

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère d'enseignement supérieur et de la  
recherche scientifiques

Université MOULOUD MAMMARI de TIZI OUZOU



Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil

Mémoire de master 2

Géotechnique et environnement

**Thème :**

**Caractéristiques géotechniques**

**des granulats**

**(cas des granulats de**

**l'oued SEBAOU et la carrière ALMAHAROUNE)**

**Encadré par :**

Mr : DJEMAI Mohammed.

**Présenté par :**

Mr : AIT CHIKHOUNE Cherif.

Année 2015

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

✚ *Mon défunt père qui est un être cher ;*

✚ *Ma très chère mère ;*

✚ *Mes sœurs et frères ;*

✚ *Mes amis ;*

✚ *tous ceux et celles qui de près ou de loin m'ont apporté aide et encouragement.*

*CHERIF AIT CHIKHOUNE*

# Sommaire

Introduction générale	10
<b>CHAPITRE I : Théorie des granulats</b>	12
1. Définition des granulats	13
2. Nature et origine des granulats	13
a) Granulats naturels	14
a.1) Les granulats de roche meuble	14
a.2) Les granulats de roche massive	14
b) Granulats artificiels	14
b.1) Sous-produits industriels, concassés ou non	14
b.2) Granulats à hautes caractéristiques	14
c) Granulats recyclés	15
3. Les différents types de granulats	15
4. Production des granulats	16
a) Le décapage	16
b) L'extraction	16
c) Le traitement	16
5. Qualités et propriétés des granulats	16
a) La densité	16
b) La dureté	16
c) L'angularité et la rugosité	16
d) La perméabilité	16
e) L'élasticité	17
f) La dilatation	17
g) La rétraction/contraction	17
h) Le non gélivité	17
6. Fonctions des granulats	17
7. La détérioration des granulats	18
a) Détérioration par usure mécanique	18
b) Détérioration par pollution	18
c) Détérioration par l'altération	19
8. Les caractéristiques des granulats	20
8.1. Les caractéristiques géologiques	20
a. La composition minéralogique	20
b. La Texture	20
c. L'altération	20
d. La tectonique	21
8.2. Les caractéristiques géotechniques	21
a. Les caractéristiques géométriques	21
a.1. La granulométrie	21
a.2. La classe granulaire	22
a.3. Module de finesse	22
a.4. Coefficient d'aplatissement	22
a.5. Forme des granulats	22
b. Caractéristiques physico-chimiques	22

<b>b.1. Propreté des granulats</b>	22
<b>b.2. Masse volumique apparentes (en vrac) des granulats</b>	23
<b>b.3. Porosité des granulats</b>	23
<b>c. Caractéristiques mécaniques</b>	23
<b>c.1. Résistance à l'usure des granulats</b>	23
<b>c.2. Résistance à la fragmentation des granulats</b>	23
<b>c.3. Résistance au polissage des granulats</b>	24
<b>c.4. Coefficient d'absorption d'eau</b>	24
<b>c.5. Résistance des granulats au gel-dégel</b>	24
<b>d. Caractéristiques chimiques</b>	24
<b>d.1. Réactivités aux alcalis</b>	24
<b>d.2. Teneur en soufre et en sulfates</b>	24
<b>e. Caractéristiques esthétiques</b>	2
<b>CHAPITRE II : Methodes de clasification</b>	26
<b>1. Introduction</b>	27
<b>2. Prélèvements des échantillons</b>	27
<b>3. Les paramètres physiques</b>	28
<b>4. L'analyse granulométrique</b>	29
<b>5. Equivalent de sable (ES%)</b>	30
<b>6. Densité relative (ou indice de densité)</b>	31
<b>7. Limites d'atterberg</b>	31
<b>8. Valeur du bleu de méthylène d'un sol « VBS »</b>	32
<b>9. Teneur en carbonate (% de CaCo<sub>3</sub>)</b>	33
<b>10. La teneur en matière organique « MO »</b>	33
<b>11. Essai micro-deval</b>	36
<b>12. Essai los-agnelés</b>	36
<b>13. Essai de friabilité</b>	36
<b>14. Essai de dégradabilité</b>	37
<b>15. Essai de fragmentabilité</b>	37
<b>16. Conclusion</b>	38
<b>CHAPITRE III : Partie exprimentale</b>	39
<b>1. Introduction</b>	40
<b>2. Définition des schistes</b>	40
<b>3. La composition minéralogique des schistes</b>	40
<b>4. Localisation des schistes</b>	41
<b>5. Formation des schistes cristallins dans la grande Kabylie</b>	41
<b>6. La résistance a la compression des béton a granulats légers</b>	41
<b>7. Les différents types de schiste identifiés</b>	42
<b>a) Les schistes argileux</b>	42
<b>b) Les schistes satinés</b>	42
<b>c) Les schistes tachetés</b>	42
<b>8. La couleur des différents types de schistes sous le microscope</b>	42
<b>9. La pétrographie du schiste</b>	43
<b>10. Origine des échantillons d'essais</b>	43
<b>11. Identification des matériaux</b>	46
<b>a) Analyse granulométrique</b>	46

b) La teneur en eau	47
c) La masse volumique	47
c.1) Détermination de la masse volumique sèche ( $\gamma_d$ )	47
c.2) Détermination de la masse volumique humide ( $\gamma_h$ )	48
c.3) Détermination de la masse volumique des grains solide ( $\gamma_s$ )	49
c.4) Indice des vides, degré de saturation et porosité	50
d) Essai d'usure Micro-Deval	51
e) Essai de la résistance aux chocs Los Angeles	52
f) L'essai de fragmentabilité	54
g) L'essai de dégradabilité	55
<b>CHAPITRE IV : Interprétations</b>	62
1. Analyse granulométrique	63
2. La teneur en eau	63
3. La masse volumique	63
4. Indice des vides, degré de saturation et porosité	64
5. Les essais Micro-Deval et Los-Angeles	64
6. Les essais de fragmentabilité et de dégradabilité	64
7. Discussions des résultats : (tableau 14 chapitre III)	65
8. Conclusion	66
<b>CHAPITRE V : Perspectives</b>	67
I. La réutilisation des granulats	68
1. Introduction	68
2. Les différents cas d'utilisations des granulats	68
a) Dans les bétons	68
b) Dans les mortiers	68
c) Dans le corps de chaussée	68
d) Dans la voie ferrée (ballastage)	69
3. Le choix des matériaux	69
4. Les granulats de recyclage	70
5. Les déchets destinés au recyclage	71
6. Classes principales de granulats recyclés	71
a) Granulats de débris de béton	71
b) Granulats de débris de maçonneries	71
c) Granulats de débris hydrocarbonés	72
d) Granulats de débris mixte	72
7. Caractérisation des granulats recyclés	72
a) Sorte de granulats	73
b) Classe granulaire	73
c) Caractéristiques complémentaires	73
d) Éléments perturbateurs	73
e) Identification complémentaire du fabricant	74
8. Elaboration des matériaux recyclés	75
9. Domaine d'emploi des matériaux de recyclage	76
10. Précautions d'emploi	76
a) La maîtrise de compactage et la teneur en eau	76
b) Agressivité	76
c) Les particularités environnementales	76

<b>II. Les impacts</b>	77
<b>A. Les impacts de la carrière sur l'environnement</b>	77
<b>A.1. L'impact social</b>	77
<b>A.2. L'impact économique</b>	77
<b>A.3. L'impact sur les sources d'eau</b>	77
<b>A.4. L'Impact biologique</b>	77
<b>A.5. L'impact sur l'atmosphère</b>	77
<b>A.6. L'impact sur le paysage</b>	78
<b>A.7. L'impact sur les infrastructures</b>	78
<b>A.8. Les nuisances sonores et les vibrations</b>	78
<b>A.9 Les polluants atmosphériques</b>	78
<b>A.10. Les matériaux divers</b>	79
<b>B. Les impacts de La gravière sur l'environnement</b>	79
<b>B.1. Les impactes sur les sources d'eau</b>	79
<b>C. Conclusion</b>	81
<b>Conclusion générale</b>	82
<b>Bibliographie</b>	84
<b>Annexe</b>	87

## Liste des figures :

### Chapitre I :

Figure 1 : granulats de différentes dimensions et couleurs.....	13
Figure 2 : granulats roulés.....	15
Figure 3 : granulats concassés.....	15
Figure 4 : Exemple de courbes granulométriques d'un sable et de deux gravillons.....	21

### Chapitre II :

Figure 1 : courbe granulométrique type.....	30
Figure 2 : Diagramme de plasticité (casagrande).....	34

### Chapitre III :

Figure 1 : Relation entre la résistance à la compression du béton à 28jours (mesurée sur cubes) et le dosage en ciment des bétons ayant un affaissement de (5cm) et confectionnés avec différents types de granulats légers.....	41
Figure 2 : localisation de 1 <sup>er</sup> prélèvement d'échantillons.....	43
Figure 3 : localisation de 2 <sup>eme</sup> prélèvement d'échantillons.....	44
Figure 4 : localisation de 3 <sup>eme</sup> prélèvement d'échantillons.....	44
Figure 5 : localisation de 4 <sup>eme</sup> prélèvement d'échantillons.....	45
Figure 6 : les fractions 6,3/10 des différents échantillons prélevés.....	45
Figure 7 : courbe granulométriques des différents échantillons étudiés.....	46
Figure 8 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°1.....	55
Figure 9 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°2.....	55
Figure 10 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°3.....	56
Figure 11 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°4.....	56
Figure 12 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°1.....	58
Figure 13 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°2.....	58
Figure 14 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°3.....	59

Figure 15 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°4.....	59
---	----

### Chapitre V :

Figure 1 : stock de matériaux de démolition destinés au recyclage.....	70
--	----

Figure 4 : exemple indicatif de production des matériaux recyclés.....	75
--	----

Figure 5 : Les polluants atmosphériques lors de tir de mine.....	79
--	----

Figure 6 : Déchaussement d'un pont, début d'affouillement au niveau de la fondation de la Culée de rive droite.....	80
---	----

Figure 7 : Incision et érosion de berge.....	80
--	----

### Liste des tableaux :

#### Chapitre I :

Tableau 1 : différents types de granulats issus de roches massives.....	14
---	----

Tableau 2 : Principales substances indésirables à l'utilisation des granulats.....	20
--	----

Tableau 3 : la teinte des granulats en fonction de l'origine minéralogique.....	25
---	----

#### Chapitre II :

Tableau 1 : Caractérisation des sols à partir de la valeur d'ES.....	31
--	----

Tableau 2 : Compacité d'un sol en fonction de l'indice de densité ID.....	31
---	----

Tableau 3 : type de sol en fonction d' $I_p$ .....	32
--	----

Tableau 4 : état de consistance du sol en fonction de « $I_c$ ».....	32
--	----

Tableau 5 : Etat de consistance du sol en fonction de « $I_L$ ».....	32
--	----

Tableau 6 : type de sol en fonction de la valeur « VBS ».....	33
---	----

Tableau 7: type de sol en fonction du % en $CaCo_3$ .....	33
---	----

Tableau 8 : type de sol en fonction du % en MO.....	33
---	----

Tableau 9 : classification des sols grenus plus 50% d'éléments supérieure à 0,08mm.....	35
---	----

Tableau 10 : valeurs des écarts types obtenus lors des essais sur granulats.....	38
--	----

### **Chapitre III :**

Tableau 1 : la composition minéralogique des schistes D'après l'étude faite par l'office national de recherche géologique et minière de tizi ouzou.....	40
Tableau 2 : résultats de détermination de la teneur en eau.....	47
Tableau 3 : résultats de la détermination de la masse volumique sèche.....	48
Tableau 4 : résultats de la détermination de la masse volumique humide.....	48
Tableau 5 : résultats de la détermination de la masse volumique des grains solides.....	49
Tableau 6 : résultats des différentes masses volumique.....	49
Tableau 7 : résultats de la détermination de la masse volumique sèche sur les fractions 4/6,3 et 6,3/10.....	49
Tableau 8 : résultats de l'indice des vides, degré de saturation et la porosité des quatre différents échantillons.....	51
Tableau 9 : les détails d'essai micro-deval.....	51
Tableau 10 : les détails d'essai Los Angeles .....	53
Tableau 11 : les résultats des essais Micro-Deval et Los Angeles.....	53
Tableau 12 : la valeur du coefficient de fragmentabilité des différents échantillons.....	54
Tableau 13 : la valeur du coefficient de dégradabilité des différents échantillons.....	57
Tableau 14 : les valeurs de l'essai los-Angeles, micro-deval, fragmentabilité et dégradabilité des différents échantillons prélevés.....	57
Tableau 15 : tableau de résultats avec observations.....	61

### **Chapitre V :**

Tableau 1 : extrait de la liste des déchets inertes et leurs conditions d'exploitation.....	71
---	----

## Introduction générale :

La réalisation des ouvrages de génie civil, en particulier les ouvrages routiers sont très important pour le développement économique d'un pays.

Notre pays, l'Algérie a rencontré en construisant ses ouvrages des problèmes comme le manque de granulats et leur exploitation. Ce manque a entrainer l'extraction abusive et excessive en polluant les nappes phréatiques, essentiellement, au niveau de la wilaya de TIZI OUZOU.

Autrefois, on construisait des structures, en utilisant des pierres de taille que l'on extrayait du sol, en leur donnant une forme bien précise.

Le génie civil a fait disparaître la pierre de taille en la remplaçant par une composition de granulats liés entre eux (béton, bitume...).

Vers la fin de l'année 1969, une enquête a été réalisée auprès des différents services des Ponts et Chaussées sur la détermination des granulats et sur les essais permettant leur contrôle.

Elle avait pour but d'une part de déterminer si les essais pratiqués sont bien adaptés à leur objet, et si d'autres essais, permettant d'estimer certains paramètres importants non encore étudiés, sont à rechercher.

D'autre part, permettre d'orienter les recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées en matière d'essais de granulats.

Certaines caractéristiques des granulats sont liées presque uniquement aux propriétés intrinsèques et propres des roches dont ils sont originaires ; d'autres dépendent des techniques d'élaboration.

Nous nous proposons de faire une synthèse des avis et suggestions que nous avons reçus sur les granulats, de préciser quelques points qui ne sont pas toujours perçus très clairement sur les essais effectués, de donner le domaine d'usage et d'application, et, en fin, de présenter les conséquences en relation avec l'extraction de ces matériaux.

Pour que l'emploi des granulats puisse se généraliser, nous nous proposons d'effectuer une étude théorique et expérimentale pour définir quelques caractéristiques, pour améliorer et maîtriser le comportement mécanique de ces matériaux.

Dans ce sens, ce présent mémoire illustre notre contribution à la connaissance de ces matériaux pour son éventuelle utilisation dans le domaine routier, qui se résume comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à la définition pour une meilleure compréhension d'un granulat dans le domaine de la géologie. Sachant qu'un granulat est une roche fragmentée, nous allons expliquer les différents types de granulats, leur production, leur intérêt et leur composition d'origine.

Ensuite nous exposerons au deuxième chapitre, une étude de classification des granulats selon les différents essais de laboratoire en suivant un plan international qu'utilise la plupart des pays

Au troisième chapitre, nous proposerons une étude géotechnique sur l'identification des matériaux, caractéristiques physiques, en suite une étude des propriétés mécaniques des différents échantillons prélevés, tout cela, après localisation du site et du lieu de prélèvement des différents granulats à étudier

A travers le quatrième chapitre, nous présenterons les analyses des résultats obtenus en vue d'émettre des commentaires et des recommandations pour les possibilités d'utilisation de ces granulats dans les structures de chaussées souples.

Nous terminerons notre étude par le cinquième chapitre qui fera objet d'une présentation d'un aperçu sur l'utilisation des granulats et leur recyclage dans les différents domaines du bâtiment et des travaux publics, ainsi que les précautions d'emploi de ces matériaux de recyclage. Ensuite nous présenterons tous les impacts d'extraction des granulats sur l'environnement tant au niveau des carrières ou l'exploitation directe dans le réseau hydrographique.

# CHAPITRE I

# Théorie des granulats

A decorative graphic consisting of a horizontal, textured band that resembles granular material or soil, positioned below the main title.

## **1. Définition des granulats :**

Les granulats sont des petits morceaux de roches, sont constitués d'un ensemble de grains minéraux de dimension comprise entre 0 et 125 mm (NF P 18-540 **d'octobre 1997**) pour la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation de base et de roulement des chaussées et des voies ferrées. Selon sa dimension se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

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

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition.

La taille d'un granulats répond à des critères granulométriques précis.

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique à l'aide des tamis.

Le granulats est désigné par le couple d/D avec

d: dimension inférieure du granulats

D: dimension supérieure du granulats [2]



**Figure 1 : granulats de différentes dimensions et couleurs [2]**

## **2. Nature et origine des granulats :**

En fonction de la nature et de l'origine, le granulats peut être naturel, artificiel et recyclé

**a) Granulats naturels :**

Les granulats naturels sont issus de roches meubles (matériaux alluvionnaires) ou massives (dures). N'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Les roches meubles sont exploitées le long des fleuves, des rivières et des moraines (dépôt fluvio-glaciaire). Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes; les roches massives éruptives constituent les massifs anciens.

**a.1. Les granulats de roche meuble :**

Sont roulés, ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau.

**a.2) Les granulats de roche massive :**

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré-criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. [2]

**Tableau 1 : différents types de granulats issus de roches massives [2]**

<b>Différents types de granulats issus de roches massives</b>	
<b>Types de roches massives</b>	<b>Exemple de famille de granulats</b>
Roche magmatique Roche éruptive.	Granite, rhyolite, porphyre, diorite, basalte, etc
Roche sédimentaire	Grès, grès quartziques, silex, calcaires, etc.
Roche métamorphique	Gneiss, micaschistes, quartzites, etc

**b) Granulats artificiels :** d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

**b.1) Sous-produits industriels, concassés ou non :**

Les plus utilisés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

**b.2) Granulats à hautes caractéristiques :**

C'est les granulats élaborés industriellement très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

### c) Granulats recyclés :

Obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments [2]

#### Les granulats légers :

Sont l'argile expansée, le schiste expansé ou le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité.

#### Les composants légers :

Sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale. Le polystyrène expansé et le liège, d'origine non minérale, le bois, ainsi que la vermiculite, de masse volumique de 20 à 100 kg/m<sup>3</sup>. [2]

### 3. Les différents types de granulats :

On distingue deux grandes catégories de granulats :

- Les « **roulés** » (figure 2) issus des roches meubles alluvionnaires, ces graviers se sont arrondis par usure dans les cours d'eau ou au contact des glaciers.



**Figure 2 : granulats roulés**

- Les « **concassés** » (figure 3) proviennent des roches massives : en se brisant sous l'effet du concassage, les roches ont produit des graviers aux parois anguleuses.



**Figure 3 : granulats concassés**

#### 4. Production des granulats :

La production des granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes :

- a) **Le décapage** : enlèvement des terres situées au-dessus de la zone à exploiter.
- b) **L'extraction** : dans les carrières. Les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement :
  - gisement de granulats alluvionnaires exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague) ;
  - gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs.
- c) **Le traitement** : broyés avec des appareils d'écrasement pour réduire leur taille, criblés avec des cribles vibrants pour obtenir des granulats de tailles différentes, puis lavés pour éliminer les éléments de pollution et les fines ou dépoussiérés et enfin stockés. [2]

#### 5. Qualités et propriétés des granulats :

##### a) **La densité** :

Doit être élevée pour mieux résister aux différents efforts auxquels le matériau est soumis. Un bon matériau devra avoir une densité apparente au moins égale à  $2,5 \text{ g/cm}^3$  par rapport à un optimum de masse volumique compris entre 2 et  $2,8 \text{ g/cm}^3$ .

##### b) **La dureté** :

Le granulat doit être assez dur pour résister aux chocs ainsi qu'à l'usure par abrasion provoqués par les charges et pour supporter l'action destructrice de l'émiettement.

##### c) **L'angularité et la rugosité** :

Les granulats doivent présenter des surfaces assez rugueuses et des arêtes vives pour assurer la cohésion de la masse. Elles permettent donc aux éléments de s'assembler entre eux de façon à former un ensemble compact et cohérent. Cette cohésion assure le contact et le frottement

##### d) **La perméabilité** :

Le granulat doit assurer un bon drainage ou écoulement des eaux pluviales car l'eau qui reste entre les granulats y forme finalement de la boue (poussière détrempeée), cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement et soulèvement de la structure.

**e) L'élasticité :**

Permet d'amortir la transmission des charges reçues et d'atténuer l'amplitude des efforts dynamiques appliqués à l'ensemble. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.

**f) La dilatation :**

Sous l'effet de réchauffement (expansion thermique) ou d'humidité, le matériau solide accuse une expansion, un gonflement ou une augmentation de son volume,

**g) La rétraction/contraction :**

Elles correspondent à la réponse mécanique de raccourcissement, qui se traduit par un durcissement suite à une diminution de volume ou de longueur, ou bien c'est le retour du matériau solide à son état initial après dilatation.

