



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université d'El-Oued**



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

## **MÈMOIRE**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master II en Génie Civil**

**Option: Matériaux en génie civil**

**THEME : ETUDE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS  
GRAVIERS UTILISÉS DANS LA REGION D'EL-OUED  
(CAS DES TRAVAUX PUBLICS )**

**Dirigé par :**

Dr. LOGBI Abdelaziz

**Examiné par:**

Dr: Khelaifa Hamed: Président

Dr:Masmoudi Faouzi: Examineur

**Présenté par :**

DEBBAB Mohammed lamine

NID Mabrouk

KHELIKA Abdessalam

NAROURA Mohammed lamine

**Promotion : Juin 2022**

# **REMERCEMENTS**

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. LOGBI ABDELAZIZ, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous n'oublions pas de remercier Mr CHOUNGARA TOUFIK, responsable du Laboratoire (LBTP) et professeur à l'université, pour son aide et son soutien dans ce travail.

Nous tenons à remercier le directeur du laboratoire et le bureau des travaux publics de l'auberge financière pour leur accueil chaleureux Merci également au directeur du laboratoire NEWSLAB, qui nous a rendu quelques services

Egalement, ces remerciements vont aux tous nos enseignants chacun à son nom.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail car le projet ne peut être le fruit d'une seule personne.

Merci à tous et à toutes.

## ***Dédicace***

بسم الله الرحمن الرحيم

*Au nom de Dieu le Clément et le Miséricordieux louange à ALLAH le Tout  
Puissant*

Nous dédionscet humble travail :

✚ A noschers parents.

✚ A nos frères et sœurs et à tousnosamis

✚ A tousnosprofesseurs

✚ A toutes les promotions de 2022.

## Résumé:

Dans le cadre de cette recherche, nous avons comparé les différents graviers utilisés dans la zone d'Oued Souf (gravier Ain Touta, gravier Biskra et gravier Hassi Messaoud). Dans le domaine des travaux publics, notamment pour trouver le gravier le plus approprié et le meilleur à utiliser.

L'approche adoptée dans cette étude est de comparer trois type de gravier : celle de Ain Touta, Biskra et de Hassi Messaoud, et d'étudier les caractéristiques des gravions pour obtenir les meilleurs résultats par des expériences los Angeles, micro dévale et de comparer les résultats obtenus dans le gravier de chacune des trois carrières.

Les totaux de l'étude de formulation actuelle ont montré une qualité acceptable dans certaines des carrières mentionnées précédemment du point de vue des propriétés intrinsèques et de fabrication pour leur utilisation dans la fabrication de béton bitumineux.

## الملخص:

في سياق هذا البحث قمنا بمقارنة بين مختلف الحصى المستعمل في منطقة واد سوف (حصى عين التوتة ، حصى بسكرة و حصى حاسي مسعود) في مجال الأشغال العمومية ، لتتوصل في الأخير إلى الحصى الأنسب والأفضل .

يتيح هذا العمل دراسة إمكانية مقارنة المواد المحلية لإنتاج الخرسانة البيتومينية . هذا بفضل استخدامها في إنتاج طبقة السير .

المنهج المتبع في هذه الدراسة هو المقارنة بين ثلاث أنواع للحصى هي: عين التوتة ، بسكرة ، حاسي مسعود ، ودراسة خصائص الجاذبية للحصول على أفضل النتائج بتجارب لوس أنجلوس ، مايكرو ديفال ومقارنة النتائج المتحصل عليها في حصى كل من المحاجر الثلاثة.

أظهرت مجاميع دراسة الصياغة الحالية جودة مقبولة في بعض المحاجر المذكورة سابقا من وجهة نظر الخصائص الجوهرية والتصنيعية لاستخدامها في تصنيعا لخرسانة الإسفلتية.

