant pas être utilisés dans les enduits superficiels des couches de roulements pour un trafic supérieur à 300 poids lourds par jour (Tab.V.16).

Conclusion sur les propriétés géométriques :

Les valeurs de la granularité des granulats des deux carrières CBR et CBK récapitulés aux tableaux (Tab.V.9) et (Tab.V.10), et les valeurs du coefficient d'aplatissement résumés dans le tableau (Tab.V.16) indiquent que les granulats de la carrière CBR et la carrière CBK sont des granulats de bonne qualité et que les quatre classes granulaires (0/3, 3/8, 8/16, 0/20) répondent aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984) (Annexe.A.III).

V.3.2- Propriétés physiques et de propreté :

La principale propriété physique mesurée est : la masse volumique. La propreté des granulats, à été approchée par l'équivalent de sable.

V.3.2.1- La masse volumique absolue des granulats :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. 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.

La masse volumique absolue ρ_s 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. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .

En fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat, plusieurs méthodes sont généralement utilisées :

• **Méthode de l'éprouvette graduée :** (Fig.V.16)

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est alors: $\rho_s = M / (V_2 - V_1)$

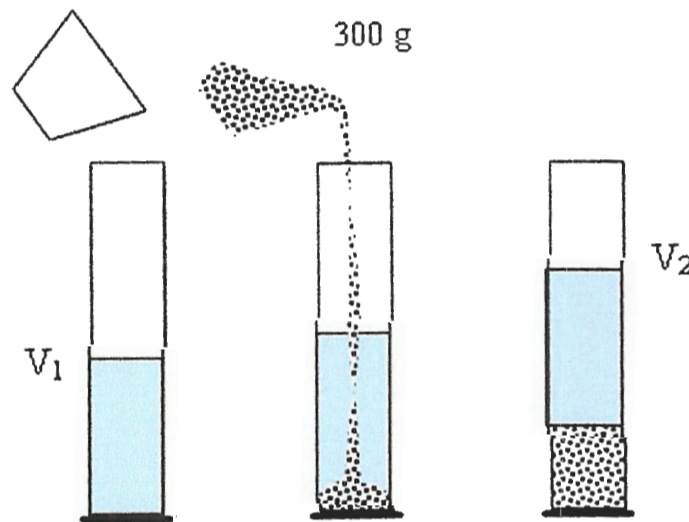
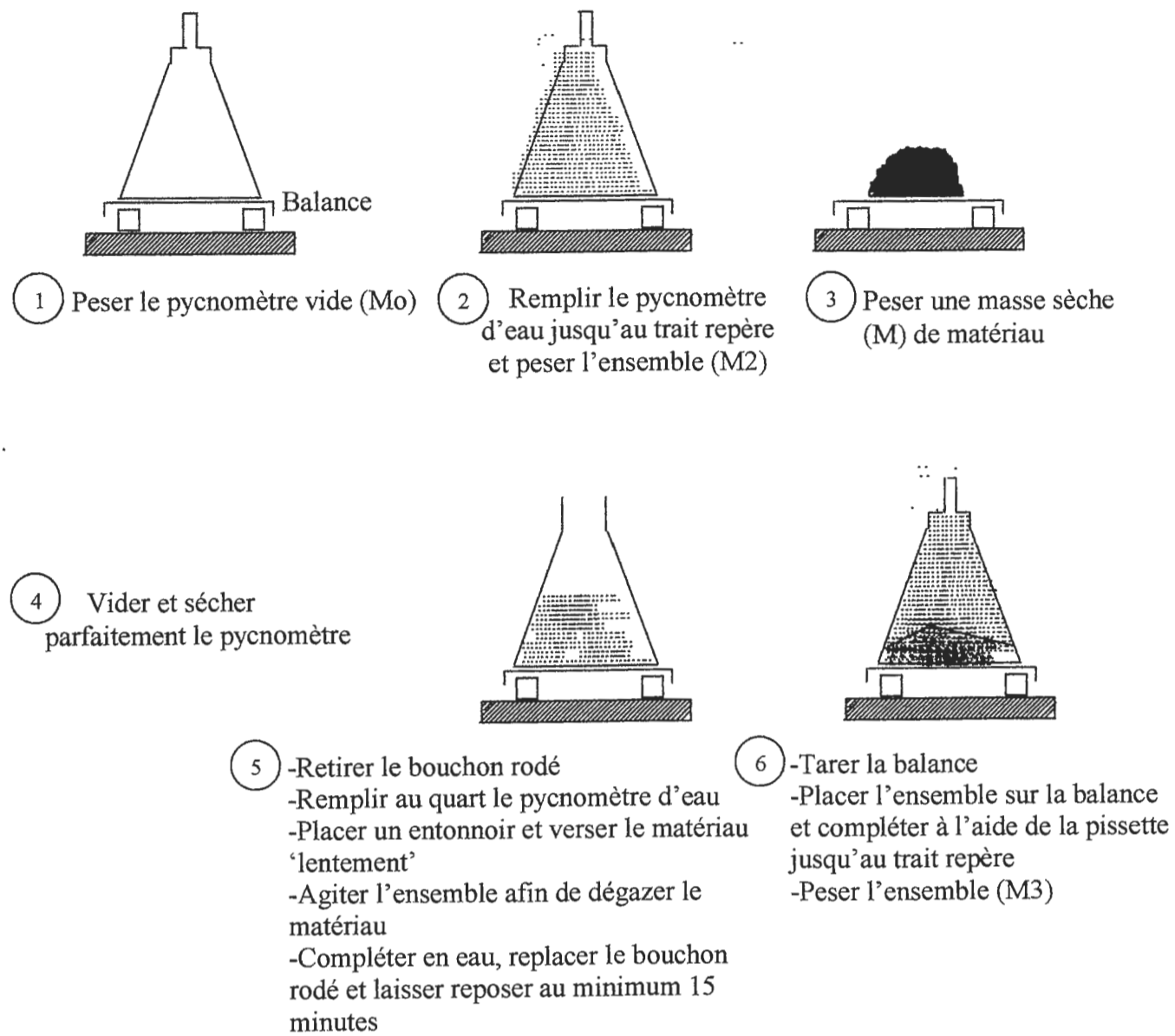


Fig.V.16: Méthode de l'éprouvette

• **Méthode au pycnomètre :**

Le mode opératoire est résumé dans la figure (Fig.V.17).



$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{(M_2 + M - M_3)} \cdot \rho_w$$

Fig.V.17- Mesure de la masse volumique de granulats par la méthode du pycnomètre.

Les différents résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants

A- Granulats de la carrière CBR :

Granulats		Masse volumique absolue (gr /cm ³) « méthode de l'éprouvette graduée »	Masse volumique absolue (gr /cm ³) « méthode du pycnomètre »
Sable 0/3	Stock	2,72	2,52
	Tapis - roulant	2,14	2,49
Gravillon 3/8		2,50	Non déterminée
Gravillon 8/16		2,30	Non déterminée

Tab.V.17- Tableau des mesures de la masse volumique absolue des granulats de la carrière CBR**A- Granulats de la carrière CBK :**

Granulats		Masse volumique absolue (gr /cm ³) « méthode de l'éprouvette graduée »	Masse volumique absolue (gr /cm ³) « méthode du pycnomètre »
Sable 0/3	Stock	2,30	2,42
	Tapis - roulant	2,5	2,52
Gravillon 3/8		2,50	Non déterminée
Gravillon 8/16		2,30	Non déterminée

Tab.V.18- Tableau des mesures de la masse volumique absolue des granulats de la carrière CBK

D'après les deux tableaux (Tab.V.17, et Tab.V.18) les masses volumiques absolues des différentes classes granulaires des deux carrières CBR et CBK sont différentes, elles sont comprises entre 2,14 et 2,70, ce sont des valeurs faibles par rapport à celle d'une roche granitique. Les granulats produits dans les carrières d'El Milia proviennent d'une roche granitique dont l'étude pétrographique a montré qu'elle est constituée principalement de Quartz, sous forme d'une pâte aphanitique et accessoirement des phénocristaux de biotite et plagioclases. Les masses volumiques absolues de toutes les phases minérales sont supérieures aux valeurs trouvées (Tab.V.19), (ces valeurs relativement faibles sont probablement dues l'altération des minéraux constituant la roche.

Minéraux	Masse volumique absolue en gr/cm ³	Altération
Quartz	2,65	Inaltérable
Biotite	2,7 à 3, 3	Très souvent altérés
Orthose	2,57	Très souvent altérés
Albite	2,62	Très souvent altérés
Anorthite	2,75	Très souvent altérés
Granulats des carrières d'El Milia	2,14 à 2, 70	

Tab.V.19 : Masses volumiques absolues de quelques minéraux susceptibles de rentrer dans la composition minéralogique des granulats des carrières d'El Milia.

Conformément aux normes (NFP18-554 ; NFP18-555 ; EN12620), les granulats des carrières CBR et CBK sont des granulats courants.

V.3.2.2- Propreté des granulats :**V.3.2.2.1- Propreté superficielle des gravillons**

La propreté superficielle des gravillons est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules de dimensions inférieures à 0,5 mm adhérentes à la surface ou mélangées à un granulat de dimension supérieure à 2 mm. Les éléments fins contenus dans le granulat à tester sont séparés par lavage sur un tamis d'ouverture 0,5 mm, leur pourcentage est déterminé par pesées après séchage du refus. La propreté superficielle **P** est obtenue par le rapport :

$$P = (m / Ms) * 100, \text{ avec:}$$

m : la masse sèche des éléments inférieurs à 0,5 mm ($m = Ms - m'$). **m'** : masse sèche des éléments supérieurs à 0,5 mm. **Ms**: la masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai. Les différents résultats sont indiqués ci-dessous (Tab.V.20) :

Granulats	Propreté superficielle (en %) des granulats de la carrière CBR	Propreté superficielle (en %) des granulats de la carrière CBK
Gravillon 3/8	1,26	1,72
Gravillon 8/16	1,04	0,59

Tab.V.20 : Résultats des mesures de la propreté superficielle des granulats des deux carrières CBR et CBK.

Le tableau (Tab.V.21) récapitule en comparant la propreté superficielle des granulats des carrières CBR et CBK aux spécifications préconisées par SETRA et LCPC (1984).

