

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE HADJ LAKHDAR – BATNA –
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE



MEMOIRE

Présenter pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

En : Science de la Terre

Spécialité : GEOLOGIE DE GENIE CIVIL ET DES MILIEUX AQUIFERES

Thème

**ETUDE DES PROPRIETES GEOTECHNIQUES DES
AGREGATS DE LA SERIE TURONO-CONIACIENNE DU
DJEBEL ICH-ALI (WILAYA DE BATNA)**

Présenté par: **ATOUB Souad**

Devant le jury composé de ;

Président : **MENANI M. R.** Professeur, Université de Batna

Directeur de thèse : **YAHIAOUI A.W.** MC-A, Université de Batna

Examineurs : **CHADI M.** MC-A, ENS Constantine

MARMI R. Professeur, Université de Constantine

SOUTENUE LE 02/07/2014

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE HADJ LAKHDAR – BATNA –
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE



MEMOIRE

Présenter pour l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

En : Science de la Terre

Spécialité : **GEOLOGIE DE GENIE CIVIL ET DES MILIEUX AQUIFERES**

Thème

**ETUDE DES PROPRIETES GEOTECHNIQUES DES
AGREGATS DE LA SERIE TURONO-CONIACIENNE DU
DJEBEL ICH-ALI (WILAYA DE BATNA)**

Présenté par: **ATOUB Souad**

Devant le jury composé de ;

Président : **MENANI M. R.** Professeur, Université de Batna

Directeur de thèse : **YAHIAOUI A.W.** MC-A, Université de Batna

Examineurs : **CHADI M.** MC-A, ENS Constantine

MARMI R. Professeur, Université de Constantine

SOUTENUE LE 02/07/2014

AVANT PROPOS

Au terme de ce travail et des sciences, je remercie tout d'abord, notre Dieu le tous puissant qui nous a donné la force, la volonté et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Mes plus sincères remerciements vont également à Monsieur le Directeur et personnels de la carrière Tahar louchene Ain Touta. En particulier, M. Maache D, M. Dey S, M. Dey O, M. Fatoume D.

Mes remerciements vont également a Messieurs Menani M.R, Chadi M. ; Marmi R. d'avoir d'évaluer notre travail.

En fin, je remercie ma famille pour leurs encouragements et leur soutien. De vifs remerciements à tous mes amis qui ont toujours soutenue et encouragé.

RESUME

Dans l'étude des Agrégats Turono-coniacienne de Djebel Aich-Ali (Sud-ouest de la ville de Batna), les paramètres concernant la qualité des granulats sont nombreux. Nous avons déterminé la qualité de ces matériaux par :

L'étude pétrographique a montré que le niveau inférieur est caractérisé par la présence des bancs calcaireux argileux et l'intercalation des joints marneux, contre les deux niveaux médianes et supérieurs qui sont caractérisés par des calcaires stratifiés à moins stratifiés.

Les essais mécaniques sur ces trois niveaux présagent des propriétés médiocres dans le niveau inférieur et de bons résultats aux techniques routières et sur le béton des deux autres niveaux.

Enfin, et sur la base des propriétés géotechniques, physiques et mécaniques des agrégats, nous avons évalué ces matériaux pour les routes et pour le béton. Selon les spécifications du LCPC (laboratoire centrale des poids et chaussés) et les normes Françaises et Arabiques, on peut dire que les deux niveaux exploitables sont bonnes pour le domaine routier (spécialement en couche de fondation, couche de base et couche de surface) et dans le domaine du béton.

Mots-clés : Agrégats, essais mécaniques, propriétés géotechniques, béton, couche de surface, couche de fondation, couche de base

ملخص

في الدراسة الخاصة بالحصى تورونو قونياسيان، لجبل عيش على (الجنوب الغربي لمدينة باتنة) ،
العوامل الخاصة بنوعية الحصى متعددة تقوم بتحديد خاصية هذه المواد بـ:

الدراسة البيتروغرافية توضح وجود طبقة سفلى تتميز بوجود مستويات كالكارية وجيرية، على عكس
المستويين المتوسط والعلوي الذين يتميزين بطبقات كالكارية متطبقة إلى أقل طبقة .

التجارب الميكانيكية على المستويات الثلاث تدلنا مسبقا على الخاصية الضعيفة للمستوى السفلي ونتائج
جيدة للمستويين الاخرين في مجال تقني للطرق والإسمنت.

أخيرا، وعلى ضوء الخصائص الجيو تقنية ، الفيزيائية، الميكانيكية للحصى، يمكننا تقييم هذه المواد
بالنسبة لمجال الطرق والإسمنت حسب خصوصية المعايير المعتمدة من طرف المخبر المركزي في الجسور
والطرق (LCPC, France) والمعايير الحديثة الفرنسية والعربية، يمكننا القول أن الوجدتين السفليتين تعطي
نتائج جيدة في ميدان الطرق (خاصة في طبقة الأساس، طبقة القاعدة والطبقة السطحية) ، وكذلك في مجال
الإسمنت.

الكلمات المفتاحية: حصى، تجارب ميكانيكية، خصائص جيو تقنية، إسمنت، طبقة الأساس، طبقة القاعدة وطبقة
السطح.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	1
CAPITRE I: GENERALITES	2
I- 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	3
I- 2 GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES	4
I- 2. 1 Litho-stratigraphie	4
a) Trias	4
b) Jurassique	6
c) Crétacé	6
d) Paléogène	7
e) Néogène	8
f) Quaternaire	8
I- 3 CADRE STRUCTURAL	8
I- 3. 1 LES GRANDES STRUCTURES DE MASSIF DES AURES	8
I- 3. 2 Anticlinal de Djebel Ich-Ali (Djaiz, 2011)	9
II- GEOLOGIE LOCALE	12
II-1. Litho stratigraphie	12
II- 2. Pétrographie	15
II- 2.1. Les roches calcaires	15
II- 2. 2. Classification des roches calcaires	16
a) Classification de Folk	16
b) Classification de Dunham	17
II- 2. 3. Description des microfaciès	18

III- Domaine d'utilisation	24
III- 1 Exigence sur la qualité des agrégats	24
III- 1. 1 Granulats pour béton	24
III- 1. 2 Granulats pour technique routières	26
a) Définitions	26
b) Propriétés des granulats	27
III- 2 Spécifications Minimales des granulats	30
III- 3 Synthèse	34
IV- CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES	37
IV- 1. PROPRIETEEES PHYSIQUES	37
IV- 1.1 Matériels et Méthodes	39
IV- 1. 1.1 Echantillonnage	39
a) Prélèvement sur le tas (sable et gravillons)	39
b) Échantillonnage en laboratoire	39
IV- 1. 1.2 Analyse granulométrique	40
a) Equipement nécessaire (NF EN 933-2)	41
b) Conduite de l'essai (NF EN 933-1)	42
c) Expression des résultats : courbe granulométrique	44
IV- 1. 1. 3 Mesure du Coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3)	45
a) Principe de l'essai	46
b) Conduite de l'essai	47
c) Expression du coefficient d'aplatissement <i>Fl</i>	47
IV- 1. 1. 4 Mesure de la propreté des granulats	48
1) Essai de la propreté superficielle (NF P.18-591)	49

2) Essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8)	49
a) Conduite de l'essai	52
b) Expression des résultats.	53
3) Essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9)	53
a) Confection d'essai	54
b) Expression des résultats	56
c) Contrôle de conformité d'un granulat	57
IV- 1. 1.5 Détermination de la masse volumique d'un sable ou d'un gravier	57
IV- 2. Caractéristique mécanique	61
IV- 2. 1. Résistance mécanique: Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)	61
IV- 2. 2. Résistance à l'usure: Essai micro-Deval (NF EN 1097-1)	62
IV- 2. 3. Mesure du coefficient de polissage accéléré des gravillons	63
IV- 4 Résultats et discussion	64
IV- 4.1 Propriétés physiques	64
IV- 4.2 Caractéristiques mécaniques	65
IV- 4.3 Fiche Technique produit	66
CONCLUSIONS GENERALES	70
Références bibliographiques	71
ANNEXES	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : situation locale de la zone d'étude; Encarta 2009	3
Figure 2 : Photo Satellite de la carrière Ain-Touta.	4
Figure 3 : Carte géologique des Aurès (Laffitte, 1939)	5
Figure 4 : Schéma structurale des Aurès et des régions voisines (Guiraud, 1973)	10
PLANCHE I : Photos des faciès	13
Figure 5 : log litho-facial de la bande carbonatée	14
Figure 6 : Classification des calcaires selon la nature des constituants (Folk, 1959)	17
Figure 7 : Schéma de nomenclature routière (Faure, 1998)	26
Figure 8 : Vue panoramique des trois parties du front de taille de la carrière Ain – Touta	37
PLANCHE II-a : Micorfaciès Turono-Coniacienne des formations calcaires	19
PLANCHE II-b : Micorfaciès Turono-Coniacienne des formations calcaires	21
Figure 9 : schéma d'une opération de quartage	40
Figure 10 : <i>Forme d'un granulat</i>	46
Figure 11 : Définition de l'équivalent de sable	50
Figure 12 : Matériel pour essai d'équivalent de sable	51
Figure 13 : Processus de l'essai d'équivalent de sable	53
Figure 14 : Prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la masse volumique absolue	58
Figure 15 : Principales étapes de mesure de la masse volumique	59
Figure 16 : Moule et dame pour coefficient d'absorption des sables	60
Figure 17 : Tambour rotatif utilisé pour un essai Los Angeles	62
Figure 18 : Machine d'essais Micro-Deval composée de 4 cylindres rotatifs	63
Figure 19 : Fuseau de fabrication des gravillons 4/8 pour Roulement	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableaux nominatifs de quelques roches carbonatées en fonction des teneurs en Constituants	15
Tableau 2: Classification roches carbonatées (Dunham, 1962)	18
Tableau 3: Codification des granulats pour mortiers et bétons hydrauliques (Dupain et al, 2009)	25
Tableau 4: Codification des granulats pour chaussées ; couches de fondation, de base et de liaison	28
Tableau 5: Codification des granulats pour chaussées (couche de roulement)	29
Tableau 6: classes de trafic (SETRA, LCPC 2000)	30
Tableau 7: Spécification des granulats pour un emploi en STLH dans les assises de chaussés (SETRA, LCPC 2000)	30
Tableau 8: Spécification des granulats pour un emploi en GNT dans les assises de chaussés (SETRA, LCPC 2000)	31
Tableau 9: Spécification des granulats pour un emploi en GTLH dans les assises de chaussés (SETRA, LCPC 2000)	32
Tableau 10: Spécifications des granulats pour enrobés hydrocarbonés (Dupain et al, 1995)	33
Tableau 11: Tableau récapitulatif des spécifications retenues pour l'utilisation de granulats en fonction du trafic et la couche visée	35
Tableau 12: Paramètres caractéristiques des granulats (Dupain et al., 2009)	38
Tableau 13: Série de tamis autorisés par la définition des classes granulaires (mm)	42
Tableau 14: Dimension des tamis imposés par (en mm) EN 933-2	43
Tableau 15: Correspondance entre classes granulaires d/D et largeur E des grilles à fentes utilisées	47
Tableau 16: Procédure de réalisation de l'essai au bleu de méthylène	55
Tableau 17: Masse volumique de l'eau à différentes températures	60
Tableau 18: Propriétés physiques des granulats	64
Tableau 19: Propriétés mécaniques des granulats	65
Tableau 20: Exigences que doit respecter le producteur pour roulement (gravillon 4/8)	67
Tableau 21: Résultats de production pour roulement (gravillon 4/8)	68

INTRODUCTION GENERALE

Le granulat étant la matière première essentielle dans les différents usages du domaine des travaux publique :

Ces derniers décennies, l'intérêt suscite par le matériau calcaire n'a cesse de grandir pour diverses raisons (scientifiques, économiques...), les deux domaines les plus consommables ce matériaux sont le domaine de construction par leur utilisation dans le béton et le domaine routier.

L'objectif de ce travail de mémoire est de donner une caractérisation géotechnique des agrégats de la série Turono- coniacienne de Djebel Aich Ali, nous avons consacré cette étude à une unique carrière représentative de la région.

Ce mémoire s'articule en quatre chapitres explicités ici :

- Le premier chapitre permettre de situer la région et de donner son contexte géologiques.

- Nous tenterons dans une étude locale de donner une définition litho facial de la série étudiée.

Toujours dans ce chapitre, nous procéderons à l'analyse pétrographique des microfaciès et la détermination des microfaciès rencontrés.

- Le troisième chapitre que nous avons intitulé : domaine d'utilisation, dans ce chapitre nous avons présenté des exigences sur la qualité des granulats et les spécifications minimales d'emploi.

- Enfin dans le quatrième chapitre, essais géotechnique, nous avons essayé déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des produits granulats et d'évaluer les matériaux, en question, pour les deux grands domaines consommateurs des granulats, évidemment, les routes et le béton.

Chapitre I

Généralités

I- 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les granulats qui font l'objet de notre étude (figure 1) sont situés à 23 km au Sud-ouest de la ville de Batna et à 12 km au Nord-est de la ville d'Ain Touta au endroit dit Bled Tafrent.

Administrativement, le gisement dépend de la wilaya de Batna, la superficie de la carrière est de 119 ha, dont les coordonnées délimitant cette exploitation sont:

$$X = 798\ 500$$

$$Y = 242\ 000$$



Figure 1 : situation locale de la zone d'étude; Encarta 2009.



Figure 2: Photo Satellite de la carrière Ain-Touta.

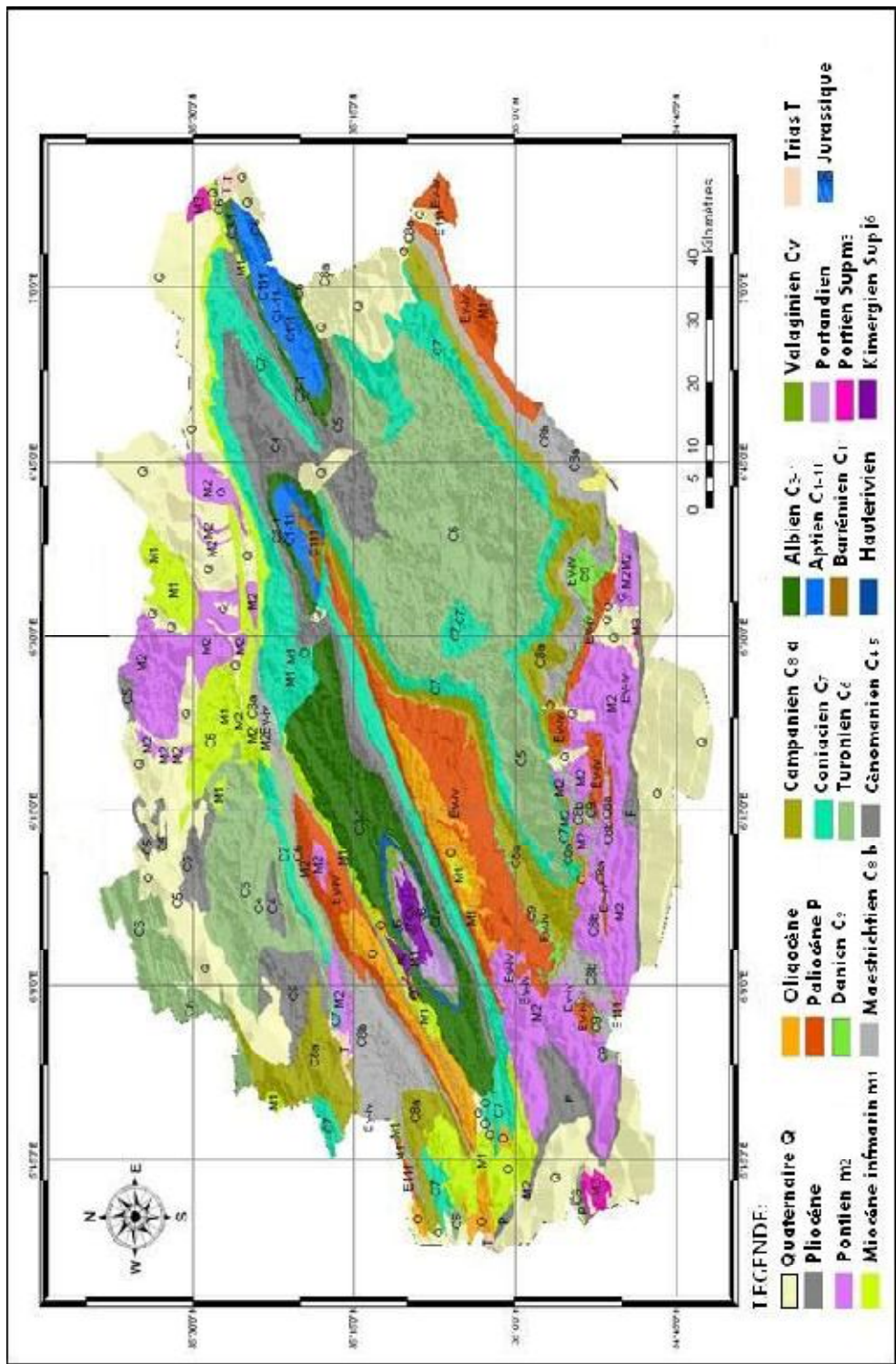
I- 2 GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES

I- 2. 1 Litho-stratigraphie

La carte géologique réalisée par **Lafitte** en **1939** nous permet de localiser les différents affleurements présents dans le massif des Aurès. La série stratigraphique de ces formations, en partant de la plus ancienne à la plus récente, est la suivante (figure 3) :

a) Trias

Le trias correspond aux terrains les plus anciens des zones externes de la chaîne Alpine. Il est essentiellement évaporitiques et se présente sous forme de structure diapirique et en lames injectées le long des accidents tectoniques. Les affleurements d'extension et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en plusieurs dizaines de points dans les Aurès, ou sur les bordures (**Herkat, 1982**).



b) Jurassique

➤ Lias

Le Lias est connu en position normale et quand on le rencontre, il est emballé dans le Trias sous forme de lambeaux constitués d'argiles schisteuses (Menaâ, centre Aurès) ou de dolomies (El Outaya).

A l'Ouest de l'Aurès (Atlas saharien oriental), il est représenté par des calcaires jaunes et bleus à Bélemnites et Foraminifères du Toarcien inférieur (**Flandrin, 1952**). Par contre sur la marge septentrionale de la plate forme saharienne, il est formé de calcaires oolithiques et de dolomies et se charge en anhydrite en allant vers le Sud.

➤ Kimméridgien

Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans le massif de l'Aurès où il forme une boutonnière entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Labiod (anticlinal de Dj El azereg). Il se scinde en deux ensembles bien distinctes avec :

- Un ensemble carbonaté basal, d'une épaisseur de 250 à 300m,
- Un ensemble marneux sommital, d'une épaisseur de 400 m.

➤ Portlandien et le Berriasien

Cet ensemble, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente sous deux faciès bien distincts formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NW et un faciès dolomitique au SW du massif Aurésien.

c) Crétacé

Il affleure largement dans les monts de Belezema – Batna et l'Aurès où tous les étages (du Burriasien au Maastrichien) sont représentés. Lithologiquement, le crétacé est caractérisé par deux types de sédiments (**Yahiaoui, 1990**): l'un localisé dans la partie inférieure, est formé de faciès détritiques, l'autre, développé dans la partie supérieure, est composé de marno-calcaires.

C'est sur cette base faciologique que le crétacé a été subdivisé par **Laffite (1939)** en : Crétacé inférieur ou série gréseuse (Berriasien Albien) (2000 m) et en crétacé supérieur ou série marno-calcaire (Cénomaniens à Maastrichien) (3000 m).

➤ Crétacé inférieur

Il couvre une grande partie des anticlinaux des monts de Belezma- Batna (Djebel Refaa, Djebel Touggurt, Ravin bleu, Djebel Sarif) et peut être subdivisé en quatre ensembles lithologiques :

- Un ensemble basal (1300 m) à dominance carbonatée avec des calcaires micritiques et bioclastiques en bancs métriques (Tithonique supérieur – Berriasien moyen).
- Un ensemble inférieur (1000 m) à dominance argileuse, correspondant à la formation argilo-silto-gréseuse datée du Berriasien supérieur à valanginien (**Donze, 1974**).
- Un ensemble médian (1400 m) à dominance grés-dolomitique appartenant à l'Hauterivien-Barremien, dans lequel, le détritico-siliceux atteint son plus grand développement pendant le Barrémien.
- Un ensemble supérieur (700 m à 750 m) comprenant à la base des dolomies et une alternance de grès, de calcaire à orbitolines, puis des grès à stratifications oblique, des marnes gréseuses, des calcaires marneux et des calcaires au sommet, attribué à l'Aptien-Albien.

➤ Crétacé supérieur

Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans les monts de Belezma-Batna (Kef Akhal, Djebel Tugurt, Djebel Ain Drihem) et dans l'Aurès (Djebel Metlili, dépression d'El Kantara, Djebel Chentouf, Ras Igguédlène et Djebel Akhal). Morphologiquement ; il forme de vaste dépression sénocènes faites de marnes, d'argiles à intercalations calcaires et de reliefs marno-calcaires comprenant une épaisse barre à rudistes du Cénomaniens à Turonien. Localement, les reliefs peuvent être couronnés par des calcaires massifs du Maastrichtien.

d) Paléogène

Les dépôts de cet étage sont développés dans les zones synclinales. Ils sont constitués par des calcaires, des marnes et parfois du gypse et du phosphore.