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| REMERCEMENTS.....                                            | I   |
| Dédicace .....                                               | II  |
| Résumé.....                                                  | III |
| TABLE DES MATIERES .....                                     | IV  |
| LISTE DU TABLEAUX.....                                       | VII |
| LIST DU FIGURE .....                                         | IX  |
| NOMENCLATURE.....                                            | XI  |
| Introduction Générale.....                                   | 1   |
| Introduction .....                                           | 3   |
| I. GÉNÉRALITÉS SUR LES GRANULATS ET LE BITUME .....          | 3   |
| I.1 Les Granulats : .....                                    | 3   |
| I.1.1 Définition des Granulats : .....                       | 3   |
| I.1.2 Courbes Granulométriques: .....                        | 4   |
| I.1.3 Types des Granulats : .....                            | 8   |
| I.1.4 Classification des Granulats : .....                   | 9   |
| I.1.5 Les caractéristiques principales des granulats : ..... | 10  |
| I.1.5.1 Caractéristiques physiques : .....                   | 10  |
| I.1.5.2 Caractéristiques mécaniques : .....                  | 18  |
| I.1.6 Production des Granulats : .....                       | 19  |
| I.1.7 Généralités sur les Granulats Routiers : .....         | 20  |
| I.2 LE Bitumes : .....                                       | 21  |
| I.2.1 Définition de Bitumes : .....                          | 21  |
| I.2.2 Composition du Bitume: .....                           | 21  |
| I.2.3 Différents types de Bitumes : .....                    | 22  |
| I.3 L'enrobé Bitumineux : .....                              | 25  |
| II. Les bétons bitumineux : .....                            | 26  |
| Introduction .....                                           | 28  |
| II. MATÉRIAUX ET ESSAIS .....                                | 28  |
| II.1 Les Différents Matériaux Utilises : .....               | 28  |
| II.1.1 Trois Type Gravier : .....                            | 28  |
| II.1.2 Les enrobés : .....                                   | 28  |
| II.2 Les Différents Essais : .....                           | 29  |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| II.2.1 Essais Granulats.....                                               | 29 |
| II.2.1.1 La Masse Volumique(M) : .....                                     | 29 |
| II.2.1.2 Densité(D): .....                                                 | 30 |
| II.2.1.3 La Porosité (P): .....                                            | 30 |
| II.2.1.4 La Teneur en Eau (W): .....                                       | 31 |
| II.2.1.5 La Propreté (Pr) : .....                                          | 31 |
| II.2.1.6 Analyse Granulométrique des Granulats:.....                       | 32 |
| II.2.1.7 Equivalent de Sable : .....                                       | 33 |
| II.2.1.8 Los Angeles (LA) : .....                                          | 34 |
| II.2.1.9 Micro Dévale (MD) : .....                                         | 37 |
| II.2.2 Essais Les Enrobes : .....                                          | 39 |
| II.2.2.1 Essai Marshall : .....                                            | 39 |
| Introduction .....                                                         | 43 |
| III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....                                    | 43 |
| III.1.1 La Masse Volumique : (la norme NF P 18 -555).....                  | 43 |
| III.1.1.1 La Masse Volumique Apparente (Mapp ) : .....                     | 43 |
| III.1.1.2 La Masse Volumique Absolue (Mabs) : (la norme NF P 18 -555)..... | 44 |
| III.2 La Densité : .....                                                   | 45 |
| III.2.1 Densité Apparente (Dapp) : .....                                   | 45 |
| III.2.2 Densité Absolue (Dabs) : .....                                     | 45 |
| III.3 La Propreté (Pr) : .....                                             | 45 |
| III.4 La Porosité (P) : .....                                              | 45 |
| III.5 Teneur en Eau (W) : .....                                            | 46 |
| III.6 Analyse Granulométrique des Granulats :(la norme NF P 18 -560).....  | 46 |
| III.6.1 Gravier de Hassi Messaoud :.....                                   | 46 |
| III.6.2 Gravier de Biskra: .....                                           | 47 |
| III.6.3 Gravier de Ain Touta : .....                                       | 48 |
| III.6.4 Module de Finesse (MF) : .....                                     | 50 |
| III.6.4.1 Résultats : .....                                                | 50 |
| III.7 Pourcentage de Fine : .....                                          | 51 |
| III.7.1 Résultats : .....                                                  | 51 |
| III.8 Equivalent de Sable : (la norme NF P 18 -598) .....                  | 51 |
| III.9 Los Angeles (LA) : (la norme NF P 18 -573) .....                     | 55 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| III.10 Micro Dévale (MDE) : (la norme NF P18-572)..... | 56 |
| III.11 Essai Marshall : (la norme NFP 98-251-2) .....  | 57 |
| CONCLUSION GENERALE .....                              | 62 |
| REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES.....                       | 63 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau(I:1)Résultats d'une analyse granulométrique correspondant à un sable .....              | 6  |
| Tableau(I:2)Dimensions Nominales des Tamis :.....                                               | 8  |
| Tableau(I:3)Classes granulaires des granulats:.....                                             | 10 |
| Tableau(I:4)La teneur en eau des granulats stocké à l'atmosphère.....                           | 14 |
| Tableau(I:5)Forme des granulats.....                                                            | 18 |
| Tableau(I:6)Catégories des granulats selon la résistance au chocs et à l'usure.....             | 19 |
| Tableau(II:1)Charge de boulets relatifs en fonction de la classe granulaire choisie . [11]..... | 36 |
| Tableau(II:2)Charge abrasive en fonction de la classe granulaire choisie.....                   | 38 |
| Tableau (III:1)La masse volumique apparente en (g/cm <sup>3</sup> ).....                        | 43 |
| Tableau (III:2)La masse volumique absolue.....                                                  | 44 |
| Tableau (III:3)densité apparente :.....                                                         | 45 |
| Tableau (III:4)densité absolue.....                                                             | 45 |
| Tableau (III:5)la propreté en (%):.....                                                         | 45 |
| Tableau (III:6)la porosité en (%) :.....                                                        | 46 |
| Tableau (III:7)Teneur en eau des différents types de graviers .....                             | 46 |
| Tableau(III:8)analyse granulométrique Gravier de Hassi Messaoud .....                           | 46 |
| Tableau (III:9)Analyse Granulométrique Gravier de Biskra.....                                   | 47 |
| Tableau (III:10)analyse granulométrique carrier Ain Touta .....                                 | 49 |
| Tableau (III:11)Résultats Module de finesse (MF).....                                           | 50 |
| Tableau (III:12)Résultats Pourcentage de fine(PF) en (%):.....                                  | 51 |
| Tableau (III:13)Résultats d'équivalent de sable du sable concassé 0/3.....                      | 52 |
| Tableau (III:14)résulta los Angeles .....                                                       | 55 |
| Tableau (III:15)résulta micro dévale .....                                                      | 56 |
| Tableau (III:16)Granulométrie du sable de concassage 0/4 (Ain Touta) .....                      | 59 |
| Tableau (III:17)Masse volumique granulats .....                                                 | 59 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau (III:18)Essai sur sable de concassage (sur la fraction 0/2).....       | 60 |
| Tableau (III:19)Bitume pur 40/50 .....                                         | 60 |
| Tableau (III:20)Enrobé 0/14 (Granulat 0/14 Ain Touta – Bitume pur 40/50) ..... | 60 |