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL/J					Propreté superficielle des granulats des carrières CBR et CBK			
		≤25	25 à 150	150 à 300	300 à 750	≥750	CBR		CBK	
							3/8	8/16	3/8	8/16
Enrobés hydro-carbonés	Couches de liaison (béton Bitumineux)	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%	1,26	1,04	1,72	0,59
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≤2%	≤2%	≤1%	≤0,5%	≤0,5%				
	Bétons hydrauliques	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%				
Bétons hydrauliques	Gravillon non concassé	≤1,5%					1,26	1,04	1,72	0,59
	Gravillon concassé	≤3%								

TabV.21 : Tableau récapitulatif comparant la propreté superficielle des granulats des carrières CBR et CBK aux spécifications préconisées par SETRA et LCPC (1984) et Dupain et al (1995) (Annexe.A.III et Annexe.A.V).

D'après le tableau (Tab.V.21) les granulats des deux carrières répondent aux spécifications pour la majorité des utilisations, ils ne peuvent cependant pas être utilisés dans les enduits superficiels des couches de roulement, pour un trafic supérieur à 150 poids lourds par jour qui exige un $P < 1\%$ (Tab.V.21).

V.3.2.2.2- La propreté des sables : Essai d'équivalent de sable à 10% de fines :

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, l'équivalent de sable à 10 % de fines etc.

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé (norme NFP 18-540), et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur H_1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur H_2 : sable propre seulement.

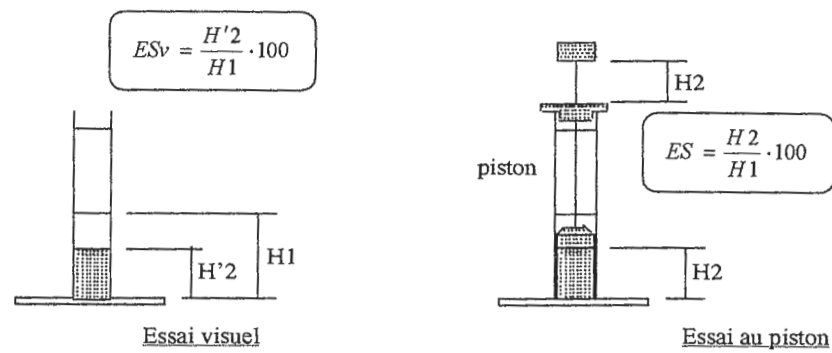
On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est (Fig.V.18). $ES = (H_2/H_1) * 100$

Selon que la hauteur H_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient d'éléments fins nuisibles (Tab.V.22)

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
$ESV < 65$	$ES < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des béton de qualité.
$65 \leq ESV < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrais.
$75 < ESV < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ESV \geq 85$	$ES \geq 80$	Sable très propre l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattrapé par une augmentation du dosage en eau.

Tab.V.22: Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (d'après Gabrysiak, 2004)



Essai d'équivalent de sable.

Fig.V.18: Définition de l'équivalent de sable

Les résultats de cet essai sont récapitulés dans les tableaux (Tab.V.23) et (Tab.V.24) :

***Sable 0/3 de la carrière CBR :**

Carrière	Masse en gr	Prise N°	résultats		Résultat moyen		ES moyen
			ESV	ESP	ESV	ESP	
CBR stock	120	1	57,77	46,11	55,75%	42,95%	49,35%
		2	53,73	39,8			
CBR tapis roulants	120	1	59,36	47,26	59,38%	48,33%	53,85%
		2	59,41	49,41			

Tab.V.23 : Résultats des mesures d'équivalent de sable de la carrière CBR

Après la comparaison des résultats d'équivalent de sable concernant les granulats de la carrière CBR avec les valeurs d'équivalent de sable préconisées par Gabrysiak, 2004 on constate que le sable du tapis aussi bien du stock de la carrière CBR est un sable relativement riche en éléments fins. Compte tenu de la procédure d'obtention des sables étudiés, il est fort possible que les résultats obtenus sont largement influencés par la procédure d'échantillonnage.

***Sable 0/3 de la carrière CBK :**

carrière	Masse en gr	Prise N°	résultats		Résultat moyen		ES moyen
			ESV	ESP	ESV	ESP	
CBK stock	120	1	50,73	38,53	51,62%	38,70%	45,16%
		2	52,52	38,88			
CBK tapis roulants	120	1	64,59	64,63	60,24%	59,44%	59,84%
		2	55,9	54,26			

Tab.V.24 : Résultats des mesures d'équivalent de sable de la carrière CBK

Après la comparaison des résultats d'équivalent de sable concernant les granulats de la carrière CBK avec les valeurs d'équivalent de sable préconisées par Gabrysiak, (2004), on

constate que le sable du tapis et du stock de la carrière CBK est un sable relativement riche en éléments fins.

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL/J					Equivalent de sable moyen des granulats des carrières CBR et CBK			
		≤25	25 à 150	150 à 300	300 à 750	≥750	CBR		CBK	
							ESV	ESP	ESV	ESP
Enrobés hydro-carbonés	Couches de liaison (béton Bitumineux)	≥50%	≥50%	≥50%	≥50%	≥50%				
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≥50%	≥50%	≥50%	≥50%	≥50%	55,75	42,95	51,62	38,7
	Bétons hydrauliques	≥65%	≥75%	≥75%	≥75%	≥80%	59,38	48,3	60,24	59,44
Bétons hydrauliques	Valeur spécifiée Vs à 90%	ESP≥70 (65 et 60 pour sables concassés ou broyés) ESV≥75								
	Valeur limite absolue Vs+/-U	ESP≥65 (60 et 55 pour sables concassés ou broyés) ESV≥70								

Tab.V.25 : Tableau récapitulatif comparant l'équivalent de sable des sables des carrières CBR et CBK aux spécifications préconisées par SETRA et LCPC (1984) (Annexe.A.III) D'après le tableau (Tab.V.23) les sables des deux carrières peuvent être utilisés dans les enrobés hydrocarbonés (couches de liaison, couches de roulement..).

V.3.3- Propriétés mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques des granulats ne sont pas déterminées par des essais habituels de traction ou de compression. Par contre, il existe des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers.

Parmi ces essais on a l'essai Los Angeles, essai Micro Deval, essai de friabilité des sables....

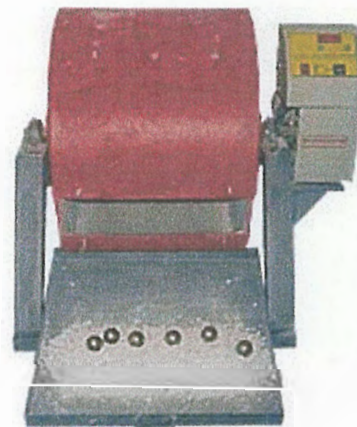
Pour des raisons techniques, l'essai Los Angeles est le seul essai qu'on a pu faire au niveau de LTPE (laboratoire des travaux publics de l'Est, antenne de Jijel) et les résultats de l'essai de Micro Deval humide sont obtenus à partir des rapports bibliographiques (direction des mines et des industries, 2006 et LTPE, 2004).

V.3.3.1- Essai Los Angeles :

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles (Fig.V.19) en 500 rotations.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs est exprimée par le coefficient Los Angeles L_A :

$$L_A = \frac{m}{M} 100$$



Essai Los Angeles

Fig.V.19- Machine Los Angeles

Le tableau (Tab.V.26) permet de comparer les coefficients Los Angeles des granulats des carrières CBR et CBK aux valeurs des Los Angeles des différents bétons les plus couramment utilisés :

	Coefficient Los Angeles
Bétons exceptionnels	<25
Bétons de qualité	<30
Bétons courants	<40
Granulats de la carrière CBR	21,69
Granulats de la carrière CBK	23,38

Tab.V.26 : Coefficient Los Angeles des granulats des carrière CBR et CBK comparé aux LA des granulats utilisés dans les bétons (d'après, Dupain et al, 1995)

On constate que les granulats des deux carrières peuvent être utilisés dans les différents types des bétons. Le tableau (Tab.V.27) permet de comparer les coefficients Los Angeles des granulats des carrières CBR et CBK aux valeurs des Los Angeles des granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques préconisées par LCPC et SETRA (1984) :

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL/J					Coefficient Los Angeles des granulats des carrières CBR et CBK	
		≤25	25 à 150	150 à 300	300 à 750	≥750	CBR	CBK
Enrobés hydro-carbonés	Couches de liaison (béton Bitumineux)	≤30	≤25	≤25	≤25	≤15	21,69	23,38
		≤25	≤20	≤20	≤20	≤25		
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≤25	≤20	≤15	≤15	≤15		
	Bétons hydrauliques	≤40	≤30	≤25	≤20	≤20		
Bétons hydrauliques	Valeur spécifiée Vs à 90%	≤40						
	Valeur limite absolue Vs+/-U	≤43						

Tab.V.27 : Coefficient Los Angeles des granulats des carrières CBR et CBK comparé aux LA des granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques préconisées par LCPC et SETRA (1984) (Annexe.A.III).

V.3.3.2- Essai Micro Deval Humide :

L'essai Micro-Deval humide permet d'apprécier la résistance à l'usure par frottement entre les granulats (attrition) et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite dans un cylindre en rotation (Fig.V.20), pendant deux heures à une vitesse de 100 tr/mn, et en ajoutant 2,5 litres d'eau. L'essai doit se réaliser en présence d'eau pour se rapprocher des conditions réelles de séjour des granulats dans les chaussées. Il est réalisé conformément à la norme française NF P.18-372 sur la classe 10/14 fractionnée à partir de la classe 8/15, avec une charge de 500 gr ± 5gr.

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

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

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

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

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

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



Fig.V.20- Machine Micro Deval

Les valeurs de MDE relatives aux granulats de la région d'El Milia ont été extraites à partir de rapports bibliographiques (Laboratoire des Travaux Public de l'Est, antenne Jijel, 2004). Ils sont récapitulés et comparés aux spécifications préconisées par SETRA et LCPC (1984) dans le tableau (Tab.V.28)

Granulats pour techniques routières et pour bétons hydrauliques		Trafic PL / J					Mesure du coefficient Micro-Deval humide des granulats		
		≤25	25 à 150	150 à 300	300 à 750	≥750	Granulat 3/8 de la carrière CBR	Granulat 8/15 de la carrière CBR	Grave 0/20 de la carrière CBR
Enrobés Hydro-carbonés	Couches de liaison (Béton bitumineux)	≤25	≤20	≤20	≤20	≤20	26	22	20-27
	Couches de roulement (Enduits superficiels)	≤20	≤15	≤15	≤15	≤15			
	Bétons hydrauliques	≤20	≤15	≤10	≤10	≤10			
	Bétons hydrauliques	≤35	≤25	≤20	≤15	≤15			
Bétons hydrauliques		/							

Tableau.V.28-Tableau récapitulatif comparant le coefficient Micro-Deval humide des granulats de la carrière CBR aux spécifications préconisées par SETRA- LCPC (1984) (Annexe.A.III).