**h) La non gélivité :**

Plus un granulat est imperméable, plus il est mieux protégé et insensible aux effets du gel, qui se traduit par la résistance à l'écaillage et aux cycles d'imbibition-dessiccation en présence des eaux et des solutions minérales tels que les sels fondants. [5]

**6. Fonctions des granulats :**

- Le granulat est un des éléments support (voies), faisant partie des couches, les sous couches et la plate forme, qui contribuent à assurer par leurs natures et leurs épaisseurs.
- Les principales fonctions des granulats sont liées aux propriétés physico-mécaniques et géométriques comme :
  - ✚ La transmission, la répartition et la réduction des charges statiques et dynamique exercées.
  - ✚ La résistance aux forces triaxiales, transversales et latérales.
- Le drainage et l'évacuation rapide des eaux, qui s'infiltrant à travers l'ensemble des granulats en raison de la granulométrie particulière
- L'amortissement et l'absorption du maximum de vibration et de chocs en raison de ses propriétés rhéologiques (élasticité et plasticité). Ce rôle amortisseur résulte de la dissipation d'énergie par frottement des grains entre eux.

**Exemple** : La capacité d'amortissement du ballast s'accroît si l'on augmente l'épaisseur de la couche. [5]

- Les granulats freinent aussi les déplacements longitudinaux et transversaux car, dès qu'une tendance au déplacement se manifeste, il naît un frottement résistant.
- Une fonction environnementale est due à de moindres émissions acoustiques.

### **7. La détérioration des granulats :**

Les observations et les expériences ont montrés que le granulat ne se détériore pas d'une manière sensible sous les effets d'un seul processus, d'une cause unique. Généralement, c'est une combinaison de plusieurs facteurs provenant de diverses origines.

L'ensemble des travaux de recherche et d'analyse issues ont confirmés que les granulats provenant des roches calcaires sont très sensibles aux détériorations physiques (usure et fragmentation) et chimiques (souillure) et les causes principales en sont les suivantes :

- L'usure mécanique ;
- La pollution ;
- L'altération physico-chimique. [5]

#### **a) Détérioration par usure mécanique :**

C'est l'émoussement et affaiblissement des angles sous l'effet de frottement et de chocs, sous l'influence de l'augmentation importante des charges.

Ces détérioration se trouvent amplifiées et agrandis par :

- L'introduction de matériel de mise en œuvre et d'entretien inadapté.
- l'apparition des défauts en provenance de variation de la rigidité verticale et défauts géométriques de la mise en place (nivellement).
- L'augmentation du trafic et des vitesses.
- L'hétérogénéité des granulats.
- Le granulats au contact d'une plate-forme rocheuse et dure, s'écrase et se transforme en poudre. [5]

#### **b) Détérioration par pollution :**

Les causes de pollution des granulats sont multiples ; parmi lesquelles on distingue principalement les pollutions par :

🚦 **Les fines** : ce type de pollution à des sources et des origines diverses :

- Pollution par les fines produites par la décomposition des granulats, qui viennent colmater ce dernier. Ce phénomène est très prononcé pour les calcaires tendres et les roches facilement altérables ;
- Pollution par les fines argileuse, soit réparties dans le gisement, dans les poches ou des zones broyées, soit localisées dans la découverte, sont les éléments de pollution les plus courants et les plus nocifs

- **Pollution par des eaux naturelles :**

Le mauvais fonctionnement ou le sous dimensionnement du réseau de drainage provoquent l'inondation et la stagnation des eaux induisant des dépôts de fines dans les granulats.

- **Pollution par des eaux chimiques :**

L'excès de pénétration des sels tels que les chlorures et les sulfates, diminue le module d'élasticité et accroît le fluage. [5]

 **La végétation :**

Cette pollution provoque la diminution de la perméabilité et l'absence de désherbage (l'élimination des herbes) risque de réduire le lit des granulats.

 **Les déchets industriels :**

Les poussières rejetées dans l'atmosphère par les grandes usines sidérurgiques, les cimenteries, carrières et autres industries viennent se déposer sur les granulats et finissent par le colmater. De plus, ces poussières renferment des résidus chimiques qui peuvent se révéler très agressifs pour les granulats. [5]

**c) Détérioration par l'altération :**

Sous les effets de l'eau, du climat et d'agents polluants, le granulat subit une altération physico-chimique, comme l'évolution de la granulométrie (apparition des fines) et une baisse des caractéristiques mécaniques.

L'eau agit sur les granulats de différentes manières en provoquant :

 **La diminution de la portance dans les sols saturés :**

Dans les cas d'inondations, l'apparition des pressions interstitielles et l'imbibition des matériaux sensibles à l'eau provoquent :

Une diminution de la portance

Un poinçonnement.

Une remontée des fines.

 **La réduction de l'élasticité :**

L'imbibition des granulats lubrifie ce matériau, le frottement grain à grain diminue. Ainsi, le rôle d'amortisseur se trouve réduit du fait de la diminution de son élasticité.

 **La pollution des agents agressifs :**

En présence d'agents agressifs comme le gaz carbonique et l'acide sulfurique, les granulats de calcaire, se dissolvent.

 **L'altération par hydratation :**

L'altération par hydratation entraîne la décomposition de la roche. [5]

**Tableau 2 : Substances indésirable sur l'utilisation des granulats [4]**

<b>Substances polluantes</b>	<b>Les effets possibles</b>
Argiles	Ecrans aux liants en raison de leurs grandes surfaces, réduction de la maniabilité
micas	Ecran aux liants
coquilles	Faibles adhérence des liants
Hydroxydes de fer	Gonflement avec l'eau
Matières organiques	Fixation de la chaux, imbibition de la prise des ciments
Minéraux altérés ou altérables	Formation d'argile, gonflement
Fragments de roche poreux	Absorption d'eau ou de bitume
Fragments de bois, résidus végétaux	Ecaillage de surface

## **8. Les caractéristiques des granulats :**

### **8.1. Les caractéristiques géologiques :**

#### **a. La composition minéralogique :**

Cette connaissance nous permet de choisir Les roches originaires des granulats. Si la composition est homogène, elle confère à la roche un bon comportement mécanique.

La présence de minéraux altérés (montmorillonite, schiste, marne,...) réduit le comportement mécanique de la roche.

#### **b. La Texture :**

La texture est l'agencement et arrangement des minéraux dans les roches ; le comportement mécanique est généralement très bon, pour les roches magmatiques plutoniques qui présentent une texture grenue.

Pour les roches sédimentaires, l'homogénéité de la composition joue un rôle beaucoup plus important que la texture.

#### **c. L'altération :**

L'altération est la modification chimique et physique des roches, principalement due à l'eau et aux variations de températures et de pressions.

L'altération chimique est liée au dioxyde de carbone contenu dans l'eau ainsi qu'à la nature des roches et au milieu climatique

Elle induit des transformations minéralogiques d'une roche à la surface des minéralogiques dans les roches.

L'altération dépend de plusieurs facteurs comme :



Elle consiste à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles d'ouvertures décroissantes de 80 mm à 0,08 mm et à peser le refus sur chaque tamis

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

Les dimensions des granulats influent sur la résistance (élasticité) et sur la mise en œuvre. [6]

#### **a.2. La classe granulaire :**

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe granulaire  $d/D$ ,  $d$  et  $D$  étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains.

Lorsque  $d$  est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné 0/D [6]

#### **a.3. Module de finesse :**

Le module de finesse d'un sable qui caractérise sa granularité comme le 1/100<sup>ème</sup> de la somme des refus, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm.

Pour un sable 0/5, il est recommandé d'avoir un module de finesse voisin de 2,5. [6]

#### **a.4. Coefficient d'aplatissement :**

Il caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur

#### **a.5. Forme des granulats :**

Une bonne angularité des granulats permet d'augmenter le frottement inter granulaire.

L'état de surface (degré de rugosité et de friction) de granulats influe sur la résistance mécanique, la compacité et l'adhérence. [2]

### **b. Caractéristiques physico-chimiques :**

#### **b.1. Propreté des granulats :**

Le granulat doit être débarrassé de toute matière polluante (poussière, fines et débris).

Les impuretés entraînent des défauts d'adhérence granulats-pâte.

La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses.

Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau).

Dans le cas des sables, la propreté est fournie par l'essai appelé « **équivalent de sable** » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau, applicable uniquement sur la fraction 0/2 mm. Plus la valeur d'équivalent de sable est grande, plus le sable est propre.

La propreté des granulats peut être évaluée par l'essai au « **bleu de méthylène** » qui exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines. Plus la valeur de bleu de méthylène est petite, plus les sables sont propres. Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. [2]

### **b.2.Masse volumique apparentes (en vrac) des granulats :**

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume.

Elle dépend de tassement des grains.

Elle est de valeur comprise entre 1400 kg/m<sup>3</sup> et 1600 kg/m<sup>3</sup> pour les granulats roulés silico-calcaire et la masse volumique réelle pour les mêmes granulats est comprise entre 2500 kg/m<sup>3</sup> et 2600 kg/m<sup>3</sup>.

Le volume de sable peut augmenter en fonction d'humidité (**foisonnement**), qu'elle peut atteindre 20% à 25% pour des teneur en eau de 4% à 5%. [2]

### **b.3.porosité des granulats :**

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains en %, la porosité des granulats légers est plus grande que celle des granulats courants.

### **c. Caractéristiques mécaniques :**

Sont déterminées par des essais visant à reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats.

#### **c.1.Résistance à l'usure des granulats :**

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau.

Cet essai consiste à reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure par frottements.

Cette résistance est caractérisée par le coefficient **Micro-Deval**, MDE qui représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai.

Plus le coefficient MDE faible, plus la résistance à l'usure des granulats est élevée.

#### **c.2.Résistance à la fragmentation des granulats :**

La résistance à la fragmentation est exprimée par le coefficient **Los Angeles**. Et déterminée par le choc

L'essai consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques.

Le coefficient Los Angeles représente la proportion d'éléments fins produits au cours de l'essai.

Plus le coefficient LA est faible, plus la résistance des granulats est élevée.

### **c.3. Résistance au polissage des granulats :**

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement.

L'essai consiste à soumettre une plaquette courbe constituée d'une mosaïque de granulats 7,2/10 mm au polissage sous l'action d'une roue et l'apport d'un mélange d'eau et d'abrasif. .

Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante. [2]

### **c.4. Coefficient d'absorption d'eau :**

Le coefficient d'absorption d'eau ( $A_b$ ) représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat.

Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

### **c.5. Résistance des granulats au gel-dégel :**

Cette résistance de gel-dégel est en fonction de sa nature, de son utilisation, et des conditions climatiques. [2]

## **d. Caractéristiques chimiques :**

### **d.1. Réactivités aux alcalis :**

Dans des conditions où les granulats contenant de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali réaction peuvent provoquer un gonflement.

### **d.2. Teneur en soufre et en sulfates :**

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse.

On détermine la teneur en sulfates ( $SO_3$ ) si S est supérieure à 0,08 %.

La teneur en sulfates ( $SO_3$ ) doit être inférieure à 0,2 %.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement.

Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. [2]

**e. Caractéristiques esthétiques :**

Les granulats sont disponibles dans une large variété de teintes naturelles.

**Tableau 3 : la teinte des granulats en fonction de l'origine minéralogique**

<b>Teintes des granulats en fonction de l'origine minéralogique</b>	
<b>Nature des granulats</b>	<b>Teintes</b>
Calcaires durs	Noir, bleu, rose, beige, blanc, vert
Granites	Jaune, rose, gris, vert
Basaltes	Noir ou bleu-noir
Grès	Gris, rouge, beige
Diorites	Bleu ou rose
Quartzites	Rose, gris, blanc
Silex	Beige ou bistre

Suivant l'origine, les granulats offrent différentes qualités :

- calcaires (marbres, pierres marbrières) : bonne adaptation aux traitements par polissage ;
- siliceux (quartz, quartzites) : bonne résistance à l'abrasion ;
- éruptifs et métamorphiques (basaltes, granites, diorites, porphyres) : très grande variété de coloration. [2]

# CHAPITRE II

## Méthode de classification

## 1. INTRODUCTION :

- L'étude de classification des sols est le chapitre le plus controversés et le plus confus en géotechnique comme le dit le Professeur A. Casagrande (American Society of Civil Engineers, juin 1947, page 783).et la résistance au cisaillement des sols est le plus difficile.
- Le but de la classification géotechnique des sols est de les ranger par catégories présentant les mêmes caractéristiques géotechniques.
- Le sol se caractérise par deux paramètres :
  - 1) Les paramètres de nature : poids volumique des grains solides, granularité, argilosité, limites d'Atterberg, teneur en matières organiques,....
  - 2) Les paramètres d'état : sont fonction de l'état du sol (teneur en eau, indice des vides, porosité, équivalent de sable,...).

Nous citons ci de suite les essais géotechniques de laboratoire qui permettent de caractériser et de classer un sol donné.

## 2. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS :

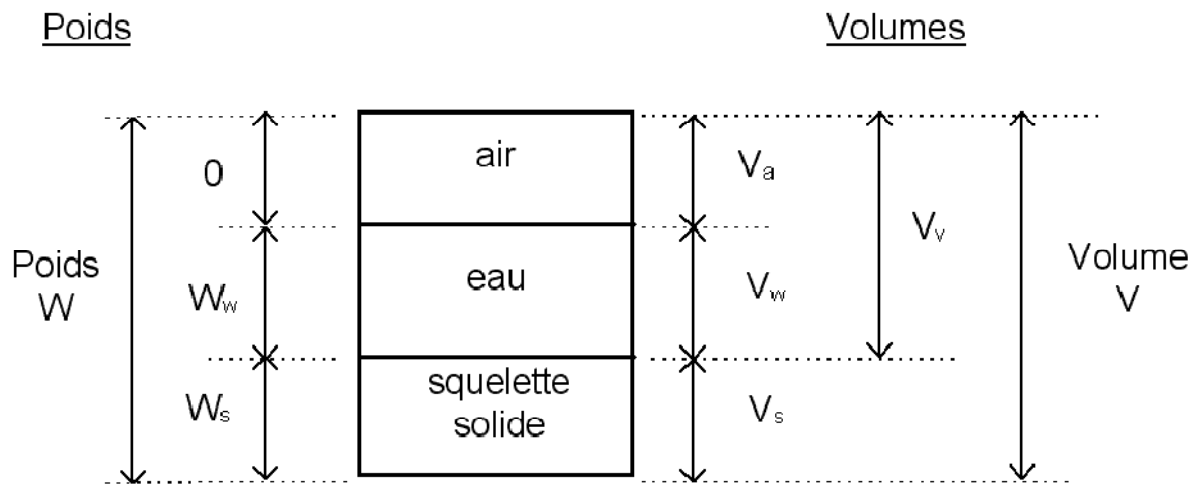
### Prélèvement sur tas normaux :

- A la main a l'aide d'une planche ou d'une plaque métallique.
- Au moyen d'une sonde, ouverture 4 à 6 cm, de longueur 60 à 100cm, extrémité taillée en sifflet. [11]

### Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire) :

- Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou a l'aide d'un échantillonneur.
- L'échantillonneur permet de diviser facilement la totalité d'un échantillon initiale en deux parties représentative, chaque partie recueillie dans un bac de manière séparée. La répétition de cette opération permet d'obtenir l'échantillon nécessaire après 3 ou 4 opérations identiques
- L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105 °c, pondant 24 heures. [11]

**3. LES PARAMETRES PHYSIQUES :**



$W = W_w + W_s$   
 $V = V_v + V_s = V_a + V_w + V_s$  [9]

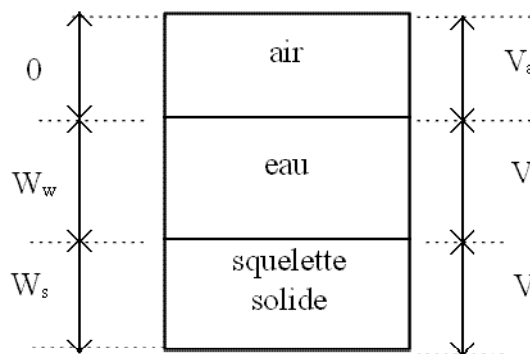
Poids vol. total du sol :  $\gamma = \gamma_h = \frac{W}{V}$

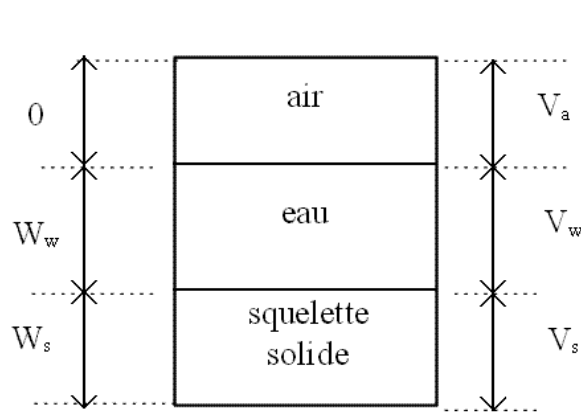
Poids vol. sol sec :  $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

Poids vol. solide [ $\approx 27 \text{ kN/m}^3$ ] :  $\gamma_s = \frac{W_s}{V}$

Poids vol. de l'eau [ $\approx 10 \text{ kN/m}^3$ ] :  $\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$

Poids vol. déjaugé :  $\gamma' = \gamma - \gamma_w$





Indice des vides :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosité :

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Teneur en eau :

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Degrés de saturation :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

Valeurs des différents paramètres en fonction :

- de l'indice des vides "e" et d'autres paramètres [9]

$n$	$n = \frac{e}{1+e}$	$\gamma'$	$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}$	$e$	$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$
$\gamma_d$	$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1+e}$	$\gamma$	$\gamma = \gamma_h = (1+w)\gamma_d$
$\gamma_h$	$\gamma_h = \frac{(1+w)\gamma_s}{1+e}$	$w_{sat}$	$w_{sat} = \frac{e\gamma_w}{\gamma_s}$	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat} = \gamma_d + (1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s})\gamma_w$

#### 4. L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE :

Elle représente la répartition en % des grains solides selon leurs dimensions.

Il y a Deux types d'essais

- Par tamisage (humide ou sec) pour les éléments de diamètre  $\varnothing \geq 80\text{mm}$ .
- Par sédimentométrie pour les éléments de diamètre  $\varnothing < 80\text{mm}$ .

Les résultats sont traduits sous forme d'une courbe granulométrique, tracée dans des axes semi-logarithmiques, à partir de laquelle on peut déterminer :

- Le coefficient d'uniformité de Hazen

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Un sol tel que  $D_{60} / D_{10} < 3$  est dit à granulométrie uniforme.

Un sol tel que  $D_{60} / D_{10} > 3$  est dit à granulométrie étalée. [10]

- Le coefficient de courbure :

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

$d_i$  : diamètre correspondant à  $i\%$  de pourcentage de tamisât cumulé.

Exemple de détermination des  $d_i$  :

$d_{10} = 0.17$ ,  $d_{30} = 0.58$ ,  $d_{60} = 1.80$  [8]

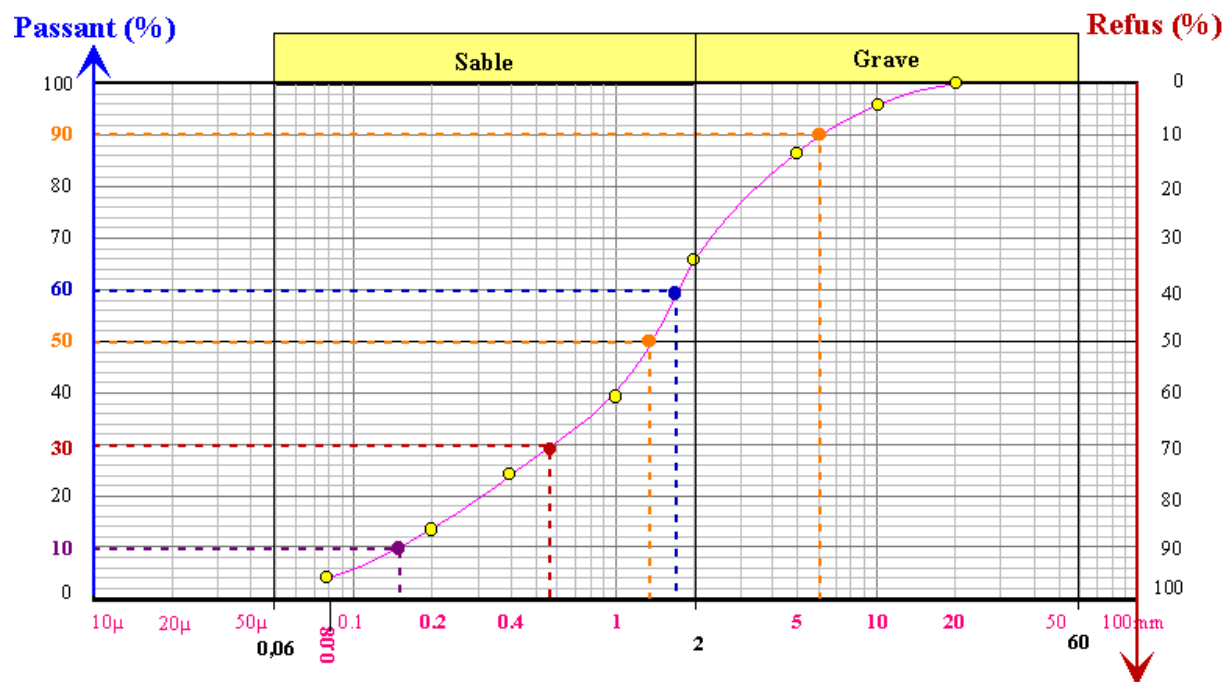


Figure 1 : courbe granulométrique type

### 5. EQUIVALENT DE SABLE (ES%) :

Permet de caractériser la propreté des sables et le type de sol analysé :

$$ES = (H_2/H_1) \times 100$$

**H1** : La hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond du cylindre gradué (tube gradué).

**H2** : Hauteur du sédiment (visuel) ou distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon (piston).

**Tableau 1 : Caractérisation des sols à partir de la valeur d'E.S [8]**

ES %	Type de sol
0	Argile pure
20	Sol plastique
40	Sol non plastique
100	Sol pur et propre

**6. DENSITE RELATIVE (ou indice de densité) :**

Permet de caractériser la compacité d'un sol grenu et son aptitude à supporter des charges.