Dans le sommet du Paléogène, il y a l'existence des sables, des conglomérats et des brèches.

Le Paléogène se caractérise par une grande amplitude de déplacements verticaux et peut atteindre 2000m.

e) Néogène

Le Néogène a été décrit pour la première fois par **Fournel** en **1849**. Il regroupe les formations continentales souvent rubéfiées d'âge mi-pliocène (**Kilian, 1931**) et l'ensemble des formations rouges tertiaires de l'Aurès. Ces formations sont souvent discordantes sur un substratum déjà tectonisé lors de la phase atlasique de l'Eocène supérieur et surmontées par des dépôts Quaternaires légèrement discordants (**Guiraud, 1978**). Les principaux affleurements sont signalés en bordure des bassins, recouverts par des dépôts du quaternaire, ou dans les centres des bassins.

f) Quaternaire

Les dépôts de cette période sont représentés par les formations récentes ; ils sont développés essentiellement dans les parties bordières des massifs montagneux (les éboulements et les terrasses) et dans les vallées (les couvertures alluviales). Ces dépôts sont constitués par des argiles sableuses, des accumulations de débris et de galets de différentes roches avec quelques Sources liées aux Tufs calcaires.

I- 3 CADRE STRUCTURAL

I- 3. 1 LES GRANDES STRUCTURES DE MASSIF DES AURES

Le massif de l'Aurès, faisant partie orientale de l'Atlas saharien, est caractérisé de nombreuses unités géologiques qui correspondent à des ensembles morpho-structuraux.

Il occupe une aire géographique s'étendant du Bassin du Hodna -l'Outaya à l'ouest jusqu'aux monts de Nememcha-Ain Beïda à l'est. Au sud il est limité par la flexure sud atlasique (flexure nord saharienne), tandis qu'au nord il est limité par les Monts de Bellezma. La structure de l'Aurès est matérialisée par de vastes anticlinaux et étroites synclinaux, bien individualisés, réguliers et orientés NE-SW. Les structures majeures qui comportent des potentiels en matière d'agrégats sont :

- Anticlinal de Djebel Azreg
- L'Anticlinal de Djebel Ich-Ali
- L'Anticlinal du Djebel Metlili

- L'Anticlinal de Djebel Igguèdlène
- Le synclinal de Bouzina

Notre zone d'étude correspond au Anticlinal de Djebel Ich-Ali.

I- 3. 2 Anticlinal de Djebel Ich-Ali (Djaiz, 2011)

L'anticlinal de Djebel Ich-Ali apparait comme un bombement de direction ENE-WSW à cœur formé de marnes et de calcaire du Cénomaniens. Les flancs Nord et Sud sont constitués par des assises turoniennes à faible pendage. L'anticlinal est affecté par un système des failles de directions NW-SE, NE-SW, ou parfois ENE-WSW à E-W. L'extrémité occidentale de l'axe anticlinal a subi un affaissement et se prolonge sous les alluvions de la plaine quaternaire d'Ain Touta.

Les failles de directions E-W au sud de Dj. Ich Ali (accident Batna-Djebel Chélia) limite le Cénomaniens du Turonien, provoque une torsion dextre de la limite Est péri anticlinale du massif de Ich Ali et décale à Médina ce dernier vers le sud. Ce décrochement dextre est lié à une phase tectonique anté-miocène probablement se rapportant à l'Eocène supérieur. Les failles de directions NW-SE (N140°E) décalent les accidents et les structures tectoniques de direction NE-SW dans la partie Est de Ich Ali. Ces dernières sont d'âge Eocène terminal liées à la phase Atlasique (**Bureau, 1975**).

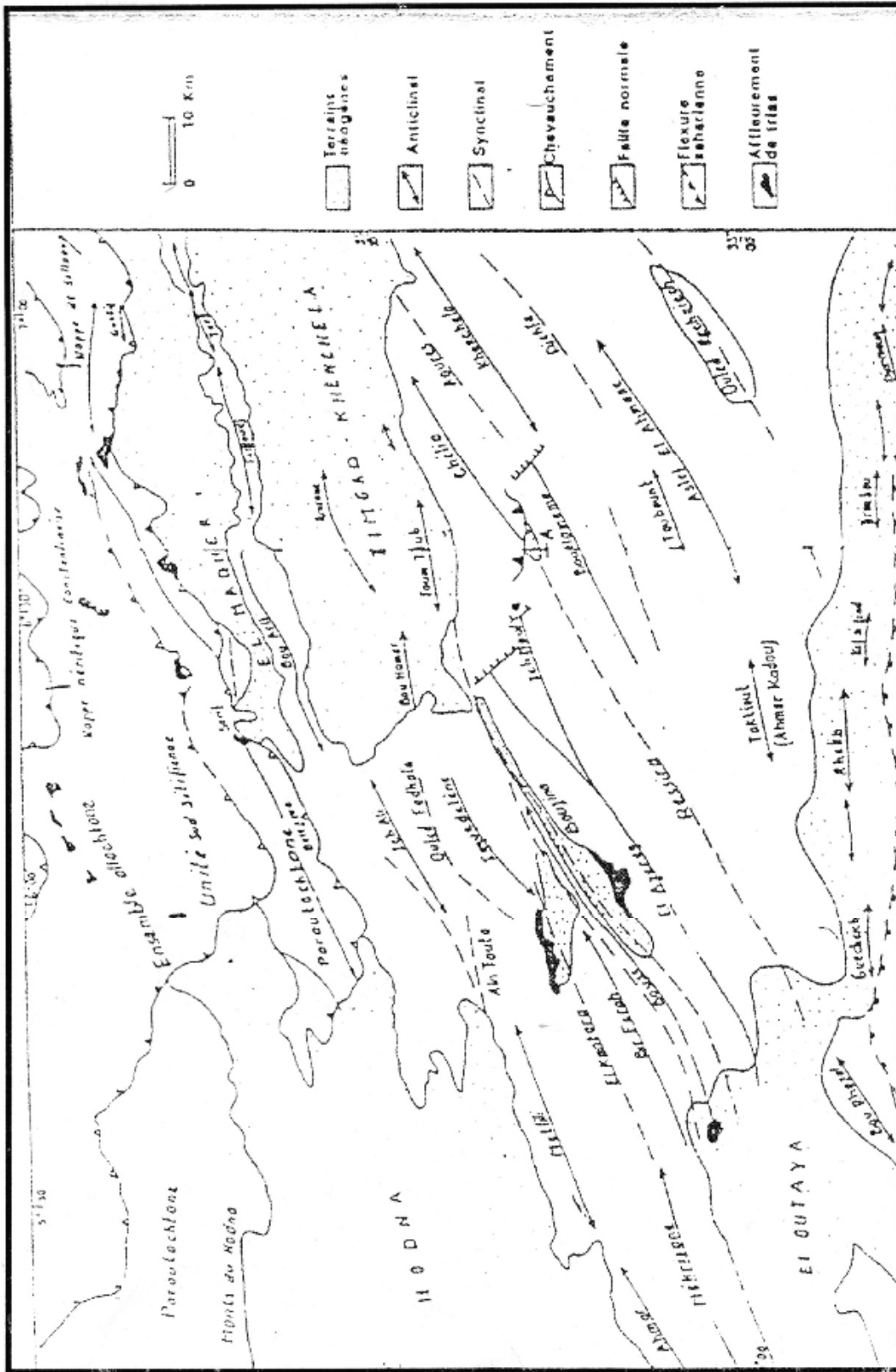


Figure 4 : Schéma structurale des Aurès et des régions voisines (Guiraud, 1973)

Chapitre II

Cadre géologique local

II- GEOLOGIE LOCALE

Dans cette partie seront présentés succinctement la notion de calcaire, puis les paramètres conduisant au classement des roches calcaires, en fonction notamment des éléments constitutifs, des conditions de dépôt et de diagenèse. Cette approche est appliquée au calcaire Turono-Coniacienne de Djebel Aich-Ali.

Ces éléments contribuent à une meilleure connaissance « géomécanique » de cette série.

II-1. Litho stratigraphie

La série sédimentaire de la partie NW du Djebel Tafrenet est affectée par des failles de direction NW-SE provoquant plusieurs compartiments décalés verticalement les uns par rapport aux autres. Le compartiment limité à l'Ouest par l'Oued Tafrenet fait l'objet d'une exploitation par les carrières d'agrégats.

La série marno-calcaire du Djebel Tafrenet a été subdivisée en deux formations d'âge Turono-coniacien (**Yahiaoui, 1990**):

L'une basale à dominance carbonatée et l'autre sommitale à dominance marneuse, seule la formation basale a été exploitée.

Trois niveaux lithologiques sont présentés au sein du gisement (**figure 5**):

- **Niveau inférieur**, a une puissance de 11m, calcaire argileux (fin) sombre avec la présence de géode de dissolution (**PL. Ia. Ph2**), constituée de :
 - 06 m de calcaire argileux d'aspect massif, phosphatés, laminés et ferrugineuse. La stratification a été soulignée par des diastèmes bien observées.
 - 05 m de calcaires argileux stratifiés d'aspect massif, phosphatés.
- **Niveau médian**, même épaisseur que le précédent (11 m), constitué de (6 m) de calcaires stratifiés en bancs mince de 0,1 à 0,2m a la base, et (5m) de calcaire noduleux, sombre à plus ou moins stratifiés au sommet.
- **Niveau supérieur** (18 m), constituée de :
 - 08 m Calcaires stratifiés à la base à rudistes.
 - 05 m de calcaires stratifiés d'aspect massif, fins, sombre à Huitres.

PLANCHE I: Photos des faciès



Photo 1 : Calcaire massif stratifié à traces des rudistes



Photo 2 : Géode de dissolution dans les calcaires fins et sombres

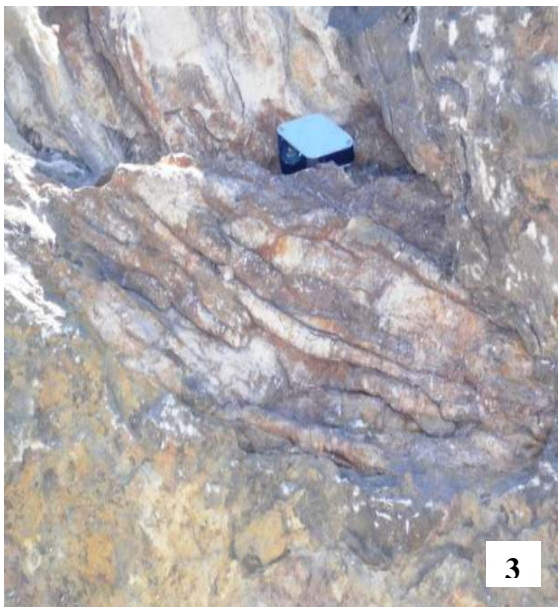


Photo 3: Terriers centimétriques



Photo 4 : Calcaire bioclastique d'aspect noduleux et graveleux

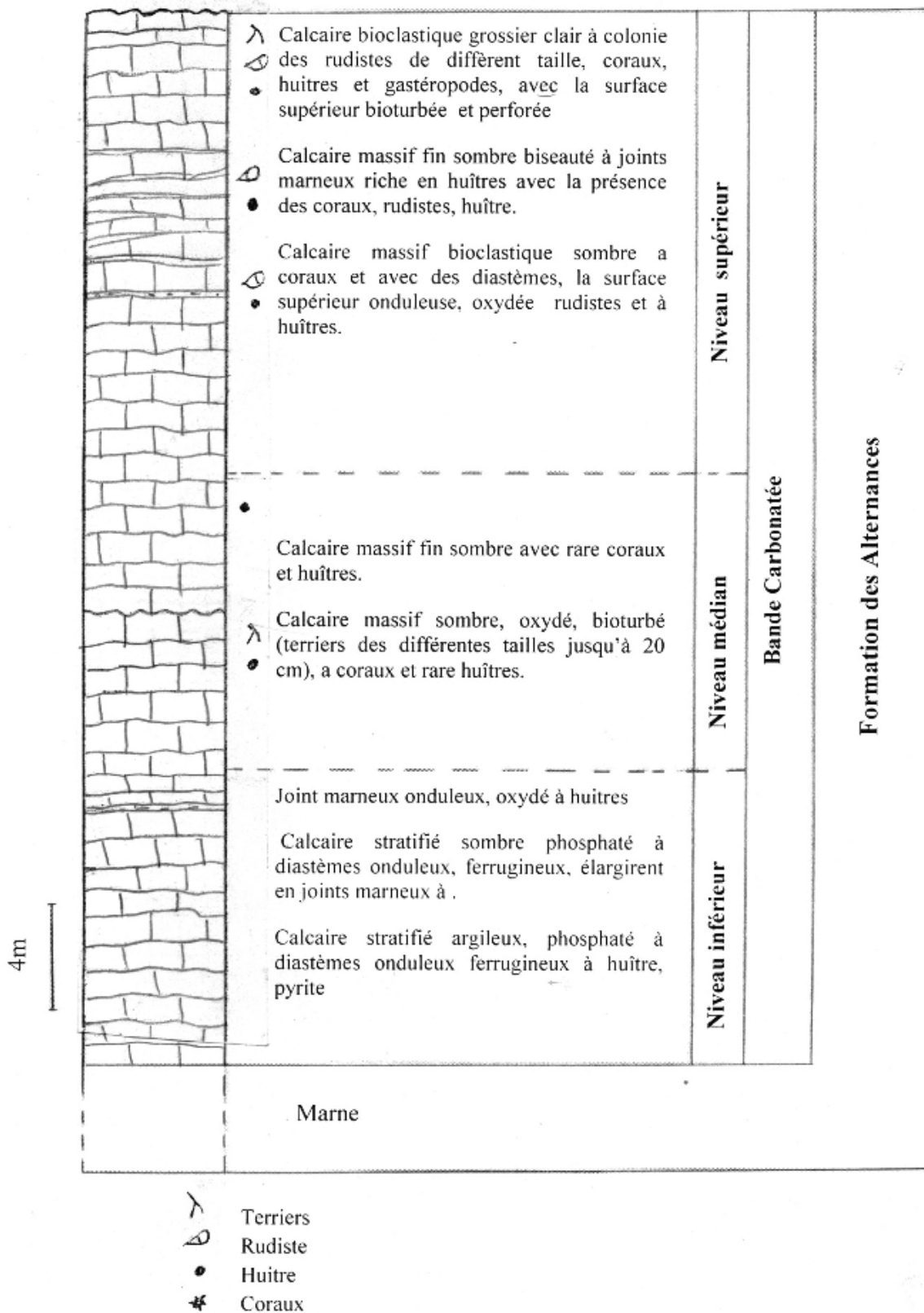


Figure 5: log litho-facial de la bande carbonatée

- 04 m de calcaires stratifiés d'aspect massif sublithographiques, sombre à coraux.
- la partie sommitale de Cette unité correspondant aux calcaires bioclastiques grossiers et Oolitiques (1,2 m) qui se termine par une surface supérieure perforée, ferrugineuse, encroutée et bioturbée avec des terriers de différentes tailles (**PL. Ia. Ph3 et Ph4**).

II- 2. Pétrographie

II- 2.1. Les roches calcaires

Les roches calcaires sont des roches sédimentaires carbonatées issus d'un mélange de constituants minéraux, ces roches contiennent essentiellement du matériel carbonaté, à hauteur de 50% au minimum. Le plus souvent il se trouve sous la forme de carbonate de calcium CaCO_3 (aragonite ou calcite) - comme dans le cas des calcaires, mais d'autres formes carbonatées peuvent apparaître : le carbonate de magnésium MgCO_3 , le carbonate double $(\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2$ également appelé dolomite ou encore le carbonate de fer FeCO_3 .

Hormis les carbonates, certains calcaires contiennent également de l'argile ou encore du quartz. En fonction des proportions de chacun des constituants (carbonates, argile et quartz) les roches possèdent des noms particuliers comme l'indiquent les tableaux schématiques suivants :

Tableau 1 : Tableaux nominatifs de quelques roches carbonatées en fonction des teneurs en Constituants

Dolomite	10%	50%	90%	Calcite
Dolomie	Dolomie calcaire	Calcaire dolomitique	Calcaire	
Argile	33%	66%		Calcite
Argile	Marne calcaire	Marne	Calcaire marneux	Calcaire
Sable	10%	50%	90%	Calcite
Grès	Grès calcaire	Calcaire gréseux	Calcaire	

II- 2. 2. Classification des roches calcaires

IL s'agit de rappeler les deux méthodes de classification courantes des roches carbonatées calcaires afin de pouvoir donner une description des microfaciès de ces formations.

a) Classification de Folk

La classification des roches selon Folk fait essentiellement intervenir des critères descriptifs.

La description des roches repose sur les trois éléments suivants :

- Les éléments constitutifs de la roche,
- La matrice,
- Le ciment.

Folk considère trois types de constituants principaux :

- Grains d'origine intra-bassin (allochème), qui sont les éléments constitutifs de la roche,
- Micrite (boue de calcite microcristalline),
- Sparite (calcite limpide).

A partir de ces trois termes, il forme trois familles principales :

- Roches allochimiques sparitiques.
Ces roches sont formées d'allochèmes cimentés par de la calcite limpide. La calcite ne formant pas la roche à elle seule, les subdivisions se font selon le classement des particules, car le rapport allochème / calcite limpide varie peu.
- Roches allochimiques micritiques.
Elles sont formées d'allochème dans une matrice de calcite microcristalline. Le rapport allochème sur boue varie beaucoup car, à la limite, la boue calcaire peut constituer une roche à elle seule. Les subdivisions se font donc suivant la proportion des particules.
- Roches micritiques.
Ces roches sont uniquement formées de calcite microcristalline.

Il existe toutefois une quatrième famille : les biolithiques. Ce sont les roches construites. Du point de vue de la nomenclature, les familles principales sont subdivisées selon la proportion des différents allochèmes.

Les noms de la classification peuvent être précisés par des termes modificateurs ayant trait à la taille des grains, à la présence d'éléments terrigènes, à des constituants particuliers.

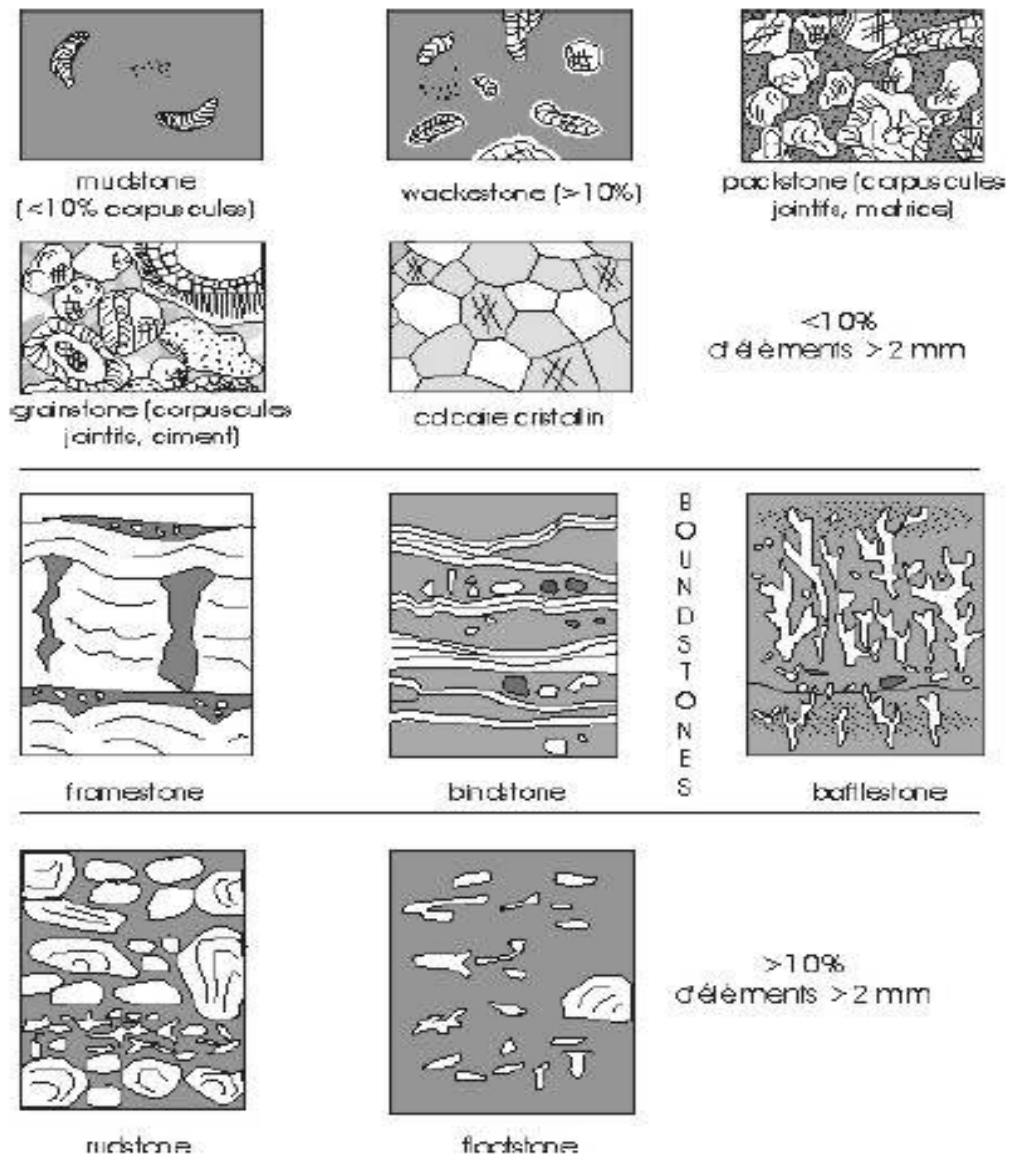


Figure 6: Classification des calcaires selon la nature des constituants (Folk, 1959)

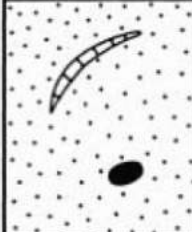
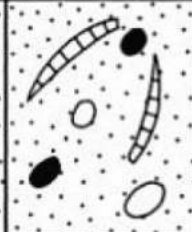
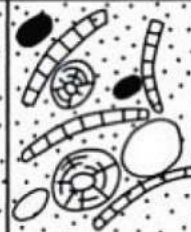
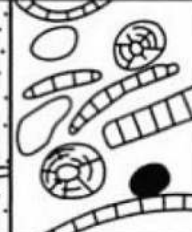
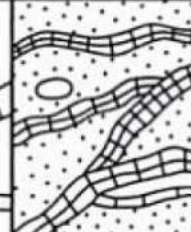
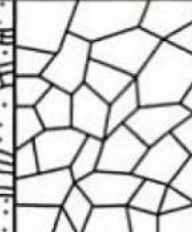
b) Classification de Dunham

On retient généralement la classification de Dunham qui se base sur une observation des textures de dépôt. Ainsi, suivant que les constituants de la roche sont joints ou séparés et suivant la quantité de grains et de boue carbonatée constituant la roche,

Dunham, définit 5 classes texturales :

- Mudstone
- Wackstone
- Packstone
- Grainstone
- Boundstone

Tableau 2: Classification roches carbonatées (Dunham, 1962)

Texture de dépôt reconnaissable					Texture de dépôt non reconnaissable
Moins de 10 % de grains	Plus de 10 % de grains	Grains jointifs	Uniquement des grains	Pas de grains discernables Calcaire construit	
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
					

II- 2. 3. Description des microfaciès

L'analyse pétrographique des échantillons prélevés dans les différentes formations observées sur les fronts de tailles de la carrière, nous a permis de distinguer les microfaciès suivantes (planche II):

- **Biomicrite à foraminifères benthiques et annélides (PL. II-a. Ph5)**

La texture est wackestone à packstone, le classement est médiocre, les bioblastes sont représentés par des foraminifères benthiques (*Cuniolina*, *miliolidae*, *sonayina* et *Litiolidae*), et rare lamelibranche, échinides, anilide de grande taille, Phénomènes observés ; enveloppe micritique parfois très développée, dissolution et recristallisation par la calcite.