D'après le tableau (Tab.V.28) les granulats de la carrière CBR présentent des MDE relativement supérieurs aux spécifications de la SETRA – LCPC (Annexe.A.III). Leur utilisation dans les matériaux composites doit être modérée et accompagnée de précaution.

En combinant les valeurs du LA et MDE et en se référant aux spécifications et tolérances préconisées par SETRA- LCPC (1984), nous avons essayé de délimiter les principaux domaines d'utilisation des granulats produits par les carrières d'El Milia (Fig.V.21 à 25).

Figure (V.21)

- La figure (Fig.V.21.a) montre que pour un trafic journalier inférieur à 25 PL/J les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les couches de fondations que ce soit pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés, les graves traitées aux liants hydrauliques, ou les graves non traitées.

- La figure (Fig.V.21.b) montre que pour un trafic journalier compris entre 25 PL/J et 150 PL/J les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les couches de fondations pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés, les graves traitées aux liants hydrauliques. Pour les graves non traitées les valeurs de LA sont admissibles, les valeurs de MDE sont également acceptables sauf pour la valeur du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées.

- La figure (Fig.V.21.c) montre que pour un trafic journalier compris entre 150 PL/J et 300 PL/J, les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les couches de fondations pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés, les graves traitées aux liants hydrauliques. Pour les graves non traitées les valeurs de LA et MDE dépassent les valeurs préconisées.

- La figure (Fig.V.21.d) montre que pour un trafic journalier supérieur à 300 PL/J les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les couches de fondations que ce soit pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés, ou les graves traitées aux liants hydrauliques.

Figure (V.22)

- La figure (Fig.V.22.a) montre que pour un trafic journalier inférieur à 25 PL/J, les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les couches de bases et de renforcement pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés et les graves traités aux liants hydrauliques. Pour les graves non traitées les valeurs de LA sont admissibles, les valeurs de MDE sont également acceptables sauf pour la valeur du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées.

- La figure (Fig.V.22.b) montre que pour un trafic journalier compris entre 25 PL/J et 150 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de bases et de renforcement pour les graves non traitées. Pour les graves traités aux liants hydrocarbonés, ou

les graves traitées aux liants hydrauliques les valeurs de LA sont admissibles, les valeurs de MDE sont également acceptables sauf pour la valeur du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées

- La figure (Fig.V.22.c) montre que pour un trafic journalier compris entre 150 PL/J et 300 PL/J les granulats de la carrière CBR ont des valeurs de LA et de MDE acceptables pour les couches de bases et de renforcement pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés. Pour les graves traitées aux liant hydrauliques, les valeurs sont également acceptables sauf pour la valeur de MDE du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées

- La figure (Fig.V.22.d) montre que pour un trafic journalier supérieur à 300 PL/J les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de bases et de renforcement pour les graves non traitées. Pour les graves traitées aux liants hydrocarbonés, ou les graves traitées aux liants hydrauliques les valeurs de LA sont admissibles, les valeurs de MDE sont aussi admissibles, sauf pour la valeur du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées

Figure (V.23)

- La figure (Fig.V.23.a) montre que pour un trafic journalier inférieur à 25 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de bases et de renforcement dans les couches de roulement, (enduits superficiels), dans les couches de liaison (béton bitumineux), et dans les couches de roulement (béton bitumineux).

- La figure (Fig.V.23.b) montre que pour un trafic journalier compris entre 25 PL/J et 150 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de bases et de renforcement dans les couches de roulement, (enduits superficiels), dans les couches de liaison (béton bitumineux), et dans les couches de roulement (béton bitumineux).

- La figure (Fig.V.23.c) montre que pour un trafic journalier compris entre 150 PL/J et 300 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de bases et de renforcement dans les couches de roulement, (enduits superficiels), dans les couches de liaison (béton bitumineux), et dans les couches de roulement (béton bitumineux).

Figure (V.24)

- La figure (Fig.V.24.a) montre que pour un trafic journalier compris entre 300 PL/J et 750 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de roulement et de liaison dans les couches de roulement, (enduits superficiels), dans les couches de liaison (béton bitumineux), et dans les couches de roulement (béton bitumineux).

- La figure (Fig.V.24.a) montre que pour un trafic journalier supérieur à 750 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les couches de roulement et de

liaison dans les couches de roulement, (enduits superficiels), dans les couches de liaison (béton bitumineux), et dans les couches de roulement (béton bitumineux).

Figure (V.25)

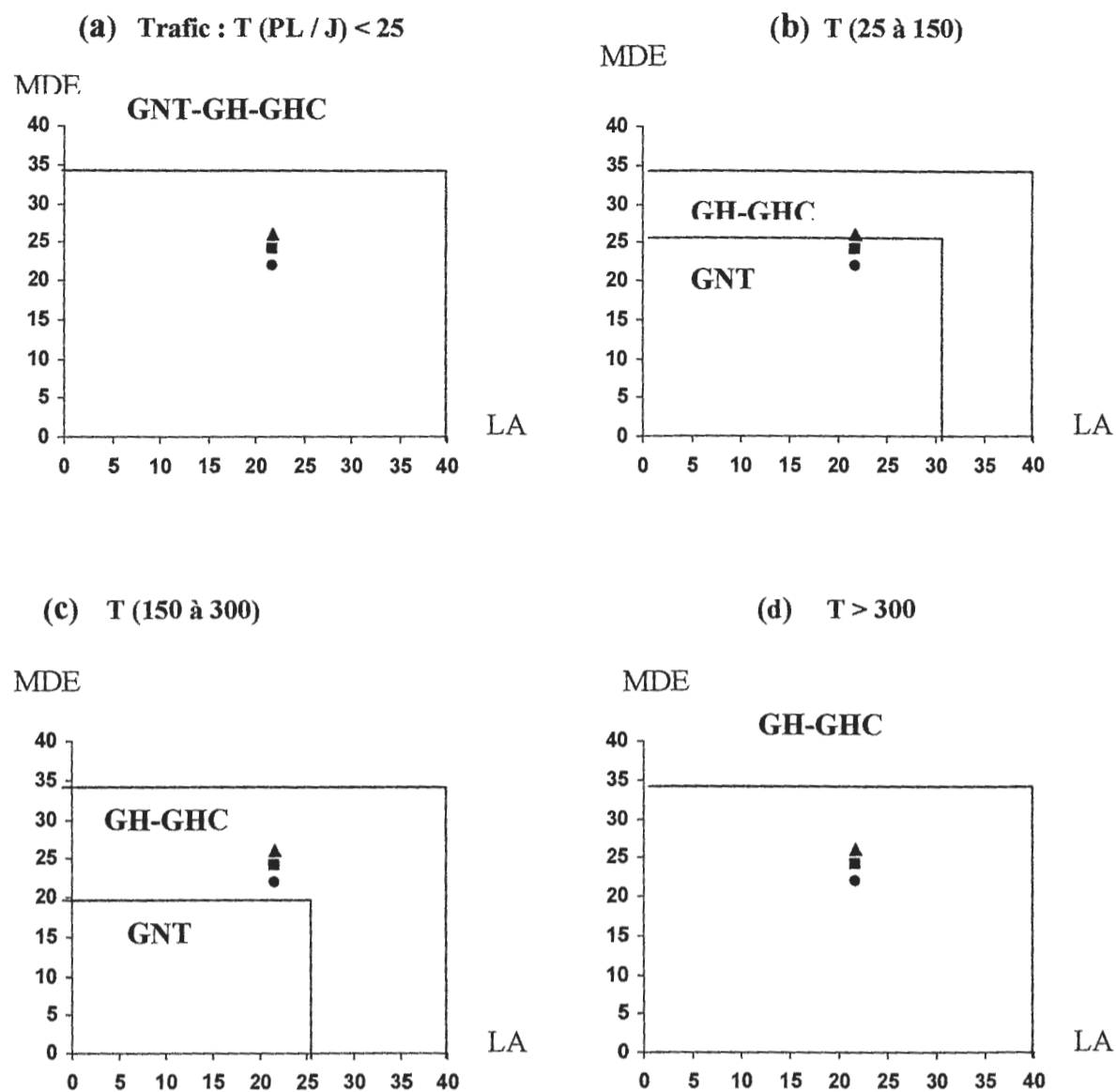
- La figure (Fig.V.25.a) montre que pour un trafic journalier inférieur à 25 PL/J, les granulats de la carrière CBR sont acceptables pour les bétons hydrauliques.

- La figure (Fig.V.25.b) montre que pour un trafic journalier compris entre 25 PL/J, et 150 PL/J, les granulats de la carrière CBR ont des valeurs de LA qui sont admissibles pour les bétons hydrauliques, les valeurs de MDE sont aussi admissibles sauf pour la valeur du calibre 3/8 qui dépasse légèrement les valeurs préconisées.

- La figure (Fig.V.25.c) montre que pour un trafic journalier compris entre 150 et 300 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les bétons hydrauliques.

- La figure (Fig.V.25.d) montre que pour un trafic journalier compris entre 300 PL/J et 750 PL/J les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les bétons hydrauliques.

- La figure (Fig.V.25.e) montre que pour un trafic journalier supérieur à 750 PL/J, les granulats de la carrière CBR ne sont pas acceptables pour les bétons hydrauliques.



Couche de fondation

GHC : Graves traitées aux liants hydrocarbonés.