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Avec :

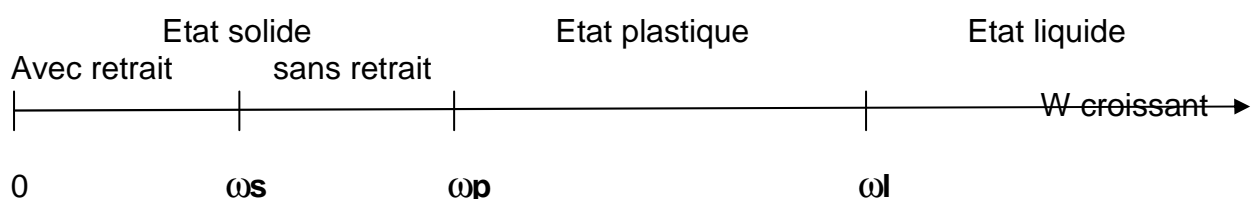
- e : indice des vides du sol en place.
- e max : indice des vides du sol à l'état le plus lâche.
- e min : indice des vides du sol à l'état le plus dense.

**Tableau 2 : Compacité d'un sol en fonction de l'indice de densité ID [8]**

ID	Compacité DU SOL
0	Très lâche
<0.5	Lâche
0.5	moyennement dense
>0.5	très compact
1	très bien compact

**7. LIMITES D'ATTERBERG :**

- Sont mesurées avec un appareillage normalisé sur les sols qui passe au tamis de 0,40mm
- Suivant la consistance d'un sol, qui est en fonction de sa teneur en eau, on distingue 4 états schématisés comme suit :



- $\omega_s$ ,  $\omega_l$  et  $\omega_p$  sont les limites d'Atterberg déterminées en laboratoire sur la fraction du sol passant au tamis 0.40mm (méthode de la coupelle de Casagrande et du rouleau et appareil de retrait).

A partir de ces limites, on peut déterminer :

**L'indice de plasticité « I<sub>p</sub> » :**

$$I_p = w_L - w_P$$

**Tableau 3 : type de sol en fonction d'I<sub>p</sub> [8]**

Indice de plasticité(%)	Type de sol
< 1%	Pulvérulent
1%<I <sub>p</sub> <7%	Sable argileux
7%<I <sub>p</sub> <17%	Argile sableuse
I <sub>p</sub> >17%	Argile

**L'indice de consistance: « I<sub>c</sub> » :**

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

**Tableau 4 : état de consistance du sol en fonction de « I<sub>c</sub> » [8]**

Indice de consistance	Consistance du sol
I <sub>c</sub> ≤ 0	Liquide
0 < I <sub>c</sub> < 1	Plastique
I <sub>c</sub> = 1	Solide plastique
I <sub>c</sub> > 1	Solide ou semi solide.

**L'indice de liquidité « I<sub>L</sub> » :**

**Tableau 5 : Etat de consistance du sol en fonction de « I<sub>L</sub> » [8]**

Indice de liquidité	Consistance du sol
I <sub>L</sub> < 0	Très dure
0 < I <sub>L</sub> ≤ 1	Dure à très plastique
I <sub>L</sub> > 1	Fluide

### **8. VALEUR DU BLEU DE METHYLENE D'UN SOL « VBS » :**

Elle représente la quantité de bleu pouvant être adsorbée sur les surfaces internes et externes des particules du sol.

La valeur VBS s'exprime en masse de bleu pour 100g de sol.

**Tableau 6 : type de sol en fonction de la valeur «VBS » [8]**

VBS	Type de sol
0,1	Sol insensible à l'eau
0,2	Seuil au-dessus duquel le sol est sensible à l'eau.
1,5	Seuil distinguant les sols sablo- limoneux des sols sablo- argileux
2,5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques de sols limoneux moyennement plastiques
6	Seuil distinguant les sols limoneux et les sols argileux
8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

**9. TENEUR EN CARBONATE : % de CaCo3 :**

L'essai est réalisé au calcimètre Dietrich-Fruhling afin de déterminer la teneur pondérale en carbonates d'un sol qui est le rapport entre la masse de carbonate contenue dans le sol à sa masse sèche totale. La détermination se fait par décomposition du carbonate de calcium CaCo3 contenu dans le sol par l'acide chlorhydrique.

**Tableau 7: type de sol en fonction du % en CaCo3 [8]**

Teneur en Carbonate en %	Type de sol
0 – 10	Non marneux
10 – 30	Faiblement marneux
30 – 70	Marneux
70 – 90	Calco – marneux
90 – 100	Calcaireux – crayeux

**10. LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE « MO » :**

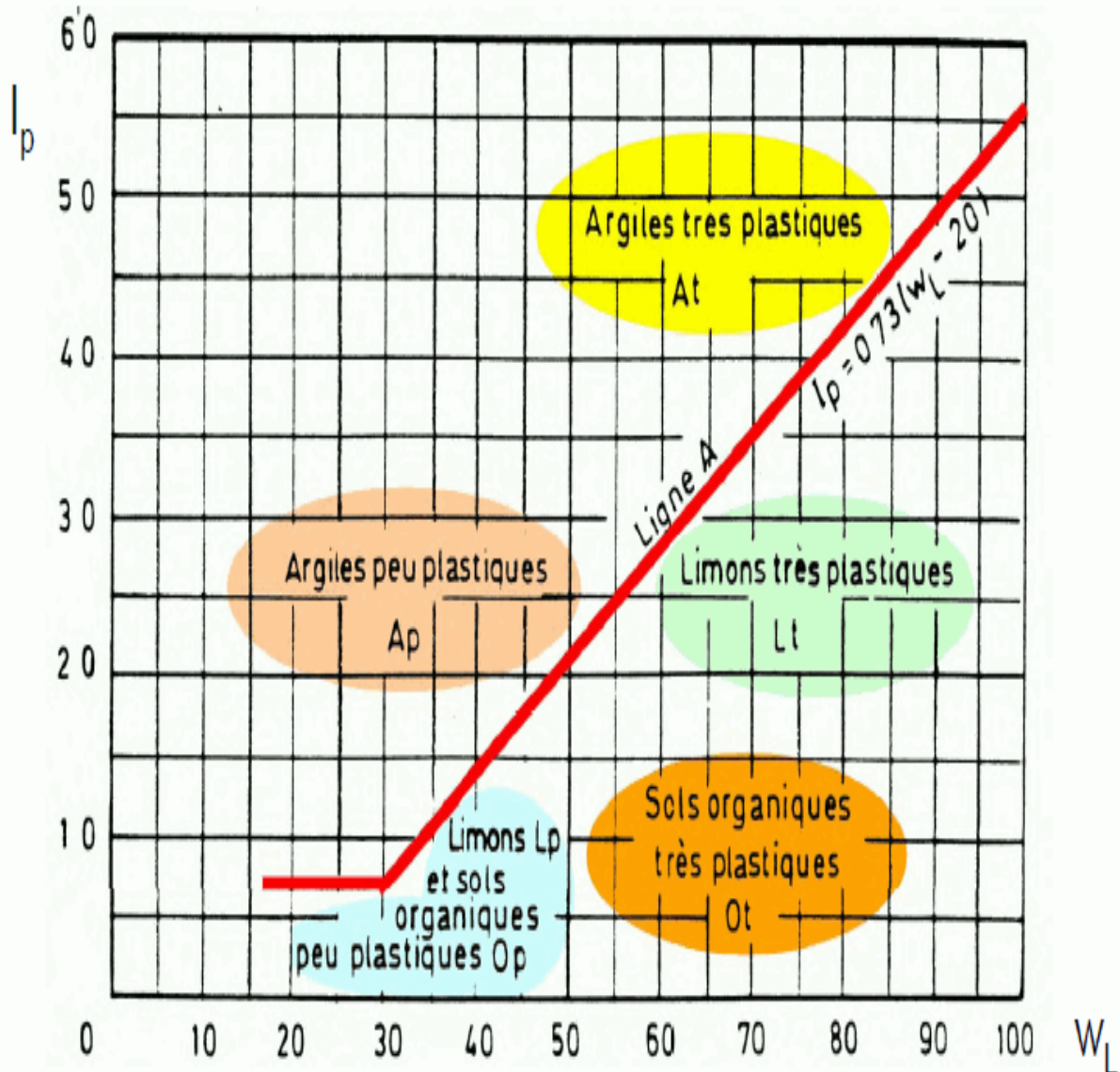
C'est le quotient de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon de sol par la masse totale des particules solides minérales et organiques. Sa détermination se fait par calcination.

**Tableau 8 : type de sol en fonction du % en MO [8]**

Teneur en matières organiques (MO%)	Type de sol
MO < 3	Non organique
3 < MO < 10	Faiblement organique
10 < MO < 30	Moyennement organique
MO > 30	Très organique.

**La classification des sols non organiques ( $MO < 3\%$ )****On distingue deux types :**

- 1) Les sols fins (plus de 50% des éléments solides ont un  $\phi > 80\mu\text{m}$ ), on utilise le diagramme de Casagrande ci-dessus : [7]

**Figure 2 : Diagramme de plasticité (casagrande)**

- 2) Les sols grenus (plus de 50% des éléments solides ont un  $\phi > 80\mu\text{m}$ ). On adopte la classification des laboratoires des ponts et chaussées (LPC), on utilise le tableau de classification des sols grenus (plus de 50% des éléments  $> 80\mu\text{m}$ ) ci-dessus [7]

Tableau 9 : classification des sols grenus plus 50% d'éléments supérieures à 0,08mm

CLASSIFICATION DES SOLS GRENUS					
Plus de 50% des éléments > 0,08 mm					
Définitions		Symboles	Conditions	Appellations	
<b>GRAVES</b>	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	Moins de 5 % des éléments sont < 0,08 mm	Gb (GW)	$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 4$ $1 < C_c = \frac{(d_{60})^3}{d_{30} \times d_{60}} < 3$	Grave propre bien graduée
			Gm (GP)	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
		Plus de 12 % des éléments sont < 0,08 mm	GL (GM)	Limites d'Atterberg au-dessous de A (*)	Grave limoneuse
			GA (GC)	Limites d'Atterberg au-dessus de A (*)	Grave argileuse
<b>SABLES</b>	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	Moins de 5 % des éléments sont < 0,08 mm	Sb (SW)	$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 6$ $1 < C_c < 3$	Sable propre bien gradué
			Sm (SP)	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
		Plus de 12 % des éléments sont < 0,08 mm	SL (SM)	Limites d'Atterberg au-dessous de A (*)	Sable limoneux
			SA (SC)	Limites d'Atterberg au-dessus de A (*)	Sable argileux
<b>Remarque</b> : Si le pourcentage d'éléments inférieurs à 0,08 mm est compris entre 5% et 12%, on utilise un double symbole. Pour (*) se reporter à l'abaque de Casagrande					

**11. ESSAI MICRO DEVAL :**

- Mesuré **la résistance a l'attrition** (usure par frottement) des granulats
- Fraction granulaire 10/14 et 6,3/10
- Le matériau est mis dans un cylindre horizontal de 20 cm de diamètre en présence d'eau (2.5 L) et de billes d'acier de même taille (charge abrasives),
- Après deux heures de rotation (100 t/min) du cylindre, on mesure le pourcentage des particules de taille 1,6 mm par tamisage par la formule si dessous :

$$MDE = 100 (M - m') / M$$

M : Masse du matériau initial.

m' : Refus au tamis 1.6 mm.

**Si MDE < 20** → matériaux pour corps de chassée.

**Si MDE < 45** → matériaux pour couche de forme.

**12. ESSAI LOS ANGELES :**

- Caractériser **la résistance aux chocs** des granulats.
- Le matériau (5 Kg) est mis dans un cylindre horizontal de 70 cm de diamètre en présence des boulets de fonte, ajouté dans le cylindre.
- Après une rotation 500 tours du cylindre (vitesse = 30 T/min), l'essai se termine par un tamisage des particules inférieures à 1,6 mm, on mesure le pourcentage par la formule si dessous :

$$LA = 100 (5000 - M') / 5000$$

M' : Refus du tamis 1.6 mm.

5000 = 5Kg de matériaux utilisés dans l'appareil Los Angeles.

**Si LA < 25** → matériaux à utiliser dans les corps de chaussées.

**SI LA < 45** → matériaux pour couche de forme.

**13. ESSAI DE FRIABILITE :**

- Mesure la résistance à la fragmentation des sables pour préciser le classement des sables pour un emploi en couche de forme.
- La fraction 0/1 ou 0/2
- cet essai est voisin du micro Deval, 500 g de matériau d'une fraction granulaire sont mis avec des billes métalliques de différents diamètres (de 9 ; 5 ; 19 et 35 mm) en présence d'eau (2.5 L),
- Après 500 rotations et une vitesse de 30 T/min dans un cylindre horizontal, l'essai se termine par un tamisage des particules inférieures à 2 mm, on mesure le pourcentage par la formule si dessous :

Le coefficient FS est égal à :

$$FS = 100 (500 - m')/500$$

m' : refus au tamis 2 mm.

FS inférieur à 60 donc le sable utilisé pour couche de forme.

**14. ESSAI DE DEGRADABILITE :**

- Il permet d'apprécier la résistance des granulats sous l'effet des cycles climatiques (mouillage– séchage).
- la fraction granulaire 10/20 du matériau.
- L'essai s'effectue sur 2 Kg de matériaux. Après avoir dressé une courbe granulométrique, l'échantillon est soumis à 5 cycles : de 8 heures de séchage et de 16 heures d'immersion.
- L'échantillon obtenu sera de nouveau soumis à une analyse granulométrique et le résultat est donné par la formule suivante :

$$DG = D10 (i) / D10 (f)$$

**D10 (i)** : Diamètre correspondant à 10 % en poids du matériau initial.

**D10 (f)** : Diamètre correspondant à 10 % en poids du matériau après l'essai.

**Si  $DG > 20$**  → Matériaux rocheux très dégradables.

**Si  $5 < DG < 20$**  → Matériaux rocheux moyennement dégradables.

**SI  $DG < 5$**  → Matériaux rocheux peu dégradables.

**15. ESSAI DE FRAGMENTABILITE :**

- Permet de mesuré la sensibilité de matériaux a se fragmenter sous la méthode sollicité des engins de terrassement
- La fraction 10/20
- Essai CBR par une seule couche damée par 100 coups de dame Proctor modifié, et une analyse granulométrique complète 0/20, on définit le coefficient de fragmentation

$$FR = D10 (i) / D10 (f)$$

**D10 (i)** : Diamètre correspondant à 10 % en poids du matériau initial.

**D10 (f)** : Diamètre correspondant à 10 % en poids du matériau après l'essai.

**Si  $FR > 7$**  → Matériaux rocheux fragmentable

**SI  $FR < 7$**  → Matériaux rocheux peu fragmentable.

- ✚ Une étude menée sur dix-huit laboratoires du réseau des ponts des chaussées a conduit aux résultats du tableau ci après pour juger et connaître la fiabilité des essais sur granulats [4]

**Tableau 10 : valeurs des écarts types obtenus lors des essais sur granulats [4]**

Essai	Classe granulaire (mm)	Niveau de valeur
Masse volumique réel	10/14	2,62 à 2,84 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosité	10/14	3 à 4 %
L'absorption d'eau	10/14	1 à 1,4 %
Aplatissement	4/14	8 à 20 %
Micro-Deval a présence d'eau	4/14	2 à 30%
Los Angeles	4/14	10 à 30 %
Fragmentation	4/14	10 à 30 %
Friabilité des sables	0,1/2	16 à 38 %
Propreté superficiel	4/14	0,2 à 3 %
Valeur de bleu	0/2	0,07 à 4,25 %
Equivalent de sable	0/5	60 à 80 %
Propreté des sables	0/2	43 à 64%

## 16. CONCLUSION :

- Pour en revenir à l'utilité d'une classification géotechnique, on peut dire qu'elle fournit un langage à l'aide duquel les connaissances d'une personne sur les caractéristiques générales d'un sol donné peuvent être transmises à d'autres personnes d'une manière claire et nette.
- Du point de vue granulométrique, la classification utilisera :

Deux coefficients permettant d'apprécier la forme de la courbe granulométrique: le coefficient d'uniformité, le coefficient de courbure.

- Le système de classification U.S.C.S. (Unified Soil Classification System) est le plus complet et le mieux adapté à nos problèmes. Evidemment, il est déjà et sera encore critiqué par certains utilisateurs qui trouvent qu'il ne s'applique mal ou même pas du tout à leurs sols locaux. il faut dire aujourd'hui qu'il sera certainement possible de faire quelques retouches et modifications après un certain temps d'utilisation.

# CHAPITRE III

## La partie expérimentale



## 1. Introduction :

Les granulats ayant subi un traitement thermique comme les granulats d'argile, de schiste, d'ardoise ou de perlite expansée sont des granulats légers.

Les granulats allégés par expansion ou frittage, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les USA, aussi bien en France. Ces granulats ont des caractéristiques très intéressantes : la résistance, l'isolation et le poids. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P18-309) et le laitier expansé (NF P18-307), qui permettent de réaliser des bétons de structure. Un gain de poids intéressant puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>. [13]

## 2. Définition des schistes :

Les schistes sont des roches métamorphiques disposées en couches parallèles (feuillets développés)

Provenant de la transformation des argiles par déshydratation sous l'action de pression et de température.

Sont nommés et caractérisés suivant le minéral dominant.

Les schistes connus sont les micaschistes, les chloritoschistes et les talcschistes.

Les schistes se forment dans des conditions de température et de pression forte à des profondeurs variant entre 4000m et 6000m [12]

## 3. La composition minéralogique des schistes :

D'après l'étude faite par l'office national de recherche géologique et minière de tizi ouzou, la composition minéralogique des schistes sont données dans le tableau qui suit

**Tableau 1 : la composition minéralogique des schistes D'après l'étude faite par l'office national de recherche géologique et minière de tizi-ouzou [12]**

prospérité Minéraux	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Vitesse de propagation des ondes longitudinales (m/s)	Module d'élasticité (x10 <sup>3</sup> Mpa)	Degré d'anisotropie
Plagioclase	2,6 - 3,73	6000	75 - 95	Très faible
Quartz	2,65	6000	96	Très faible
Micas	2,3 - 2,9	5500	68 - 78	Très fort
Amphibole	3,2	7200	130	Très fort si fibreuse
Calcite	2,71	6600	81	Moyen

- L'amphibole et le quartz renforce la résistance du matériau constitutif.
- Les micas, les calcites et plagioclases donnent une faible résistance au matériau constitutif devant l'érosion et l'altération.

#### 4. Localisation des schistes :

Le djurdjura se compose de terrain calcaire de roches cristallines et cristallophyllienne de nature magmatique (granite et pegmatite) et métamorphique (micaschiste et quartzite), qui lui confèrent une grande résistance à l'érosion.

Le massif de la kabylie est représenté par des roches feuilletées comme le schiste, le micaschiste, des roches massives comme les gneiss, les granites et les pegmatites, ce massif favorise la convergence des eaux pluviales vers les affluents de l'Oued Sebaou.

#### 5. Formation des schistes cristallins dans la grande Kabylie :

Certains matériaux comme les argiles et le schiste peuvent développer des propriétés analogues aux pouzzolanes naturelles (roche volcanique basaltique) après chauffage jusqu'à une certaine température on les appelle pouzzolanes artificielles. [11]

#### 6. La résistance à la compression des béton à granulats légers :

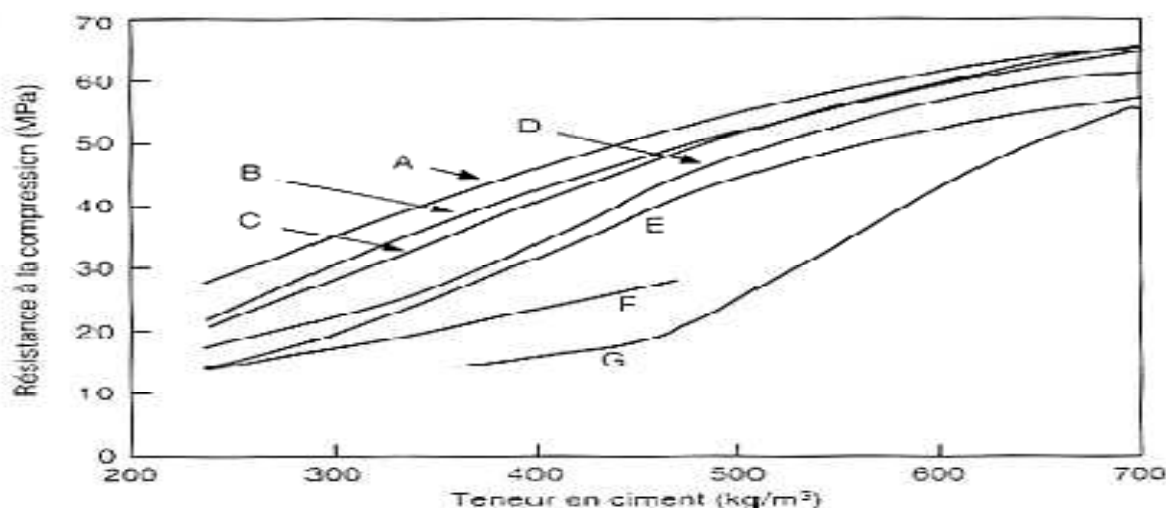


Figure 1 : Relation entre la résistance à la compression du béton à 28 jours (mesurée sur cubes) et le dosage en ciment des bétons ayant un affaissement de (5cm) et confectionnés avec différents types de granulats légers. [13]

- A : cendres volantes frittées+granulat fin ordinaire,
- B : laitier du haut fourneau+granulat fin ordinaire,
- C : cendres volantes frittées,
- D : schiste fritté,**
- E : ardoise expansée,
- F : argile expansée+sable,
- G : laitier expansé; [Lydon, 1982]

- On remarque que la résistance à la compression du béton augmente en fonction de dosage en ciment. Il y a que F (argile expansée + sable) qui n'augmente pas.
- On remarque que cette résistance à la compression est moyenne par rapport aux autres granulats légers utilisés.
- On remarque sur G (laitier expansé) que la résistance augmente après une certaine valeur de la teneur en ciment.