- **Biosparite à pellets (PL. II-a. Ph6)**

La texture est grainstone, les bioclastes sont représentés par pellets, des foraminifères (miliole, quenculuna, textularidé, bisérié) , débris d'algues, débris de Bryozoaires, débris de lamelibranche. La présence de quelques cristaux de quartz. On note la présence d'une micritisation complète (dissolution et recristallisation).

- **Biomicrite à Rudiste (PL. II-a. Ph7)**

La texture est mudstone, les bioclastes sont représentés par des débris de grande taille, Rudistes, algues rouges très développés, lamelibranche en grande quantité.

PLANCHE II-a: Micorfaciès Turono-Coniacienne des formations calcaires

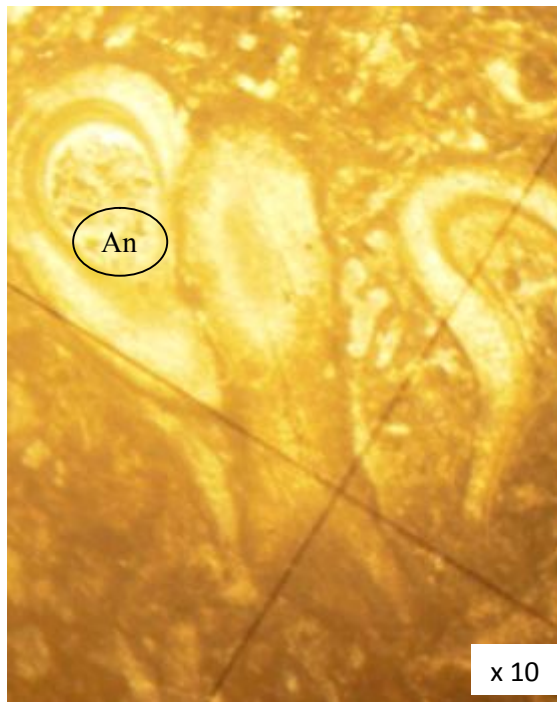


Photo 5 : Biomicrite à foraminifères benthiques et annélides (An)

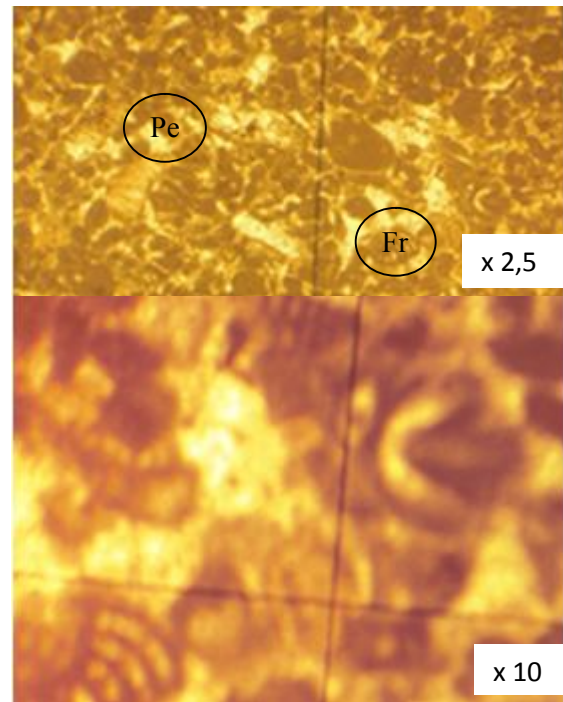


Photo 6 : Biosparite à foraminifères(Fr) benthiques et pellets (Pe)

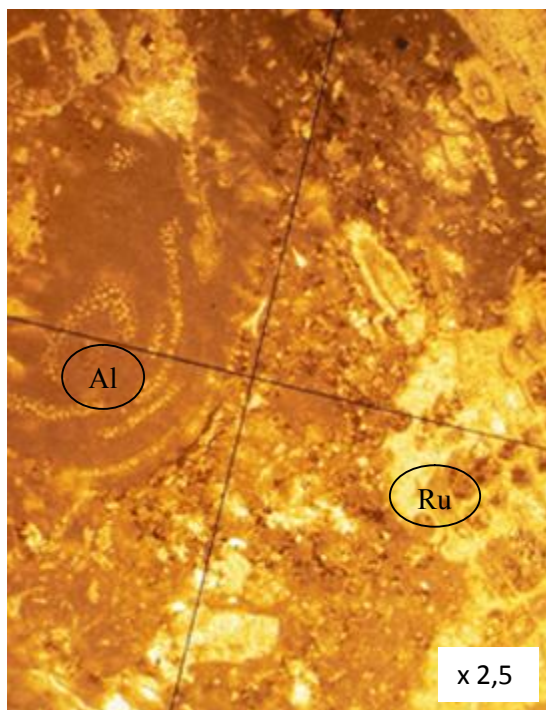


Photo 7 : Biomicrite à Rudiste ; algues rouges très développées, Lamellibranches en grande quantités

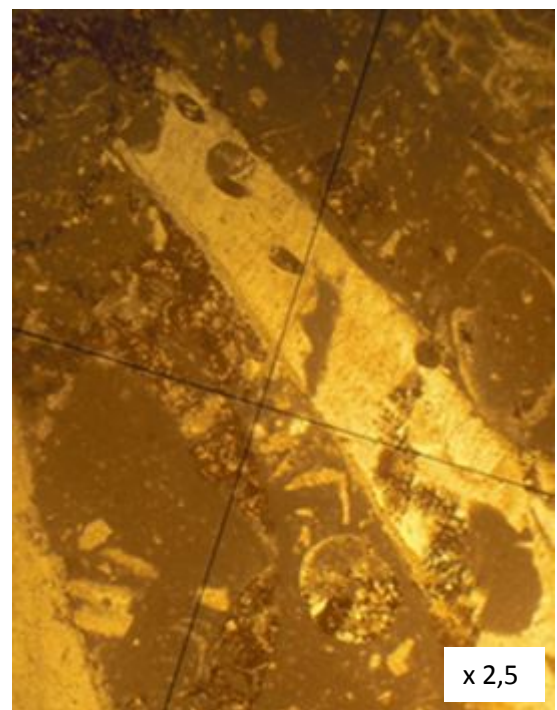


Photo 8 : Encroutements ; bioturbations

Les phénomènes diagénétiques sont représentés par une ferrugénisation, dolomitisation, bioturbation très intense avec débris perforés (encroutement), encroutement touche particulièrement les formations carbonatées ou les algues encroutent les différentes particules (lamelibranches, échinodermes, foraminifères...) et rhomboèdre de la dolomie, compaction mécanique.

- **Biomicrite foraminifères benthiques et ostracodes (PL. II-b. Ph10)**

La texture est wackstone, le classement est mauvais, les bioclastes sont représentés par des foraminifères benthiques, spécule d'éponge, algues vertes, ostracodes, échinides.

On note la présence des phénomènes d'oxydation, dissolution et recristallisation par la calcite.

- **Biomicrite à Rudiste et rare foraminifères**

La texture est packstone, les bioclastes sont représentés par des débris de lamelibranches de taille variée, débris de corail, débris d'échinodermes, présence de phosphate .

- **Biomicrite à foraminifères benthiques (PL. II-b. Ph12)**

La texture est wackstone à packstone, le classement est bon.

Les bioclastes sont représentés par une richesse des foraminifères benthiques (des Textularidés, *Cuniolina*, *Quenculiquilina* et *Globogerina*), certains Bryozoaires, des Gastéropodes et rare Lamelibranches, échinides, certains Bryozoaires, algue verte, Gastéropodes à petite quantité.

On note la dissolution de quelques formes surtout observées sur les Bryozoaires.

PLANCHE II-b: Microrfaciès Turono-Coniacienne des formations calcaires

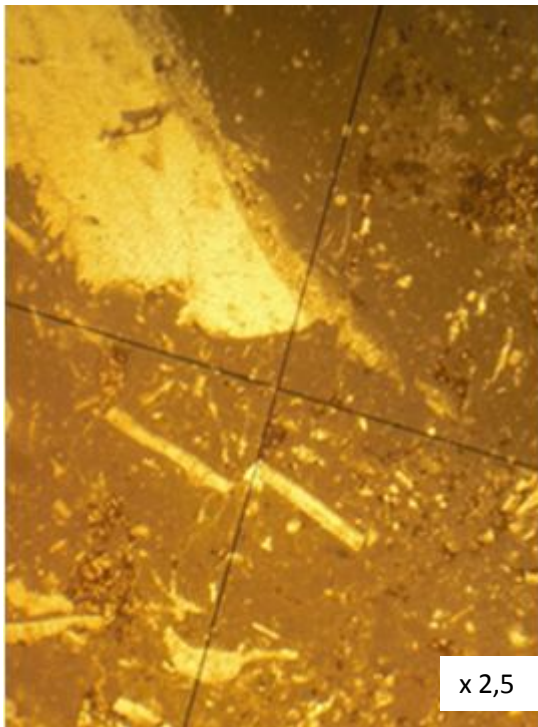


Photo 9 : Compaction mécanique

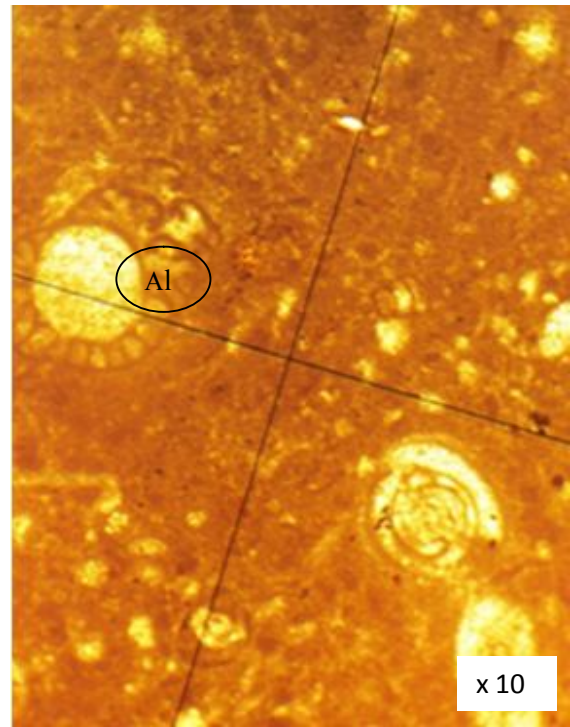


Photo 10 : Biomicrite à foraminifères benthiques ; algues vertes (Al)

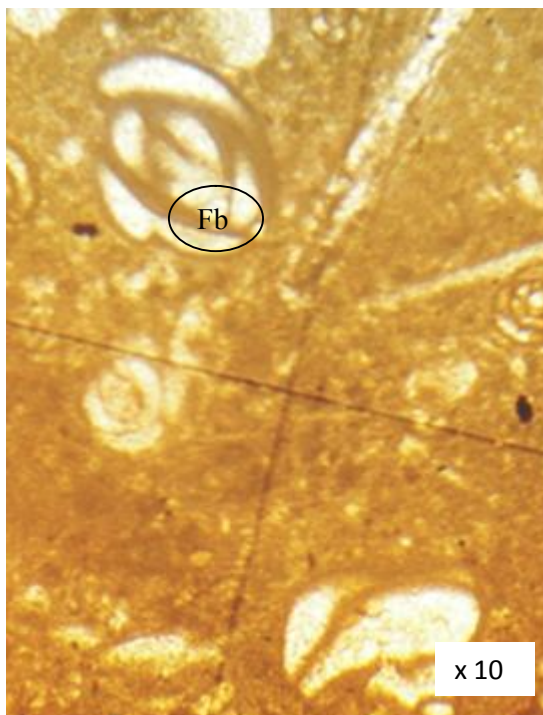


Photo 11 : Biomicrite à foraminifères benthiques

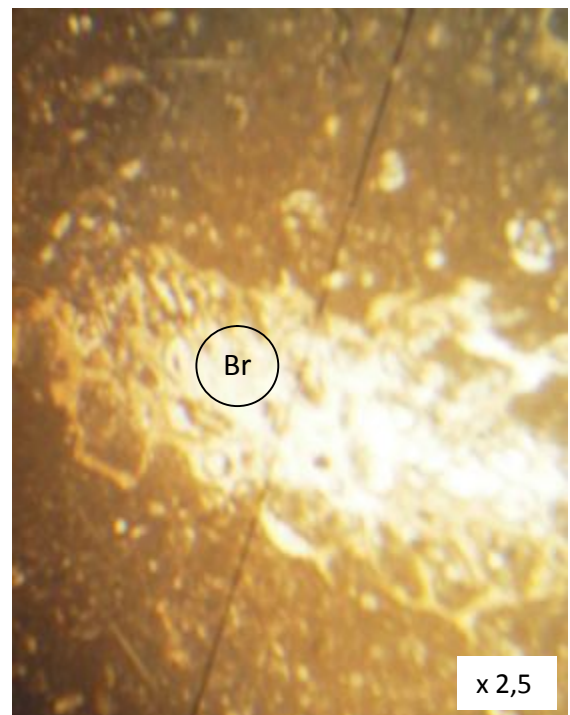


Photo 12 : Biomicrite à foraminifères benthiques ; dissolution des Bryozoaires

➤ Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons essayés de distinguer plusieurs faciès et microfaciès parmi les quelles :

Calcaire argileux, représenté deux microfaciès :

- Wackestone à annélides, milioles et gastéropodes ;
- Wackestone à rudiste, algues, foraminifères benthiques et polypiers

Calcaire bioclastique grossier, représenté par :

- Packstone à huitres, rudistes et foraminifères benthiques

Calcaire graveleux, représenté par deux microfaciès :

- Packstone-grainstone à pelletoides.
- Packstone-grainstone à intraclaste et foraminifères.

Calcaire massif, représenté par :

- Wackestone à foraminifères benthiques, rudistes et gastéropodes.
- Packstone à polypiers et algue

Calcaire micritique, représenté par deux microfaciès :

- Wackestone à rares organismes
- Mudstone à microdébris indéterminables.

Chapitre III

Domaine d'utilisation

III- Domaine d'utilisation

Ce Troisième chapitre, essentiellement bibliographique, est dédié à la présentation des exigences sur la qualité des granulats. Ensuite des spécifications minimales d'emploi sont données.

III- 1 Exigence sur la qualité des agrégats

L'utilisation d'un granulat impose la maîtrise de ses caractéristiques ; d'où le concept de qualité. La qualité définie par des essais faisant l'objet de normes fondées sur un jugement concernant l'emploi des granulats (les spécifications propre à chaque utilisation). Certaines caractéristiques des matériaux sont peu modifiables car elles sont intimement liées aux propriétés intrinsèques du matériau ; ce sont les propriétés physico-mécaniques.

D'autre par contre, sont améliorables par la mise en œuvre de matériels et méthode d'exploitation et d'élaboration appropriées, ce sont la granulométrie et la propreté.

III- 1. 1 Granulats pour béton

La norme **XP18-545** distingue 4 catégories de granulats : A, B, C, D, par ordre de qualité décroissante. Le tableau 15 reprend quelques-unes des spécifications qui définissent ces catégories. Dans ce tableau FTP R signifie que la norme n'impose aucune spécification, mais que la Fiche Technique Produit doit renseigner sur la propriété concernée.

Les tableaux suivants reprennent quelques unes de ces spécifications concernant les granulats pour bétons hydrauliques. Pour certains de ces caractéristiques, la norme indique des valeurs spécifiées, inférieures et supérieures : V_{si} et V_{ss} .

Si s est l'écart-type estimé par le laboratoire de contrôle du fournisseur, celui-ci doit faire en sorte que X , la valeur moyenne de la caractéristique contrôlée satisfasse la relation :

$$V_{si} \leq X \pm 1,25 s \leq V_{ss}$$

Tableau 3: Codification des granulats pour mortiers et bétons hydrauliques (Dupain et al, 2009)

Code	A	B	C	D
Absorption d'eau WA (%)	$\leq 2,5$	≤ 5	≤ 6	FTP R
Tamisat à $2D$ (%)	100	100	100	FTP R

Gravillons

Coefficient Los Angeles LA	≤ 30	≤ 40	≤ 40	≤ 50
Tamisat à $1,4D$ (%)	≥ 98	≥ 98	≥ 98	FTP R
Tamisat à D (%) si $D \leq 11,5$ ou $D/d \leq 2$	80 à 99	80 à 99	80 à 99	FTP R
Tamisat à d (%) si $D \leq 11,2$ ou $D/d \leq 2$	90 à 99	90 à 99	90 à 99	FTP R
Tamisat à D (%) si $D \leq 11,2$ ou $D/d \leq 2$	≤ 20	≤ 20	≤ 20	FTP R
Tamisat à d (%) si $D > 11,2$ et $D/d > 2$	≤ 15	≤ 15	≤ 15	FTP R
Tamisat à $d/2$ (%)	≤ 5	≤ 5	≤ 5	FTP R
Teneur en fines f (%)	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
Coefficient d'aplatissement Fl	≤ 20	≤ 35	≤ 35	≤ 50

Sable

Tamisat à $1,4D$	≥ 95	≥ 95	≥ 95	≥ 95
Tamisat à D (%)	85 à 99	85 à 99	85 à 99	85 à 99
Teneur en fines f (%)	≤ 10	≤ 16	≤ 16	≤ 22
Valeur de bleu MB	≤ 1	≤ 2	≤ 2	FTP R

Graves

Tamisat à $1,4D$ (%)	≥ 98	≥ 98	≥ 98	≥ 98
Tamisat à D (%)	85 à 99	85 à 99	85 à 99	85 à 99
Teneur en fines f (%)	≤ 11	≤ 11	≤ 11	FTP R
Valeur de bleu MB	≤ 2	≤ 2	≤ 2	FTP R

III- 1. 2 Granulats pour technique routières

a) Définitions

Les ouvrages classiques du domaine routier (**Faure, 1998, Maillot, 2001**) s'accordent pour définir la chaussée routière comme étant une structure multicouche plane conçue et dimensionnée pour:

- garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers ;
- assurer cette fonction sur une période de service minimale fixée dès l'avant-projet.

La figure 7 (**Faure, 1998**) synthétise de manière schématique les ensembles de couches.