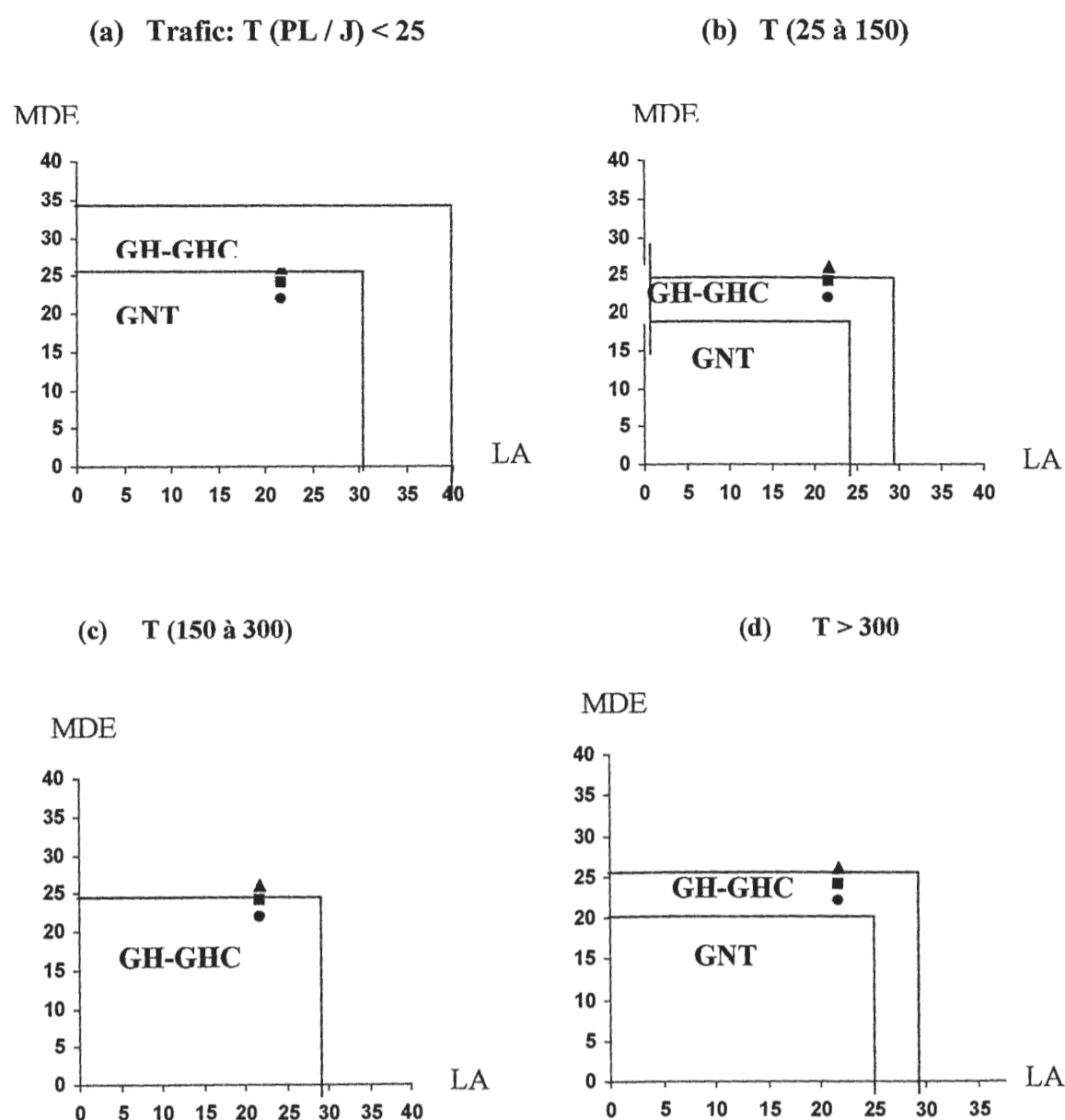
GH : Graves traitées aux liants hydrauliques.

GNT : Graves non traitées.

PL / J : Poids lourds par jour sur la voie la plus chargée.

- ▲ : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 3/8=26).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 8/15=22).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 0/20=24).

Fig.V.21- Projection des mesures de Los Angeles (LA) et Micro- Deval humide (MDE) de la carrière CBR sur les diagrammes de spécification pour chaussées (Couche de fondation), d'après SETRA et LCPC (1984).



Couche de base et de renforcement

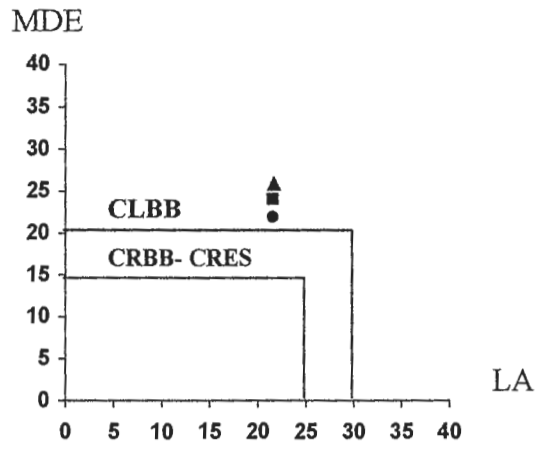
GHC : Graves traitées aux liants hydrocarbonés.
 GH : Graves traitées aux liants hydrauliques.
 GNT : Graves non traitées.

PL / J : Poids lourds par jour sur la voie la plus chargée.

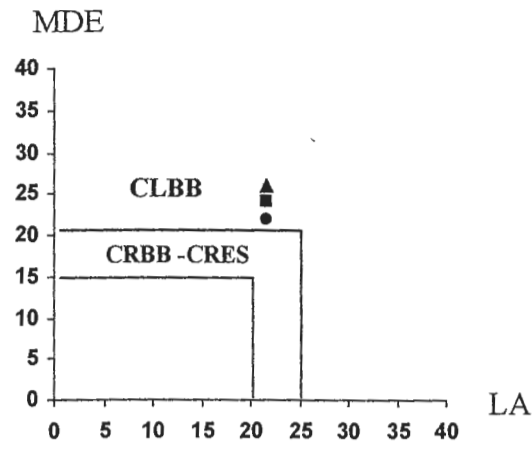
- ▲ : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 3/8=26).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 8/15=22).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 0/20=24).

Fig.V.22- Projection des mesures de Los Angeles (LA) et Micro-Deval humide (MDE) de Carrière CBR sur Les diagrammes de spécification pour les chaussées (Couche de base et renforcement) SETRA et LCPC (1984).

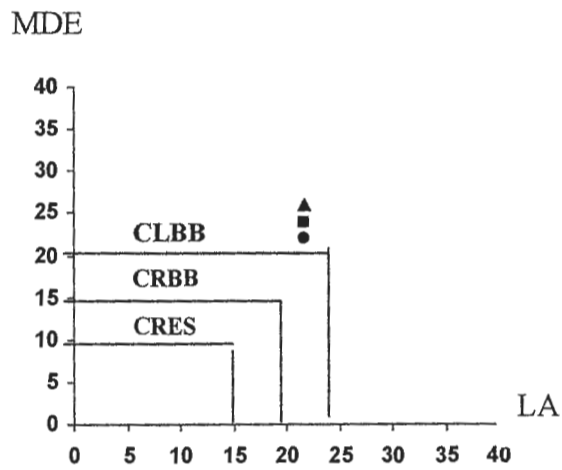
(a) Trafic: T (PL / J) < 25



(b) T (25 à 150)



(c) T (150 à 300)



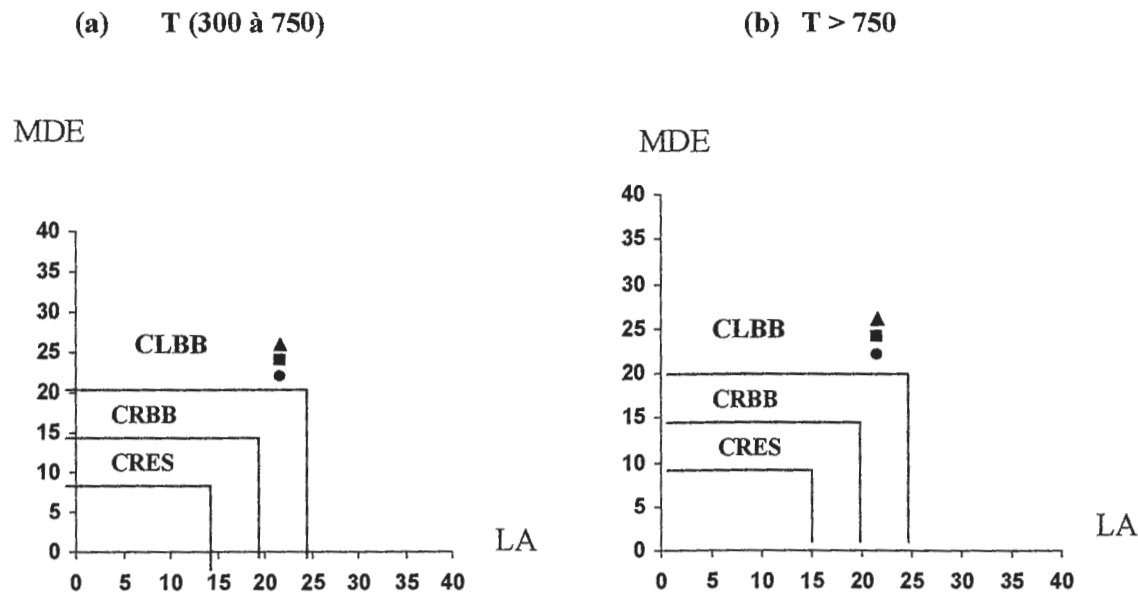
Couche de base et de renforcement

- PL / J : Poids lourds par jour sur la voie la plus chargée.
- CRES: Couche de roulement, Enduits superficiels.
- CLBB: Couche de liaison, Bétons bitumineux.
- CRBB: Couche de roulement, bétons bitumineux

- ▲ : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 3/8=26).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 8/15=22).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 0/20=24).



Fig.V.23- Projection des mesures de Los Angeles (LA) et Micro- Deval humide (MDE) de carrière CBR sur Les diagrammes de spécification pour les chaussées (couche de base et renforcement) d'après SETRA et LCPC (1984).



Couche de roulement et de liaison

PL / J : Poids lourds par jour sur la voie la plus chargée.