#### **7. Les différents types de schiste identifiés :**

Ces schistes sont extraits sur des sites de relief accidenté avec des côtes aux altitudes de 100 m et 150 m. situés à moins de 10 kilomètres au nord-est et West de la ville de Tizi Ouzou sur les flancs longeant l'oued Sebaou.

Les trois types de schistes qui ont été prélevés :

##### **a) Les schistes argileux :**

Ce sont à la limite du métamorphisme, elles sont encore considérées comme des roches sédimentaires.

##### **b) Les schistes satinés :**

Ce sont des micas de recristallisations minérales. De teinte grise à des surfaces blanchâtres durs et feuilletés. Appelées séricitoschistes

##### **c) Les schistes tachetés :**

Ce sont des schistes de métamorphisme sous haute température et basse pression avec un développement des minérales en agrégats. Ces roches sont, en général, de couleur grise à noire. [14]

#### **8. La couleur des différents types de schistes sous le microscope :**

L'observation macroscopique sur les blocs de schiste extraits montre que les échantillons sont homogènes.ils se caractérisent par une couleur :

- ✚ marron clair pour l'échantillon de schiste argileux;
- ✚ noire mouchetée de mica pour l'échantillon de schiste satiné à deux micas;
- ✚ noire à nuances verdâtres pour l'échantillon de schiste tacheté. [15]

## 9. La pétrographie du schiste :

Le schiste contient des minéraux issus de la transformation directe de l'argile telle que la chlorite (matériaux très instables) ou indirects tels que les micas (biotite ou muscovite) ou le plagioclase (feldspath).

- ✚ Le schiste argileux contient entre 30% et 33% de minéraux stables (quartz) et 50% à 60% de minéraux instables (plagioclase et mica).
- ✚ Le schiste satiné contient 65% à 75% de minéraux stables (quartz et tourmaline) et 40% à 50% de minéraux instables (micas : biotite et muscovite).
- ✚ Les schistes tachetés contiennent 70% à 80 % de minéraux stables (amphibole et ferro-actinote) et 12 à 15 % de minéraux très instables (calcite et chlorite). [14]

## 10. Origine des échantillons d'essais :

Les échantillons étudiés sont prélevés d'une part sur les berges de l'oued Sebaou (échantillons 1,2 et 3), d'autre part au niveau de la carrière (échantillon 4). Ces gisements situés au nord-est et ouest de la wilaya de tizi-ouzou.

### Echantillon 1 :

Il a été prélevé au niveau de la localité du PONT DE BOUGIE sur la berge droite du haut Sebaou situé au nord-est de la wilaya de tizi ousou. D'un point de coordonnées : la longitude 36.716676, et de latitude 4.088682



**Figure 2 : localisation de 1<sup>er</sup> prélèvement d'échantillons**

**Echantillon 2 :**

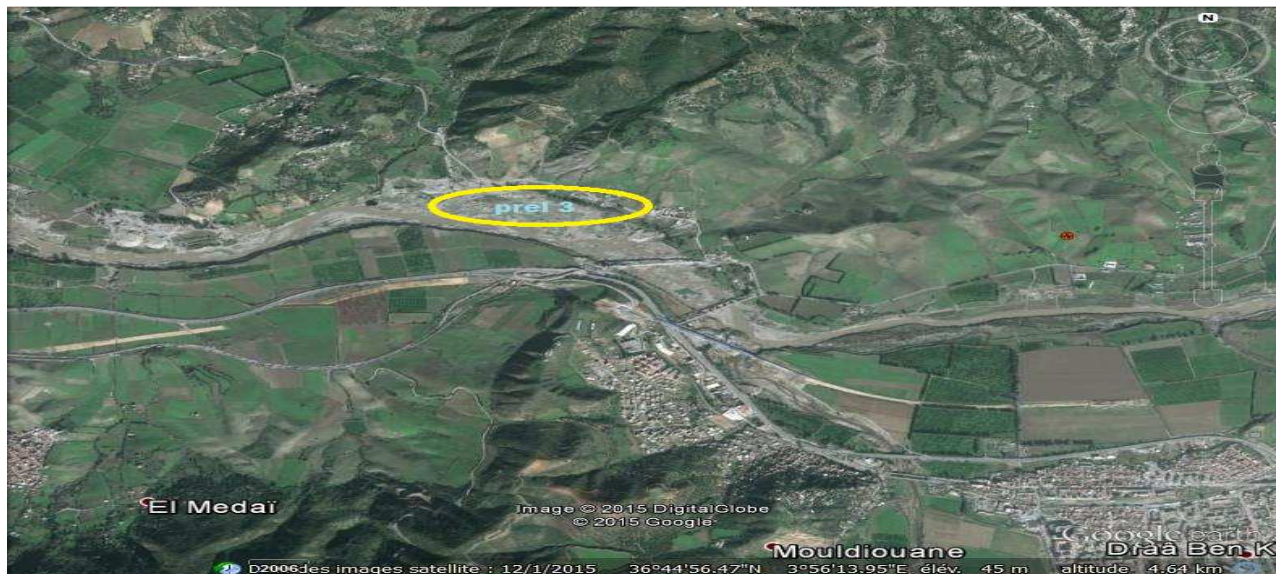
Il a été prélevé au niveau de la localité de BOUAID sur la berge gauche du moyen d'Oued Sebaou situé au nord-ouest de la wilaya de tizi ousou. D'un point de coordonnées : la longitude 36.746305, et de latitude 3.991964.



**Figure 3 : localisation de 2<sup>ème</sup> prélèvement d'échantillons**

**Echantillon 3 :**

Il a été prélevé en aval du pont de SIDI NAAMENE sur la berge droite du moyen Sebaou situé au nord-ouest de la wilaya de tizi ousou. D'un point de coordonnées : la longitude 36.754422, et de latitude 3.934347.



**Figure 4 : localisation de 3<sup>ème</sup> prélèvement d'échantillons**

**Echantillon 4 :**

Il a été prélevé au niveau de la carrière ALMAHAROUNE MEKLA situé au nord-est de la wilaya de tizi ousou. D'un point de coordonnées : la longitude 36.669969, et de latitude 4.272838.

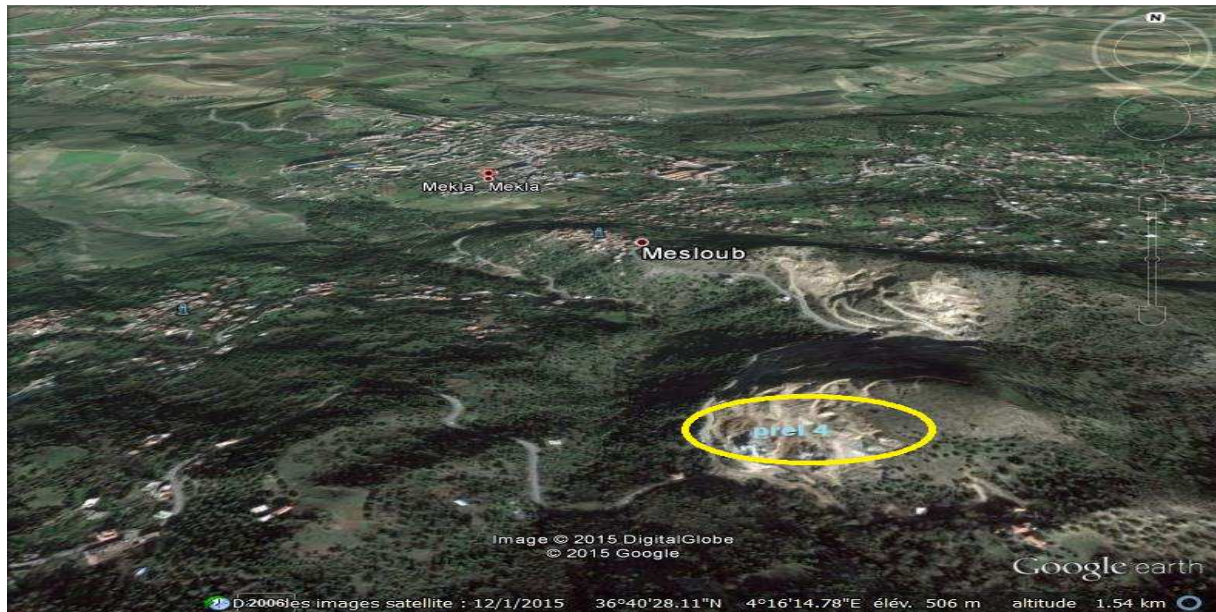


Figure 5 : localisation de 4<sup>ème</sup> prélèvement d'échantillons



Figure 6 : les fractions 6,3/10 des différents échantillons prélevés.

## 11. Identification des matériaux :

Après prélèvement des échantillons sur le site ont été soumis au séchage dans une étuve à la température de 105°C pendant 24 heures. Par la suite une étude d'identification a été réalisée au laboratoire, celle-ci comporte différents essais.

### a) Analyse granulométrique :

On réalise cette analyse sur les échantillons de fraction 0/20 (globaux) à sec à l'aide d'un vibro-tamis (tamiseuse) selon la norme NF P 94-056 (mars 1996).

Le but est de déterminer la répartition en poids des grains suivant leurs grosseurs.

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de courbes granulométriques sur la figure 2

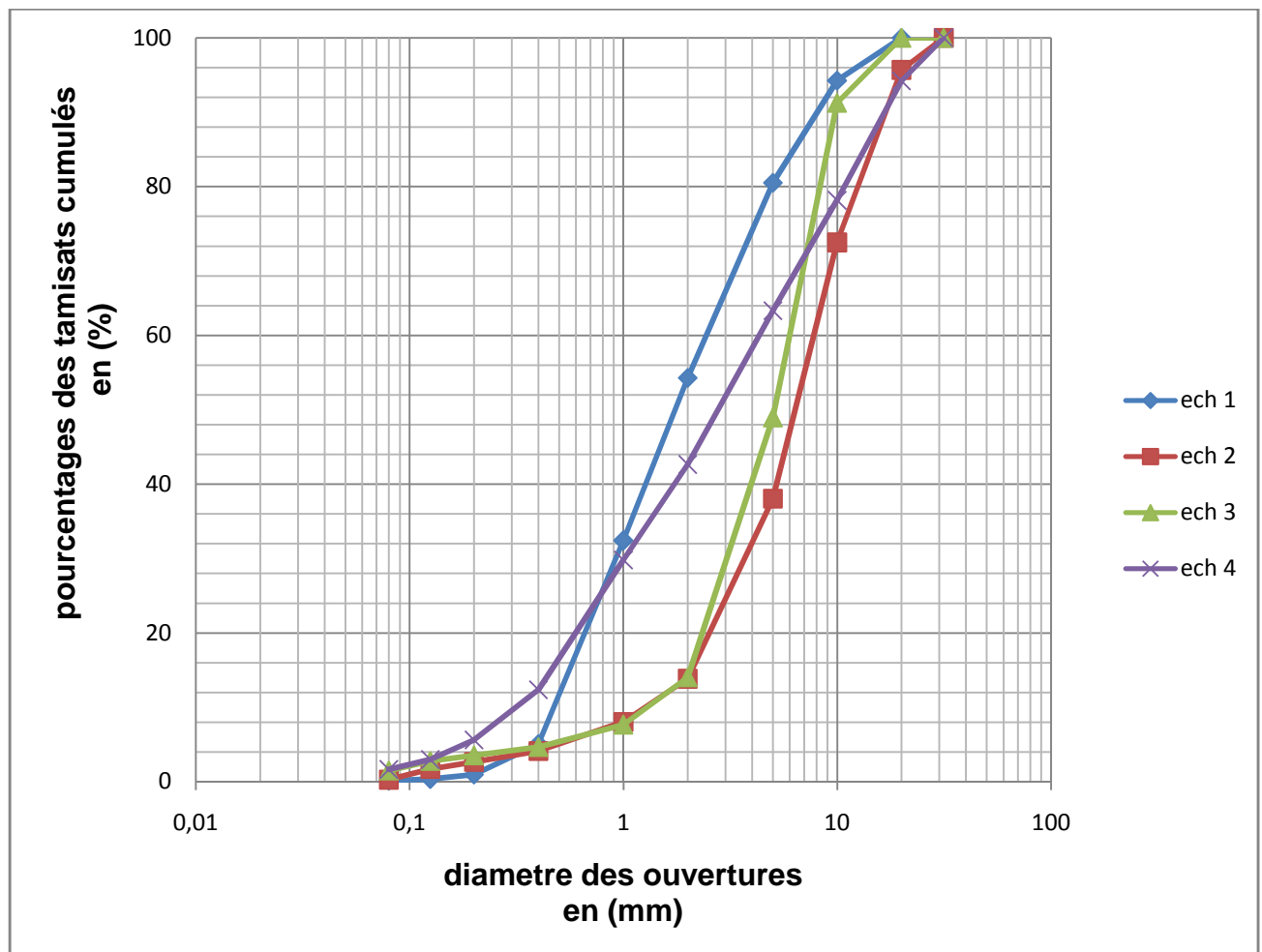


Figure 7 : courbe granulométriques des différents échantillons étudiés.

### b) La teneur en eau :

Selon la norme NF P94-049-1 (février 1996) a pour objet de la détermination, à l'étuve de la teneur en eau pondérale.

La teneur en eau pondérale (W) est le quotient de la masse de l'eau interstitielle ( $M_w$ ) par la masse des grains solides ( $M_d$ )

$$W (\%) = \frac{M_w}{M_d}$$

Avec :  $M_w = m_2 - m_3$

$M_d = m_3 - m_1$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 2

**Tableau 2 : résultats de détermination de la teneur en eau**

Echantillon n°	1	2	3	4
Masse total du sol humide en (g) ( <b>m2</b> )	2140,575	3140,575	2140,575	3140,575
Masse total du sol sec en (g) ( <b>m3</b> )	2133,304	3132,198	2137,489	3112,785
Masse de la tare en (g) ( <b>m1</b> )	140,575	140,575	140,575	140,575
Masse de l'eau en (g) ( <b>Mw</b> )	7,271	8,377	3,086	27,790
Masse du sol sec en (g) ( <b>Md</b> )	1992,729	2991,623	1996,914	2972,210
Teneur en eau W en (%)	0,36	0,28	0,16	0,93

### c) La masse volumique :

La masse volumique sèche ( $\gamma_d$ ) sera déterminée par pesage, connaissant ( $\gamma_d$ ) et W on déduira la masse volumique humide d'un échantillon ( $\gamma_h$ ). Tandis que la masse volumique des grains solides sera déterminée au pycnomètre à eau.

#### c.1) Détermination de la masse volumique sèche ( $\gamma_d$ ) :

La masse volumique sèche d'un échantillon est déterminé selon la norme

NF P94-053 (octobre 1991). Par la méthode de moule.

Elle représente le quotient de sa masse sèche ( $M_s$ ) par le volume (V) qu'il occupe (y compris l'air qu'il contient).

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V}$$

L'essai consiste à peser l'échantillon qui est dans le moule et calculer le volume du moule. Et les résultats sont représentés dans le tableau 3.

**Tableau 3 : résultats de la détermination de la masse volumique sèche.**

Echantillon n°	1		2		3		4	
Essai n°	1	2	1	2	1	2	1	2
Masse totale sèche l'échantillon <b>M</b> en (g)	1741,953	1752,016	1706,969	1688,701	1689,697	1655,102	1756,989	1772,888
Masse de la tare <b>m</b> en (g)	139,876	139,876	139,876	139,876	139,876	139,876	139,876	139,876
La masse de l'échantillon sèche <b>Ms</b> en (g)	1602,077	1612,140	1567,093	1548,825	1549,821	1515,226	1617,113	1633,012
Volume du moule en <b>V</b> en (m <sup>3</sup> ) x 10 <sup>-4</sup>	9,051285	9,051285	9,051285	9,051285	9,051285	9,051285	9,051285	9,051285
Masse volumique sèche <b>γ<sub>d</sub></b> en (t/m <sup>3</sup> )	1,77	1,78	1,73	1,71	1,71	1,67	1,79	1,80
<b>γ<sub>d</sub></b> (moyenne) en (t/m <sup>3</sup> )	<b>1,775</b>		<b>1,72</b>		<b>1,69</b>		<b>1,795</b>	

**c.2) Détermination de la masse volumique humide (**γ<sub>h</sub>**) :**

$$\gamma_h = (1 + W)\gamma_d$$

Les résultats sont représentés sur le tableau 4

**Tableau 4 : résultats de la détermination de la masse volumique humide.**

Echantillon N°	1		2		3		4	
La teneur en eau <b>W</b> en (%)	0,36		0,28		0,16		0,93	
La masse volumique sèche <b>γ<sub>d</sub></b> en (t/m <sup>3</sup> )	1,77	1,78	1,73	1,71	1,71	1,67	1,79	1,80
La masse volumique humide <b>γ<sub>h</sub></b> en (t/m <sup>3</sup> )	1,774	1,786	1,735	1,715	1,712	1,673	1,807	1,817
<b>γ<sub>h</sub></b> (moyenne) en (t/m <sup>3</sup> )	1,780		1,725		1,693		1,812	

**c.3) Détermination de la masse volumique des grains solide ( $\gamma_h$ ) :**

Selon la norme NF P94-054 (octobre 1991), on peut déterminer au pycnomètre à eau la masse volumique des grains solides des sols. Elle s'applique échantillon a un inférieur a 2 mm.

La masse volumique des grains solides ( $\gamma_s$ ) est le quotient de la masse des particules solides  $M_s$  par leur volume  $V_s$

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

Avec :  $M_s$  : obtenue par pesage  $V_s$  : mesuré au pycnomètre

**Tableau 5 : résultats de la détermination de la masse volumique des grains solides.**

Echantillon N°	1	2	3	4
Masse des grains solides $M_s$ en (g)	25	25	25	25
Masse de pycnomètre vide $m_1$ en (g)	432,608	432,608	432,608	432,608
Masse de pycnomètre + eau $m_2$ en (g)	1124,501	1124,501	1124,501	1124,501
Masse de pycnomètre + le matériau $m_3$ en (g)	457,608	457,608	457,608	457,608
Masse de pycnomètre + eau + matériau $m_4$ en (g)	1140,875	1140,626	1140,472	1141,006
Le volume occupé par les grains solides $V_s = (m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)$	8,626	8,875	9,029	8,495
Masse volumique des grains solides $\gamma_s$ en (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,89</b>	<b>2,81</b>	<b>2,77</b>	<b>2,94</b>

**Tableau 6 : résultats des différentes masses volumique.**

Echantillon	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,775	1,780	2,89
2	1,720	1,725	2,81
3	1,690	1,693	2,77
4	1,795	1,812	2,94

**Tableau 7 : résultats de la détermination de la masse volumique sèche sur les fractions 4/6,3 et 6,3/10.**

Echantillon N°	1	2	3	4
Fraction 4/6,3 en (g/cm <sup>3</sup> )	1,524	1,526	1,502	1,114
Fraction 6,3/10 (g/cm <sup>3</sup> )	1,492	1,532	1,514	1,372

**c.4) Indice des vides, degré de saturation et porosité :****- indice des vides (e) :**

A pour objet de savoir si les vides sont importants ou non, ou bien si notre matériau est dans un état serré au lâche.

Il est défini par le rapport du volume des vides ( $V_v$ ) au volume des grains solides ( $V_s$ ).

Sa valeur peut être supérieure à 1

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

L'indice des vides dépend aussi des paramètres déjà déterminés.

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

Les résultats sont représentés sur le tableau 8

**- Le degré de saturation ( $S_r$ ) :**

A pour objet d'indiquer dans quelle proportion les vides sont remplis par l'eau.

Il est défini comme le rapport du volume de l'eau ( $V_w$ ) au volume des vides ( $V_v$ )

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Il est défini aussi par des paramètres déjà déterminés.

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \times \frac{W}{e}$$

Avec  $\gamma_w$  : La masse volumique de l'eau égale à 1 g/cm<sup>3</sup>

$W$  : La teneur en eau.

Les résultats sont représentés sur le tableau 8.

**- La porosité ( $n$ ) :**

La porosité a la même signification que celle de l'indice des vides.