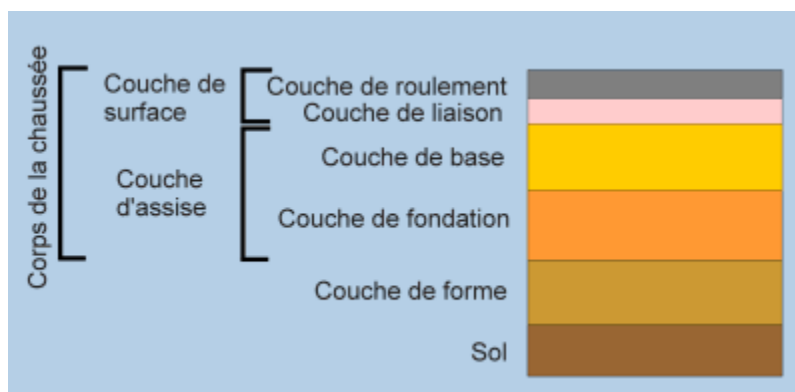


Figure 7: Schéma de nomenclature routière (**Faure, 1998**)

Cinq couches se superposent pour constituer la chaussée : premièrement la couche de forme, ensuite l'ensemble couche de base / couche de fondation qui constitue l'assise de chaussée et enfin le duo couche de liaison / couche de roulement. Chacune de ces couches possède un rôle particulier :

- **la couche de forme** : à court terme, la couche de forme doit assurer la traficabilité des engins qui approvisionnent en matériaux les couches supérieures pendant la durée des chantiers. Elle doit également permettre le compactage efficace de la couche de fondation et assurer la protection de l'arase de terrassement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation du corps de la chaussée. À long terme, elle doit permettre d'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante et de maintenir dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée.

- **la couche d'assise** : l'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches : la **couche de fondation** surmontée de **la couche de base**. Ces deux couches apportent à la chaussée la résistance mécanique nécessaire afin de subir les charges induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le sol support pour pouvoir maintenir les déformations dans des limites admissibles. Pour les chaussées à faible trafic, le rôle de la couche de fondation peut être assuré par un traitement du sol en place.

- **la couche de surface** : la couche de surface est également constituée de deux couches, la **couche de liaison** et la **couche de roulement**. Cette dernière est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions du trafic et du climat. Quant à la couche de liaison, elle permet, comme son nom l'indique, de lier la couche de roulement à la couche d'assise.

L'ensemble couche d'assise et couche de surface est parfois repris sous le nom de corps de chaussée.

b) Propriétés des granulats

La norme **XP18-545** distingue différentes catégories de granulats : Les tableaux suivants reprennent quelques unes de ces spécifications concernant les granulats pour chaussées. Pour certains de ces caractéristiques, la norme indique des valeurs spécifiées, inférieures et supérieures : V_{si} et V_{ss} .

Dans ces tableaux :

- Les matériaux A sont généralement des granulats qui présentent d'excellentes caractéristiques mécaniques vis-à-vis de la résistance aux chocs et à l'attrition mais également un très fort CPA. Les matériaux A sont réservés pour la réalisation des couches de roulements à base de liants hydrocarbonés (enrobés ou enduits superficiels).
- Les matériaux de catégorie B sont également utilisables pour des applications du domaine des couches de roulement mais on peut trouver, dans cette catégorie, des granulats dont le CPA est (relativement) faible, rendant de fait leur emploi en couche de surface inappropriée.
- De la catégorie C à la catégorie E, nous trouvons la majorité des matériaux utilisés en structure routière.
- En fin, la catégorie F est la limite de la classification proposée. Elle concerne tous les granulats très tendres.

Tableau 4: Codification des granulats pour chaussées ; couches de fondation, de base et de liaison

Code	B	C	D	E	F
L _A	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 40	FTP R
M _{DE}	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 35	FTP R

Gravillons

Code	III	IV	V
Tamisé à 2D (%)	100	100	FTP R
Tamisé à 1,4D (%)	≥ 98	≥ 98	FTP R
Tamisé à D (%)	80 à 90	80 à 90	FTP R
Tamisé à D/1,4(%) si D > 11,2 ou D/d > 2	25 à 80 ou 20 à 70	25 à 80 ou 20 à 70	FTP R
Tamisé à D/2(%) si D/d > 4		20 à 70	FTP R
Tamisé à d (%)	≥ 20	≥ 20	FTP R
Tamisé à d/2 (%)	≤ 5	≤ 5	FTP R
Teneur en fines f (%)	≤ 1	≤ 2	FTP R
Coefficient d'aplatissement Fl	≤ 25	≤ 35	FTP R

Sable et grave

Code	a	b	c	d
Tamisé à 2D (%)	100	100	100	FTP R
Tamisé à 1,4D (%)	≥ 98	≥ 98	≥ 98	FTP R
Tamisé à D (%)	85 à 99	85 à 99	80 à 99	
Valeur de bleu MB	≤ 2	≤ 2,5	≤ 3	
Valeur d'équivalent de sable SB	≥ 60	≥ 50	≥ 40	FTP R

Tableau 5: Codification des granulats pour chaussées (couche de roulement)

Code	A	B	C
Coefficient Los Angeles <i>LA</i>	≤ 20	≤ 20	≤ 25
Coefficient micro-Deval <i>MDE</i>	≤ 15	≤ 15	≤ 20
Coefficient de polissage accéléré <i>PSV</i>	≤ 50	≤ 50	≤ 50

Gravillons

Code	I	II	III
Tamisat à $2D$ (%)	100	100	100
Tamisat à $1,4D$ (%)	≥ 98	≥ 98	≥ 98
Tamisat à D (%)	85 à 99	85 à 99	85 à 99
Tamisat à $D/1,4$ (%)	25 à 80 ou 20 à 70	25 à 80 ou 20 à 70	25 à 80 ou 20 à 70
Tamisat à d (%)	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Tamisat à $d/2$ (%)	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Teneur en fines f (%)	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	≤ 1
Teneur en fines f (%) si $MB_F \leq 10$	$\leq 0,5$	≤ 1	≤ 2
Coefficient d'aplatissement Fl	≤ 15	≤ 20	≤ 25

Sable et grave

Code	Tamisat à $2D$ (%)	Tamisat à $1,4D$ (%)	Tamisat à D (%)	Valeur de bleu MB
A	100	≥ 98	85 à 99	≤ 2

III- 2 Spécifications Minimales des granulats

En technique routière, le choix des granulats est à effectuer en fonction de deux critères : la position dans la structure et la classe de trafic envisagée.

Les classes de trafic sont rappelées dans le tableau suivant (**Tableau 6**), en fonction du trafic poids lourds journalier moyen ou PLMJA (un poids lourd est un véhicule de PTAC $\geq 3,5$ t) de la voie la plus chargée de la chaussée.

Tableau 6: classes de trafic (**SETRA, LCPC 2000**)

Classe de trafic	T ₅	T ₄	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	T _S	T _{EX}
Seuils de trafic (PLMJA/sens)			85	200	500	1200	3000	
Limite MJA	25	50	150	300	750	2000	5000	

Les tableaux suivants rappellent les spécifications d'emploi des granulats dans les assises de chaussées.

Tableau 7: Spécification des granulats pour un emploi en STLH dans les assises de chaussées (**SETRA, LCPC 2000**)

Usage	Caractéristiques	Classe de Trafic				
		< T ₃	T ₃	T ₂	T ₁	>T ₀
Fondation	Granularité	sables grossiers, moyens, fins				
	Propreté	PR 1 ou PR 2				
	Friabilité	Fs < 50				
Base	Granularité	sables grossiers, moyens, fins	sables grossiers, moyens		Non admis	
	Propreté	PR 1 ou PR 2				
	Friabilité	Fs < 50				

Tableau 8: Spécification des granulats pour un emploi en GNT dans les assises de chaussées (SETRA, LCPC 2000)

Usage	Caractéristiques	Classes de Trafic					
		T ₅	T ₄	T ₃	T ₂	T ₁	≥ T ₀
Fondation	Granularité	0/63 0/31,5 0/20		0/31,5		0/20	
	Résistance mécaniques des gravillons	E		D	C		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	IV		III			
	Caractéristiques de fabrication des sables	c	B				
	Angularité des gravillons et des sables	Ic > 30 (**)		Ic > 30	Ic > 60	Ic = 100	
Base	Granularité	0/ 14 ou 0/ 20					
	Résistance mécaniques des gravillons	E	D (***)	C (***)			
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Ic > 30		Ic > 60			
	Caractéristiques de fabrication des sables	B					
	Angularité des gravillons et des sables	Ic > 30		Ic > 60			
		Non admis					

(*) Les graves non traitées ne peuvent être employées en fondations pour des trafics T₁ que sur une plate-forme de classe de portance ≥ PF2.

(**) Pour les trafics T₄ et T₅ en fondation, on peut admettre des granulats d'angularité < 30 sous réserve que les graves non traitées restent aux épaisseurs de mise en œuvre, traficables et compactables.

(***) Dans le cas où la GNT est caractérisée par l'essai triaxial à chargements répétés, les granulats pouvant être de classe de résistance mécanique E pour un trafic T₄ et D pour un trafic T₃.

Tableau 9: Spécification des granulats pour un emploi en GTLH dans les assises de chaussées (SETRA, LCPC 2000)

Usage	Caractéristiques	Classes de Trafic				
		< T ₃	T ₃	T ₂	T ₁	>T ₀
Fondation	Granularité	0/ 14 ou 0/ 20				
	Résistance mécaniques des gravillons	E			D	
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	III				
	Caractéristiques de fabrication des sables	B				
	Angularité des gravillons et des sables	Ic ≥ 30				
Base	Granularité	0/ 14 ou 0/ 20				
	Résistance mécaniques des gravillons	E	D			
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	III				
	Caractéristiques de fabrication des sables	B				
	Angularité des gravillons et des sables	Renforcement sous circulation Ic ≥ 30 Ic ≥ 60 Ic = 100 Base de chaussée neuve (ou fondation de chaussée en béton) Ic ≥ 30 Ic ≥ 60 Ic = 100				

Tableau 10: Spécifications des granulats pour enrobés hydrocarbonés (Dupain et al, 1995)

Trafic (essieux de 13 tonnes)	Spécification	Couche de liaison	Couche de roulement
T ₄ (25/jour)	A (%) LA MDE CPA P (%) ES	≤ 30 ≤ 30 ≤ 25 ≤ 2 ≥ 50	≤ 30 ≤ 25 ≤ 20 ≤ 0,5 ≤ 2 ≥ 50
T ₃ (25 à 150/ jour)	A (%) LA MDE CPA P (%) ES	≤ 30 ≤ 25 ≤ 20 ≤ 2 ≥ 50	≤ 25 ≤ 25 ≤ 15 ≤ 0,5 ≤ 2 ≥ 50
T ₂ (150 à 300/jour)	A (%) LA MDE CPA P (%) ES	≤ 25 ≤ 25 ≤ 20 ≤ 2 ≥ 50	≤ 20 ≤ 20 ≤ 15 ≥ 0,5 ≤ 2 ≥ 50
T ₁ (300 à 750/ jour)	A (%) LA MDE CPA P (%) ES	≤ 20 ≤ 25 ≤ 20 ≤ 2 ≥ 50	≤ 20 ≤ 20 ≤ 15 ≥ 0,5 ≤ 2 ≥ 50
T ₀ (>750/ jour)	A (%) LA MDE CPA P (%) ES	≤ 20 ≤ 25 ≤ 20 ≤ 2 ≥ 50	≤ 20 ≤ 15 ≤ 15 ≥ 0,5 ≤ 2 ≥ 50

III- 3 Synthèse

La quantité importante de paramètres à classifier dans le cas de la normalisation des granulats nous impose de réaliser une synthèse générale des paramètres pris en compte pour la réalisation des assises de chaussées.

Aussi, afin d'avoir un meilleur éclairage sur les paramètres de classification les plus importants, nous avons réalisé le tableau synthétique suivant qui donne pour un granulat quelconque, les caractéristiques attendues en fonction de son utilisation (couche de base, couche de fondation, et de couche de surface) et du trafic à supporter.

Afin de faciliter sa lecture, nous avons repris la codification de la norme **NA 5043**. Ainsi, la combinaison de ce tableau et de ceux présentés plus haut permet d'obtenir toutes les exigences sur les caractéristiques des granulats.

Illustrons l'intérêt d'un tel tableau par un exemple. Pour qu'une source de granulats puisse être utilisée en grave traitée au liant hydraulique dans une couche de base sous un trafic T_3 , elle doit posséder :

- les caractéristiques intrinsèques du code D c'est-à-dire : LA_{30} et $M_{DE\ 25}$
- les caractéristiques de fabrication des gravillons du code III c'est-à-dire : $f(\%) \leq 1$
et
 $Fl \leq 25$
- les caractéristiques de fabrication des sables et graves du code b c'est-à-dire : $SB \geq 50$
et $MB \leq 2,5$.

Tableau 11: Tableau récapitulatif des spécifications retenues pour l'utilisation de granulats en fonction du trafic et la couche visée

Trafic	Couche de fondation		Couche de base		Couche de surface		
	GNT	GTLH	GNT	GTLH	C. Laison	C. Roulement	B. Hydraulique
T ₅	IV-E - C	III- b- E	IV - E- b	III - E - b	-	-	B et C
T ₄	IV - E - b		IV -D -b				
T ₃	III - D - b		III - C - b	III - D - b	III - A - a	III - A - a	III - B - a
T ₂	III - C- b	-					
T ₁		-					
≥T ₀	-		-				

GNT : Graves non traitées

GTLH : Graves traitées aux liants hydrauliques

Chapitre IV

Essais géotechniques

IV- CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Après avoir étudié le contexte géologique, les essais géotechniques est une étape indispensable pour mettre en évidence les caractéristiques physico-mécaniques des granulats, selon les normes européennes (AFNOR) en vigueur.

Ses résultats seront alors complétées par celles issues du laboratoire central, effectuées durant 6 mois (Janvier au Joine 2011) par l'entreprise national des granulats (E.N.G), afin d'évaluer les matériaux pour les deux domaines consommateurs des granulats, évidemment, les routes et le béton.

La figure 8 présente trois parties du front de taille de la carrière Ain –Touta. Pour cette étude, les produits exploités sont issus des deux fronts Est et Ouest



Figure 8: Vue panoramique des trois parties du front de taille de la carrière Ain -Touta

IV- 1. PROPRIETES PHYSIQUES

Certaines propriétés des granulats sont directement liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originelles ; c'est le cas de la *masse volumiques* réelle, de l'absorption d'eau, mais aussi de la résistance mécanique qui peut s'exprimer par la résistance à la fragmentation, à l'usure ou au polissage.

D'autres caractéristiques dérivent du mode d'élaboration des granulats par concassages de roches massives en carrières. Il s'agit principalement des paramètres liés à la distribution dimensionnelle des grains ou *granularité*. Ces caractéristiques sont complétées par celles liées à la propreté des matériaux obtenues en évaluant le pourcentage des fines ainsi que leur degré de pollution par les minéraux argileux qui sont néfastes à la fabrication de béton de qualité. A ces paramètres s'ajoutent des caractéristiques liées à l'angularité et la forme des grains ainsi qu'à leur sensibilité au gel, leur porosité et leur réactivité chimiques.

Il en résulte une dispersion sur les caractéristiques finales du matériau élaboré, ce qui oblige les producteurs à une grande rigueur dans la spécification des produits. Les normes citées énoncent ces spécifications et permettent à l'utilisateur de choisir les granulats en fonction de l'usage prévu. Le tableau 3 résume les caractéristiques recherchées pour les granulats, dans le cas d'un usage routier ou pour la réalisation des bétons. Les essais sont présentés dans les pages suivantes permettent de quantifier ces caractéristiques.

Tableau 12: Paramètres caractéristiques des granulats (Dupain et al., 2009)

	Granulats pour usages routiers	Granulats pour bétons
Mise en œuvre	Comportement à court terme : <ul style="list-style-type: none"> - granulométrie - angularité - propreté - teneur en eau - masse volumique 	Comportement à long terme : <ul style="list-style-type: none"> - granulométrie - angularité - propreté - teneur en eau - masse volumique - coefficient d'absorption
Niveau de service	Evolution à long terme et niveau d'usage : <ul style="list-style-type: none"> - résistance mécaniques : <ul style="list-style-type: none"> • à la fragmentation • à l'usure • au polissage - affinité aux liants - gélivité - angularité 	Résistance mécaniques et durabilité <ul style="list-style-type: none"> - résistance mécanique - affinité aux liants - gélivité - teneur en chlorure et sulfates - alcali réactivité

IV- 1.1 Matériels et Méthodes

IV- 1. 1.1 Echantillonnage

Les essais effectués en laboratoire portant nécessairement sur des quantités réduites de matériau qui doivent cependant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau dans lequel on a fait le prélèvement. Pour cela, il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Ce problème est complexe à résoudre mais il conditionne en grande partie la fiabilité des résultats obtenus au cours des essais de laboratoire.

Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps :

- Prélèvement sur le chantier, la carrière ou l'usine d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit, Cette étape de l'échantillonnage fait l'objet de la norme **EN 932-1**.
- Au laboratoire, prélèvement sur l'échantillon de la quantité nécessaire à l'essai que l'on appelle prise d'essai. Cette étape fait l'objet de la norme **EN 932-2**.

a) Prélèvement sur le tas (sable et gravillons)

Lorsqu'un matériau granulaire est soumis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en éléments de faibles diamètres. On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin.

Dans le cas des matériaux de carrière, il faudra prendre en compte l'hétérogénéité des différents bancs rocheux exploités.

b) Échantillonnage en laboratoire

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, se fait à l'aide d'un échantillonneur. Cet appareil de laboratoire permet de

diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.

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

Le procédé peut être résumé par la figure 9 ci-dessous. Celle-ci permet de sélectionner une masse m à partir d'un prélèvement de masse $3m$.

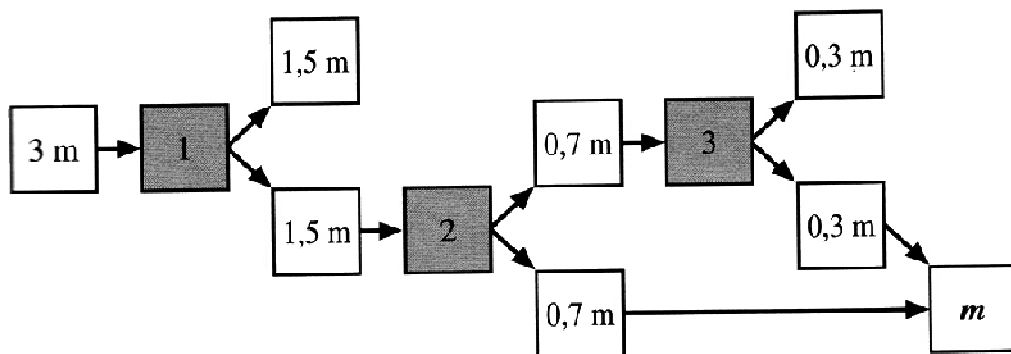


Figure 9: schéma d'une opération de quartage

L'exploitation sélectionnée produisait des granulats de coupures 0/4, 4/8, 8/16, 16/22 et au-delà. Un concasseur à mâchoire (primaire) été utilisé pour produire ces classes granulaires.

Différents essais ont été réalisés sur ces classes granulaires (propriétés mécaniques et physiques...) et les résultats obtenus seront par la suite représentatifs des formations Turono-coniacien similaires.

IV- 1. 1.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux représentatifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 90 mm, à l'exclusion des **Fillers**. A noter qu'il faut éviter la confusion entre **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 uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé au-dessus d'un tamis de 0,063 mm afin d'éliminer les **fines** et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0,063 mm.

a) Equipement nécessaire (NF EN 933-2)

Ce sont des **tamis** dont les ouvertures carrées, de dimensions normalisées, sont réalisées à partir d'un maillage métallique. Pour un travail aisé et aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne des tamis.

La dimension nominale des tamis est donnée par l'**ouverture** la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison $10^{1/20}$ (= 1.12) depuis le tamis 0,063 mm jusqu'au tamis 125 mm. L'ensemble de ces tamis R20 de la norme internationale. Les ouvertures de ces tamis sont indiquées sur la figure 10. 4. Pour des ouvertures inférieures à 0.063 mm, l'analyse granulométrique n'est pas adaptée et l'on peut procéder par sédimentométrie.

Les différentes normes européennes demandent que les dimensions d et D définissant les **classes granulaires** soient telles qu'elles appartiennent à une des colonnes (et une seule) du tableau 4. Dans ce tableau les valeurs entre parenthèses peuvent être utilisées comme description simplifiée de la classe granulaire ; par exemple : 6/12 au lieu de 6,3/12.5.

Tableau 13: Série de tamis autorisés par la définition des classes granulaires (mm)

Série de base	Série de base +série 1	Série de base +série 2
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
–	5,6(5)	–
–	–	6,3(6)
8	8	8
–	–	10
–	11,2(11)	–
–	–	12,5(12)
–	–	14
16	16	16
–	–	20
–	22,4(22)	–
31,5(32)	31,5(32)	31,5(32)
–	–	40
–	45	–
–	56	63
63	63	80
–	–	–
–	90	–

b) Conduite de l'essai (NF EN 933-1)

La prise d'essai est séchée à (110 ± 5) °C jusqu'à masse constante puis pesée (masse M_1).