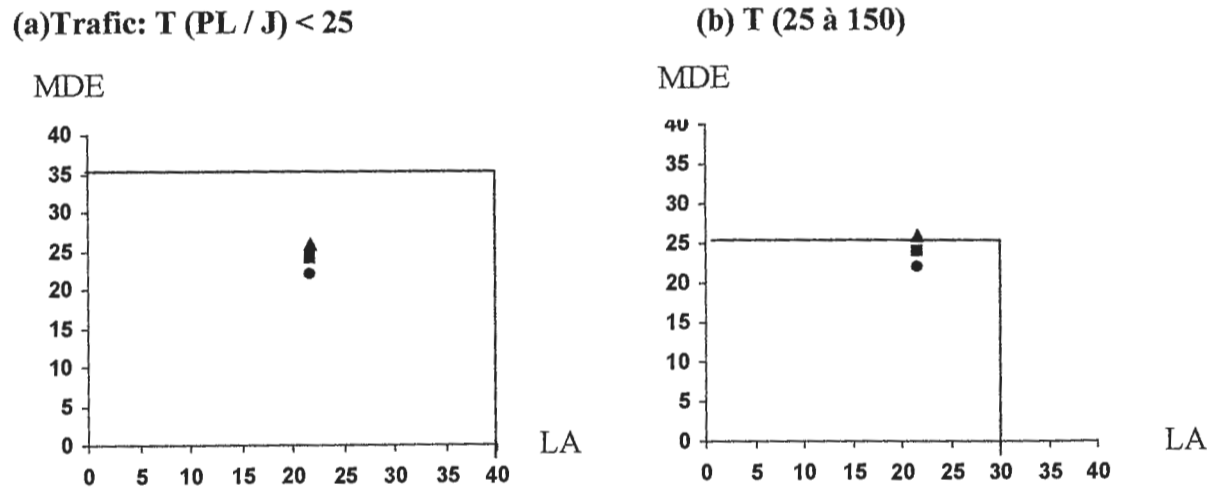
CRES: Couche de roulement, Enduits superficiels.

CLBB: Couche de liaison, Bétons bitumineux.

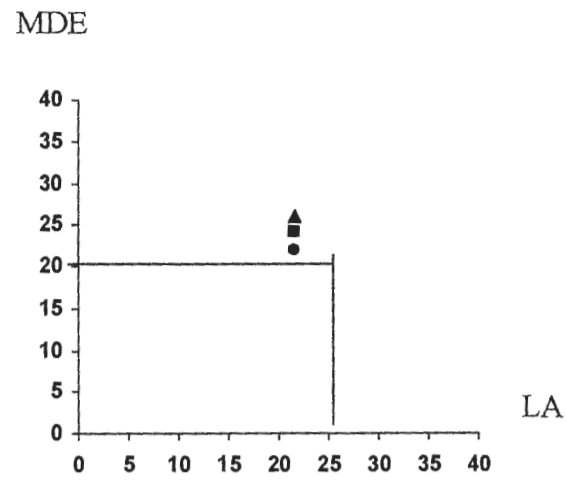
CRBB: Couche de roulement, bétons bitumineux

- ▲ : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 3/8=26).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 8/15=22).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 0/20=24).

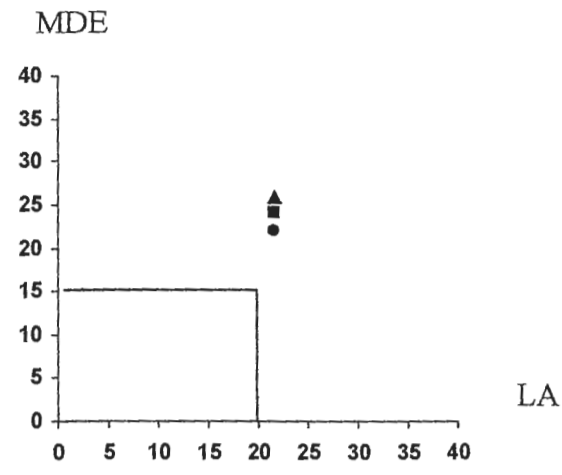
Fig.V.24- Projection des mesures de Los Angeles (LA) et Micro- Deval humide (MDE) de la carrière CBR sur les diagrammes de spécification pour chaussées (Couche de roulement et de liaison), d'après



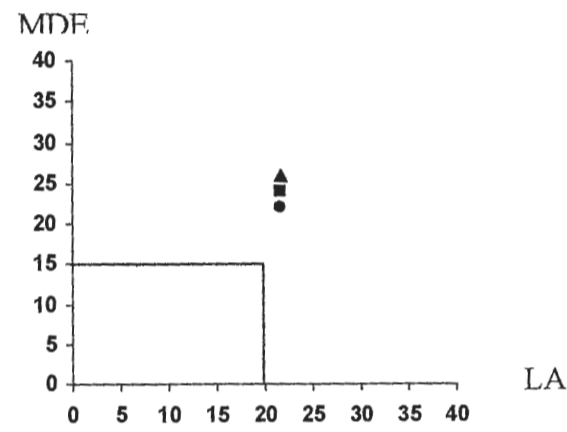
(c) T (150 à 300)



(d) T (300 à 750)



(e) T > 750



Bétons hydrauliques

PL / J : Poids lourds par jour sur la voie la plus chargée.

- ▲ : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 3/8=26).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 8/15=22).
- : Mesures des granulats de la carrière CBR (LA=21,69, MDE du gravillon 0/20=24).

Fig.V.25- Projection des mesures de Los Angeles (LA) et Micro-Deval humide (MDE) de la carrière CBR sur les diagrammes de spécification pour chaussées (Bétons hydrauliques), d'après SETRA et LCPC (1984).

Conclusion :

Les résultats des essais mécaniques montrent que les granulats de la carrière CBR d'El Mila peuvent être utilisés dans les domaines des bâtiments et des techniques routières pour les couches de fondations et partiellement dans certaines couches de roulement et de renforcement à trafic routier relativement réduit. Ils montrent aussi que l'utilisation de ces granulats dans les bétons hydrauliques doit être modérée par la prise en compte de précautions. Les résultats des différents essais sont récapitulés dans les tableaux (Tab.V.29) et (Tab.V.30)

Spécifications et tolérances préconisées par SETRA-ICPC (1984).																						
Essai ou propriété	Unité	Classes Granulaires des granulats de la carrière CBR						Couche de fondation (■)			Couches de base et de renforcement (■)			B.B (■) couche de liaison	C.Roulement		B.H (■) Dans les chausssées	B.H Autre usage				
		0/3 Tapis	Stock	3/8	8/16	0/20 Tapis	Stock	GNT	GH	GHc	GNT	GH	GHc		B.B	E.sup						
Propriétés physiques																						
Masse volumique absolue	g /cm ³	2,14	2,72	2,50	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Teneur en eau	%	3,30	2,34	10,47	0,89	3,36	1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Propriété superficielle	%	-	-	1,26	1,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Equivalent de sable à vue		59,38	55,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Equivalent de sable à piston		48,33	42,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Propriétés géométriques																						
Granularité		Tableau V.9																				
Teneur en fines																						
Selon la norme 18540	%	3,80	3,81	-	-	0,14	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Selon la norme 12620	%	0,51	1,57	-	-	0,06	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Module de finesse																						
Selon la norme 18540	%	2,70	2,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≥ 1,8	
Selon la norme 12620	%	2,98	2,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 3,2	
Coefficient d'aplatissement (A)	%	-	-	19,29	19,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 30	
Propriétés mécaniques																						
Los Angeles (LA)		-	-	21,69	-	-	-	≤ 25	≤ 40	≤ 40	-	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 20	≤ 15	≤ 25	≤ 40	≤ 40	≤ 40	-	
Micro-Deval humide (MDE)		-	-	26	22	20-27	-	≤ 20	≤ 35	≤ 35	-	≤ 25	≤ 25	≤ 20	≤ 15	≤ 10	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	-	

Tableau V.29 - Tableau récapitulatif des essais sur les granulats de la carrière CBR comparés aux spécifications préconisées par SETRA-ICPC (1984).
 (■) : Trafic moyen (150 à 300 poids lourds par jour).

- BB : Bétons bitumineux,
- BH : Bétons hydrauliques,
- E.Sup : Enduits superficiels,
- GNT : Graves Non Traitées,
- GHc : Graves Traitées aux liants hydrocarbonés,
- GH : Graves Traitées aux liants hydrauliques.

Spécifications et tolérances préconisées par SETRA-LCPC (1984)																	
Essai ou propriété	Unité	Classes Granulaires des granulats de la carrière CBK						Couche de fondation (■)			Couches de base et de renforcement (■)			C.Roulement		B.H (■) Dans les chaussées	
		0/3 Tapis	Stock	3/8	8/16	0/20 Tapis	Stock	GNT	GH	GHc	GNT	GH	GHc	BB (■) couche de liaison	BB		E.sup
Propriétés physiques																	
Masse volumique absolue	g /cm ³	2,50	2,30	2,50	2,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teneur en eau	%	4,61	5,15	1,83	0,89	4,40	2,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propriété superficielle	%	-	-	1,72	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 2	≤ 2	≤ 1	≤ 2
Equivalent de sable à vue		60,24	51,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Equivalent de sable à piston		59,44	38,70	-	-	-	-	≥ 40	≥ 30	≥ 50	-	≥ 40	≥ 50	≥ 50	≥ 50	-	≥ 75
Propriétés géométriques																	
Tableau V.10																	
Granularité																	
Teneur en fines	Selon la norme 18540	1,67	3,61	-	-	0,08	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Selon la norme 12620	0,48	1,27	-	-	0,06	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Selon la norme 18540	2,77	2,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Module de finesse	Selon la norme 12620	3,05	2,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Selon la norme 18540	-	-	20,26	19,12	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 25	≤ 20	≤ 20	≤ 25
Coefficient d'aplatissement (A)																	
Propriétés mécaniques																	
Los Angeles (LA)																	
		-	-	23,38	-	-	-	≤ 25	≤ 40	≤ 40	-	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 20	≤ 15	≤ 25
Micro-Deval humide (MDE)																	
		-	-	-	-	-	-	≤ 20	≤ 35	≤ 35	-	≤ 25	≤ 25	≤ 20	≤ 15	≤ 10	≤ 20

Tableau V.30- Tableau récapitulatif des essais sur les granulats de la carrière CBK comparés aux spécifications préconisées par SETRA-LCPC (1984). (■) : Trafic moyen (150 à 300 poids lourds par jour).

- BB : Bétons bitumineux,
- BH : Bétons hydrauliques,
- E.Sup : Enduits superficiels,
- GNT : Graves Non Traitées,
- GHc : Graves Traitées aux liants hydrocarbonés,
- GH : Graves Traitées aux liants hydrauliques.