C'est le rapport du volume des vides ( $V_v$ ) au volume total ( $V_t$ ).

Sa valeur est toujours inférieure à 1.

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Elle est calculée aussi par les paramètres déjà déterminés.

$$n = \frac{e}{e + 1}$$

Les résultats sont représentés sur le tableau 8

**Tableau 8 : résultats de l'indice des vides, degré de saturation et la porosité des quatre différents échantillons.**

Echantillon N°	1	2	3	4
$\gamma_s$ en g/cm <sup>3</sup>	2,89	2,81	2,77	2,94
$\gamma_d$ en g/cm <sup>3</sup>	1,775	1,720	1,690	1,795
<b>e</b>	0,628	0,634	0,639	0,638
<b>W</b> en %	0,36	0,28	0,16	0,93
<b>Sr</b> en %	1,66	1,24	0,69	4,29
<b>n</b>	0,386	0,388	0,408	0,390

**d) Essai d'usure Micro-Deval :**

L'essai micro-deval permet de mesurer la résistance à l'usure des matériaux granulaires utilisés dans le domaine de bâtiment et des travaux publics, selon la norme P 18-572 (Président M, PARRIAUD, publiée par l'afnor en décembre 1990).

Dans notre essai nous déterminons la résistance à l'usure des matériaux en présence d'eau.

L'essai consiste à mesurer l'usure produite dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies, par frottement entre les granulats et une charge abrasive sous des billes d'acier (voir le tableau 9).

Tableau 9 : les détails d'essai micro-deval

La classe granulaire (mm)	La charge abrasive (g)	Observations
4-6,3 6,3-10	2000 ± 5 4000 ± 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La masse de l'échantillon pour essai est de 500g ± 2g.</li> <li>➤ Le matériau préalablement est lavé et séché à 105°C.</li> <li>➤ l'essai s'effectue en présence de 2,5L d'eau.</li> <li>➤ La vitesse des cylindres en rotation est de 100 ± 5 tours par minute pendant 2 heures ou 12000 tours.</li> <li>➤ Après l'essai laver et sécher le refus de 1,6mm à 105°C.</li> <li>➤ Peser le refus de 1,6mm.</li> </ul>

Le coefficient micro-deval s'exprime par la formule

$$\text{MDE} = \frac{500 - M}{500} \times 100$$

M : masse de refus de 1,6mm.

Plus le coefficient MDE est élevé, moins le matériaux est résistant a l'usure.

- Si MDE < 45% → le matériau est utilisé uniquement pour la couche de forme.
- Si MDE < 20% → le matériau est utilisé pour tout corps de chaussée. [11]

Les résultats sont présentés sur le tableau 11.

#### e) Essai de la résistance aux chocs Los Angeles :

L'essai Los Angeles permet de mesurer la résistance aux chocs d'un échantillon de sol ou de granulats utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, selon la norme P 18-573 (Président M, PARRIAUD, publiée par l'afnor en décembre 1990).

L'essai consiste à mesurer la quantité des éléments inférieurs à 1,6 mm produites, en soumettant 5kg ± 2g d'une fraction du matériau à tester aux chocs de boulets métalliques normalisés dans la machine Los Angeles dont le tambour tourne 30 a 33 tours par minutes pendant un temps bien déterminé (voir le tableau 10).

Le coefficient Los Angeles est, par définition :

$$LA = \frac{5000 - M}{5000} \times 100$$

M : masse de refus de 1,6mm.

**Tableau 10 : les détails d'essai Los Angeles.**

La classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	La charge abrasive (g)	Observations
4-6,3	7	$\left\{ \begin{array}{l} 3080 \\ ; \\ 3960 \end{array} \right\} + 20 \text{ ou } - 150$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La masse de l'échantillon pour essai est de 5000g ± 2g.</li> <li>➤ Le matériau est préalablement lavé et séché à 105°C.</li> <li>➤ L'essai s'effectue en présence d'eau.</li> <li>➤ La vitesse de cylindre est de 30 à 33 tours par minute pendant environ 17 minutes ou 500 tours</li> <li>➤ Après l'essai laver et sécher le refus de 1,6mm à 105°C.</li> <li>➤ Peser le refus de 1,6mm.</li> </ul>
6,3-10	9		

Plus la valeur du coefficient Los Angeles est élevée, plus le matériau est fragile et peu résistant aux chocs.

- Si LA < 45% → le matériau est utilisé uniquement pour la couche de forme.
- Si LA < 25% → le matériau est utilisé pour tout corps de chaussée.

Les résultats sont présentés sur le tableau 11.

**Tableau 11 : les résultats des essais Micro-Deval et Los Angeles.**

Echantillons	Fraction en mm	MDE en %	LA en %
1	<b>4-6,3</b>	<b>36,22</b>	<b>28,15</b>
	6,3-10	28,79	26,41
2	<b>4-6,3</b>	<b>27,32</b>	<b>25,48</b>
	6,3-10	21,71	30,71
3	<b>4-6,3</b>	<b>26,04</b>	<b>41,94</b>
	6,3-10	47,20	27,45
4	<b>4-6,3</b>	<b>53,53</b>	<b>43,98</b>
	6,3-10	44,05	50,17

**f) L'essai de fragmentabilité :**

Cet essai permet de mesurer et d'apprécier la sensibilité d'un matériau granulaire à se fragmenter sous la sollicitation des engins de terrassement, selon la norme NF P 94-066 (Président M. BOLLE, publiée par l'afnor en décembre 1992).

La détermination du coefficient de fragmentabilité permet d'identifier la classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

L'essai consiste à déterminer la réduction du D10 d'un échantillon de 2 kg de fraction granulaire 10/20 soumis à un pilonnage de 100 coups de dame Proctor Normal dans un moule CBR

Le coefficient de fragmentabilité s'exprime par :

$$FR = \frac{D10 \text{ (avant pilonnage)}}{D10 \text{ (après pilonnage)}}$$

Avec D10 : est le diamètre correspondant à 10% en poids du matériau.

- Si  $FR < 7$  le matériau peu fragmentable.
- Si  $FR > 7$  le matériau est fragmentable.

Les résultats des essais sont bien présentés pour chaque échantillon dans les figures qui suivent :

**Tableau 12 : la valeur du coefficient de fragmentabilité des différents échantillons**

Echantillon	FR
1	1,46
2	1,51
3	1,48
4	3,64

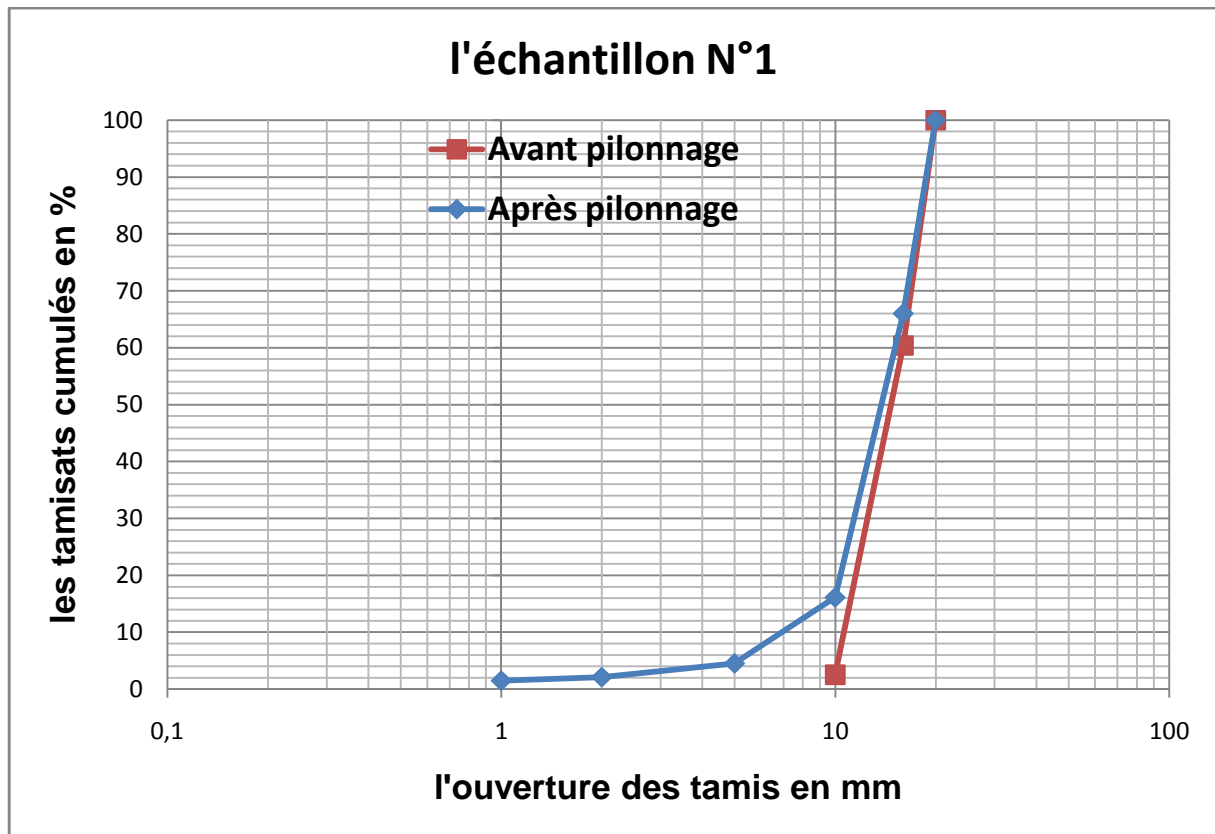


Figure 8 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°1

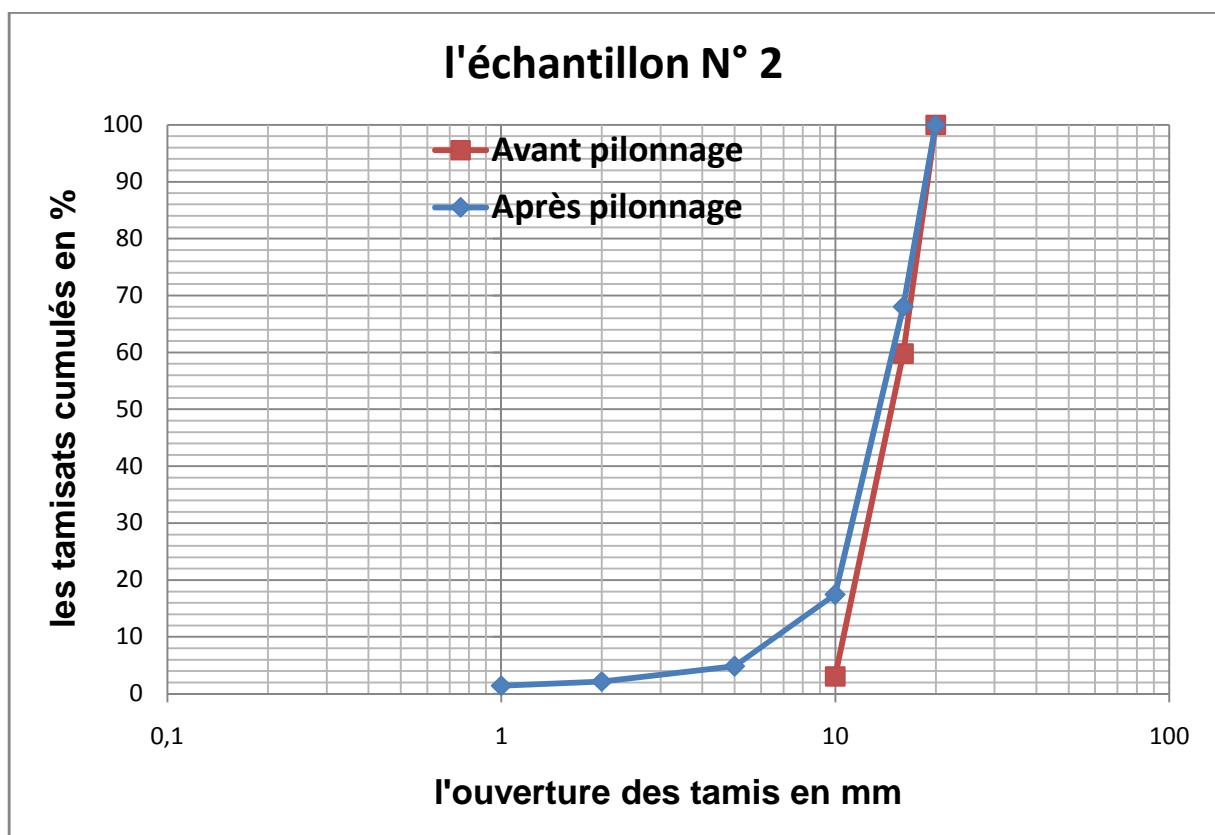


Figure 9 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°2

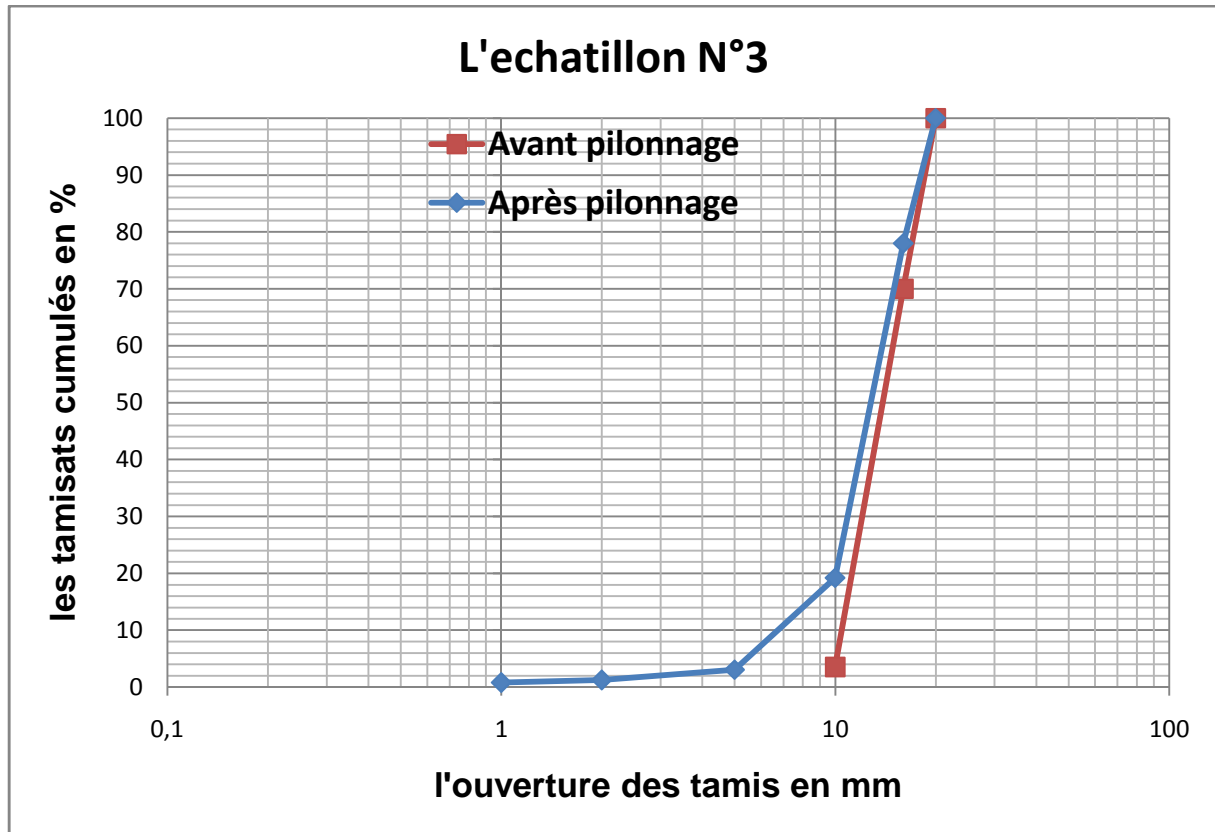


Figure 10 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°3

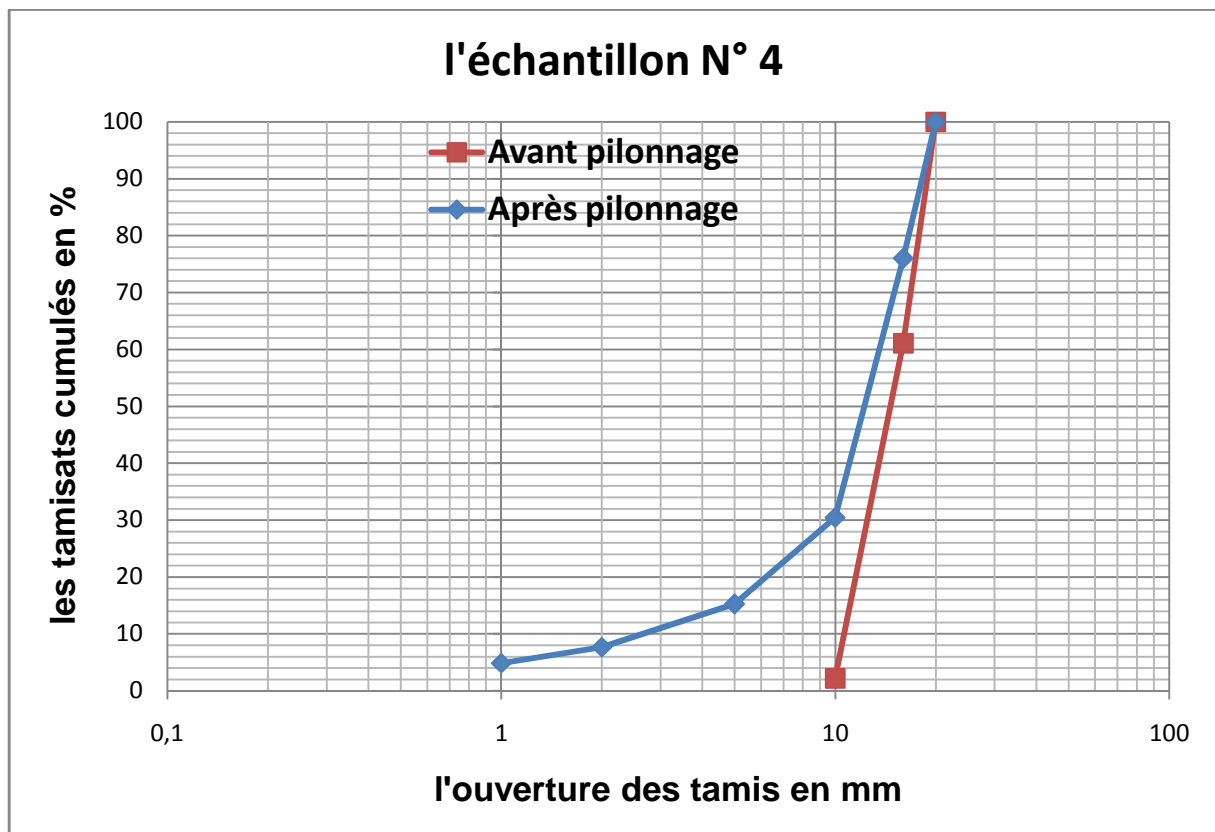


Figure 11 : résultats d'essai de fragmentabilité sur l'échantillon N°4

**g) L'essai de dégradabilité :**

Cet essai permet de mesurer le degré de la dégradabilité des matériaux granulaires sous un cycle de mouillage et de séchage.

La détermination du coefficient de dégradabilité permet d'identifier la classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

La norme NF P 94-067 (Président M. BOLLE, publiée par l'afnor en décembre 1992). Consiste à déterminer la réduction du D10 d'un échantillon de 2 kg de granularité 10/20 soumis à quatre cycle mouillage-séchage conventionnels.

Le coefficient de dégradabilité (DG) du matériau, s'exprime par

$$DG = \frac{D10 \text{ (avant essai)}}{D10 \text{ (après le quatrième cycle)}}$$

Avec D10 : est le diamètre correspondant à 10% en poids du matériau.

La durée d'un cycle est de :

- 8h ± 1 heure d'immersion.
- 16h ± 1 heure de séchage.
  
- Si le DG > 20 → le matériau est très dégradable.
- Si le DG < 20 → le matériau est moyennement dégradable.
- Si le DG < 5 → le matériau est peu dégradable.