On réalise ensuite un tamisage par lavage afin de séparer les éléments de dimension inférieure à 0,063mm du reste de l'échantillon. Cette manipulation est réalisée après une période de trempage de 24 heures afin de favoriser la séparation de l'ensemble des grains. Au cours du lavage, il y a lieu de protéger le tamis de 0,063 mm par un ou deux tamis d'ouverture plus grande (1 ou 2 mm par exemple) placés au-dessus. Le lavage est poursuivi jusqu'à ce que l'eau passant au travers du tamis 0,063 mm soit claire.

L'échantillon ainsi préparé est alors séché à (110 ± 5) °C. Après refroidissement il est pesé jusqu'à masse constante (masse M_2). Le tamisage à sec peut alors être réalisé.

- **Choix des dimensions des tamis utilisés**

Ils dépendent de la classe granulaire d/D . Les dimensions des tamis nécessaires à la caractérisation de d et D sont : $d/2$; d ; $1,4 D$; $2D$. De plus, il faut utiliser les tamis compris entre d et D indiqués dans le tableau 5 en plus de ceux de la série R20 que l'on jugera nécessaire.

Tableau 14: Dimension des tamis imposés par EN 933-2 (en mm)

0,063	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5	63	125
-------	-------	------	------	-----	-----	-----	-----	------	------	----	-----

- **Préparation de l'échantillon**

La qualité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires :

- il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif,
- il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans cette expression A est la surface du tamis exprimée en mm^2 et d la dimension des mailles du tamis en mm.

Dans la pratique, la masse de la prise d'essai sera au moins de 200g et tel que : $M_1 \geq D^2 / 100$ pour des granulats de masse volumique absolue comprise entre 2 et 3 g/cm^3 (M_1 étant exprimé en kg et D en mm). Pour des granulats de masse volumique différente on cherchera à obtenir un volume de prise d'essai équivalent à celui utilisé pour les granulats courants.

- **Description de l'essai**

Le matériau séché, de masse M_2 , est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissantes du bas de la colonne vers en haut. En partie inférieure, on dispose un tamis de 0,063 mm surmontant un fond étanche afin de récupérer les éléments fins qui n'auraient pas été entraînés par le lavage initial. Un couvercle est également disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le *tamisage*.

On appellera **tamisat** le poids de matériau passant à travers un tamis donné et **refus** le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et de son ouverture. Un étalonnage de la machine est donc nécessaire.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de tamiseuse.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R_1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé. Soit R_2 la masse du deuxième refus. La somme $R_1 + R_2$ représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisat présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Soit P sa masse.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisat sur le fond doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de la colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du poids total de l'échantillon de départ.

Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse sèche M_1 de départ.

c) Expression des résultats : courbe granulométrique

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en partant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique.

Nous avons toujours considéré qu'un granulat caractérisé par une seule courbe granulométrique. Cependant dans la réalité, il est très rare que les granulats aient une granulométrie constante dans le temps, c'est pourquoi il est préférable de parler

d'ensemble de courbes granulométriques d'un agrégat donné ou de fuseau granulométrique pour caractériser un granulat donné.

Le Fuseau granulométrique d'un granulat définit donc l'ensemble des courbes granulométriques limites à l'intérieur desquelles la granulométrie admissible du granulat, graphique dans laquelle sont comprises les courbes granulométriques.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du ***module de finesse FM***. Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture : 4 ; 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,25 et 0,125 (**EN 12620**). Ce paramètre sert à estimer la finesse d'un sable.

Le module de finesse représente, en quelque sorte, et de manière approchée, la surface comprise entre la courbe granulométrique et l'axe horizontal supérieur du graphique, celui-ci correspondant à un refus cumulé nul (tamisat cumulé = 100 %). Plus son module est faible et plus le sable est riche en éléments fins.

IV- 1. 1. 3 Mesure du Coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3)

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 des bétons très compacts, et, par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisant 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 carrées dont les dimensions (en mm) sont : 80 ; 63 ; 50 ; 40 ; 31,5 ; 25 ; 20 ; 16 ; 12,5 ; 10 ; 8 ; 6,3 ; 5 et 4.
- Une série de tamis à fentes d'écartements normalisés. Les dimensions de ces écartements E sont indiquées dans la deuxième ligne du tableau 15.

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.

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

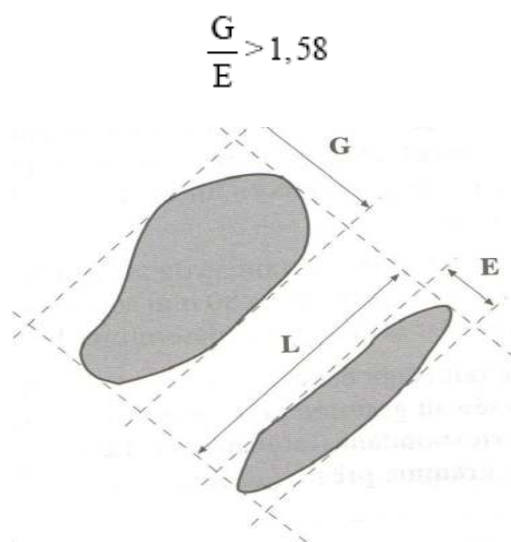


Figure 10: Forme d'un granulat

a) Principe de l'essai

L'essai consiste en une double opération de tamisage :

- Le tamisage classique (cf. analyse granulométrique) 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 $D = 1,25d$. De ce fait, les classes de grosseurs G ainsi définies sont telles qu'elles suivent la progression géométrique des ouvertures des tamis utilisés au cours de l'analyse granulométrique.
- 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 de largeur E, ce qui permet de définir des coefficients d'aplatissement A_i partiels. Il est ensuite possible de déterminer un coefficient d'aplatissement global A appelé aussi FL dans les documents européens.

La correspondance entre classes granulaires d/D et grilles à fentes de largeur E est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 15: Correspondance entre classes granulaires d/D et largeur E des grilles à fentes utilisées

Classes granulaires d /D (mm)	63/	50	40	31,5	25	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
	80	/63	/50	/40	/31,5	/25	/20	/16	/12,5	/10	/8	/6,3	/5
Ecartement E des grilles à fente (mm)	40±	31,5±	25±	20±	16±	12,5±	10±	8±	6,3±	5±	4±	3,15±	2,5±
	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15

b) Conduite de l'essai

On opère, comme dans l'analyse granulométrique, avec un échantillon représentatif de matériau de masse $M_0 \geq 0,2D$, D étant le diamètre maximum des granulats en millimètres, et M_0 la masse de l'échantillon, exprimée en kg.

L'échantillon est tamisé de telle manière que tous les grains inférieurs à 4 mm d'ouverture et supérieurs à 80 mm soient mis de côté et pesés. La masse M représentante est utilisée pour déterminer le coefficient *Fl*.

Le tamisage est effectuée et chaque fraction d/D est pesée au gramme près, puis tamisée sur le tamis à fentes d'écartement E correspondant. Le passant à travers chaque grille est pesé au gramme près.

c) Expression du coefficient d'aplatissement *Fl*

Pour une classe granulaire d/D donnée, on peut définir un *coefficient d'aplatissement partiel*.

$$Fl_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} 100$$

avec :

M_{gi} = masse de la classe granulaire d/D,

M_{ei} = masse passant à travers le tamis à fentes d'écartement E correspondant.

Le coefficient d'aplatissement global Fl s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire :

Il faut que la perte de matériaux pendant le tamisage soit telle que

$$\sum_j M_{gj} \geq 0,98 M_0,$$

M_0 étant la masse de l'échantillon d/D écrêté de sa fraction 0/0,4 mm.

IV- 1. 1. 4 Mesure de la propreté des granulats

La propreté signifie l'absence dans les granulats d'éléments indésirables qui sont soit des fines liées à la pollution du gisement soit des fines dues au concassage des roches. Le manque de propreté d'un granulat est lié à la présence d'éléments qui, même en faible quantité, sont indésirables pour des raisons diverses.

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons :

Par la teneur globale en *fines*, qui est un paramètre important dans la composition des bétons, que le liant soit un ciment ou un bitume. L'analyse granulométrique permet de déterminer le pourcentage global de fines, sans pour autant permettre de distinguer les fines silico-calcaires des fines argileuses.

L'essai de ***propreté superficielle*** spécifique aux gravillons.

En utilisant ***l'essai d'équivalent de sable*** qui permet, selon un processus normalisé, de quantifier la notion de propreté d'un sable.

Par l'*essai au bleu de méthylène* qui permet d'évaluer le degré d'activité des fines argileuses qui sont responsables, dans une large mesure, de désordres et de non-qualité dans les bétons.

1) Essai de la propreté superficielle (NF P.18-591)

La propreté superficielle est définie comme étant la proportion d'éléments passants au tamis 0,5mm, y compris les éléments adhérant aux granulats.

2) Essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8)

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, L'essais consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

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 matériau à étudier. Le tamisage se fait pour voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, 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 (figure 10):

$$SE = 100 \frac{h_2}{h_1}$$

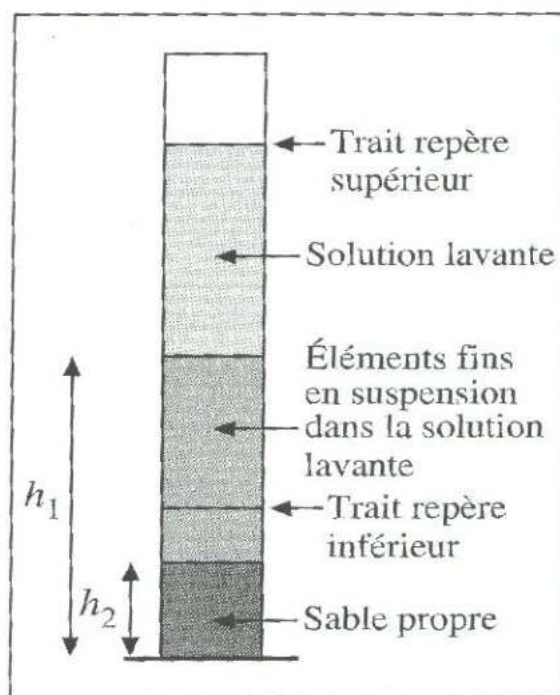


Figure 11 : Définition de l'équivalent de sable

Les conditions opératoires ont une influence importante sur le résultat. Il convient donc de suivre celles-ci scrupuleusement. Il est préférable d'utiliser un échantillon humide, ce qui évite de perdre les éléments fins. L'essai devant être effectué sur 120g de grains secs, après détermination de la teneur en eau du sol w . on pèse l'échantillon humide de la masse égale à $120(1+w)$ grammes. La teneur en eau w est exprimée en % du poids d'eau par rapport au poids de l'échantillon sec et doit être compris entre 0 et 2 %.

La solution lavante utilisée permet de séparer les éléments fins argileux et en provoque la floculation. Celle-ci est préparée à partir d'une solution concentrée dont la composition est la suivante (pour un litre complété avec de l'eau déminéralisée) :

- 111 g (± 1 g) de chlorure de calcium anhydre (CaCl_2), ou 219 g (± 2 g) de chlorure de calcium cristallin ($\text{CaCl}_2, 6 \text{H}_2\text{O}$)
- 481 g (± 5 g) de glycérine à 99 % de qualité pharmaceutique,
- 12,5 g ($\pm 0,5$ g) de solution aqueuse à 40 % en volume de formaldéhyde de qualité pharmaceutique.

La solution concentrée est stockée en dose de 125 cm^3 dans les flocons en polyéthylène. On peut trouver cette solution concentrée dans le commerce spécialisé.

La solution lavante, utilisée dans l'essai, s'obtient en diluant une dose de 125 cm³ de solution concentrée dans 5 l d'eau déminéralisée. Celle-ci se conserve pendant 2 à 4 semaines.

Ce matériel est décrit de manière très précise dans la norme. Les éléments principaux sont indiqués ci-dessous et représentés sur la figure 12:

1. éprouvettes en verre ou en matière plastique avec deux traits repères, et leur bouchon,
2. entonnoir pour introduction du sable,
3. bonbonne de 5 l pour la solution lavante avec son bouchon, le siphon et un tube souple de 1,5 m,
4. tube laveur métallique plongeant,
5. machine agitatrice,
6. réglet métallique pour la mesure des hauteurs de sable et floculat,
7. piston taré à masse coulissante de 1 kg pour la mesure de SE .

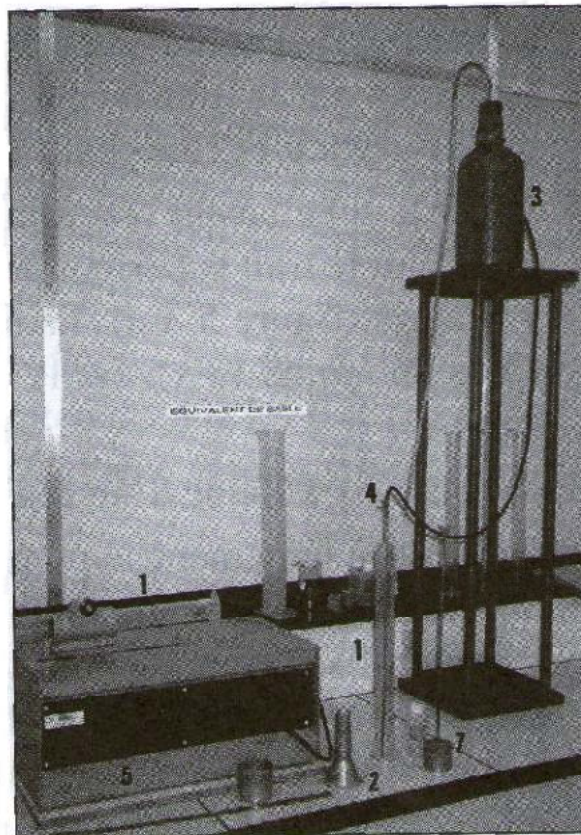


Figure 12: Matériel pour essai d'équivalent de sable

a) Conduite de l'essai

L'essai est effectué sur deux échantillons du matériau dont veut mesurer l'équivalent de sable. Les deux échantillons passant au tamis de 2 mm et pesés comme indiqué au étant préparés, on effectue les opérations dans l'ordre suivant :

1. La solution lavante est placé dans une bonbonne de 5 l situé à 1m au-dessus du fond des éprouvettes, le dispositif siphonique est amorcé et relie au tube laveur.
2. On dispose de deux éprouvettes propres pour les deux échantillons étudiés et on prendra la moyenne des 2 résultats obtenus. L'ensemble de ces procédures, schématisé figure 13, est effectué selon le protocole suivant :
3. Emplir les éprouvettes avec la solution lavante jusqu'au trait inférieur (figure 13.a).
4. La quantité de sable voulue (figure 13.b) est versée dans l'éprouvette en veillant à éliminer les bulles d'air. Laisser reposer 10 min (figure 13-c).
5. Boucher les éprouvettes et les agiter : mouvement rectiligne et horizontal de 20 cm d'amplitude, 90 allers et retours en 30 s (effectués de manière automatique par la machine).
6. Laver et remplir les éprouvettes, avec un tube laveur (figure 13-d). Pour cela, rincer le bouchon au-dessous de l'éprouvette, faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts : on lave ainsi les parois intérieures de l'éprouvette. Laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse du sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure.
7. Sortir le tube laveur (et fermer le robinet) lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20min en évitant toute vibration (figure 13-e). La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 15 s), car la hauteur du *floculat* dépend fortement de celui-ci.
8. Mesurer h_1 à l'aide d'un réglet (figure 13-f).
9. Descendre lentement le piston taré dans le liquide à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. Mesurer h_2 (figure 13-g). Ces opérations

sont identiques pour les deux éprouvettes réalisées sur chaque échantillon.

Les mesures h_1 et h_2 doivent être effectuées avec la précision du millimètre.

➤ **Précautions :**

- Matériel très propre. Solution lavante de fabrication récente.
- Attention aux petits orifices du tube laveur. Les nettoyer si nécessaire.
- Eviter toute vibration pour les éprouvettes en cours d'essai.

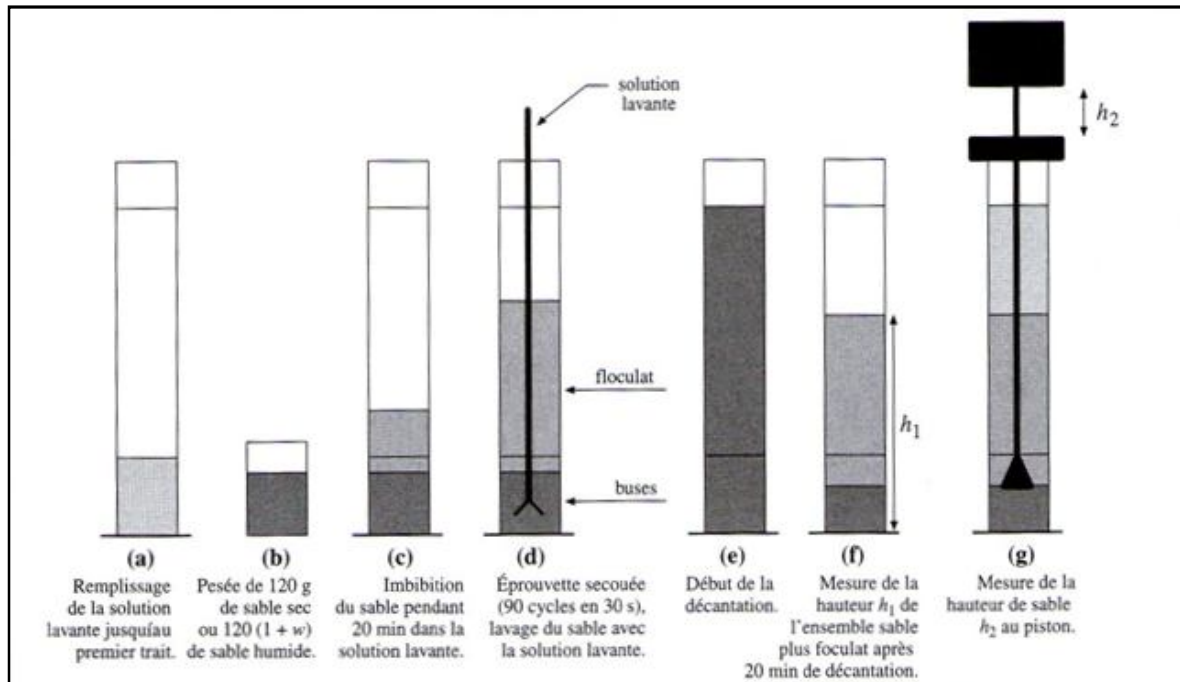


Figure 13: Processus de l'essai d'équivalent de sable

b) Expression des résultats.

On calcule, pour chaque éprouvette, le rapport $100 h_2 / h_1$ avec une précision décimale. Si les résultats pour chacune des éprouvettes diffèrent de moins de 4 l'équivalent de sable SE est la moyenne des deux résultats arrondie à l'entier le plus proche. Sinon, L'essai doit être refait.

3) Essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9)

Cet essai, utilisé de manière courante pour **caractériser l'activité des argiles** contenue dans les sols Cet essai ne concerne pas notre domaine d'étude, est également utilisé

pour évaluer l'influence des *fines* d'origines argileuses contenue dans les sables et graves d'origines naturelle ou artificielle.

Il rend compte ainsi de l'activité de surface des argiles, des matières organiques ainsi que des hydroxydes de fer contenus dans les fines. Cet essai est un test performant pour qualifier de manière simple la propreté des granulats. Il est réalisé uniquement sur les fines présentes dans la fraction granulométrique 0/2 mm.

a) Confection d'essai

L'essai est conduit sur un échantillon contenant au moins 200 g de fraction granulométrique au tamis de 2 mm un échantillon sec permettant de récupérer un sous-échantillon 0/2 mm d'environ 200 à 300 g. Le tamisage doit se faire en prenant toutes les précautions pour recueillir les éléments inférieurs à 2 mm. On utilisera, en particulier, une brosse à tamis pour s'assurer d'un tri parfait au niveau du tamis de 2 mm d'ouverture. La prise d'essai 0/2 mm (au minimum de 200 g) ainsi obtenue sera pesée au gramme près. Soit M_1 sa masse.

- La solution de bleu de méthylène, dosé à 10 g/l, est introduite progressivement au contact de l'échantillon mis en suspension dans de l'eau déminéralisée. L'opération est poursuivie jusqu'à ce que les particules fines soient entièrement saturées par une mono-couche de molécules de bleu de méthylène. Le test de la tache, qui est réalisé après ajout de solution de bleu de méthylène, consiste à prélever une goutte de la suspension à l'aide d'une baguette de verre et à la déposer sur un papier filtre. La tache qui se forme est composée d'un dépôt central de filler coloré en bleu entouré d'une zone humide qui, si elle est également colorée en bleu de manière persistante, indique que le test est positif. Le point final de l'essai est atteint lorsque le test reste positif pour cinq essais successifs réalisés toutes les minutes pendant cinq minutes.