Conclusion générale :

Malgré l'abondance et la diversité des formations géologiques susceptibles d'être exploitées comme granulats dans la région de Jijel, le marché local de ces matériaux demeure déficitaire. Plus de 90 % des granulats proviennent des wilayas limitrophes.

Les carrières d'El Milia qui se situe dans la partie sud-est du Djebel Ouled Arbi, à environ 60 Km à l'Est de Jijel sont encaissées dans des roches granitiques néogènes intrusives dans diverses formations géologiques. L'étude pétrographique a montré que la roche granitique contient principalement du quartz, avec quelques phénocristaux de biotite, feldspaths, et cordiérite, certains de ces minéraux (Micas, Feldspaths) sont susceptibles d'être facilement altérés sous les conditions météoriques de surface.

Dans l'ensemble, l'étude granulométrique des granulats des carrières d'El Milia a montré qu'ils répondent aux spécifications et tolérances préconisées par LCPC et SETRA (1984), sauf dans la classe granulaire 0/20 du stock de la carrière CBR qui ne répond pas à ces spécifications qui exigent un refus à $D \leq 15$ %, il est légèrement supérieur à 15 (15,41 %).

La comparaison entre les courbes granulométriques des différentes calibres de granulats issus du stock ou du tapis roulant montrent des écarts et que les plus grand écarts concernent les granulats produits dans les carrières (les graves), tandis que les faibles écarts concernent les calibres de granulats préparés dans le laboratoire (0/3, 3/8, 8/16). Ces écarts entre les courbes granulométriques et malgré la même nature pétrographique et les mêmes calibres indiquent que les stations du traitement et le type de stockage ont une influence sur les caractères géométriques des granulats surtout ceux qui contiennent des fractions fines (les graves et les sables) qui subissent les phénomènes d'envol par les vents.

Les granulats des deux carrières ont des coefficients d'aplatissement compris entre 19 à 20%, ces valeurs indiquent qu'il s'agit de granulats qui ont une forme arrondie et nodulaire, sauf pour les gravillons 3/8 de la carrière CBK qui ont un coefficient d'aplatissement égal à 20,26%. Dans l'ensemble les granulats des carrières d'El Milia présentent des coefficients d'aplatissement qui répondent aux exigences et spécifications préconisées par SETRA et LCPC. Les granulats des deux carrières peuvent donc être utilisés en techniques routières, leur forme rugueuse assure une bonne cohésion de lien " granulats -bitume " indispensable pour répondre correctement et durablement aux sollicitations du trafic routier et pour éviter les phénomènes d'orniérage ou de dés enrobage.

Les propriétés physiques relatives à la masse volumique montrent que les granulats des deux carrières sont dits courants (2,14 -2,7 gr/cm³).

La propreté superficielle des granulats est relativement acceptable (P comprise entre 0,59 et 1,72 %). Ils peuvent être utilisés dans les couches de liaison et dans la confection des bétons hydrauliques. Par contre les gravillons 3/8 des deux carrières et le gravillon 8/16 de la carrière CBK, ne peuvent pas être utilisés dans les couches de roulement et enduits superficiels.

Les valeurs d'équivalent de sable des échantillons issus aussi bien des stocks que des tapis roulants des deux carrières (ES piston) sont compris entre 38,7 et 59,44 % ; ces valeurs indiquent que les sables des deux carrières sont relativement peuvent être considérés impropre riches en éléments fins. Cependant, il est fort probable que ces valeurs très faibles sont dues à la méthode utilisée pour obtenir les sables qui ne sont pas produit dans la carrière.

Les propriétés mécaniques des granulats des deux carrières montrant des résultats satisfaisants. Le coefficient LA est compris entre 21,69 et 23,38, alors que les valeurs de MDE des granulats de la carrière CBR sont comprises entre 20 et 26. Ces granulats peuvent être destinés à la réalisation des couches de liaison et la confection du béton hydraulique lorsque le trafic ne dépasse pas 150 PL/J.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- **Bouillin, J.P., (1977)** : Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et El Milia – (Algérie) Thèse doctorat, Paris, France.
- **Boumenakh, N. ;Guebla, Y. (2005)** : 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, Mémoire d'ingénieur, département de Géologie, Université de Jijel.
- **Chettah, W. ;Nouasra, K. (2005)** : Caractéristiques géométriques et mécaniques des granulats des carrières du massif du Grouz (wilaya de Mila). Mémoire d'ingénieur, département de Géologie, Université de Jijel
- **Direction des mines et de l'industrie de la wilaya de Jijel (DMI, 2006)**. Rapport inédit
- **Djellit ; H (1987)** : Evolution tectonométamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place de nappe des flyschs en Petit Kabylie occidentale (Algérie). Thèse doctorat. Université de Paris, France.
- **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.
- Durand Delga, M., (1955)**: Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. Thèse Doctorat sciences, Public. Serv. Carte géol. –Algérie.
- Durand Delga, M., (1969)**: Mise au point sur la structure du Nord Est de la berbérie, Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 39: pp.89-131.
- **Encyclopédie Encarta, 2005.**
- Gabrysiak, F., (2004)**: Les matériaux–Granulats.-[www.ac-Nancy-Metz.fr/enseign/batiment-ressources/laboratoire/...](http://www.ac-Nancy-Metz.fr/enseign/batiment-ressources/laboratoire/)
- **Laboratoire des travaux publics de l'Est, Jijel –LTPE- (2004)**: Résultats des analyses chimiques et physico- mécaniques de la carrière CBR, fiche technique.
- **Ouabadi, A, (1994)** : Pétrographie, géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap Bougaroun, Beni Toufout, et Filfila) Algérie Nord orientale. Then Doctorat d'Etat, USTMB.
- **Remoum, K., (2002)**: Essai de caractérisation géologique et géotechnique des carrières de granulats de Sidi Marouf, Chekfa et El Milia, Wilaya de Jijel. Mémoire de Magistère. Université de 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).
- **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 Doctorat, Paris, France.
- **NF P.18-304 - (1978) GRANULATS :** Granulométrie des granulats.
- **NF P.18-540 - (1978) GRANULATS :** Calcul du module de finesse
- **NF P.18-554 - (1979) GRANULATS :** Mesure des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux.
- **NF P.18-555- (1980) GRANULATS :** Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
- **NF P.18-560 (1978) GRANULATS :** Analyse granulométrique par tamisage.
- **NF P. 18-561 (1978) GRANULATS :** Mesure du coefficient d'aplatissement des granulat
- **NF P.18-573 (1978) GRANULATS :** Essai Los Angeles
- **NF P.18-572 (1978) GRANULATS :** Essai d'usure Micro- Deval.
- **NF P.18-591 (1979)1 GRANULATS :** Détermination de la propreté superficielle.
- **NF P.18-597 (1978) GRANULATS :** Détermination de la propreté des sables: ES à 10 % de fines.

Sites Web:

- [www.A:/campagne %20 MARADJA % 202003.htm](http://www.A:/campagne%20MARADJA%202003.htm).
- www.cfv.bc/fr/carrière/process/
- [www.gsm- granulats.fr/fr/granulats/fabrication2.asp?r=22](http://www.gsm-granulats.fr/fr/granulats/fabrication2.asp?r=22)
- www.gralex.be/man.asp?LANG=FR&SCRup=2&SCRMN=18
- www.googlearth.fr
- [www.lafarge – granulats – fr](http://www.lafarge-granulats-fr)
- [www.sograr- siadoux.fr/dossier/ dossier.php?id- dossier= 4](http://www.sograr-siadoux.fr/dossier/dossier.php?id-dossier=4)
- [www. LCPC.fr/](http://www.LCPC.fr/)
- [www.technique–ingénieur.fr/dossier/granulats_sable_gravier_et_concasse_de_carrière/C902_11_1993](http://www.technique-ingénieur.fr/dossier/granulats_sable_gravier_et_concasse_de_carrière/C902_11_1993)
- [www.unicem- bretagne.fr/fr/content.php?pri=2](http://www.unicem-bretagne.fr/fr/content.php?pri=2)

ANNEXES

Annexe.A.I

SPECIFICATIONS ET TOLERANCES RELATIVES A LA GRANULARITE
(SETRA-LCPC.1984).

GRAVILLON avec $D \leq 1,58 d$ d Exemple: 4/6, 6/10, 10/14	Enduits superficiels (1) Bétons bitumineux (1)		Autres usages
	$D \leq 6 \text{ mm}$	$D \geq 6 \text{ mm}$	
Tamisât à	1,58 D = 100 %	1,25 D = 100 %	1,58D = 100 %
Refus à D, tamisât à d	$\leq 15 \%$		$\leq 20 \%$
Variation (2) du refus à D et du tamisât à d	$\pm 5 \%$		$\pm 7,5 \%$
Variation (2) du refus à $D+d / 2$	$\pm 15 \%$		$\pm 15 \%$
Tamisât à 0,63 d	$\leq 3 \%$ (3)		$\leq 3 \%$ (3)
Propreté superficielle : voir Annexe (A.III)			

GRAVILLON avec $D \geq 1,58 d$ Exemple: 2/6, 4/41, 6/14, 6/20	Bétons bitumineux (1)	Autre usage
Tamisât à 1,58D	100%	
Refus à d	$\leq 15\%$	
Variation (2) du refus à D et au tamisât à d	$\pm 5 \%$	$\pm 7,5 \%$
Variation (2) du refus à $D+d / 2$	$\pm 10 \%$	$\pm 15 \%$
Tamisât à 0,63 d	$\leq 3 \%$ (3)	$\leq 4 \%$ (3)

SABLES ET GRAVERS	SABLES		Graves 0/D approvisionnées en une fraction.
	Bétons bitumineux	Autres usages	
Tamisât à 1,58 D	100 %		
Refus à D	≤ 15 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Variation (2) du refus à D	± 5 %	± 7,5 %	± 7,5 %
Variation du tamisât à 0,3 0,5 ou 0,6 mm	± 7 %	± 10 %	± 10 %
Variation (2) du tamisât à 80 μ			± 2 % sur la totalité de la grave.
-pour ≥ 12 % de fines	± 3 %	± 4 %	
-pour ≤ 12 % de fines	± 2 %	± 3 %	

OBSERVATIONS:

- (1) Pour ces techniques et pour des trafics ≤ 25 poids lourds par jour, on se reportera à la colonne " Autre usage".
- (2) Variation par rapport à la courbe granulométrique moyenne du fuseau de régularité.
- (3) ≤ 5 % si $d \leq 5$ mm.