Les résultats des essais sont bien présentés pour chaque échantillon dans les figures qui suivent :

**Tableau 13 : la valeur du coefficient de dégradabilité des différents échantillons**

Echantillon	DG
1	1
2	1
3	1
4	1

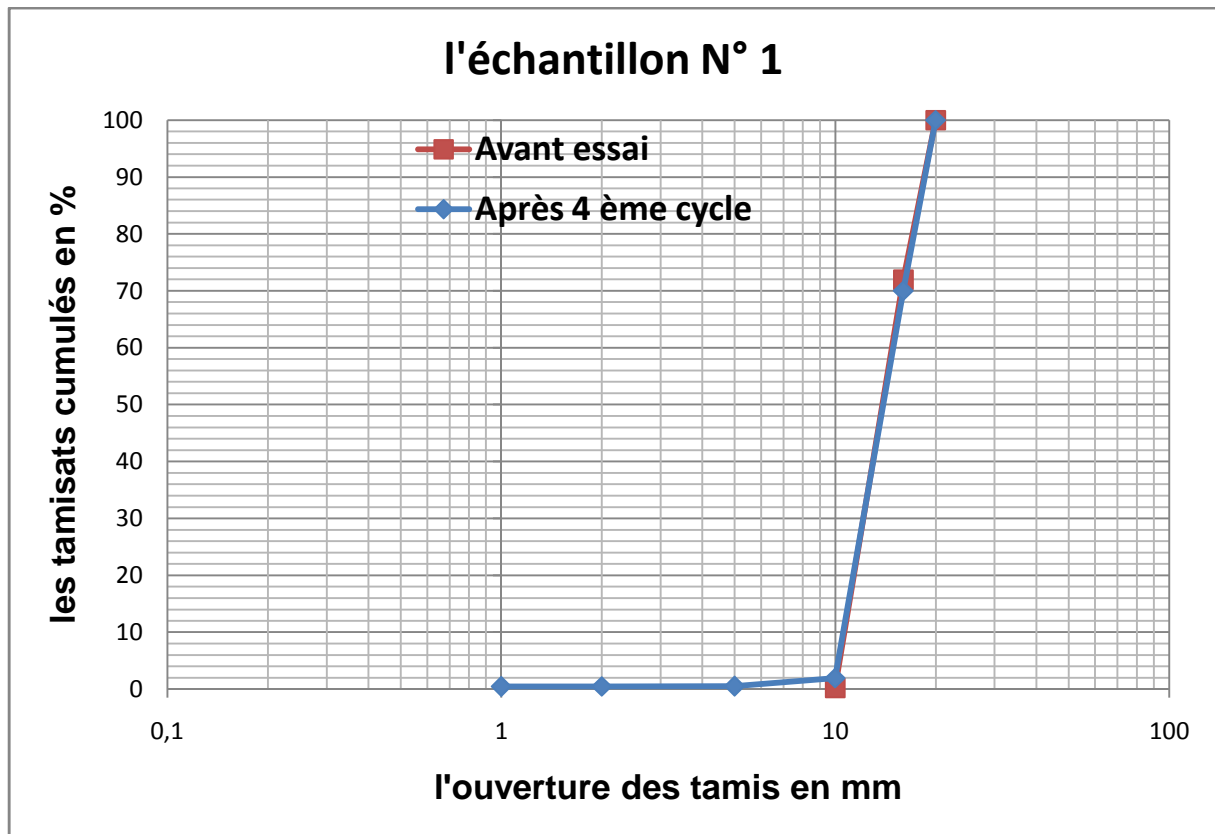


Figure 12 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°1

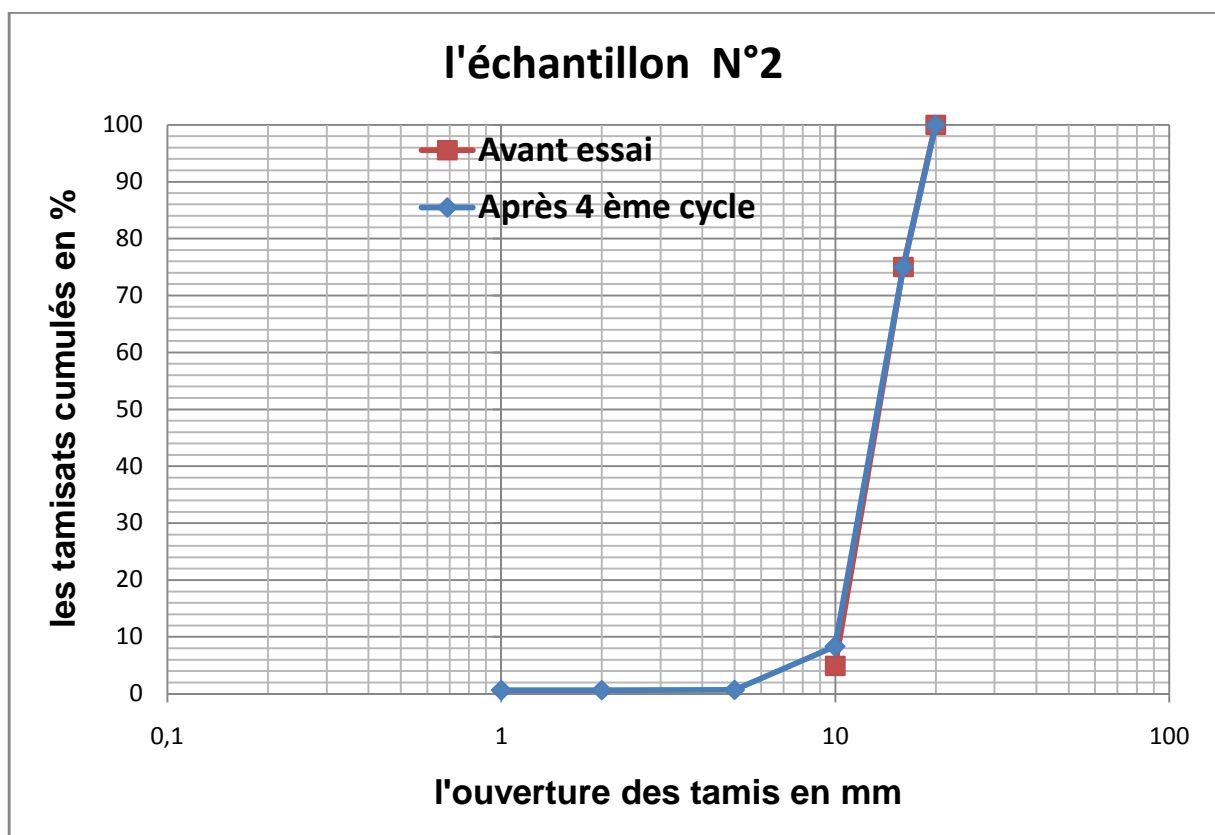


Figure 13 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°2.

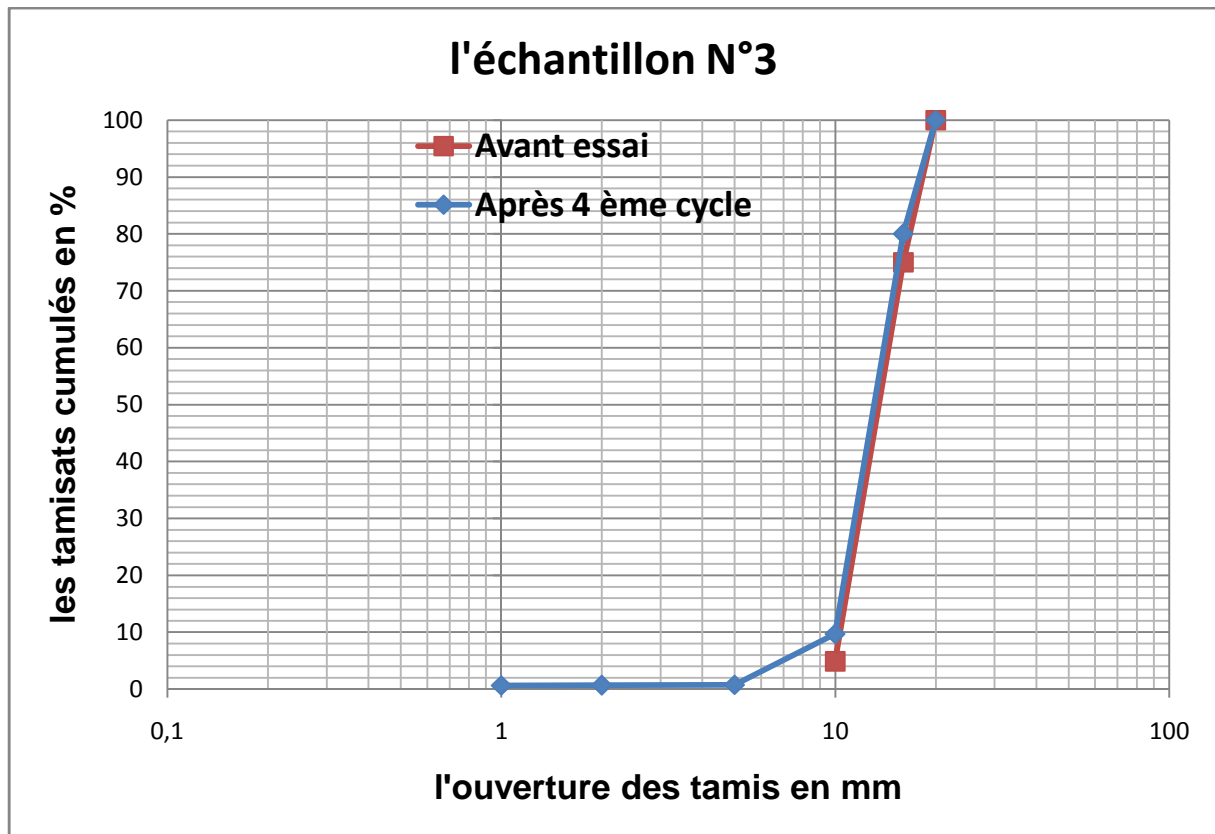


Figure 14 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°3.

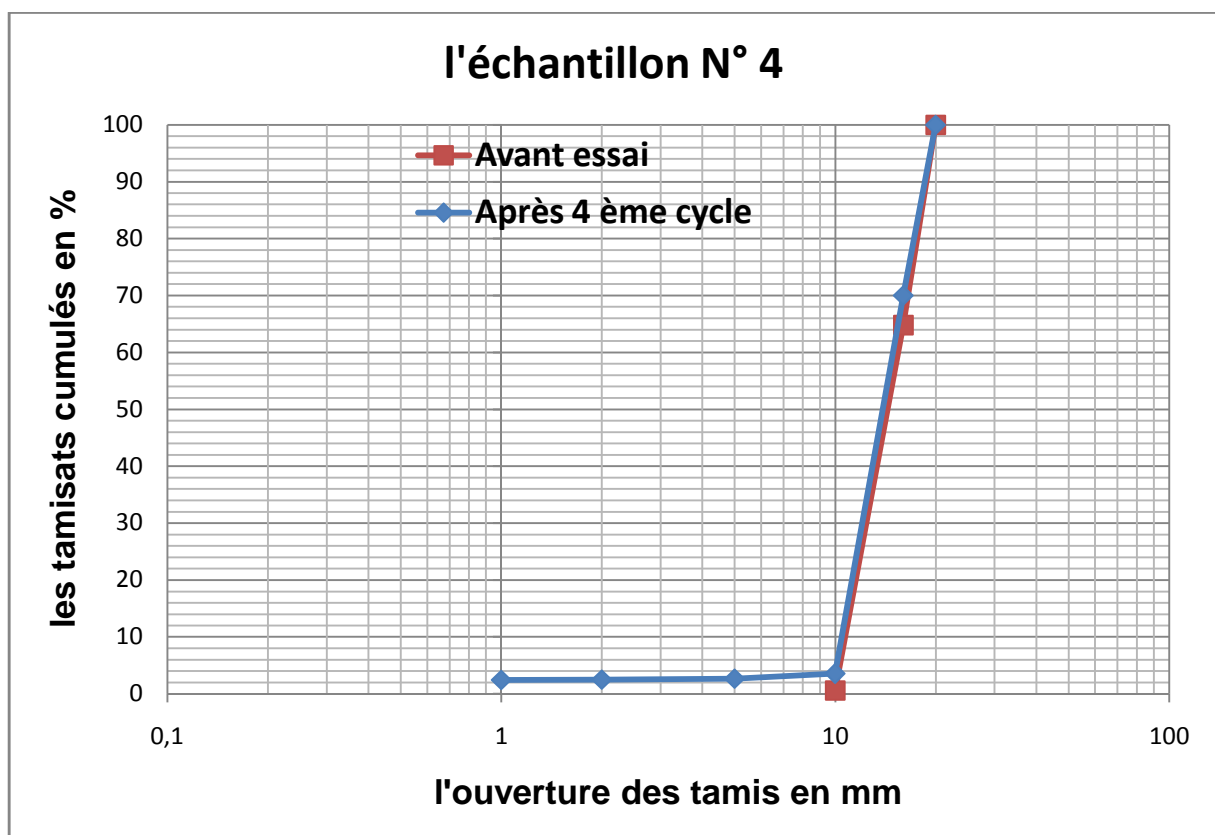


Figure 15 : résultats d'essai de dégradabilité sur l'échantillon N°4.

**Tableau 14 : les valeurs de l'essai los-angeles, micro-deval, fragmentabilité et dégradabilité des différents échantillons prélevés.**

<b>Echantillon N°</b>	<b>Essai</b>	<b>MDE en %</b>	<b>LA en %</b>	<b>FR</b>	<b>DG</b>
1		<b>36,22</b>	<b>28,15</b>	1,46	1
		28,79	26,41		
2		<b>27,32</b>	<b>25,48</b>	1,51	1
		21,71	30,71		
3		<b>26,04</b>	<b>41,94</b>	1,48	1
		47,20	27,45		
4		<b>53,53</b>	<b>43,98</b>	3,64	1
		44,05	50,17		

Tableau 15 : tableau de résultats avec observation.

Coefficient N° ech	De fragment- abilité FR	De dégrada- bilité DG	De micro- deval MDE	De los Angeles LA	Observations
1	Inférieur à 7	Inférieur à 5	Inférieur à 45	Inférieur à 45	<p>-matériau peu fragmentable. -peu dégradable. -matériau qui fait partie de la classe des roches magmatiques et métamorphiques dures (annexe, tableau 3) -Il est de catégorie <b>E</b> -Il est utilisable pour les couches de fondation -Il est utilisable dans les couches de fondation sous le trafic &lt; T3 et jusqu'au trafic T2 s'il est traité aux liants hydrauliques. -dans les couches de bases, il ne peut être utilisé sous le trafic &lt; T3 qu'après traitement aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés. -il est aussi utilisable pour les couches de forme mais, non utilisable pour les couches de surfaces.</p>
2	Inférieur à 7	Inférieur à 5	Inférieur à 45	Inférieur à 45	La même chose que l'échantillon N°1
3	Inférieur à 7	Inférieur à 5	Inférieur à 45	Inférieur à 45	La même chose que l'échantillon N°1
4	Inférieur à 7	Inférieur à 5	supérieur à 45	supérieur à 45	<p>-matériau peu fragmentable. -matériau peu dégradable. -matériau qui fait partie de la classe des roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne (annexe, tableau 3) -Matériaux inutilisable pour les corps de chosées.</p>

# CHAPITRE IV

# Interprétations



### **1. Analyse granulométrique :**

On remarque qu'il y'a évidemment plus de tamisât cumulé dans l'échantillon 1 et 4 et moins dans l'échantillon 2 et 3 sur tout l'intervalle des diamètres d'ouvertures 0,3 et 10mm. (Figure 2 chapitre III)

Echantillon 1 et 4 sont fins (présence beaucoup d'élément fins).

Echantillon 2 et 3 sont grossiers (présence beaucoup d'élément gros).

### **2. La teneur en eau :**

Bien que le prélèvement des échantillons a eu lieu au printemps au cours d'une journée dans une température 40°C, et malgré que les prélèvements sont au niveau de l'oued, les teneurs en eau sont très faibles.

Nous pouvons l'expliquer par le fait que nos matériaux premièrement ont perdurent quelques pourcentages de leurs poids humides en les transportant en une journée chaude, et deuxièmement nos matériaux présentent un volume des vides très réduit ce qui nous donne une pénétration très difficile des eaux.

La plus grande teneur en eau obtenue revient à l'échantillon N°4 environ 1%. Ceci peut s'expliquer par le fait que cet échantillon de la carrière contient le plus grand pourcentage des minéraux produits de la transformation de l'argile (extraction et repoussement à l'aide des engins).

L'échantillon N°1 présente une teneur en eau légèrement supérieure à celle de l'échantillon N°2. Ceci s'explique par le fait l'échantillon 1 est prélevé au niveau réel de la nappe phréatique, ceci explique aussi la valeur de la teneur en eau la plus faible de l'échantillon N°3 par le fait que le prélèvement est loin de l'eau souterraine à cause de l'exploitation. (Tableau 2 chapitre III).

### **3. La masse volumique :**

Nous constatons que la plus grande masse volumique revient à l'échantillon N°4 et que les plus petites revenaient aux échantillons N°2 et N°3 (Tableau 6 chapitre III).

Pour l'échantillon N°4, cette plus grande valeur revient à sa texture massive et compacte

Pour les échantillons N°2 et N°3, ils présentent presque les mêmes valeurs, ceci revient à la texture de faible compacité qui est presque la même entre les deux et parce que les deux échantillons ont été prélevés au niveau d'une même région (moyen de l'oued SEBAOU. (Tableau 6 chapitre III).

Nous constatons que la plus petite masse volumique revient à l'échantillon N°4 et que la grande revient aux autres échantillons qui ont presque les mêmes valeurs (Tableau 7 chapitre III).

Pour l'échantillon N°4, ceci revient à la texture légère et de la forme anguleuse qui est un avantage pour une faible occupation d'espace dans le moule.

Pour les autres échantillons N°1 et 2 et 3, ceci revient à la texture compacte de forme presque plate et de surface lisse. (Tableau 7 chapitre III).

#### **4. Indice des vides, degré de saturation et porosité :**

Les valeurs de la porosité sont très rapprochées pour les quatre différents échantillons, ce qui explique que les volumes des vides et indices des vides sont aussi des valeurs très rapprochées.

On constate que la plus grande valeur de la porosité est celle de l'échantillon N°3, ceci explique que l'indice des vides et le volume des vides de cet échantillon est le plus grand par rapport aux autres échantillons, c'est-à-dire que la texture du matériau représenté par l'échantillon N°3 est lâche et creuse (non massive).

Les degrés de saturation des différents échantillons sont très très faibles ce qui explique que les échantillons sont quasiment secs c'est-à-dire que le volume de l'eau par rapport au volume des vides est très faible.

La plus grande valeur du degré de saturation revient à l'échantillon N°4 par rapport aux autres échantillons, ceci explique la présence d'un volume d'eau plus grand par rapport au volume des vides. (Tableau 8 chapitre III).

#### **5. Les essais Micro-Deval et Los-Angeles :**

On remarque sur la fraction 4-6,3, que les échantillons N°2 et N°3 sont les plus résistants à l'usure et l'échantillon N°4 est le plus faible. Sur la fraction 6,3-10 les plus résistants sont les échantillons N°1 et N°2. (Tableau 11 chapitre III).

On remarque sur la fraction 4-6,3, que les échantillons N°1 et N°2 sont les plus résistants aux chocs et les échantillons N°3 et N°4 sont les plus faibles. Sur la fraction 6,3-10 les plus résistants sont les échantillons N°1 et N°3 et l'échantillon N°4 est plus faible. (Tableau 11 chapitre III).

#### **6. Les essais de fragmentabilité et de dégradabilité :**

On remarque que la valeur du coefficient de fragmentabilité (FR) des échantillons N°1, N° 2, N°3 et N°4 est inférieure à 7, ce qui nous permet de dire que les échantillons sont tous peu fragmentables. (Tableau 12 chapitre III).

On remarque que la valeur du coefficient de dégradabilité (DG) des échantillons N°1, N°2, N°3 et N° 4 est inférieure à 5, ce qui nous permet de dire que les échantillons sont tous peu dégradables. (Tableau 13 chapitre III).

Il semble que cette résistance est liée à la géologie du massif (schistes et calcaire noirs, les gés de la couleur gris et les quartzites de la couleur blanc.

## **7. Discussions des résultats : (tableau 14 chapitre III) :**

### **1) Echantillon N° 1:**

- FR < 7 : Cet échantillon est un matériau peu fragmentable.
- DG < 5 : C'est un matériau peu dégradable.
- LA < 45 et MDE < 45 c'est un matériau qui fait partie de la classe des roches magmatiques et métamorphiques dures (annexe, tableau 3).
  - Il est de catégorie **E** (tableau 1, annexe) et (tableau 14 chapitre III)
  - Il est utilisable pour les couches de fondation, d'après les prescriptions spéciales sur les granulats à incorporer aux ouvrages routiers.
  - D'après (annexe, tableau 2). Il est utilisable dans les couches de fondation sous le trafic < T3 et jusqu'au trafic T2 s'il est traité aux liants hydrauliques.
  - Tandis que dans les couches de bases, il ne peut être utilisé sous le trafic < T3 qu'après traitement aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.
  - il est aussi utilisable pour les couches de forme mais, non utilisable pour les couches de surfaces.

### **2) Echantillons N° 2 et N°3 :**

La même chose que l'échantillon N°1

- FR < 7 : Cet échantillon est un matériau peu fragmentable.
- DG < 5 : C'est un matériau peu dégradable.
- LA < 45 et MDE < 45 c'est un matériau qui fait partie de la classe des roches magmatiques et métamorphiques dures (annexe, tableau 3).
  - Il est de catégorie **E** (tableau 1, annexe) et (tableau 14 chapitre III)
  - Il est utilisable pour les couches de fondation, d'après les prescriptions spéciales sur les granulats à incorporer aux ouvrages routiers.
  - D'après (annexe, tableau 2). Il est utilisable dans les couches de fondation sous le trafic < T3 et jusqu'au trafic T2 s'il est traité aux liants hydrauliques.
  - Tandis que dans les couches de bases, il ne peut être utilisé sous le trafic < T3 qu'après traitement aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.
  - il est aussi utilisable pour les couches de forme mais, non utilisable pour les couches de surfaces.