Tableau 16: Procédure de réalisation de l'essai au bleu de méthylène

Cinématique du dosage	Commentaires
1. Ajout de 5 cm ³ de bleu puis aller en 2.	1 ^{er} phase : addition de bleu de méthylène par pas grossier (5 cm ³) suivi du test de la tache au bout de 1 min ± 10 s.
2. Test de la tache au bout de 1 min ± 10 s. - si test négatif, retour en 1 ; - si test positif, aller en 5.	Si le test est positif avec moins de 10 cm ³ de bleu de méthylène, recommencer l'essai avec une prise d'essai plus importante.
3. Ajout de 2 cm ³ de bleu puis aller en 4.	2 ^e phase : au premier test immédiat positif, on ajoute de bleu par pas fin (2 cm ³) car la suspension est en voie saturation.
4. Test immédiat de la tache après 1 min : - si test négatif, retour en 3 ; - si test positif, aller en 5	
5. - Effectuer 5 fois la confirmation du test toutes les minutes pendant 5 minutes : - si test négatif, retour en 3 ; - si test positif, fin du dosage.	3 ^e phase : confirmation du test positif pendant 5 minutes.

- La prise d'essai, de masse sèche M_1 , est introduite dans un bécher contenant (500 ± 5) ml d'eau déminéralisée, puis le tout est agité à l'aide d'un agitateur rotatif à ailettes à raison de 600 tr/min pendant cinq minutes puis à raison de 400 tr/min pendant tout le reste de l'essai.

Deux cas peuvent se présenter :

- Le matériau est riche en élément fins, ce qui signifie qu'il est probablement pollué par des éléments argileux. Dans ce cas, l'essai est conduit de manière simple jusqu'à obtention persistante d'une auréole bleu.
- Le matériau est pauvre en éléments fins et il n'est pas possible de réaliser l'essai, la saturation en bleu de méthylène étant immédiate dès le premier ajout de bleu.

On ajoute alors $(30,0 \pm 0,1)$ g de *kaolinite*, séchée à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ à masse constante, ainsi que V' ml de solution de bleu de méthylène qui correspondent au volume de solution de bleu absorbé par la kaolinite (suivre le mode opératoire exposé dans, pour déterminer la valeur de bleu de méthylène de la kaolinite).

Dans le bécher contenant la prise d'essai, et éventuellement les 30 g de *kaolinite* séchée à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, dont on connaît la valeur de bleu MB_K , on introduit le bleu de méthylène par fractions successives de 5 ml. L'essai est conduit en suivant la procédure indiquée dans le tableau 16.

L'ensemble des matériaux en suspension va absorber un volume V_1 de bleu de méthylène, la kaolinite absorbant quant à elle un volume V' de solution de bleu telle que :

$$V' = 30 MB_K.$$

On enregistre le volume total de solution colorant, V_1 (à 1 ml près), qui a été ajouté pour obtenir une auréole restant visible pendant 5 min.

b) Expression des résultats

La valeur de bleu de méthylène, MB , est exprimée en grammes de colorant par kilogramme de fraction 0/2 mm.

Sachant que la solution de bleu de méthylène est dosée à 10 g/l, le résultat s'exprime par la formule suivante :

$$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10$$

- V_1 = volume total (en ml) de la solution de bleu agissant à la fois sur la kaolinite, ainsi que sur les fillers contenus dans la fraction 0/2 mm,
- V' = volume de la solution (en ml) agissant sur la kaolinite seule,
- M_1 = masse de la prise d'essai, (en g).

La valeur de bleu de méthylène, MB , est exprimée au dixième près. Si la kaolinite n'est pas été utilisée, la valeur de bleu de méthylène devient :

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 1$$

c) Contrôle de conformité d'un granulat

Si un granulat doit répondre à une **valeur de bleu de spécification**, on effectue le test de conformité en injectant, en une seule fois, un volume V_2 de solution de bleu de méthylène égal à :

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 1$$

- M_1 = masse de la prise d'essai 0/2 mm, en grammes ;
- MB_1 = valeur spécifiée (en g) de colorant par kilogramme de la fraction 0/2 mm ;
- V' = volume de colorant (ml) absorbé par la kaolinite éventuellement ajoutée.

Après une agitation de 8 min dans les conditions standard décrites plus haut, on effectue le teste de la tache.

Si ce test de la tache est négatif, il convient de réaliser la détermination complète de la valeur de bleu de méthylène tel que présenté plus haut en appliquant le mode opératoire exposé dans le tableau suivant.

Ce test simple est rapide permet de quantifier l'activité des particules fines d'origine argileuse. Il constitue une approche scientifique du concept de propreté des matériaux granulaires.

IV- 1. 1.5 Détermination de la masse volumique d'un sable ou d'un gravier

La **masse volumique** est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau, au volume occupé par ce matériau. Elle est très utile car les granulats sont destinés à remplir des volumes, par exemple dans un béton.

La **masse volumique absolue** (ρ_a) est le rapport entre la masse de l'échantillon séché en étuve et le volume qu'il occupe dans l'eau, y compris ses pores fermés, mais à l'exclusion des pores susceptibles d'absorber de l'eau (figure 14-b). Pour la mesure des masses volumique absolue, nous avons utilisés la méthode du pycnomètre (EN 1097-6).

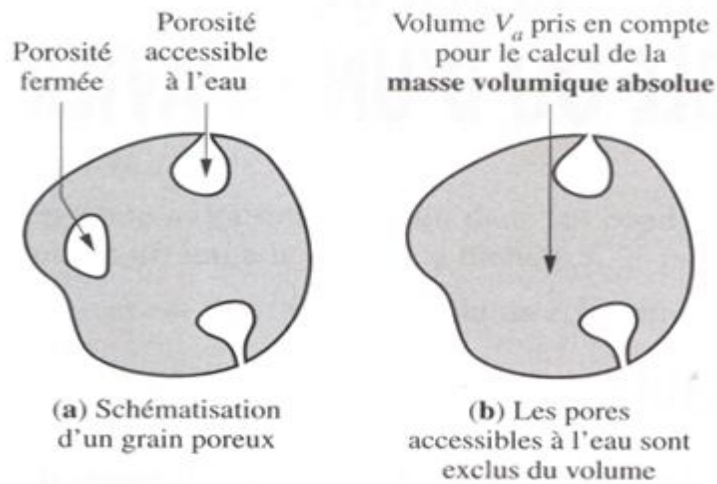


Figure 14: Prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la masse volumique absolue

La masse minimale de la prise d'essai doit être de 5kg pour $D = 31,5$ mm et de 1 kg pour $D = 8$ mm, avec interpolation linéaire pour valeurs intermédiaires.

Le processus est illustré sur la figure 15. Il se décompose en 5 phases :

1. Immersion pendant 24 heures des granulats dans l'eau du pycnomètre maintenue à température constante au moyen du bac thermostaté. L'eau pénètre dans les pores qui lui sont accessibles.
2. Après cette immersion et après avoir fait évacuer les bulles d'air en tournant doucement le pycnomètre on le ferme en ajustant le niveau d'eau au repère gravé et on procède à une pesée : M_2 .

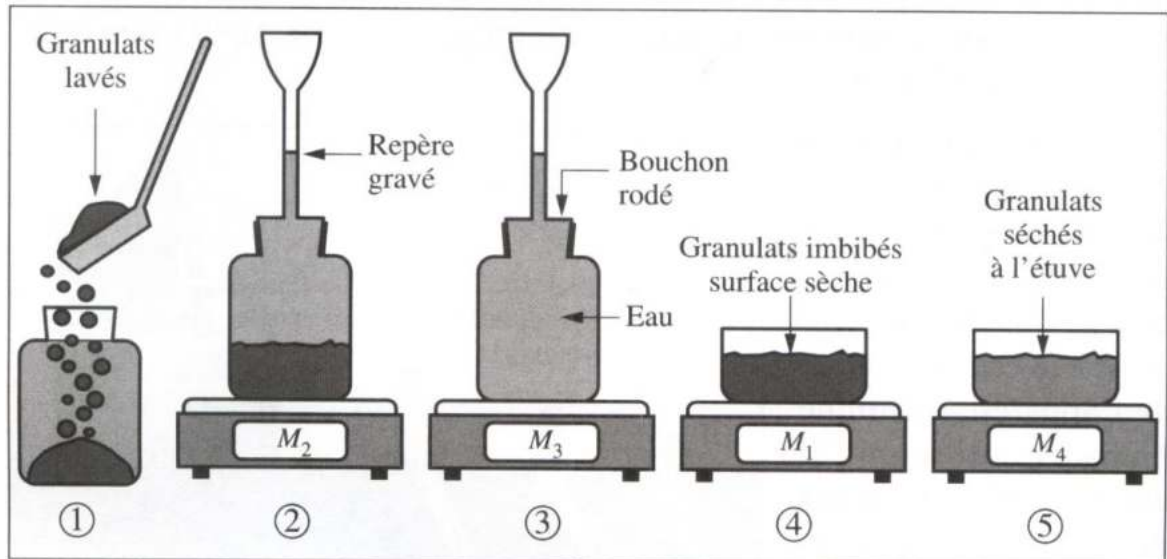


Figure 15: Principales étapes de mesure de la masse volumique

3. Le pycnomètre est ensuite pesé en plein d'eau : M_3 .
4. On procède alors au séchage des granulats préalablement extraits du pycnomètre et égouttés. Pour les gravillons, on les dispose sur une seule couche sur des chiffons secs jusqu'à ce que les films d'eau visible aient disparu, les granulats gardant toutefois un aspect humide. On considère alors que les granulats superficiellement secs, mais que leurs pores restent saturés.

Pour le sable on vérifie cet état de la manière suivante : on en remplit le moule tronconique de la 16 en le tassant légèrement à l'aide de 25 coups de pilon. Si le sable est humide en surface, le soulèvement du cône n'entraîne pas l'écoulement du sable. Il convient alors de poursuivre le séchage. Dès que le sable considère qu'on a atteint l'état dit de saturation surface sèche.

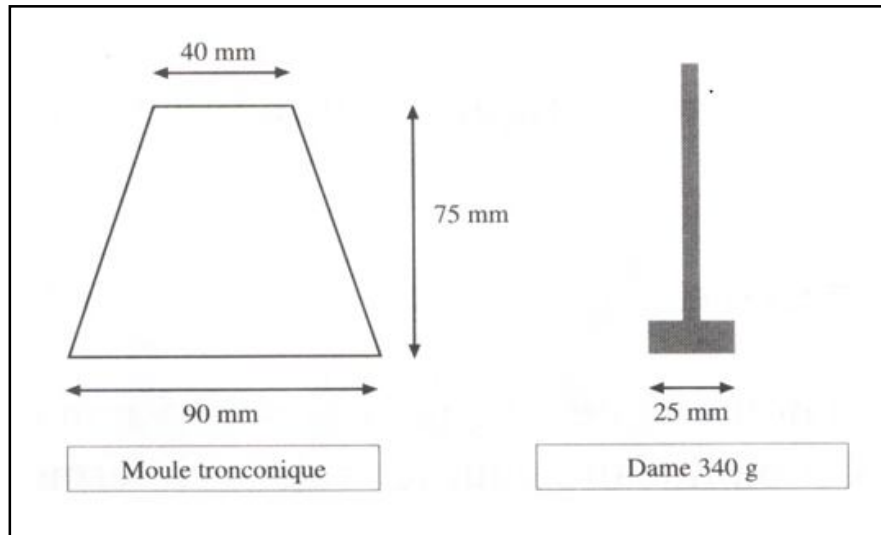


Figure 16: Moule et dame pour coefficient d'absorption des sables

Les granulats avec l'eau retenue dans leurs pores sont alors pesés : M_1 .

5. La dernière phase consiste à assécher les pores en entreposant la prise d'essai dans l'étuve jusqu'à obtenir une masse constante. Puis à peser ces granulats secs : M_4 .

- **Expression des masses volumiques**

Le volume absolu des grains, V_a a pour expression :

$$\rho_a = \frac{M_4 - (M_2 - M_3)}{\rho_w}$$

Dans cette expression ρ_w est la masse volumique de l'eau à la température de l'essai. La température de l'eau ne doit pas différer de plus de 2 °C pour la mesure de M_2 et M_3 . La masse volumique de l'eau en fonction de la température est indiquée dans le tableau 17.

Tableau 17: Masse volumique de l'eau à différentes températures

Θ (°C)	19	20	21	22	23	24
ρ_w	0,9984	0,9982	0,9980	0,9978	0,9975	0,9973

IV- 2. Caractéristique mécanique

Lors de la fabrication d'un béton, le malaxage est source de frottements intenses entre grains. Si ceux-ci ne sont pas assez résistants, ils peuvent se casser en produisant des sables ou des éléments fins.

De même, une chaussée en exploitation est soumise à de multiples agressions mécaniques liées essentiellement au trafic des poids lourds. Les granulats doivent être résistés au polissage en circulation, comme par exemple ceux résultant de l'utilisation des pneus cloutés, en hiver. Ils doivent aussi résister à l'usure par attrition résultant des déformations enregistrées par la chaussée sous le passage des poids lourds.

Il est donc nécessaire de procéder à des essais de résistances au choc, de résistance à l'usure et au polissage, afin que les granulats puissent répondre aux spécifications de fabrications des bétons et aux impératifs de pérennité des chaussées.

IV- 2. 1. Résistance mécanique: Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)

Rappelons tout d'abord que l'essai Los Angeles est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance des granulats à la fragmentation. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6mm créées lors de la fragmentation du matériau testé.

L'essai consiste à faire rouler dans un tambour rotatif 5000g de matériau (de classe granulaire 10mm à 14mm) et des boulets en acier pendant 500 tours à la vitesse de 31 à 33 tours par minute. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on évalue la quantité retenue sur le tamis de 1,6mm. Ce refus est séché à 110°C jusqu'à masse constante (m) et on obtient le coefficient Los Angeles par la formule :

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

Ainsi, plus le matériau sera résistant à la fragmentation, plus son coefficient Los Angeles sera faible.

On retiendra les ordres de grandeurs suivants en fonction du matériau testé :

- Quartzite, microgranite, granite finement grenu ~ 15
- Calcaires durs du Boulonnais ~ 20
- Calcaire dur ~ 30
- Calcaire tendre ~ 50



Figure 17 : Tambour rotatif utilisé pour un essai Los Angeles

IV- 2. 2. Résistance à l'usure: Essai micro-Deval (NF EN 1097-1)

L'essai Micro-Deval en présence d'eau est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance à l'usure des granulats. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6mm créées lors du frottement réciproque des granulats (attrition). Analogue à l'essai Los Angeles, il utilise une charge plus légère et une durée de rotation plus longue afin qu'il n'y ait pas de fragmentation mais seulement une usure des granulats.

L'essai consiste à faire tourner dans un cylindre 500g de matériau (de classe granulaire 10mm à 14mm) avec une charge abrasive (billes d'acier) et de l'eau pendant 12 000 tours à la vitesse de 100 tours par minute. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on évalue la quantité retenue sur le tamis de 1,6mm. Ce refus est séché à 110°C jusqu'à masse constante (m) et on obtient le coefficient Micro-Deval en présence d'eau (MDE) par la formule :

$$M_{DE} = 100 \frac{m}{M}$$

Ainsi, plus le matériau sera résistant à l'usure, plus son coefficient Los Angeles sera faible.

On retiendra les ordres de grandeurs suivants en fonction du matériau testé :

- Granite ~ 10
- Calcaire dur ~ 25
- Calcaire tendre ~ 70



Figure 18: Machine d'essais Micro-Deval composée de 4 cylindres rotatifs

IV- 2. 3. Mesure du coefficient de polissage accéléré des gravillons

Les gravillons à tester sont collés à plat sur des éprouvettes, puis ils sont soumis à un test abrasif standard en milieu humide. Ce test reproduit en laboratoire le polissage des gravillons superficiel de chaussée par les pneus des véhicules.

Après abrasion, réalisée selon un protocole expérimental normalisé, les éprouvettes testées sont soumises à une mesure de coefficient superficiel de frottement, à l'aide d'un système pendulaire qui donne le résultat sous forme directe d'un coefficient de frottement *CPA*. Tous les détails de cet essai sont donnés dans la norme **EN 1097-8**.

IV- 4 Résultats et discussion

IV- 4.1 Propriétés physiques:

Les propriétés usuelles que nous avons mesurées sur les granulats issus de deux niveaux exploitables médian et supérieur:

- Masse volumique absolue ρa (EN 1097-6),
- Coefficient d'aplatissement Fl (EN 933-3),
- Equivalent de sable SE (EN 933-8),
- Module de finesse des sables FM (EN 12620),
- Bleu de méthylène MB (EN 933-9),
- Propreté superficielle des gravillons P (NF P 18-591).

Les différents résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 18: Propriétés physiques des granulats

Classe granulaire	FM	Fl	P	SE	MB	ρa
0/4	0,46	-	-	65	0,84	2,65
4/8	-	12,9	0,75	-	-	2,15
8/16	-	16,8	0,51	-	-	2,55
16/22	-	11,7	0,69	-	-	2,15

Les résultats mesurés de la masse volumique absolue de différentes classes granulaires sont comprises entre 2,15 et 2,66, représentatives à celles des roches carbonatées, ces valeurs classent les granulats dans la catégorie des granulats « **courant** ».

La classe granulaire 4/ 8 présente un pourcentage d'éléments plats plus important que celui des autres classes granulaires 8/16 et 16/ 22, ces pourcentages restant acceptable (NA 5043).

Les valeurs mesurées conformément à celles spécifiées par la norme (NA 5043), qui préconise une valeur d'équivalent de sable maximale supérieure à 60 % pour les sables destinés au chaussé. Une valeur au bleu de méthylène de 0,84 ($MB < 1$), ce résultat confirme une fois la propreté du sable et la propreté superficielle est $< 1\%$, ce qui est conforme pour les couches de roulement. En revanche, la valeur du module de finesse n'est pas admise par la norme pour les sables de catégorie A.

IV- 4.2 Caractéristiques mécaniques

Trois types d'essais que nous avons réalisés sur les gravillons :

- Essai de résistance aux chocs ou Los Angeles LA (EN 1097-2),
- Essai de résistance à l'usure Micro Deval MDE (EN 1097-1),
- Essai de polissage accéléré des gravillons CPA (EN 1097-8).

Tableau 19: Propriétés mécaniques des granulats

Niveau	LA	MDE	¹ CPA
Supérieur	24	11	60
Médian	25	12	60

Les calcaires des deux niveaux médian et supérieur présentent une bonne résistance aux chocs avec un LA inférieur à 25 et une très bonne résistance à l'usure avec un coefficient MDE de 12, ils répondent largement aux prescriptions des Ponts et Chaussées du SETRA pour la résistance au polissage accéléré.

Les propriétés mécaniques des granulats pour un usage routier et pour la confection de bétons, dépendantes essentiellement des caractéristiques intrinsèques de la roche, sont satisfaisantes et laissent présager de bons résultats aux techniques routières et sur béton.

¹La valeur de l'essai de polissage accéléré est donnée par le laboratoire central.

Le laboratoire central El-Khroub donne une valeur du coefficient de polissage accéléré de 60, ce résultat confirme leurs utilisation dans la couche de roulement de chaussées (NA 5043).

IV- 4.3 Fiche Technique produit

La norme NA 5043 inspirée de la norme NF XP18-545 fournit des éléments de définition, conformité et codification des granulats. Les granulats sont répertoriés en fonction de leur utilisation :

- Granulats pour chaussées : couches de fondation, de base et de liaison. Ils sont traités à l'article 7 de la norme EN 13043 et EN 13242.
- Granulats pour chaussées : couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés (Art. 8 et EN 13043)
- Granulats pour chaussées : bétons de ciment (Art. 9 et EN 12620).
- Granulats pour bétons hydrauliques et mortiers (Art. 10 et EN 12620 et EN 13139).

Pour chacun de ces granulats, des spécifications minimales sont indiquées en fonction des catégories auxquelles le fournisseur souhaite rattacher son produit. Ces catégories sont décrites par les normes européennes. La norme algérienne introduit des codes qui permettent de spécifier ces catégories de manière contractée. Elle demande au fournisseur d'éditer un document appelé Fiche Technique Produit (FTP) comprenant :

- Les valeurs spécifiées de toutes les caractéristiques normalisées qu'il s'engage à respecter,
- et la synthèse de l'ensemble des résultats des essais les plus récents notamment pour la granularité des sables et gravillons.

- **Exemple de FTP pour un gravillon utilisé en technique routière**

- a) Partie engagement du fournisseur**

Le laboratoire central rappelle la norme à la quelle il se réfère. S'il s'agit d'un granulat pour chaussées, c'est l'article 8 de la norme **NA 5043** qui doit être indiqué. Il indique la classe granulaire du gravillon considéré et son code. Par exemple : classe granulaire 4/8 et code I C. La lettre C indique la catégorie du point de vue des caractéristiques

intrinsèques du matériau telle qu'elle est définie dans l'EN. Le fournisseur doit les rappeler dans un tableau tel que le tableau 20. Le chiffre I indique la catégorie du point de vue de la granularité. Cette catégorie impose aussi des valeurs spécifiées rappelés dans le tableau 20. Dans ce tableau V_{si} et V_{ss} sont les valeurs spécifiques inférieures et supérieures bornant le fuseau de régularité ; u (annexe 1) est l'incertitude admise par la norme pour la méthode d'essai.

Rappel des symboles utilisés dans ce tableau : F est le pourcentage de fines, $d = 4$ mm et $D = 8$ mm ; LA est le coefficient Los Angeles ; MDE est le coefficient micro Deval en présence d'eau. CPA est le coefficient de polissage accéléré. FI est le coefficient d'aplatissement.