## LISTE DES FIGURE

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure (I:1)Granulats.....                                                 | 3  |
| Figure (I:2)Compacité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers . | 5  |
| Figure (I:3)Courbes Granulométriques dans différents cas .....             | 7  |
| Figure (I:4)Granulats Naturels .....                                       | 8  |
| Figure (I:5)Granulats Artificiels .....                                    | 9  |
| Figure(I:6)Volume hachuré = Volume absolu (sans pores).....                | 10 |
| Figure(I:7)Volume hachuré = Volume réelle (apparent) .....                 | 11 |
| Figure(I:8)Volume hachuré = Volume du récipient .....                      | 11 |
| Figure(I:9)Foisonnement du Sable en Fonction de La Teneur en Eau .....     | 12 |
| Figure (I:10)Volume quelconque.....                                        | 14 |
| Figure (I:11)Volume unitaire .....                                         | 14 |
| Figure(I:12)Forme d'un granulat.....                                       | 17 |
| Figure (I:13)Processus de fabrication des granulats. [3].....              | 20 |
| Figure (I:14)Bitumes.....                                                  | 22 |
| Figure (I:15)Séparation d'un bitume en asphaltées, résines et huiles ..... | 23 |
| Figure (I:16)Bitumes Pure.....                                             | 23 |
| Figure (I:17)Bitume Cut-back.....                                          | 24 |
| Figure(I:18)Bitumes émulsions.....                                         | 24 |
| Figure (I:19)Bitume en Algérie(NAFTAL) .....                               | 25 |
| Figure (I:20)Asphaltées.....                                               | 26 |
| Figure:(II:1)Composants béton enrobe .....                                 | 27 |
| Figure(II:1)Les différents types des gravier.....                          | 29 |
| Figure(II:2)Bitume Pur 40/50 .....                                         | 29 |
| Figure (II:3)essai la masse volumique absolue .....                        | 30 |
| Figure (II:4)essai la masse volumique apparent.....                        | 30 |
| Figure (II:5)Matériels utilisés en essai Analyse granulométrique. ....     | 33 |
| Figure (II:6)Schéma de Principe de l'équivalent de sable.....              | 34 |
| Figure (II:7)L'appareil Los Angeles.....                                   | 34 |
| Figure (II:8) Mise en place de matériau dans la machine. [11] .....        | 37 |
| Figure (II:9)L'appareil micro dévale .....                                 | 37 |
| Figure(II:10)L'appariel Marshall.....                                      | 40 |
| Figure(III:1)L'essai La masse volumique apparente .....                    | 44 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure(III:2)L'essai La masse volumique absolue .....                       | 45 |
| Figure (III:3)Courbe Analyse Granulométrique Gravier de Hassi Messoud ..... | 48 |
| Figure (III:4)courbe Gravier de Biskra analyse granulométrique.....         | 49 |
| Figure (III:5)courbe analyse granulométrique Gravier de Ain Touta .....     | 50 |
| Figure(III:6)Equivalent de sable .....                                      | 53 |
| Figure(III:7)La Machine «« Los Angeles » et Les Boulets .....               | 56 |
| Figure(III:8)La machine micro-Dévale et Billes inoxydables .....            | 57 |