### 3) Echantillons N° 4 :

- FR < 7 : Cet échantillon est un matériau peu fragmentable.
- DG < 5 : C'est un matériau peu dégradable.
- LA > 45 et MDE > 45 c'est un matériau qui fait partie de la classe des roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne (annexe, tableau 3).
- Matériaux inutilisable pour les corps de chosées.

Nous supposons que cette fragilité est due a la composition minéralogique du matériau et sa texture qui favorise cette fragilité.

### 8. Conclusion :

On suppose que la résistance de matériau dépend des minéraux qui le constituent

Ces minéraux se trouvent dans un matériau en forme de bloc ou de roche, ils peuvent être cimentés et bloqués à l'intérieur de la texture massive, et l'exposition de ces minéraux aux agents agressifs tel que l'eau réduit la résistance du matériau et devient altérable et dégradable.

Nos matériaux granulaires qui viennent de l'oued sont de forme ronde et de forme anguleuse pour ceux qui viennent de la carrière.

La teneur en eau de nos matériaux est très faible.

L'analyse granulométrique de nos matériaux à montrée que la fraction est de fraction 0/20 (Dmax en général est de 20mm)

L'essai d'altérabilité à démontré que le degré de dégradabilité est très faible, ce phénomène semble lié à l'origine de ces matériaux, à la texture et la forme des grains.

Les essais mécaniques nous permettent de classer nos échantillons comme un matériau peu fragmentable, peu dégradable, et utilisable pour la couche de forme et de fondation du corps du chaussée dans le trafic inférieur à 50 nombre du poids lourd qui passent par jour, avec incorporation des liants hydrauliques

Le matériau de la carrière n'est pas utilisable dans tout les corps de chaussée.

Les matériaux de l'oued sont plus résistants que ceux de la carrière.

# CHAPITRE V

# Perspectives



## **I. La réutilisation des granulats :**

### **1. Introduction :**

En générale les granulats ou les agrégats sont utilisés dans les mortiers, les bétons, la durabilité des différents de couches de la chaussées et pour ballastages des voies ferrées.

Chaque type d'ouvrage nécessite l'utilisation des matériaux adaptés aux exigences techniques des architectes, des entrepreneurs et de l'administration.

Chaque année les activités du Bâtiment et des Travaux Publics produisent des milliers de tonnes de matériaux de démolition et de déblais. Leur réutilisation dans un contexte économique est considérée comme une priorité pour les acteurs des Travaux Publics : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, et entreprises de BTP.

### **2. Les différent cas d'utilisations des granulats :**

#### **a) Dans les bétons :**

On emploie des granulats dans le squelette, plus de 75 % par m<sup>3</sup> de béton

Les bétons contiennent ou moins un mélange de deux 2 fractions granulaires

- Les sable 0/d (avec  $d < 5\text{mm}$ )
- Les graviers d/D (avec  $d > 2\text{mm}$ )

En générale les sables sont lavés pour éliminer les fines de diamètre inférieur à 80 micromètre, ils représentent environ 35 % de la masse des agrégats contenus dans les bétons

#### **b) Dans les mortiers :**

- On utilise la fraction 0/d avec  $d < 2,5\text{mm}$  pour les mortiers d'enduits
- On utilise la fraction 0/d avec  $d < 5\text{mm}$  pour les joints et chape [15]

#### **c) Dans le corps de chaussée :**

Le corps de chaussée est formé par un ensemble de couches de matériaux constitués de granulats avec des liants.

Les 3 types de chaussées existant :

- Chaussée souple ;
- Chaussée semi – rigide ;
- Chaussée rigide.

Les différentes couches de la chaussée :

✚ **Couche de roulement (surface) :**

La couche de surface constituant la chape, protection de la couche de base par sa dureté et son imperméabilité et devant assurer en même temps la rugosité, la sécurité et le confort des usagés

L'épaisseur de la couche de roulement en général varie entre 6 et 8 cm.

✚ **Couche de base :**

La couche de base joue un rôle essentiel, elle existe dans toutes les chaussées, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet de trafic.

L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25 cm.

✚ **Couche de fondation :**

Elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic.

Aussi, Elle a le même rôle que celui de la couche de base.

L'épaisseur de la couche de fondation varie entre 8 et 15 cm.

✚ **Couche de forme :**

Elle est utilisée pour améliorer la portance du sol support à long terme.

L'épaisseur de la couche de forme est en général entre 40 et 70 cm

**d) Dans la voie ferrée (ballastage) :**

On utilise du ballast normal 25/50, ballast fin 16/31.5 et les gravillons 10/25.

Le ballast vient généralement de la roche massive utilisable tel quel sans lavage et sans liant.

**3. Le choix des matériaux :**

Il dépend de plusieurs facteurs :

- Economique : on doit essayer d'utiliser les matériaux disponibles dans la région.
- Qualitatif : les matériaux doivent satisfaire la durabilité et assurer la sécurité des projets de réalisation.

Donc :

- Le matériau doit présenter une granulométrie convenable pour assurer la proportionnalité des grains et la stabilité des ouvrages.
- Le matériau doit être dur et résistant plus que les efforts transmis à la structure.
- Le matériau doit être propre, ne doit pas comporter trop d'éléments fins argileux pour éviter la déstabilisation et la diminution de la résistance.
- Le matériau doit être compatible (facile à l'emploi).

#### 4. Les granulats de recyclage :

L'utilisation des matériaux recyclés offre plusieurs avantages :

- Economie des ressources naturelles de granulats ;
- Réduction des volumes de stockage des déchets inertes ;
- Economie de transports.

Les matériaux issus du recyclage peuvent, selon leurs caractéristiques, être considérés comme des matériaux de terrassement, ou comme des granulats pour corps de chaussée. Mais doivent être élaborés et définir leur origine (source).



**Figure 1 : stock de matériaux de démolition destinés au recyclage**

## 5. Les déchets destinés au recyclage :

**Tableau 1 : extrait de la liste des déchets inertes et leurs conditions d'exploitation [16]**

Description	Restrictions
Bétons, briques, tuiles et céramiques	Uniquement déchets de construction qui ne provient pas de sites contaminés
Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques	Uniquement déchets de construction qui ne provient pas de sites contaminés
Verre	Construction et emballage
Mélanges bitumineux	Après vérification de l'absence de goudron
Terres (sols) et pierres (déblais)	A l'exclusion de la terre végétale et de la tourbe et celle proviennent de sites contaminés.

## 6. Classes principales de granulats recyclés :

### a) Granulats de débris de béton :

Proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil (bétons ou béton armé d'acier).



### b) Granulats de débris de maçonneries :

Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments.



**c) Granulats de débris hydrocarbonés :**

Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes...), de la démolition de parkings.

**d) Granulats de débris mixte :**

Proviennent de la construction, rénovation, démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles...).

**7. Caractérisation des granulats recyclés :**

Les granulats de débris recyclés sont désignés par :

- leur sorte,
- leur classe granulaire
- et éventuellement leurs caractéristiques supplémentaires.

**Exemple :**

- 🚧 **Sorte de granulats :** Concassé de débris de béton
- 🚧 **Classe granulaire :** 0/31,5.
- 🚧 **Caractéristiques complémentaires :** 30 % des granulats sont de la forme ronde.

✚ **Eléments perturbateurs** : OS<sub>Pass</sub>. Ne contient pas de la matière organique

✚ **Identification complémentaire du fabricant** : entreprise de production.

Suite de la partie utilisation des granulats

#### a) Sorte de granulats :

La classification des granulats est fonction de leur composition.

La répartition se fait suivant leur composant et la fraction présentée exprimée en % de la masse.

La nature, la forme, et la dimension peuvent être nuisibles à l'usage (ex : grumeaux d'argile ; charbon ; lignite ; cokes ; matières végétales ; sels nuisibles solubles ; schistes noir charbonneux ; briques réfractaires ; etc...) et aussi amiante-ciment.

#### b) Classe granulaire :

Donne des informations sur la granulométrie et les tolérances autour de la granulométrie. Les critères de granulométrie sont variables suivant l'application. Les caractéristiques sont données par les fabricants sur base et dans le respect des normes.

#### c) Caractéristiques complémentaires :

Les caractéristiques complémentaires complètent les caractéristiques générales.

Parmi les prescriptions complémentaires, nous identifions :

- La forme des pierres
- La stabilité volumétrique
- La résistance à l'usure
- La masse volumique réelle
- L'absorption d'eau
- La teneur en ions chlore
- La résistance au gel-dégel
- La teneur en sulfates solubles dans l'acide
- La teneur en fines
- La qualité des fines
- La teneur en pierre rondes
- La teneur en éléments coquilliers des gravillons
- La résistance à la fragmentation
- La teneur totale en soufre

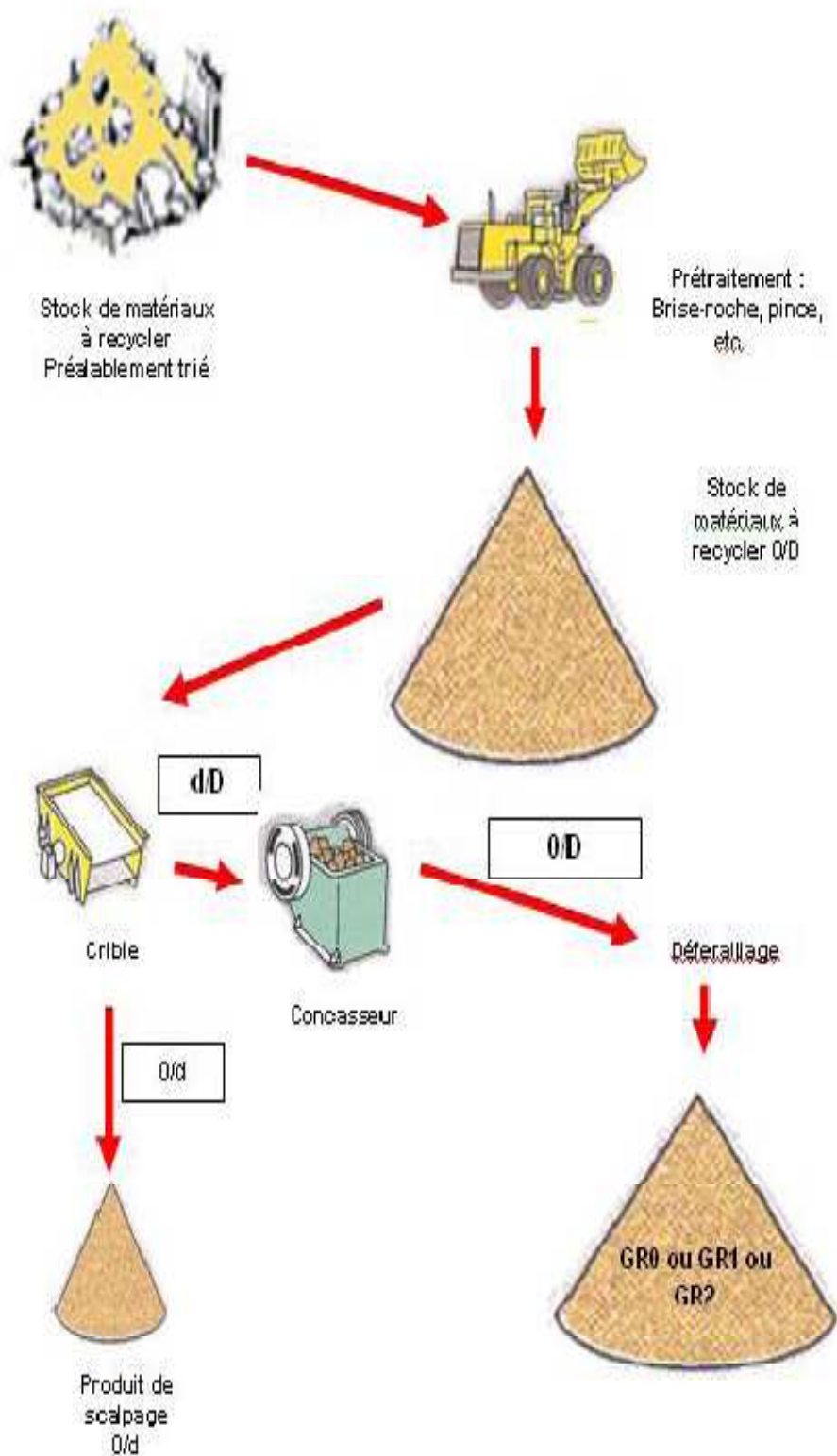
#### d) Eléments perturbateurs :

Informe la teneur en éléments organiques dans les granulats. La présence d'éléments organiques peuvent perturber (ralentir vitesse de prise et durcissement) des mélanges traités aux liants hydrauliques. La désignation OS<sub>Pass</sub> caractérise les granulats en contenant pas de composés organiques ; la désignation OS<sub>Fail</sub> caractérise les granulats contenant des composés organiques.

Si le liquide surnageant de l'essai prend une couleur plus claire que la couleur standard, les granulats peuvent être considérés comme ne comportant pas d'éléments organiques et sont désignés par OSPass.

**e) Identification complémentaire du fabricant :**

Pour chaque produit, il existe une fiche technique. Exemple : (annexe, figures 1 et 2).

**8. Elaboration des matériaux recyclés :**

**Figure 4 : exemple indicatif de production des matériaux recyclés**  
(GR : grave recyclé)

### **9. Domaine d'emploi des matériaux de recyclage :**

Chaque région utilise des matériaux de déconstruction recyclés qui sont disponible le plus proche des projets à construire.

Les classifications et les spécificités décrites dans des guides techniques régionaux sont proches pour certains lieux à frontières en commun, il est de même pour les domaines d'emploi.

L'utilisation des granulats recyclés traités ou non traités aux liants hydrauliques doivent suivre des normes fixées par le règlement.

Généralement les matériaux de recyclages sont utilisés pour les corps des chaussées.

### **10. Précautions d'emploi :**

#### **a) La maîtrise de compactage et la teneur en eau :**

Les graves de recyclages issues des matériaux de déconstruction, nécessitent une énergie de compactage intense a cause de leur caractère frottant et courbe granulométrique peu sableuse.

Pour atteindre une qualité de compactage suffisant et de bien maîtriser les teneurs en eau lors de la mise en œuvre des matériaux, Il est nécessaire de bien dimensionner l'atelier de mise en œuvre.

#### **b) Agressivité :**

L'utilisation des matériaux recyclés au contact d'ouvrages béton ou bien d'ouvrages métalliques (buses métalliques, palplanches), il est indispensable de vérifier l'agressivité des produits.

#### **c) Les particularités environnementales :**

Les caractéristiques environnementales restent inchangées pour les matériaux de déconstruction et de déblais de chantiers après le processus d'élaboration.

Le producteur de matériaux de recyclage sélectionne les matériaux entrants à recycler et assure un contrôle périodique adapté des caractéristiques environnementales des graves de recyclage. **[16]**

## II. Les impacts :

### A. Les impacts de la carrière sur l'environnement :

Les principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement avoisinant peuvent être directs ou indirects.

Ils sont en fonction :

- ✓ du type de matériau ;
- ✓ du type d'exploitation ;
- ✓ de l'environnement du site.

#### A.1. L'impact social:

Les activités d'exploitation des carrières ont un impact social tel que les conséquences et les répercussions sur la santé des personnes employées et des habitants au voisinage, des changements dans l'environnement et dans les conditions de vie des populations locales.

#### A.2. L'impact économique :

L'aménagement de nouvelles voies de transport et de communication, L'occupation des sols, sur les terres de valeur agricole ou forestière.

#### A.3. L'impact sur les sources d'eau :

Une carrière peut avoir un impact direct sur l'écoulement souterrain des eaux à cause de l'excavation engendrée.

S'il existe une nappe phréatique à proximité de l'exploitation, le rabattement engendré, provoque l'assèchement des puits ou cours d'eaux environnants, donc il peut résulter un abaissement du niveau de la nappe phréatique, ainsi que :

- La pollution des eaux souterraines ;
- La déviation des cours d'eaux ;
- La modification des éléments constitutifs.

#### A.4. L'Impact biologique :

L'extraction des matériaux dans une région détruit la flore (la végétation) et éloigne la faune (animaux).

#### A.5. L'impact sur l'atmosphère :

On sait que la composition de l'atmosphère est stable et les activités humaines sont les facteurs essentiels qui engendrent des déséquilibres dans ce système par l'ajout de certain élément

Dans le cas des carrières à ciel ouvert, la fragilité et l'instabilité de l'atmosphère est due aux :

- Poussières Dégagées par les tirs à l'explosif et le trafic routier,
- Gaz nocifs Dégagés par les échappements des engins et des automoteurs.

#### **A.6. L'impact sur le paysage :**

L'extraction à la carrière entraînerait fait transformer le paysage et le relief, en produisant des impacts visuels tel que :

- Le stockage des remblais qui laisse des cicatrices dans le paysage.
- La forme de L'excavation qui déforme le relief.
- Les fronts de taille,
- Les contrastes de couleur,
- Le déboisement (déforestation).

#### **A.7. L'impact sur les infrastructures :**

- L'usure et fissuration des infrastructures routières par l'usage des convois et le risque de dégâts aux constructions voisines par les vibrations introduites.
- Le transport des matériaux endommage les voiries.
- La circulation des engins entraînent des dégradations des chaussées et aggrave les risques de dérapage sur les routes par suite de l'accumulation des boues.

#### **A.8. Les nuisances sonores et les vibrations :**

L'impact sonore d'une exploitation de la carrière dépend de relief du terrain et de sens du vent.

Le bruit est plus ressenti par les habitants au voisinage des les carrières comme les zones rurales relativement calmes.

Il s'agit :

- Des vibrations liées aux tirs de mines,
- Des installations de traitement,
- Des moteurs des engins en circulation.

#### **A.9 Les polluants atmosphériques :**

- Les poussières, les oxydes de carbone (CO, CO<sub>2</sub>)
- et les oxydes de l'azote (NO, NO<sub>2</sub>). Ce sont généralement des produits des tirs de mines des échappements des moteurs et des opérations d'extraction de la matière.



**Figure 5 : Les polluants atmosphériques lors de tir de mine. [17]**

#### **A.10. Les matériaux divers :**

Ce sont les produits introduits lors de l'excavation ou de l'entretien et la réparation des engins de la carrière.

On peut citer : les rejets de l'exploitation, les huiles de vidange.

Les conséquences de ce type de polluants sur les aquifères (les eaux souterraines) et sur le paysage sont très importantes.

#### **B. Les impacts de La gravière sur l'environnement :**

##### **B.1. Les impacts sur les sources d'eau :**

Toute modification physique causée par l'extraction des granulats alluvionnaires entraîne une perturbation de fonctionnement de système d'échange d'eau entre les nappes et les cours d'eau (AMOROS 1993).

Les effets indésirables de l'extraction des granulats alluvionnaires :

- L'érosion et dégradation du lit du cours d'eau ;
- L'approfondissement du lit de la rivière provoque le déchaussement des ponts et d'ouvrages ;
- Modification et déviation du tracé du lit de la rivière ;
- La destruction de frayère des poissons.

L'implantation d'une gravière dans un milieu aquifère revient à remplacer une partie du milieu poreux par une zone ayant une porosité de 100 % et transmissivité infinie. [18]

L'implantation d'une gravière provoque la destruction des zones d'habitat.

La mise à l'air libre de la nappe alluviale par extraction des granulats, entraîne un réchauffement des eaux qui ont un impact sur les piscicoles (poison) et la faune (empêche animales), lorsqu'elles entrent en communication avec un cours d'eau.

La gravière est un obstacle à l'écoulement des eaux de la rivière.

Le seul avantage des gravières ou bien l'extraction des granulats alluvionnaire est l'amélioration de la section d'écoulement de la rivière et le stockage des eaux de crue



**Figure 6 : Déchaussement d'un pont, début d'affouillement au niveau de la fondation de la Culée de rive droite**



**Figure 7 : Incision et érosion de berge.**

**C. Conclusion :**

Nous cherchons tous la possibilité d'utiliser des matériaux locaux qui sont économiques, à condition de satisfaire les exigences de qualité et de résistance.

Toute utilisation de matériaux doit suivre des méthodes qui s'appuient sur les résultats des essais mécaniques et études géotechniques.

Les granulats de recyclage, sont des éléments provenant de la fragmentation, de la séparation, du tamisage et éventuellement du lavage de débris provenant de travaux de construction et de démolition. Ils qui peuvent être utilisés pour autant qu'ils satisfassent à une série de conditions formulées dans la législation en vigueur.

Les méthodes d'exploitation des carrières, ont un impact direct et indirect sur l'environnement avoisinant. Les nuisances occasionnées lors des opérations d'extraction sont dues aux polluants atmosphériques, aux vibrations et aux bruits. Les poussières sont les rejets les plus importants dans la carrière.

Les extractions des granulats alluvionnaires ont un impact hydrodynamique se traduisant par une modification du régime d'écoulement de la nappe au voisinage de l'excavation et de l'exploitation. Par ailleurs, les gravières ont des impacts sur les crues de rivières. Plus généralement, elles peuvent interrompre la relation entre le cours d'eau et sa plaine alluviale.

## **Conclusion générale :**

Dans le but d'une meilleure connaissance des granulats les plus connus et plus utilisés dans le domaine de bâtiment et des travaux publics en grande Kabylie, une étude a été effectuée sur les matériaux de l'oued Sebaou et ceux de la carrière « ALMOHAROUNE »

Cette étude comporte une partie très diversifiée sur les granulats et leur localisation géographique au niveau de la grande Kabylie, sur les prescriptions spéciales utilisées sur les granulats à incorporer aux ouvrages routiers et, en fin sur l'utilisation et la réutilisation des granulats et l'impact de leur exploitation. Tandis qu'une partie expérimentale repose sur un ensemble d'essais au laboratoire permettant d'identifier, de caractériser et de classer nos matériaux.