Tableau 20: Exigences que doit respecter le producteur pour roulement (gravillon 4/8)

	F	$d/2$	D	$D/1,4$	D	$1,4D$	$2D$				
	1,6	2	4	5,6	8	11,2	16	LA	MDE	CPA	FI
$V_{ss} + u$	1,6	6,0	19,9	66,2	101			23,0	18,0		29,0
V_{ss}	1,0	5,0	14,9	54,2	96,0			20,0	15,0		25,0
V_{si}			4,9	24,2	86,0	98	100			50	
$V_{si} - u$				12,0	81,0	97					

b) Partie synthèse des résultats du producteur

Si X est la valeur moyenne de la caractéristique contrôlée ; si s est l'écart-type estimé par le laboratoire de contrôle ; et si X_i est un résultat individuel quelconque, le producteur doit vérifier :

$$V_{si} + 1,25 s \leq X \leq V_{ss} - 1,25 s \text{ et } V_{si} - u \leq X \leq V_{ss} + u$$

Tableau 21: Résultats de production pour roulement (gravillon 4/8)

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011											
	F	$d/2$	D	$D/1,4$	D	$1,4D$	$2D$	LA	MDE	CPA	Fl
Maximum	1,40	4,0	18,0	60,0	97,0	100,0	100	24,72	13,0		24,45
$X + 1,25 s$	1,10	2,9	12,1	47,6	95,1	100,9	100	24,90	13,3		16,60
Moyenne X	0,79	2,0	11,0	39,0	91,0	100,0	100	24,54	12,4	60	15,76
$X - 1,25 s$	0,50	0,0	9,9	30,4	86,9	99,1	100	24,10	11,5		14,90
Minimum	0,27	1,0	8,0	25,0	83,0	97,0	100	24,0	11,3		10,22
Ecart-type s	0,25	0,7	0,9	6,90	3,30	0,70	0,00	0,32	0,70		00,67
Nombre résultats	37	37	37	37	37	37	37	5	5	5	37

Le tableau 21 fourni par le producteur permet de confirmer que ces exigences sont respectées tandis que le graphe représenté sur la figure 19 joint à ce tableau illustre ces résultats en montrant où se situent les valeurs extrêmes (qui constituent ce qu'on appelle le *fuseau de fabrication* des granulats) par rapport aux valeurs limites spécifiées.

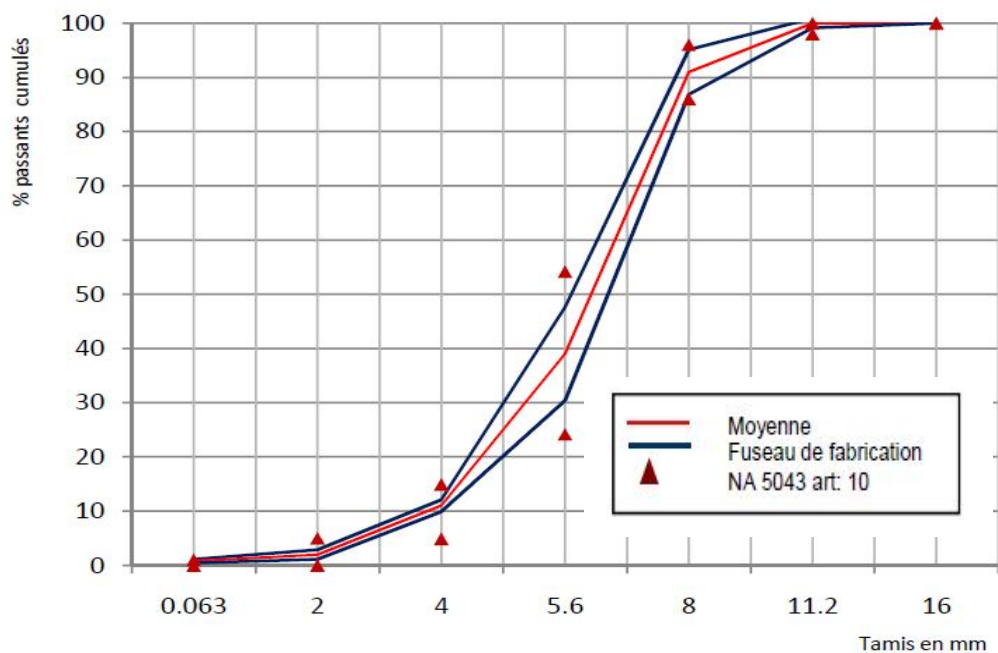


Figure 19: Fuseau de fabrication des gravillons 4/8 pour Roulement

Selon les résultats des caractéristiques géotechniques et les fiches techniques (annexe 2), les différents classes granulaires destinées au **béton** sont de code **A**, ces matériaux présentent d'excellentes caractéristiques mécaniques.

En *technique routière*,

L'utilisation des classes granulaires (4/8, 8/16, 16/22) en assises de chaussées (couche de base et couche de roulement) doit être limitée aux trafics supérieurs ou égaux à T_0 ($\geq T_0$) du fait des faibles résistances à l'usure et au frottement. Ces classes sont de code **III-A-a** (annexe 2).

Leurs utilisation en couche de surface doit être limitée aux trafics égaux à T_3 pour la couche de roulement et égal à T_2 pour la couche de liaison. Ces classes sont de code **I-C-a** (annexe 2).

Les sables (0/4) destinés aux assises de chaussées sont de code **a** (annexe 2).

CONCLUSIONS GENERALES

Au terme de cette recherche relative à l'étude des propriétés géotechniques des agrégats de la série Turono-coniacienne du Djebel Ich-Ali (Wilaya de Batna), il a été possible d'émettre les conclusions suivants :

Sur le plan pétrographiques, la formation carbonate a été subdivisée en trois niveaux, qui sont de bas en haut :

Niveau 01 : calcaires argileux sombres stratifiés phosphatés à foraminifères planctoniques.

Niveau 02 : calcaires stratifiés sombres à coraux, et foraminifères benthiques.

Niveau 03 : calcaires stratifiés bioclastiques à colonie des coraux et rudistes, foraminifères benthiques.

Nous tenons, aussi à signaler que le niveau inférieur est souligné par des caractéristiques mécaniques non satisfaisante dans le domaine du béton et de chaussé. Cela est dû à la présence des bancs calcaireux argileux et l'intercalation avec des joints marneux.

Aux niveaux supérieurs et médians, les propriétés géotechniques des granulats répandent largement aux conditions exigées par les spécifications des granulats utilisés dans le mortier et dans les bétons hydrauliques correspondant à un trafic fort. Comme ils peuvent être destinés aux assises de chaussées (couches de fondation et de base) et aux enduits superficiels (couche de roulement et de liaison) à trafic routier moyen. A l'exception des sables qui ont des valeurs de module de finesse impliquent une amplitude maximale non admise par la norme, il est toujours possible de modifier le module de finesse de ce sable par l'adjonction d'un deuxième sable de module de finesse différent. En préférence dans ce cas le sable de l'Oued.

Références bibliographiques

AITCIEN., PIERRE CLAUD., 1983. Technologie des granulats.

AFNOR, 2000. NF EN 12620 - Granulats pour bétons.

AFNOR , 2004. XP P 18-545 – Granulats - Eléments de définition, conformité et codification.

AFNOR, octobre 1997. XP P 18-540 – Granulats - Définition, conformité et codification, spécification.

AFNOR, août 1998. NF NE 1097-3 – Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 3 – Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire.

AFNOR, décembre 1996. NF NE 932-1 – Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1 – Méthode d'échantillonnage.

AFNOR, décembre 1997. NF NE 933-1 – Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1 – Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage.

AFNOR, mars 1997. NF NE 933-3 – Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 3 – Détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement.

AFNOR, août 1999. NF NE 933-9 – Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 9 – Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène.

AFNOR, décembre 1996. NF EN 932-3 – Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 3 – Procédure et terminologie pour la description pétrographique simplifiée.

mécaniques et physiques des granulats – Partie 1– Détermination de la résistance à l'usure micro-Deval (micro-Deval).

AFNOR, octobre 1998. NF EN 1097-2 – Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 – Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation.

AFNOR, mars 2000. NF EN 1097 - 8 – Essais sur les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 8 – Détermination du coefficient de polissage accéléré.

AFNOR, 1979. NF P.18-591– Détermination de la propreté superficielle.

Bureau D, 1975. Esquisse géologique des Monts de Bélezma-Aurès, Algérie. Publ.Serv. Carte. Algérie, Bull. N° 45.

CLE, 1976, Les Aurès – Etude géologique – Rapport d’option.

Denis.A; Tourenq.C., 1982. Les essais de granulats, Rapport de recherche LPC N°114 de l’urbanisme et du logement, Laboratoire des ponts et Chaussées.

Djaiz F., 2011. Le Bassin néogène de Timgad : Etudes Sédimentaire et Tectonique (Algérie nord-orientale). Thèse de Doctorat, Univ. Mentouri-Constantine, 275 p.

Donze, 1974. L’introduction des Ostracodes dans la stratigraphie du sud-ouest Constantinois

Dunham RJ, 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. In « classification of carbonate rocks », A.A.P.G. Mem .1 : 108-121

Dupain, R; Lanchon, R. Saint-Arroman, J.C., 1995. Granulats, sols, ciments et bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Paris, Edition Casteilla, 236p.

Dupain, R; Lanchon, R. Saint-Arroman, J.C., 2000. Granulats, sols, ciments et bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Paris, Edition Casteilla, 236p.

Dupain, R. et Saint-Arroman, J.C., 2009.granulats, sols, ciments et bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Paris, Edition Casteilla, 240p.

DREG / SNMC, décembre 1978, Gisement de calcaire –Ain Touta - Rapport géologique final- recherche détaillée.

ENG, 2010. Dossier technique ENG Ain Touta.

ENG, 2011. Entreprise nationale des granulats. Unité Tahar Loucheme Ain Touta- Rapport d’activité.

Faure M., 1998, Routes – Les cours de l’ENTPE, Editions ALEAS Lyon, Tome 2, pp255, ISBN 2-908016-90-7

Flandrin, J., 1952. Les chaînes atlasiques et la bordure nord du Sahara. Publ. XIX C. G. I. Alger, Monogr. rég. 1^{re} série, n° 14

Foucault A., Raoult J. F., 1995. Dictionnaire de Géologie – 4ième édition – Masson

Fournel, 1849, Etude stratigraphique des Aurès.

IANOR, 2007. NA 5043 – Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.

IANOR, 2009. NA 5129 – Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Détermination de la résistance à l'usure.

Guiraud R., 1973. Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse 3^e cycle, Université de Nice, 270 p.

Guiraud R., 1990. Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Geological Survey of Algéria, Mémoire 3.

Gharbi R. Touahria A., 2007, Le passage Turono-coniacien dans la série de Dj-Ich Ali Etude lithostratigraphique, sédimentologique et tectonique – Mémoire Ing. Université El haj Lakhdar Batna.

GSM. ITALCEMENTI GROUP, mai 2009, Aide- mémoire qualité des granulats.

WWW.gsm-granulats.fr

Herkat M., 1991. Cycle eustatiques et cadre paléogéographique du Crétacé supérieur des Aurès. Algérie 2^{ème} Sém. Géol. Alg.

Herkat M., 1992. Manifestations diapiriques du Trias dans les séries du Crétacé supérieur de l'Atlas Saharien et des Aurès. Bull du serv. Géol. De L' Algérie, vol 3 n° 1.

Killian, 1931. L'étude stratigraphique de l'Aurès.

Laffite R., 1939. Etude de géologie de l'Aurès. Doctorat ès Sciences Paris, Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, 1re série, n° 15, 484 p., 26 fig., 35 cartes, 1 carte au 1/200 000eh.t.

LACAS G ; CROS.P et LANG.J., 1976. Les roches sédimentaires, Etude microscopique des roches meubles et consolidées. Edit Dorus Paris 503p

Maillot R., 2001, Mémento technique des granulats, les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, , pp 166, ISBN 2-911762-29-0

SETRA, LCPC, 2000, Assises de chaussées – *Guide d'application des normes pour le réseau national routier.*

Yahiaoui A., 1990. La partie inférieure de la série marno-calcaire du Crétacé supérieur (Cénomaniens supérieur à Coniacien inférieur, entre Batna et El Kantara). Algérie orientale : Stratigraphie, Sédimentologie et Paléogéographie. Thèse de Doctorat, Univ. Nancy I.

ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs de u

Caractéristique	Symbole	Unité	U
Granularité des gravillons		% en masse	Tamis vidéo
Passant à d/2 et 1.4D			1 1
Passant à d et D			5 3
Passant à D/1.4 et D/2			12(2) 4
Teneur en fines des gravillons	f		0.3 si $\leq 1.5\%$ 0.6 si $> 1.5\%$
Coefficient d'aplatissement	Fl	% en masse	4
Pourcentage de faces cassées	Cc,Ctc,Ctr	% en masse	7
Equivalent de sable	SE	%	9 si SE < 50 6 si SE ≥ 50
Module de finesse	FM	Sans unité	0.15
Essai au bleu de méthylène	MB	g.bleu/ 1kg	0.5
Essai sur 0/2 mm	MB _F	g.bleu/1kg de fines	2
Essai sur < 0.125 mm			
Micro-Deval	M _{DE}	%	3
Los Angeles	LA	%	3
Teneur en chlorures	C	%	0.003
Teneur en sulfates solubles dans l'acide	AS	%	0.15 si ≤ 0.5 0.5 si > 0.5
Teneur en soufre total	S	%	0.1
Teneur en sulfates solubles dans l'eau		%	0.1

PLANCHE III: Fiche technique produit des granulats pour Fondation de chaussé
(gravillon 4/8)

Partie engagement du fournisseur								Norme NA5043 : Article 7		
Produit Gravillons 4/8								Code	III	C
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>FI</i>
	1,6	2	4	5,6	8	11,2	16			
<i>V_{ss + u}</i>	2,6	6,0	27,8	66,2	105,6			28,0	23,0	29,0
<i>V_{ss}</i>	2,0	5,0	22,8	54,2	100			25,0	20,0	25,0
<i>V_{si}</i>			2,8	24,2	80,6	98	100			
<i>V_{si - u}</i>				12,0	76,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011										
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>FI</i>
Maximum	1,40	4,0	20,0	60,0	97,0	100,0	100	24,72	13,0	24,45
$X + 1.25 s$	1,10	2,9	14,5	47,6	95,1	100,9	100	24,90	13,3	19,10
Moyenne X	0,79	2,0	10,0	39,0	91,0	100,0	100	24,54	12,4	15,76
$X - 1.25 s$	0,50	0,0	5,5	30,4	86,9	99,1	100	24,10	11,5	12,40
Minimum	0,27	1,0	4,0	25,0	83,0	97,0	100	24,0	11,3	10,22
Ecart-type s	0,25	0,7	3,6	6,90	3,30	0,70	0,00	0,32	0,70	02,67
Nombre résultats	44	44	44	44	44	44	44	5	5	44

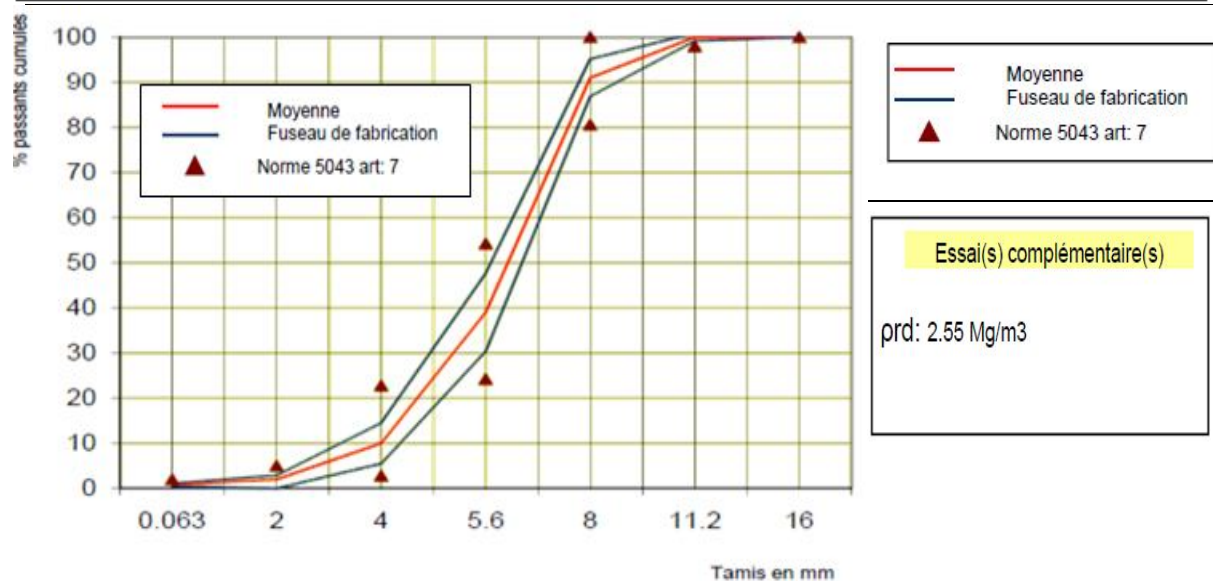
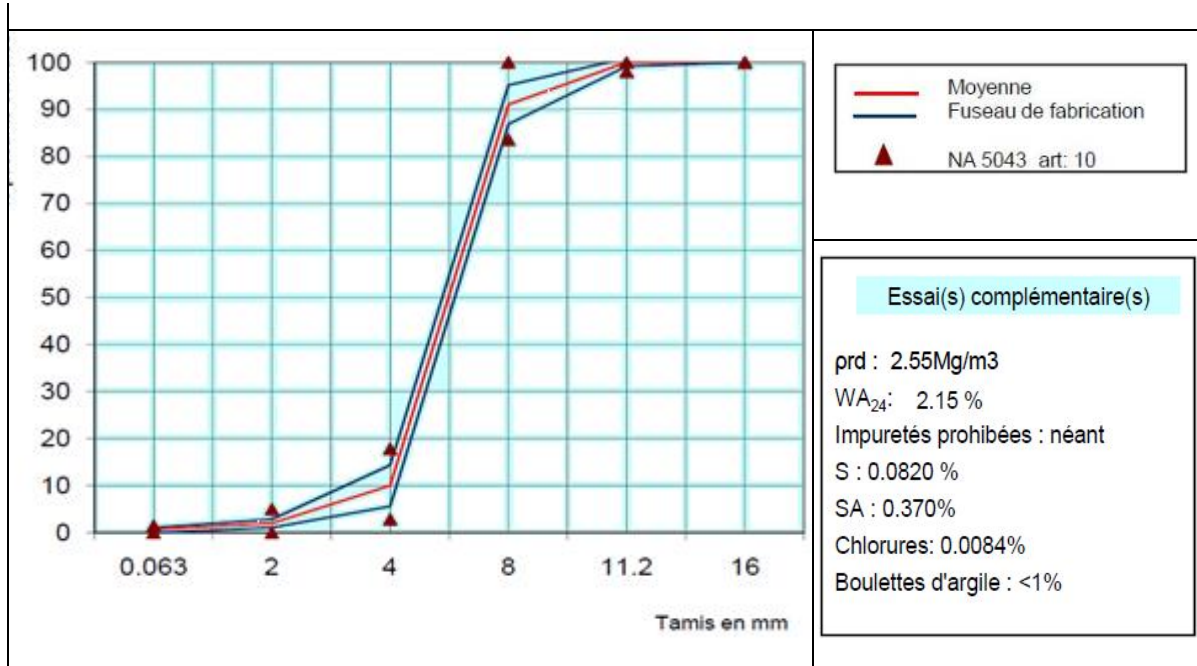


PLANCHE IV: Fiche technique produit des granulats béton (gravillon 4/8)

artie engagement du fournisseur						Norme NA5043 : Article 10		
Produit Gravillons 4/8						Code	A	
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>Fl</i>
	1,6	2	4	8	11,2	16		
<i>V_{ss} + u</i>	2,1	6,0	22,8	103,5			33,0	24,0
<i>V_{ss}</i>	1,5	5,0	17,8	98,5			30,0	20,0
<i>V_{si}</i>			2,8	83,5	98	100		
<i>V_{si} - u</i>			0,0	79,0	97			

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011								
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>Fl</i>
Maximum	1,4	4,0	20,0	97,0	100,0	100	24,7	24,5
<i>X + 1.25 s</i>	1,1	2,9	14,4	95,1	100,9	100	24,9	19,1
Moyenne <i>X</i>	0,8	2,0	10,0	91,0	100,0	100	24,5	15,8
<i>X - 1.25 s</i>	0,0	0,0	5,6	86,9	99,1	100	24,1	12,8
Minimum	0,3	1,0	4,0	83,0	99,1	100	24,0	10,2
Ecart-type <i>s</i>	0,3	0,7	3,5	3,3	0,70	0,00	0,30	2,6
Nombre résultats	45	45	45	45	45	45	5	23