Annexe.A.II

SPECIFICATIONS POUR COUCHES DE FONDATION ET BASE RELATIVES AUX
CHAUSSEES NEUVES ET AUX RENFORCEMENT (SETRA-LCPC.1984).

TRAFIC Poids lourd journalier (PL / J)	CARACTERISTIQUES	FONDATION			BASE ET RENFORCEMENT		
		GNT	GH	GHc	GNT	GH	GHc
≤ 25	IC (%)	(4)	(4)	(4)	≥ 30	(4)	(4)
	LA	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 30	≤ 40	≤ 40
	MDE	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 25	≤ 35	≤ 35
	ES	≥ 30	≥ 30	≤ 40	≥ 30	≥ 30	≥ 40
25 A 150	IC	≥ 30	≥ 30	≥ 30	≥ 60	≥ 30	≥ 30
	LA	≤ 30	≤ 40	≤ 40	≤ 25	≤ 30	≤ 30
	MDE	≤ 25	≤ 35	≤ 35	≤ 20	≤ 25	≤ 25
	ES	≥ 40	≥ 30	≥ 50	≥ 40	≥ 40	≥ 50
150 A 300	IC	≥ 60	≥ 30	≥ 30		≥ 60	≥ 60
	LA	≤ 25	≤ 40	≤ 40		≤ 30	≤ 30
	MDE	≤ 20	≤ 35	≤ 35		≤ 25	≤ 25
	ES	≥ 40	≥ 30	≥ 50		≥ 40	≥ 50
≥ 300	IC		≥ 30	≥ 60		100	100
	LA		≤ 40	≤ 40		(5)	(6)
	MDE		≤ 35	≤ 35		≤ 30	≤ 25
	ES		≥ 30	≥ 50		≤ 25	≤ 20
						≥ 40	≥ 50

OBSERVATIONS : A.II, A.III

Rappel:

IC : Indice de concassage,

LA : Coefficient Los Angeles,

MDE : Coefficient Micro-Deval,

ES: Equivalent de Sable (à piston)

Rc: Résistance à la compression,

CPA : Coefficient de Polissage Accéléré,

FS : Coefficient de Friabilité des sable A : Coefficient d'Aplatissement,

P : Propreté superficielle,

GNT : Graves Non Traitées,

GH : Graves Traitées aux liants hydrauliques, GHc : Graves traitées aux liants hydrocarbonés.

- (4): Les granulats roulés peuvent être acceptés. Mais dans certains cas pour faciliter l'exécution des chantiers. Il est conseillé d'utiliser des granulats ayant un IC ≥ 30 .
- (5): Pour le trafic ≥ 75 PL/J avec travaux effectués sous circulation (renforcement): Rc ≥ 2 , pour graves laitiers, graves pouzzolanes, graves cendres volantes.
- (6): Pour le trafic ≥ 750 PL / J : Rc ≥ 2 .
- (7) : Pour les bétons bitumineux destinés à être revêtus rapidement, on ne tiendra pas compte du CPA (Coefficient de Polissage Accélééré).
- (8) : 0,40 (minimum absolu) lorsque la vitesse est limitée à 6 km / h.
- (9) : Pas de matériaux alluvionnaires.
- (10) : Pour bétons hydrauliques :
- * Il n'y a pas de spécification concernant l'angularité : il est toutefois recommandé que les gros granulats (20/40) et les granulats moyens (4/40) y ont subi un concassage. Le sable concassé peut être admis après une étude spécifique en laboratoires.
 - * Pour les gravillons > 20 mm, on pourra admettre des valeurs de LA et MDE supérieures de 5 points aux spécifications.
 - * Pour les bétons recouverts d'un enduit superficiel ou d'un cloutage :
 - Ne pas tenir compte du CPA.
 - Valeur de dureté à respecter :
 - .Trafic ≥ 300 PL / J, LA ≤ 30 : MDE ≤ 25 : Fs ≤ 20 .
 - .Trafic compris entre 25 et 300 P L / J, LA ≤ 40 : MDE ≤ 35 : Fs ≤ 20 .
 - .Trafic ≤ 25 PL / J, LA ≤ 45 : MDE ≤ 40 : Fs ≤ 30 .

Annexe.A.III

SPECIFICATIONS POUR COUCHES DE ROULEMENT RELATIVES AUX CHAUSSEES NEUVES ET A L'ENTRETIEN DES CHAUSSEES ANCIENNES, (SETRA-LCPC. 1984).

Trafic PL / J	Carac- téristiques	Liaison		Roulement		Caracté- ristiques	Bétons hydrauliques
		Bétons	bitumineux	E.superficiels			
≤ 25	A (%)	≤ 30	≤ 30	≤ 25	M	± 0,6	
	IC (%)	-	≥ 60	100	A (%)	≤ 30	
	LA	≤ 30	≤ 25	≤ 25	LA	≤ 40	
	MDE	≤ 25	≤ 20	≤ 20	MDE	≤ 35	
	CPA (7)	-	≥ 0,45 (8)	0,45	CPA	-	
	P (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 2	P (%)	≤ 2	
	ES	≥ 50	-	-	ES	≥ 65	
	FS				FS	≤ 30	
25 A 150	A (%)	≤ 300	≤ 25	≤ 20	M	± 0,4	
	IC ou Rc	IC = 100	Rc ≥ 2	Rc ≥ 4	A (%)	≤ 30	
	LA	≤ 25	≤ 20	≤ 20	LA	≤ 30	
	MDE (7)	≤ 20	≤ 15	≤ 15	MDE	≤ 25	
	CPA (7)	-	≥ 0,50	≥ 0,50	CPA	-	
	P (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 2	P (%)	≤ 2	
	ES	≥ 50	≥ 50	-	ES	≥ 75	
	FS				FS	≤ 20	
150 A 300	A (%)	≤ 25	≤ 20	≤ 20	M	± 0,4	
	Rc	≥ 2	≥ 2	≥ 4	A (%)	≤ 25	
	LA	≤ 25	≤ 20	≤ 15	LA	≤ 25	
	MDE	≤ 20	≤ 15	≤ 10	MDE	≤ 20	
	CPA (7)	-	≥ 0,50	≥ 0,50	CPA	≥ 0,45	
	P (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 1	P (%)	≤ 2	
	ES	≥ 50	≥ 50	-	ES	≥ 75	
	FS				FS	≤ 15	
300 A 750	A (%)	≤ 20	≤ 20	≤ 15	M	± 0,2	
	Rc (%)	≥ 2	≥ 4	≥ 6	A (%)	≤ 25	
	LA	≤ 25	≤ 20	≤ 15	LA	≤ 20	
	MDE	≤ 20	≤ 15	≤ 10	MDE	≤ 15	
	CPA (7)	-	≥ 0,50	≥ 0,50	CPA	≥ 0,50	
	P (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 0,50	P (%)	≤ 2	
	ES	≥ 50	≥ 50	-	ES	≥ 75	
	FS				FS	≤ 15	
≥ 750	A (%)	≤ 20	≤ 20	≤ 10	M	± 0,2	
	Rc	≥ 4	≥ 4	(9)	A (%)	≤ 25	
	LA	≤ 25	≤ 15	≤ 15	LA	≤ 20	
	MDE	≤ 20	≤ 15	≤ 10	MDE	≤ 15	
	CPA (7)	-	≥ 0,50	≥ 0,55	CPA	≥ 0,50	
	P (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 0,50	P (%)	≤ 2	
	ES	≥ 50	≥ 50	-	ES	≥ 80	
	FS				FS	≤ 15	

Annexe.A.IV

GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES (DUPAIN ET AL., 1995).

	Valeur spécifiée Vs à 90 %	Valeur limite absolue Vs ± U
FILLERS		
Passant à 2 mm	≥ 99 %	≥ 94 %
Passant à 0,125 mm	≥ 80 %	≥ 75 %
Passant à 0,063 mm	≥ 70 %	≥ 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 ≤ 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 %
Résistance Mécanique		
Los Angeles	≤ 40	≤ 43
Friabilité des sables (alluvionnaires et de recyclage)	≤ 60 ou ≤ 40	≤ 65 ou ≤ 45
Coefficient D'aplatissement	≤ 30 %	≤ 34 %
Propreté des fillers : Valeur de bleu Vb	≤ 1	≤ 1,3
Propreté des sables		
ESV	≥ 75	≥ 70
ES	≥ 70	≥ 65
	(65 et 60 pour sables concassés ou broyés)	(60 et 55 pour sables concassés ou broyés)
Valeur de bleu Vb	≤ 1	≤ 1,3
Propreté des gravillons (passant à ,5 mm)	≤ 1,5 %	≤ 2 %
Gravillons non concassés	≤ 3 %	≤ 3,5 %
Gravillons concassés		

Annexe.A.V

GRANULATS POUR TECHNIQUES ROUTIERES : ENROBES HYDROCARBONES
(DUPAIN ET AL., 1995).

Trafic (Essieux de 13 tonnes)	Spécification	Couche de liaison	Couche de roulement
< 25 / jour	A (%)	≤30	≤30
	LA	≤30	≤25
	MDE	≤25	≤20
	CPA		≤0,50
	P (%)	≤2	≤2
	ES	≥50	≥50
25 A 150 / jour	A (%)	≤30	≤25
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA		≤0,50
	P (%)	≤2	≤2
	ES	≥50	≥50
150 A 300 / jour	A (%)	≤25	≤20
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA		≥0,50
	P (%)	≤2	≤2
	ES	≥50	≥50
300 A 750 / jour	A (%)	≤20	≤20
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA		≥0,50
	P (%)	≤2	≤2
	ES	≥50	≥50
> 750 / jour	A (%)	≤20	≤20
	LA	≤25	≤15
	MDE	≤20	≤15
	CPA		≥0,50
	P (%)	≤2	≤2
	ES	≥50	≥50

Annexe.B.I. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

NORME FRANÇAISE ENREGISTREE	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 ± 5 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.		

6 – EXECUTION DE L'ESSAI

6.1- 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_{1s} sa masse sèche.

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

6.2- 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 tamisat 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.

6.3- 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 tamisat recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.

6.4- PESEES :

- 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 tamisat au dernier tamis. Soit T_n sa masse.

EXPRESSION DES RESULTATS

7.1- CALCULS :

Les résultats de différentes pesées cumulées ont porté sur une feuille d'essai (Modèle figure 1).

Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale calculée de l'échantillon pour essai sec M_s 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 $100 - ((R_i / M_s) * 100)$.

-Premier échantillon pour l'établissement du rapport : M_{1s} / M_{1h}

$M_{1s} = 6541 \text{ g}$ $M_{1h} = 7064 \text{ g}$

$M_{1s} = 6541 \text{ g}$. $M_{1h} = 7064 \text{ g}$

- Deuxième échantillon pour analyse granulométrique : $M_h = 6890 \text{ g}$

Masse totale sèche : $M_s = M_{1s} / M_{1h} * M_h = 6380 \text{ g}$

Masse sèche après lavage : $M_{s1} = 6224 \text{ g}$.

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			
$100 * M_{s1} - (R_n + T_n) / M_{s1} = 0,01 \%$		< 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 ».

Norme Française Enregistrer	Ar II B.III : GRANULATS Détermination De la Propreté Superficielle	NF P18-591 Avril 1979
1-OBJET		
La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour la Détermination de la propreté superficielle des granulats e des travaux publics.		
2-DOMAIN D4APPLICATION		
La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.		
3-Généralités		
3-1 Définition :		
La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm		
3-2 Principe de l'essai		
L'essai consiste à séparer par lavage sur le tamis de 0,5 mm (*) les particules inférieure à cette dimension.		
La propreté superficielle est égale au pourcentage pondéral des éléments inférieurs à 0,5 mm contenus dans l' échantillon pour essai.		
4-Appareillage		
- un tamis de 0,5 mm (*).		
- Eventuellement un tamis de décharge compris entre 2 et 10mm.		
5-Matériau Soumis à l'essai		
L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme NF P 18-5535(*) la masse M de l'échantillon pour essai doit être comprise entre 200 et 600 D, M étant exprimée en gramme et D ,dimension maximale des plus gros éléments, en millimètres.		
6-Exécution De L'essai		
Préparer deux échantillons à partir de l'échantillon pour laboratoire : l'un de masse Mih pour Déterminer la masse sèche de l'échantillon pour essai, l'autre de masse Mh pour déterminer la masse sèche des éléments inférieurs à ,5 mm (**).		
6-1 Détermination de la Masse Sèche Ms De l'échantillon Pour Essai :		
- Peser les deux échantillons M1h et Mh.		
- dessécher le prunier échantillon Mih à l'étude à 105 °c ± 5 °c jusqu' à masse constante au gramme prés. le peser, soit Mis sa masse sèche.		
- la masse sèche Ms de l'échantillon soumis à l'essai de propreté est :		
Ms=M1s/M1h*Mh		
6-2 Détermination de la masse sèche des éléments inférieurs à 0,5 mm (**) effectuer l' essai sur e matériau à la teneur en eau à laquelle il se trouve avant essai.		
Tamiser sous eau l'échantillon Mh sur le tamis de 0,5 mm (**) jusqu' à ce que l'eau qui s'écoule soit claire.		
Récupérer le refus et le sécher à l'étude à 105 °c ± 5 °c jusqu' à masse constante au gramme prés. le tamiser à nouveau sur le tamis de 0,5 mm (**) pendant une minute et le peser, soit m' sa masse sèche.		
La masse sèche m des éléments inférieurs à 0,5 mm (**) est égale à Ms-m'.		
EXPRESSION DES RESULTATS		
La propreté superficielle P est obtenue par le rapport :		
$P = m / Ms * 100$		
.....		
(*) nf p 18-553 <<préparation d'un échantillon pour essai>>		
(**) pour les ballasts de 16 à 50 mm, cette dimension est portée à 1,6 mm.		

Annexe.B.IV. MESURE DU COEFFICIENT LOS ANGELES.

NORME FRANÇAISE ENREGISTRÉE	GRANULAT ESSAI LOS ANGELES	NF P 18-573 Octobre 1978
<p style="text-align: center;">1- OBJET</p> <p>La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour la mesure de la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon.</p> <p style="text-align: center;">2-DOMAIN D'APPLICATION</p> <p>La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.</p> <p style="text-align: center;">3-PRINCIPE DE L'ESSAI</p> <p>L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles telle qu'elle est décrite dans la présente norme.</p> <p>La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires 4/6,3 mm-6,3/10 mm-10/14 mm-10/25 mm-16/31,5 mm-25/50 mm, de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre. La classe 1/25 mm doit contenir 60 % de 10/16 mm, la classe 16/31,5 mm 40 % de la charge de 16/25 mm et la classe 25/50 mm 60 % de 25/40 mm. La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.</p> <p>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 la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité : $(m / M) * 100.$</p> <p>Cette quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient Los Angeles du matériau (LA).</p> <p style="text-align: center;">4. APPAREILLAGE</p> <p>4.1- Appareillage spécifique :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Machine Los Angeles -Charge de boulets : La charge est constituée de boulets sphériques de 47 mm ± 1 mm de diamètre et pesant entre 420 et 445 g, en acier. Ces boulets ne doivent pas s'user de façon trop irrégulière. -Un moteur d'au moins 0,75 kw assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours par minute. -Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai. -Un compte-tours de type rotatif, arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulu. <p>4.2 Appareillage d'usage courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> -un jeu de tamis de dimension convocables, leur diamètre ne devra pas être inférieur à 25 mm. -Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage. <p style="text-align: center;">5. MATERIAU SOUMIS A L'ESSAI</p> <p>5.1 Prise d'échantillon :</p> <p>La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire sera au moins égale à 15 000 g. L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme NF P 18-553.</p> <p>5.2 Préparation de l'échantillon pour essai :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand. -Laver le matériau tamisé et sécher à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention de la masse constante. La masse de l'échantillon pour essai sera de 5 000g ± 2 g. 		

6. EXECUTION DE L'ESSAI :**6.1 Mise en place de l'échantillon pour essai :**

Introduire avec précaution la charge boulets de la classe granulaire choisie, puis l'échantillon pour essai. la charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après :

Classes granulaires en (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (en g)
4 - 6,3	7	3080
6,3 - 10	9	3960 + 20
10 - 14	11	4840 - 150
10 - 25	11	4840
16 - 31,5	12	5280 + 20
25 - 50	12	5280 - 150

-Replacer le couvercle.

-Faire effectuer à la machine 500 rotations sauf pour la classe 25-50 ou l'on effectue 1 000 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 33 tr /mn.

-Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération.

-Laver le refus au tamis de 1,6 mm. Egoutter et sécher à l'étude à 105°C jusqu'à masse constante.

-Peser ce refus une fois séché .soit m' le résultat de la pesée.

7. EXPRESSION DES RESULTATS

Le coefficient Los Angeles est, par définition, le rapport :

$$100 m / 5 000$$

Où $m = 5 000 - m'$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm, en grammes. Le résultat sera arrondi à l'unité.

Annexe.B.III. DETERMINATION DE LA PROPRETE DES SABLES : EQUIVALENT DE SABLE A 10 % DE FINES (NF P.18-597).

NORME FRANÇAISE ENREGISTRÉE	GRANULATS DETERMINATION DE LA PROPRETE DES SABLES : EQUIVALENT DE SABLE A 10 % DE FINES	NF P 18-597 Décembre 1979
<p align="center">1. OBJET</p> <p>La présente norme a pour objet de définir une caractéristique de sables intitulée «Equivalent de sable à 10 % de fines» et de fixer la méthode permettant de déterminer cette caractéristique.</p> <p>2. DOMAINE D'APPLICATION</p> <p>La présente norme s'applique aux sables d'origine naturelle ou artificielle destinés aux usages routiers ainsi qu'aux bétons hydrauliques. Elle ne s'applique pas aux sables dont la dimension D est inférieure à 1,6 mm.</p> <p>3. GÉNÉRALITÉS</p> <p>L'essai d'équivalent de sable à 10 % de fines permettant de mesurer la propreté d'un sable et effectuer sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 0,08 mm a été ramenée à 10 % à l'aide d'un sable correcteur. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floclent.</p> <p>La valeur de l'équivalent de sable à 10 % de fines (ps) est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floclat.</p> <p>4. APPAREILLAGE ET PRODUITS UTILISÉS</p> <p>Voir norme française NF P. 18-598 ; articles 2.1.1, 2.1.2, et 2.1.3. Prévoir en plus un tamis de 0,08 mm.</p> <p>5. MATÉRIAU SOUMIS A L'ESSAI</p> <p>L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme Nf P. 18-553. Sa masse doit être telle que la fraction passante au tamis de 2 mm pèse 1500 g environ. Sur celui-ci, procéder par quartage à la préparation de trois échantillons pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La détermination de la teneur en eau ω, la préparation du sable correcteur et la détermination de la teneur en fines - La préparation des échantillons pour essai. l'essai s'effectue avec le matériau à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour essai doit être de 120 g \pm 1 g. Si l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier avant le quartage afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation. <p>5.1- DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU DU TAMISAT :</p> <p>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, ravonnement, infra-rouge...</p> <p>5.2- DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN FINES ET PRÉPARATION DU SABLE CORRECTEUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Si ms est la masse de ce refus à 0,08 mm, $F = 100 - ms(100 + \omega) / Mh$</p> <p>La masse msc du sable correcteur (refus sec à 0,08 mm) à ajouter pour la préparation d'un échantillon pour essai, exprimée en grammes, est donnée par la formule : $msc = 120 - 1200 / f$</p> <p>5.3- PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS POUR ESSAI :</p> <p>Si f est inférieur à 11 %, il n'y a pas lieu d'utiliser du 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 : $120(1 + \omega / 100)$</p> <p>Si f est supérieur à 11 %, ajouter à la masse du troisième échantillon une quantité de sable correcteur sec msc calculée suivant la formule donnée à l'article 5.2. La masse de l'échantillon pour essai, exprimée en grammes, est alors égale à : $1200 / f * (1 + \omega / 100)$.</p> <p>Dans tous les cas, préparer deux échantillons par essai.</p> <p>6. EXÉCUTION DE L'ESSAI</p> <p>Voir LA norme NF P 18-598.</p> <p>7. EXPRESSION DES RÉSULTATS</p> <p>La propreté du sable est, par définition, mesurée au piston et donnée par la formule : $ps = h2 / h1 * 100$</p> <p>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.</p> <p>(*) NF P 18-598 «équivalent de sable», homologuée en avril 1966 sous l'indice NF P 18-501</p> <p>(**) NF P 18-553 «préparation d'un échantillon pour essai».</p>		