L'utilisation des valeurs des tableaux de la classification géotechnique, selon le système d'U.S.C.S. (Unified Soil Classification System), fournit un langage à l'aide duquel les connaissances des caractéristiques générales d'un sol donné peuvent être transmises d'une manière claire et nette.

La classification des sols en utilisant l'analyse granulométrique, nous a permis, à partir de la forme de la courbe granulométrique, du coefficient d'uniformité, et du coefficient de courbure, de conclure que nos matériaux sont propres et bien gradués surtout au niveau du moyen Sébaou.

La résistance des matériaux à l'altérabilité et la dégradabilité dépend des minéraux qui les constituent. Ces derniers se localisent à l'intérieur de la texture massive, pour un matériau en forme de roche massive.

Nos matériaux granulaires qui viennent de l'oued Sébaou sont plus résistants que ceux de la carrière « ALMAHAROUNE ».

Ils sont peu fragmentables, peu dégradables, et utilisables pour la couche de forme et de fondation du corps de la chaussée dans le trafic est inférieur à 50 poids lourds par jour, avec incorporation de liants hydrauliques.

Le matériau en provenance de la carrière n'est pas utilisable pour tous les corps de chaussée.

Les essais mécaniques ont montré que la résistance des grains diminue considérablement avec la fragilité de ces derniers.

Ceci peut être lié à la composition minéralogique qui les constitue, à la texture, à la forme, la taille des grains, et la granulométrie.

Les matériaux sont faiblement dégradables, ceci peut être lié à l'origine des grains et aux faibles valeurs de teneur en eau.

Pour toute utilisation des matériaux locaux qui sont économiques, il faut satisfaire deux paramètres : la qualité et la résistance qui se déterminent par des études géotechniques et des essais au laboratoire.

Les granulats de recyclage, peuvent être utilisés pour autant qu'ils satisfassent à une série de conditions formulées dans la législation en vigueur.

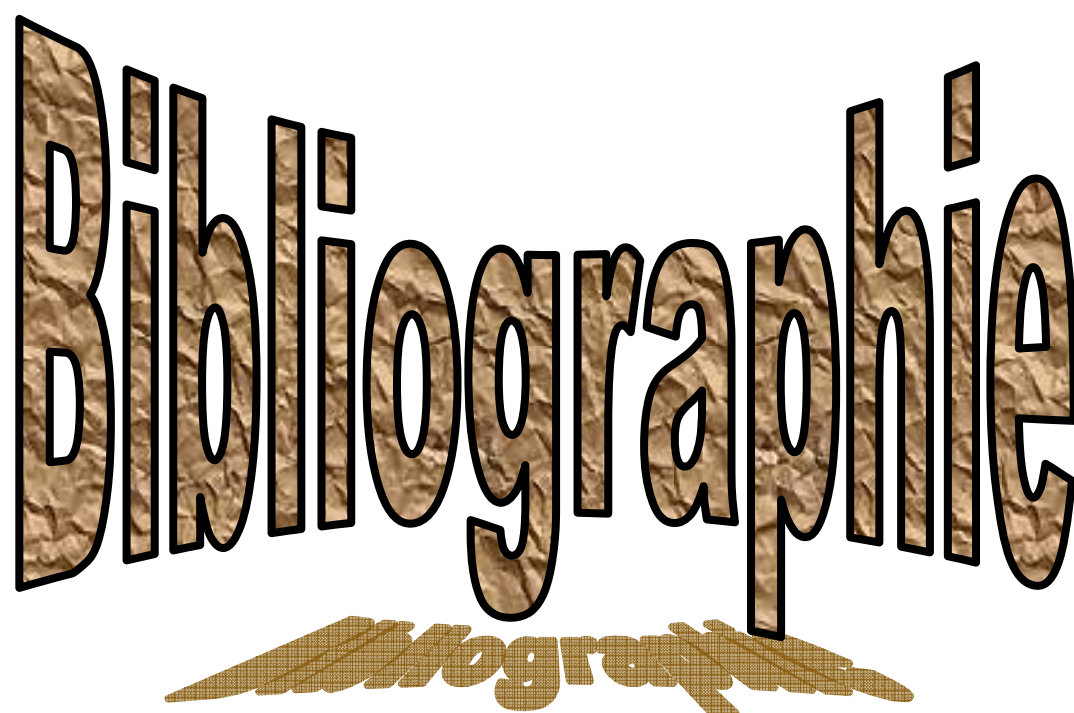
L'exploitation des carrières et l'extraction des granulats alluvionnaires, ont un impact direct et indirect sur l'environnement avoisinant. Des polluants atmosphériques par la poussière dans les carrières et la dégradation de la ressource en eau de surface et souterraine au niveau des rivières.

Les essais effectués sur ces granulats nous ont permis de cerner les particularités physiques et mécaniques sous différentes sollicitations.

En effet, la connaissance de la résistance de ces matériaux est nécessaire pour connaître s'ils sont utilisables pour des différentes couches du corps de chaussée.

Ces résultats méritent d'être complétés par une campagne d'essais de compactages et de portance pour mieux les exploiter et les utiliser sur le site du domaine des travaux routiers.

# Bibliographie



- [1] **BEN ABDESSELAM. Z et MALDONADO. A** (2000)

Réaménagement des carrières et maîtrise des risques environnementaux de l'industrie des granulats, bulletin des laboratoires des ponts et chaussées,

- [2] **LOZAC. D** (2005)

Les constituants des bétons et des mortiers. École française du béton.

- [3] **PANET. M et TOURENQ. C** (1971)

Les essais de granulats. Connaissances actuelles et orientation des recherches  
Revue Générale des Routes, 465 pages.

- [4] **ARQUIE. G et TOURENQ. C** (1990).

Granulats. Livre, Ecole nationale des ponts et chaussées.

- [5] **ARAB. K et BOUZIANE. H** (2009).

Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballast. Mémoire ingénieur, université FERHAT ABBAS de SETIF.

- [6] **VILLARD. P** (2004)

Bétons et Mortiers. Cours et Travaux dirigés des matériaux, IUT 1 de GRONOBLE, France

- [7] **SCHON. Ch** (1965)

Classification géotechnique des sols basée sur la classification U.S.C.S, laboratoire central

- [8] **MEFTAH. K** (2008)

Mécanique des sols, Cours et exercices. En ligne

- [9] **PORTET. F et NOËL. O** (2001)

Classification des sols, Cours, ENTE d'AIX-EN-PROVENCE,

- [10] **DEGOUTTE. G et ROYET. P** (2009)

Mécanique des sols. Aide mémoire, Les publications de l'ENGREF, Réédition

- [11] **BARAKAT. A** (2006)

Matériaux de carrière et de construction. Cours, université sultan moulay sliman. MAROC

- [12] **M.ACHIR** (2011)

Caractérisation de phénomène d'écrasement par l'étude de la dimension fractale des grains. Mémoire de magister, UMMTO,

- [13] **MOHELLEBI. S** (2014)

Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hydro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites. Thèse de doctorat, UMMTO,

- [14] **MELBOUCI. B** (2007).

Etude du phénomène d'écrasement des grains de schiste au compactage, UMMTO.

- [15] **MAUBERT. F** (1989).

Les granulats. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

- [16] **NOTE D'INFORMATION** (2011).

Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés. Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM),

- [17] **ALIOUCHE. M** (2008)

Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement. Mémoire de magister. Université Mentouri de Constantine

- [18] **MIMOUN. D** (2004)

Une aide a l'analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation des sites postindustriels -cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire. Thèse de doctorat. Université Jean Monnet.

- [19] **ALKAMA. F** (2003)

Etude expérimentale du comportement mécanique du matériau schiste en géotechnique routière. Mémoire de magister. UMMTO.

# annexes

i) **Cadre l'égal et réglementation Algérienne sur l'exploitation à ciel ouvert et son impact sur l'environnement**

**Décret exécutif n° 04-95 du 11 safar 1452 correspondant au 1 avril 2004 fixant les règles de l'art minier**

- Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;
- Vu la loi n° 83-13 du 2 juillet 1983, modifiée et complétée, relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles ;
- Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux ;
- Vu la loi n° 84-12 du 23 juin 1984, modifiée et complétée, portant régime général des forêts ;
- Vu la loi n° 87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire ;
- Vu la loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail ;
- Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune ;
- Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya ;
- Vu la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière, notamment son article 56 ;
- Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Vu le décret n° 85-231 du 25 août 1985 fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en oeuvre des interventions et des secours en cas de catastrophes ;
- Vu le décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophes ;
- Vu le décret présidentiel n° 90-198 du 30 juin 1990, modifié et complété, portant réglementation des substances explosives ;
- Vu le décret présidentiel n° 03-208 du 3 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 5 mai 2003 portant nomination du Chef du Gouvernement ;
- Vu le décret présidentiel n° 03-215 du 7 Rabie El Aouel 1424, modifié, correspondant au 9 mai 2003 portant nomination des membres du Gouvernement ;
- Vu le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement ;
- Vu le décret exécutif n° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail ;
- Vu le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, complété, réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs, et particules solides des installations fixes ;
- Vu le décret exécutif n° 96-214 du 28 Moharram 1417 correspondant au 15 juin 1996 fixant les attributions du ministre de l'énergie et des mines ;
- Vu le décret exécutif n° 02-65 du 23 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 6 février 2002 définissant les modalités et procédures d'attribution des titres miniers ;
- Vu le décret exécutif n° 02-66 du 23 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 6 février 2002 fixant les procédures d'adjudication des titres miniers ;

- Vu le décret exécutif n° 02-469 du 20 Chaoual 1423 correspondant au 24 décembre
- 2002 relatif à l'activité minière de ramassage, de collecte et/ ou de récolte ;
- Vu le décret exécutif n° 02-470 du 20 Chaoual 1423 correspondant au 24 décembre 2002 portant modalités d'application des dispositions relatives aux autorisations d'exploitation des carrières et sablières ;

**Décrète :****Article. 1.**

En application de l'article 56 de la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1421 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière, le présent décret a pour objet de fixer les règles de l'art minier applicables aux travaux d'exploitation des substances minérales qu'ils soient réalisés à ciel ouvert ou en souterrain ainsi qu'aux dépendances légales de ces exploitations.

**Article. 2.**

Les règles de l'art minier consistent en des règles techniques et des méthodes d'exploitation à respecter dans l'exercice de toute activité minière réalisée à ciel ouvert ou en souterrain pour valoriser le potentiel du gisement et relatives aux conditions d'hygiène et de sécurité publique et industrielle et de protection de l'environnement immédiat et riverain.

**TITRE I****Exploitation à ciel ouvert****Article. 3.**

Le projet de développement et d'exploitation à ciel ouvert du gisement que le titulaire du titre minier ou de l'autorisation fournit dans le dossier de demande doit être élaboré par un expert en études géologiques et minières agréé par l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et comprendre les paramètres suivants :

- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du gisement ;
- Les méthodes d'exploitation utilisées ;
- Les caractéristiques géométriques des ouvrages miniers : gradins, bermes, talus d'exploitation, pistes déroulage, décharges et déblais ;
- Les installations d'électricité, d'eau et d'air comprimé ;
- L'organisation des opérations d'extraction (abattage, chargement, transport) ;
- Les effectifs et la qualification du personnel ;
- La nature et les caractéristiques des équipements principaux ;
- Les mesures de sécurité et d'hygiène envisagées. Le projet de développement et d'exploitation sera soutenu par les plans ci-après :
- Un levé géologique du gisement à l'échelle appropriée matérialisant les travaux d'exploration effectués ;
- Un plan d'exploitation à une échelle appropriée matérialisant la disposition des fronts d'exploitation, leurs directions, les pistes d'accès, la disposition des engins et le réseau d'utilité installé.

**Article. 4.**

Dans les cas d'une exploitation industrielle ou d'une petite ou moyenne exploitation minière, le projet visé ci-dessus sera complété par :

- Les études relatives à la stabilité des sols,
- Les dispositions pour l'évacuation des eaux,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et plus généralement les conditions de tir,
- Les techniques de purge à l'âge,
- Le programme de soutènement additionnel du front,
- Le programme de contrôle du front.

**Article. 5.**

Les conditions et les règles techniques relatives aux paramètres spécifiques miniers liés à la conduite de l'exploitation à ciel ouvert seront fixées par des arrêtés du ministre chargé des mines. Celles relatives aux autres paramètres seront fixées par des arrêtés conjoints entre le ministre chargé des mines et le ministre concerné.

**Article. 6.**

Dans le cadre de la préservation de la sécurité dans le travail, tout titulaire d'un titre minier d'exploitation à ciel ouvert est tenu de déposer avant le démarrage de son exploitation, auprès de l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier, les consignes d'exploitation relatives aux éléments ci-après :

- La disposition des engins d'abattage ou de chargement par rapport au front et les conditions de leur déplacement,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et, plus généralement, les conditions de tir,
- Les conditions de circulation des engins servant à l'évacuation des produits,
- Les conditions de circulation du personnel,
- Les conditions de mise en œuvre d'un plan de secours d'urgence.

Les agents chargés de la police des mines veilleront à la conformité de ces consignes avec les dispositions réglementaires prévues à cet effet, et contrôleront leur application.

**Article. 7.**

Pour la conduite de l'exploitation en conformité avec les règles de l'art minier, telles que définies dans le présent décret et les arrêtés pris pour son application, le titulaire du titre minier doit désigner un agent responsable qualifié, dont le nom, porté dans la convention ou le cahier des charges, sera communiqué à l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et au(x) wali(s) territorialement compétent(s).

A défaut, l'exploitant est réputé être chargé de la conduite des travaux et responsable de l'application de la présente réglementation.

**TITRE II**

Concernant l'**exploitation souterraine (mines souterraines)**, il comprend six (06) articles :

**Article. 8, Article .9, Article .10, Article .11, Article .12 et l'Article. 13.**

**TITRE III****Dispositions diverses****Article. 14.**

Les dispositions des titres I et II ci-dessus prendront effet :

- Dès leur publication pour les exploitations en cours de réalisation ;
- Un an après leur publication pour les gisements en cours d'exploitation.

**Article. 15.**

Tout exploitant de substances minérales doit tenir à jour les registres et les plans d'exploitation et notamment :

- Le registre des entrées et sorties des substances explosives ;
- Le registre d'extraction des matériaux ;
- Les plans actualisés des avancements des fronts.

**Article. 16.**

Les dispositions du décret exécutif n° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail demeurent applicables pour les installations de surface.

**Article. 17.**

Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

***Fait à Alger, le 11 Safar 1425 correspondant au 1er avril 2004.***

ii) **Quelques prescriptions spéciales sur les granulats à incorporer aux ouvrages routiers** [CPS 95]

**1. Matériaux pour remblais et couches de formes :**

La couche supérieure de terrassement pourra être constituée par des matériaux sélectionnés présentant les caractéristiques suivantes :

- Les plus gros éléments ne dépasseront pas 100 mm en toutes dimensions, et l'indice CBR à quatre jours (4 jours) d'imbibition est à 98% de l'OPM sera supérieur à 35.
- L'indice de plasticité sera au plus égal à 20 ; le gonflement ne dépassera pas 1%

**2. Matériaux pour couches anti-contaminant :**

Si la mise en œuvre d'une couche anti-contaminant est demandée par l'ingénieur, les matériaux devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- Seuil de granulométrie est de 0/2.
- Le pourcentage (%) des passants au tamis 0,08 mm < 2 mm.
- Equivalent de sable > 30%.

**3. Matériaux pour accotements :**

Les matériaux seront granuleux avec le CBR à 98% de l'OPM sera au moins égal à 45 et l'indice de plasticité inférieur à 15.

**4. Matériaux pour couches de fondation :**

Les matériaux devront répondre aux spécifications suivantes :

- Diamètre maximum 40 mm.
- Indice de portance non mesurable.
- Equivalent de sable supérieur à 30 %
- Indice de concassage supérieur à 30 % éléments concassés.
- Los Angeles (LA) < à 40 %
- Micro-Deval en présence d'eau (MDE) < à 40 %.

**5. Matériaux pour couches de base (grave bitume) :**

Les matériaux devront répondre aux spécifications suivantes :

- Diamètre maximum 20 mm.
- Indice de portance non mesurable.
- Equivalent de sable supérieur à 40 %
- Indice de concassage égal à 100 % d'éléments concassés.
- Los Angeles (LA) < 25 %

- Micro-Deval en présence d'eau (MDE) < 25 %.
- Tamisât à 0,08 mm égal compris entre 5 et 10%.

**Tableau 1 : catégorie des gravillons, caractéristiques intrinsèques. Selon la norme NF P 18-321 (NFP 82). [19]**

Catégorie	A	B	C	D	E
LA max	15	20	25	30	40
MDE max	10	15	20	25	35

**Tableau 2 : usage des catégories des gravillons relatives aux caractéristiques intrinsèques. [19]**

Trafic		< T3	T3	T2	T1	T0	> T0
		> 50 PL/J	50-150 PL/J	150-300 PL/J	300-750 PL/J	750-2000 PL/J	> 2000 PL/J
Couche de fondation	GNT et GRH	E	D	C	Etude particulière		
	GHL	E			D		
Couche de base	GNT et GRH	D	C	Etude particulière			
	GHL	E	D				
	GHC	E	D		C		
Couche de liaison en BB		D	C				
Couche de roulement en BB		C		B			B
Enduit superficiel		C	B			A	
Couche de roulement en BB support de cloutage		C		B			
Gravillon pour cloutage		C	B			A	

Avec :

**BB** : béton bitumineux. **GNT** : grave non traité. **GHL** : grave traitée aux liants hydrauliques. **GHC** : grave traité aux liants hydrocarbonés. **GRH** : grave recomposée et humidifiée.

**Tableau 3 : classification des roches magmatiques et métamorphiques. [19]**

Classement selon la nature		Classement selon le comportement			
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous classe	
Roches magmatiques et métamorphiques	Granite, basalte, trachyte, andésite...  Gneiss, schiste métamorphique, schiste ardoisier...	Les matériaux entrant dans cette classe peuvent avoir des caractéristiques mécaniques très différentes ; en particulier, leur fragmentabilité et leur friabilité peuvent varier très largement (de faible a très élevée).  Les matériaux de la classe R61 et la majorité de ceux de la classe R62 ne s'altèrent pas ou sein des ouvrages, sous l'effet des contraintes mécanique et de l'eau ; mais en revanche, ceux de la classe R63 ont un comportement voisin des classe R34 et R43.	LA $\leq$ 45 et MDE $\leq$ 45	Roches dures	R61
			LA $>$ 45 et MDE $>$ 45 et FR $\leq$ 7	Roches de dureté moyenne.	R62
			FR $>$ 7	Roches fragmentables ou altérées	R63

Avec :

R34 : Roches argileuses fragmentables.

R43 : Roches siliceuse fragmentables.

LA : coefficient Los Angeles (en %).

MDE : coefficient Mécro-Deval en présence d'eau (en %).

FR : coefficient de fragmentabilité (en %).

<b>CERTIFICATION DES GRANULATS RECYCLES</b>							
<b>FICHE TECHNIQUE DES GRANULATS RECYCLES</b>							
<b>N° / /</b>							
<u>Désignation du granulat :</u>							
<u>Appellation Courante</u>							
<b>PROPRIETES</b>							
<b><u>1. COMPOSITION</u></b>							
<b><u>2. GRANULOMETRIE</u></b>							
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Tamis (mm)</th> <th style="width: 50%;">Passant (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 150px;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Tamis (mm)	Passant (%)		
Tamis (mm)	Passant (%)						
<b><u>2. ELEMENTS POUVANT PERTURBER LES LIANTS OU EMPIERREMENT DES MELANGES HYDRAULIQUES</u></b>							
<u>Authentification du licencié</u>		<u>Authentification de l'Organisme de Certification</u>					
<u>Date d'édition :</u>		<u>Page n° :</u>	1 / 2				
<u>Validité :</u>							

**Figure 1 : exemple d'un certificat des granulats recyclés [16].**

<b>FICHE TECHNIQUE DES GRANULATS RECYCLES</b>			
<b>N° / /</b>			
<b>4. CARACTERISTIQUES COMPLEMENTAIRES :</b>			
4.1. Forme des pierres	:		
4.2. Teneur en pierres rondes	:		
4.3. Teneur en coquillages	:		
4.4. Teneur en fines	:		
4.5. Qualité des fines	:		
4.6. Résistance à la fragmentation	:		
4.7. Résistance à l'usure	:		
4.8. Masse volumique réelle	:		
4.9. Absorption d'eau	:		
4.10. Résistance au gel/dégel	:		
4.11. Teneur en sulfates solubles dans l'acide	:		
4.12. Teneur totale en soufre	:		
4.13. Stabilité volumétrique	:		
4.14. Teneur en ions chlore	:		
<b>NOM ET ADRESSE DE L'UNITE DE PRODUCTION</b>			
Nom	:		
Adresse	:		
N° de téléphone	:		
N° de fax	:		
e-mail	:		
<i>Authentification du licencié</i>	<i>Authentification de l'Organisme de Certification</i>		
Date d'édition :		Page n° :	2 / 2
Validité :			

**Figure 2 : exemple d'une fiche technique des granulats recyclés [16].**