— Moyenne
 — Fuseau de fabrication
 ▲ NA 5043 art: 10

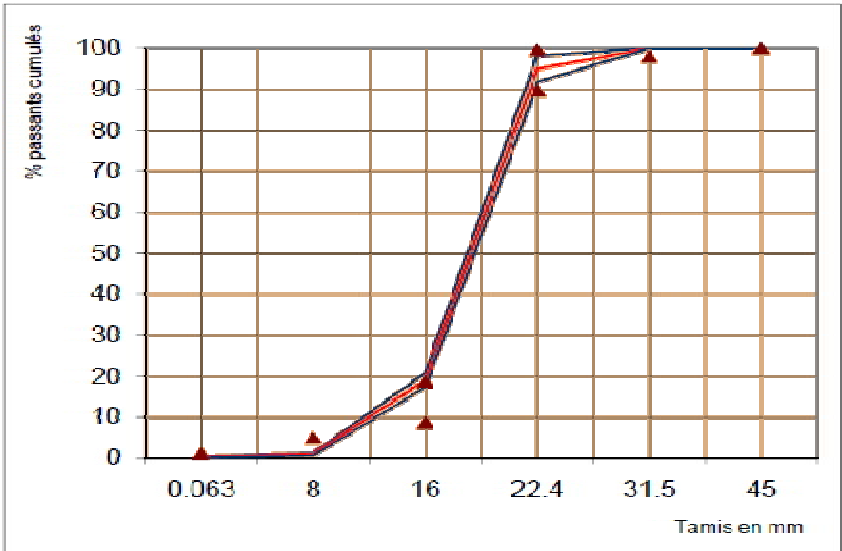
Essai(s) complémentaire(s)

prd : 2.55Mg/m3
 WA₂₄: 2.15 %
 Impuretés prohibées : néant
 S : 0.0820 %
 SA : 0.370%
 Chlorures: 0.0084%
 Boulettes d'argile : <1%

PLANCHE V: Fiche technique produit des granulats pour couche de roulement
(gravillon 16/22)

Partie engagement du fournisseur							Norme NA5043 : Article 8		
Produit Gravillons 16/22							Code	I	C
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>			
	<i>0,063</i>	<i>8,0</i>	<i>16</i>	<i>22,4</i>	<i>31,5</i>	<i>45</i>			
<i>V_{ss} + u</i>	1,6	6,0	23,6	100			<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
<i>V_{ss}</i>	1,0	5,0	18,6	99,6			28,0	23	19,0
<i>V_{si}</i>			08,6	89,6	98	100	25,0	20	15,0
<i>V_{si} - u</i>				85,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011									
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
Maximum	0,90	1,0	20,0	97,0	100	100	24,72	13,0	12,89
<i>X + 1.25 s</i>	0,60	1,3	20,8	98,3	100	100	24,90	13,3	3,70
Moyenne <i>X</i>	0,41	1,0	19,0	95,0	100	100	24,54	12,4	1,91
<i>X - 1.25 s</i>	0,20	0,0	17,3	91,8	100	100	24,10	11,5	0,10
Minimum	0,23	0,0	15,0	88,0	100	100	24,0	11,3	7,15
Ecart-type <i>s</i>	0,20	0,2	1,40	2,60	0,00	0,00	0,30	0,70	1,50
Nombre résultats	23	23	23	23	23	23	5	5	23

	<p>— Moyenne — Fuseau de fabrication ▲ NA 5043 art:8</p>
<p style="background-color: #fce4d6; padding: 5px;">Essai(s) complémentaire(s)</p> <p>prd : 2.55 Mg/m³</p>	

**PLANCHE VI: Fiche technique produit des granulats pour Fondation de
chaussé (gravillon 16/22)**

Partie engagement du fournisseur							Norme NA5043 : Article 7		
Produit Gravillons 16/22							Code	III	C
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
	<i>0,063</i>	<i>8,0</i>	<i>16</i>	<i>22,4</i>	<i>31,5</i>	<i>45</i>	28,0	23,0	29,0
<i>V_{ss} + u</i>	1,6	6,0	28,6	105,9			25,0	20,0	25,0
<i>V_{ss}</i>	1,0	5,0	23,6	100					
<i>V_{si}</i>			08,6	85,9	98	100			
<i>V_{si} - u</i>				81,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011									
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
Maximum	1,09	1,0	20,0	97,0	100	100	24,72	13,0	12,89
<i>X + 1.25 s</i>	0,70	1,3	20,8	98,3	100	100	24,90	13,3	11,7
Moyenne <i>X</i>	0,44	1,0	19,0	95,0	100	100	24,54	12,4	9,91
<i>X - 1.25 s</i>	0,20	0,0	17,3	91,8	100	100	24,10	11,5	8,10
Minimum	0,23	0,0	15,0	88,0	100	100	24,0	11,3	7,15
Ecart-type <i>s</i>	0,21	0,2	1,40	2,60	0,00	0,00	0,32	0,70	1,46
Nombre résultats	23	23	23	23	23	23	5	5	23

— Moyenne

— Fuseau de fabrication

▲ NA 5043 art:7

Essai(s) complémentaire(s)

prd: 2.55 Mg/m3

PLANCHE VII: Fiche technique produit des granulats pour béton (gravillon 16/22)

Partie engagement du fournisseur					Norme NA5043 : Article 10				
Produit Gravillons 16/22							Code	A	
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1.4D</i>	<i>2D</i>			
	<i>0,063</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>22,4</i>	<i>31,5</i>	<i>45</i>	<i>LA</i>	<i>Fl</i>	
<i>V_{ss + u}</i>	2,1	6,0	28,6	100			33,0	24,0	
<i>V_{ss}</i>	1,5	5,0	23,6	100			30,0	20,0	
<i>V_{si}</i>			08,6	85,9	98	100			
<i>V_{si - u}</i>			00,0	81,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011								
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>Fl</i>
Maximum	1,1	1,0	20,0	97,0	100	100	24,7	12,9
<i>X + 1.25 s</i>	0,7	1,3	20,8	98,3	100	100	24,9	11,7
Moyenne <i>X</i>	0,4	1,0	19,0	95,0	100	100	24,5	9,9
<i>X - 1.25 s</i>	0,2	0,0	17,3	91,8	100	100	24,1	8,1
Minimum	0,2	0,0	15,0	88,0	100	100	24,0	7,2
Ecart-type <i>s</i>	0,2	0,2	1,40	2,60	0,00	0,00	0,30	1,5
Nombre résultats	23	23	23	23	23	23	5	23

Tamis en mm

— Moyenne
— Fuseau de fabrication
▲ NA 5043 art: 10

Essai(s) complémentaire(s)

prd : 2.55 Mg/m³
 WA₂₄: 2.15%
 Impuretés prohibées : néant
 S : 0.00820%
 SA : 0.370%
 Chlorures: 0.0084%
 Boulettes d'argile : <1%

PLANCHE VIII: Fiche technique produit des granulats pour couche de roulement(sable 0/4)

Partie engagement du fournisseur				Norme NA5043 : Article 8		
Produit Gravillons 0/4					Code	A
	<i>f</i>	<i>D/2</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>PA</i>
	0,063	2	4	5,6	8	MB
<i>V_{ss + u}</i>	10,7	87,0	99,0	100,0	100	1,08
<i>V_{ss}</i>	9,1	78,6	98,6	100,6	100	0,80
<i>V_{si}</i>	5,8	69,4	69,4	99,40	100	0,30
<i>V_{si - u}</i>	4,6	66,0	66,0	97,00	100	0,20

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011						
	<i>f</i>	<i>D/2</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>MB</i>
Maximum	10,7	87,0	99,0	100,0	100	1,08
<i>X + 1.25 s</i>	9,1	78,6	98,6	100,6	100	0,80
Moyenne <i>X</i>	7,5	74,0	97,0	100,0	100	0,54
<i>X - 1.25 s</i>	5,8	69,4	95,4	99,40	100	0,30
Minimum	4,6	66,0	94,0	97,00	100	0,20
Ecart-type <i>s</i>	1,3	3,70	1,30	00,50	0,00	0,18
Nombre résultats	39	39	39	39	39	39

Tamis en mm

— Moyenne
— Fuseau de fabrication
▲ NA 5043 art: 8

Essai(s) complémentaire(s)
prd : 2.64 Mg/m³

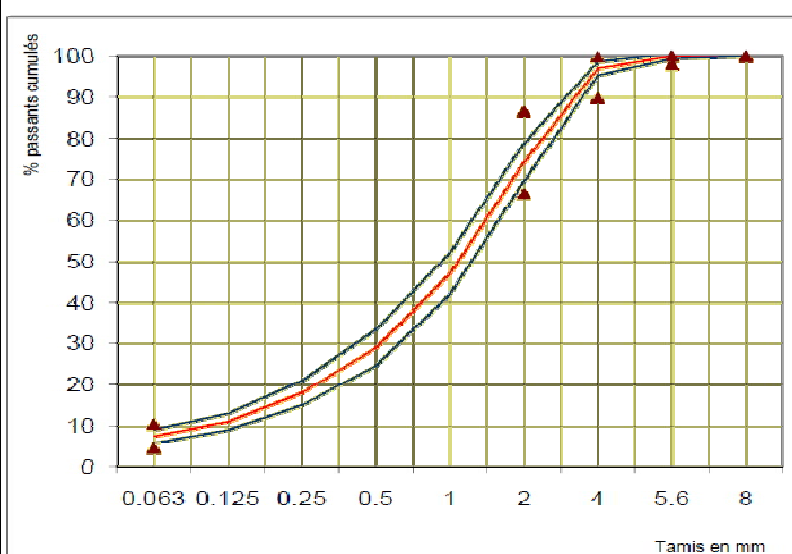
PLANCHE IX: Fiche technique produit des granulats pour Fondation de chaussé
(sable 0/4)

Partie engagement du fournisseur Norme NA5043 : Article 7

Produit Gravillons 0/4	Code	A	
------------------------	-------------	----------	--

	<i>f</i>	<i>D/2</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>PA</i>
	0,063	2	4	5,6	8	<i>MB</i>
<i>V_{ss} + u</i>	12,5	89,5	101,8			2,00
<i>V_{ss}</i>	10,5	86,5	99,8			1,50
<i>V_{si}</i>	4,50	66,5	89,8	98,0	100	
<i>V_{si} - u</i>	2,50	64,0	88,0	97,0		

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011						
	<i>f</i>	<i>D/2</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>MB</i>
Maximum	10,7	87,0	99,0	100	100	1,08
<i>X + 1,25 s</i>	9,1	78,6	98,6	100,6	100	0,80
Moyenne <i>X</i>	7,5	74,0	97,0	100	100	0,54
<i>X - 1,25 s</i>	5,8	69,4	95,4	99,4	100	0,30
Minimum	4,6	66,0	94,0	97,0	100	0,20
Ecart-type <i>s</i>	1,3	3,70	1,30	0,50	0,00	0,18
Nombre résultats	26	26	26	26	26	26



— Moyenne
— Fuseau de fabrication
▲ NA 5043 art: 7

Essai(s) complémentaire(s)
 prd : 2.64 Mg/m³

PLANCHE X: Fiche technique produit des granulats pour béton (sable 0/4)

Partie engagement du fournisseur							Norme NA5043 : Article 10		
Produit Gravillons 0/4							Code	A	
	<i>f</i>			<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>PA</i>		
	<i>0,063</i>	<i>0,25</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>5,6</i>	<i>8</i>	<i>MB</i>	<i>FM</i>	
<i>V_{ss} + u</i>	12,4	31,0	59,0	101,6			1,50	3,90	
<i>V_{ss}</i>	10,4	27,0	55,0	99,6			1,00	3,75	
<i>V_{si}</i>	4,40	7,00	35,0	89,6	95	100		2,95	
<i>V_{si} - u</i>	2,40	3,00	31,0	88,0	94			2,80	

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011								
	<i>f</i>	<i>0,25</i>	<i>1</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>MB</i>	<i>FM</i>
Maximum	10,7	24,0	59,0	99,0	100	100	1,08	3,84
<i>X + 1.25 s</i>	9,1	21,0	53,0	98,3	100,6	100	0,76	3,47
Moyenne <i>X</i>	7,4	17,0	47,0	96,0	100	100	0,53	3,26
<i>X - 1.25 s</i>	5,7	13,0	41,0	93,8	99,4	100	0,31	3,05
Minimum	4,6	9,00	31,0	90,0	97,0	100	0,20	2,85
Ecart-type <i>s</i>	1,3	3,20	4,80	1,80	0,50	0,00	0,18	0,17
Nombre résultats	40	40	40	40	40	40	40	40

— Moyenne
— Fuseau de fabrication
▲ NA 5043 art. 10

Essai(s) complémentaire(s)

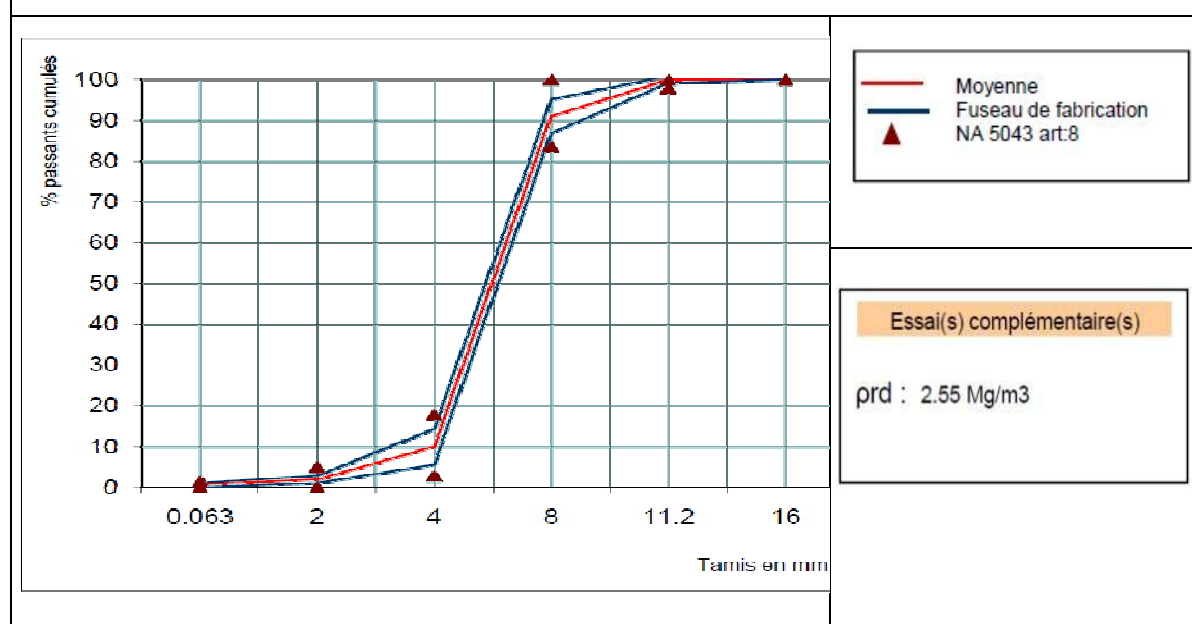
prd : 2.64 Mg/m³
 WA₂₄: 0.28 %
 Impuretés prohibées : néant
 S :% 0.0820%
 SA :% 0.370%
 Chlorures: 0.0084 %

**PLANCHE XI: Fiche technique produit des granulats pour roulement de
chaussé (gravillon 8/16)**

Partie engagement du fournisseur							Norme NA5043 : Article 8		
Produit Gravillons 8/16							Code	III	A

	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
	0,063	4	8	11,2	16	22,4	31,5			
<i>V_{ss + u}</i>	1,60	6,00	16,8	65,9	100			23,0	18,0	29,0
<i>V_{ss}</i>	1,00	5,00	11,8	53,9	99,8			20,0	15,0	25,0
<i>V_{si}</i>			1,80	23,9	89,8	97				
<i>V_{si - u}</i>				12,0	85,0	0,0	00			

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011										
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>Fl</i>
Maximum	0,75	2,0	12,0	63,0	99,0	100	100	24,72	13,0	20,29
<i>X + 1.25 s</i>	0,60	1,5	10,5	49,3	98,5	100	100	24,90	13,3	16,80
Moyenne <i>X</i>	0,44	1,0	7,00	38,0	96,0	100	100	24,54	12,4	12,71
<i>X - 1.25 s</i>	0,30	0,0	3,50	26,8	93,5	100	100	24,10	11,5	8,60
Minimum	0,18	0,0	2,00	23,0	90,0	100	100	24,00	11,3	7,56
Ecart-type <i>s</i>	0,10	0,4	2,80	9,00	2,00	0,00	0,00	0,30	0,70	3,30
Nombre résultats	31	31	31	31	31	31	31	5	5	31



**PLANCHE XII: Fiche technique produit des granulats pour Fondation de
chaussé (gravillon 8/16)**

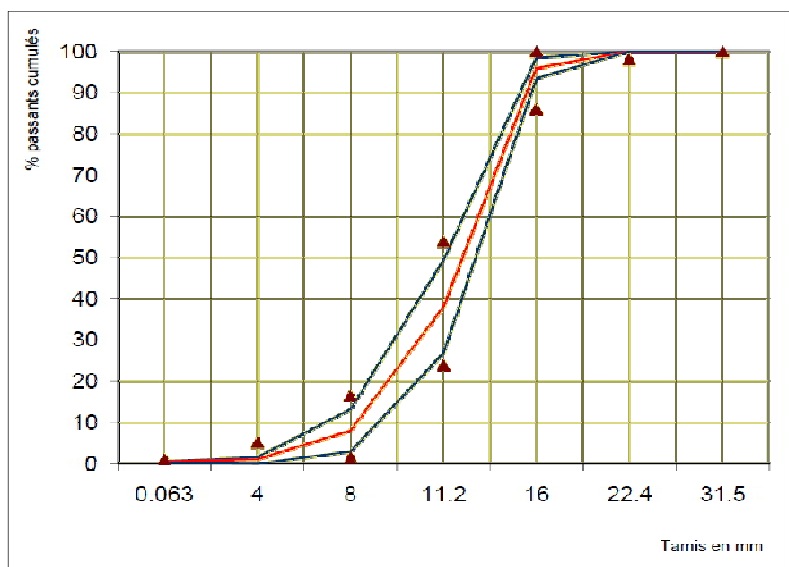
Partie engagement du fournisseur Norme NA5043 : Article 7

Produit Gravillons 8/16	Code	III	C
-------------------------	-------------	------------	----------

	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>FI</i>
	0,063	4	8	11,2	16	22,4	31,5			
<i>V_{ss + u}</i>	1,60	6,00	21,4	65,9	100			28,0	23,0	29,0
<i>V_{ss}</i>	1,00	5,00	16,4	53,9	100			25,0	20,0	25,0
<i>V_{si}</i>			1,40	23,9	86,0	98	100			
<i>V_{si - u}</i>				12,0	81,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011

	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D/1,4</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>MDE</i>	<i>FI</i>
Maximum	0,75	2,00	20,0	63,0	99,0	100	100	24,72	13,0	20,29
<i>X + 1.25 s</i>	0,60	1,50	13,1	49,3	98,5	100	100	24,90	13,3	16,80
Moyenne <i>X</i>	0,44	1,00	8,00	38,0	96,0	100	100	24,54	12,4	12,71
<i>X - 1.25 s</i>	0,30	0,00	2,90	26,8	93,5	100	100	24,10	11,5	8,60
Minimum	0,18	0,00	2,00	23,0	90,0	100	100	24,00	11,3	7,56
Ecart-type <i>s</i>	0,13	0,40	4,10	9,00	2,00	0,00	0,00	0,32	0,70	3,26
Nombre résultats	31	31	31	31	31	31	31	5	5	31



— Moyenne
— Fuseau de fabrication
▲ NA 5043 art:7

Essai(s) complémentaire(s)
prd: 2.55 Mg/m3

PLANCHE XIII: Fiche technique produit des granulats pour béton (gravillon 8/16)

Partie engagement du fournisseur						Norme NA5043 : Article 10			
Produit Gravillons 8/16						Code	A		
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>			
	0,063	4	8	16	22,4	31,5	<i>LA</i>	<i>Fl</i>	
<i>V_{ss} + u</i>	2,10	6,0	28,6	100			33,0	24,0	
<i>V_{ss}</i>	1,50	5,0	23,6	100			30,0	20,0	
<i>V_{si}</i>			08,6	85,9	98	100			
<i>V_{si} - u</i>			00,0	81,0	97				

Résultats de production du 01 / 01/ 2011 au 30/ 06/ 2011								
	<i>f</i>	<i>d/2</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>1,4D</i>	<i>2D</i>	<i>LA</i>	<i>Fl</i>
Maximum	1,1	1,0	20,0	97,0	100	100	24,7	12,9
<i>X + 1,25 s</i>	0,7	1,3	20,8	98,3	100	100	24,9	11,7
Moyenne <i>X</i>	0,4	1,0	19,0	95,0	100	100	24,5	9,90
<i>X - 1,25 s</i>	0,2	0,0	17,3	91,8	100	100	24,1	8,10
Minimum	0,2	0,0	15,0	88,0	100	100	24,0	7,20
Ecart-type <i>s</i>	0,2	0,2	1,40	2,60	0,00	0,00	0,30	1,50
Nombre résultats	23	23	23	23	23	23	5	23

Passants cumulés en %

Tamis en mm

— Moyenne
—▲— Fuseau de fabrication
NA 5043 art: 10

Essai(s) complémentaire(s)

prd : 2.55 Mg/m3
 WA₂₄: 2.15%
 Impuretés prohibées : néant
 S : 0.0820%
 SA : 0.370%
 Chlorures: 0.0084%
 Boulettes d'argile : <1%