## NOMENCLATURE

Mapp : La Masse Volumique Apparente des Granulats.

Mabs : La Masse Volumique Absolue des Granulats.

Dapp :Densité Apparente.

Dabs :Densité Absolue.

P : La Porosité.

Pr : La propreté.

W : La Teneur en Eau.

MF :Module de Fines.

Pf : Pourcentage de Fine.

Es :Equivalent de sable.

LA : los Angeles.

MDE : Micro Dévale.

## **Introduction Générale**

Comme il est d'usage, le gravier est le composant principal du béton bitumineux en plus du bitume. À travers nos recherches, nous cherchons à faire une comparaison entre les différents types de gravier utilisés dans l'Oued Souf (gravier Ain Touta, gravier Biskra et gravier Hassi Messaoud) dans le domaine des travaux publics.

Nous avons fait une série d'essais physiques et mécaniques sur le gravier pour atteindre le gravier le plus approprié dans la construction de routes, ainsi qu'un groupe de résultats antérieurs de l'un des laboratoires ont été utilisés pour obtenir les résultats Marshall de stabilité et de fluage.

Il a étudié des approches d'essais granulaires dans les travaux publics tels que "los-Angles" et "Micro Dévale", qui sont des essais en laboratoire visant à déterminer la dureté et la résistance à l'usure d'échantillons de granulats en caractérisant leur utilisation conformément aux normes en vigueur dans le domaine des travaux publics.

Cet ouvrage contient deux parties, la première est un bibliographique, qui comprend deux chapitres, le premier chapitre parle de généralités sur les granulats et les bitumes, et le deuxième chapitre traite des matériaux et essais. Ce travail d'étude bibliographique concerne l'approche de la modélisation granulaire sur les essais en travaux publics afin de comprendre le comportement dynamique de ces matériaux la deuxième partie est une étude expérimentale dans laquelle les résultats et leur interprétation sont mentionnés.

Cette recherche contient un ensemble de chapitres, qui sont les suivants :

- Généralité pour granulats et bitumes.
- Matériaux et essais.
- Résultats et interprétation.
- Conclusion générale.

# **CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES GRANULATS ET LE BITUME**

## **Introduction :**

Ce chapitre traite des granulés, de leurs types et de leur classification, ainsi que de la méthode de leur production, ainsi que de la définition du bitume et de ses types.

## **I. GENERALITES SUR LES GRANULATS ET LE BITUME:**

### **I .1.Les Granulats :**

#### **I .1.1.Définition des Granulats :**

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire.

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulats. L'intégration des granulats dans le mélange bitumineux nécessite de connaître différentes caractéristiques :

- Celles qui tiennent à la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs).
- Celles qui résultent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité, angularité, homogénéité).

En outre les essais mécaniques permettent d'établir un classement selon :

- La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles.
- La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro -Dévale humide.[1]



Figure (I.1) :Granulats

### **I .1.2.Courbes Granulométriques :**

Importance de la composition granulométrique

Les propriétés physiques et mécaniques du béton dépendent de beaucoup de facteurs. Généralement on souhaite obtenir un béton résistant, étanche et durable. Pour atteindre ce but, il faut:

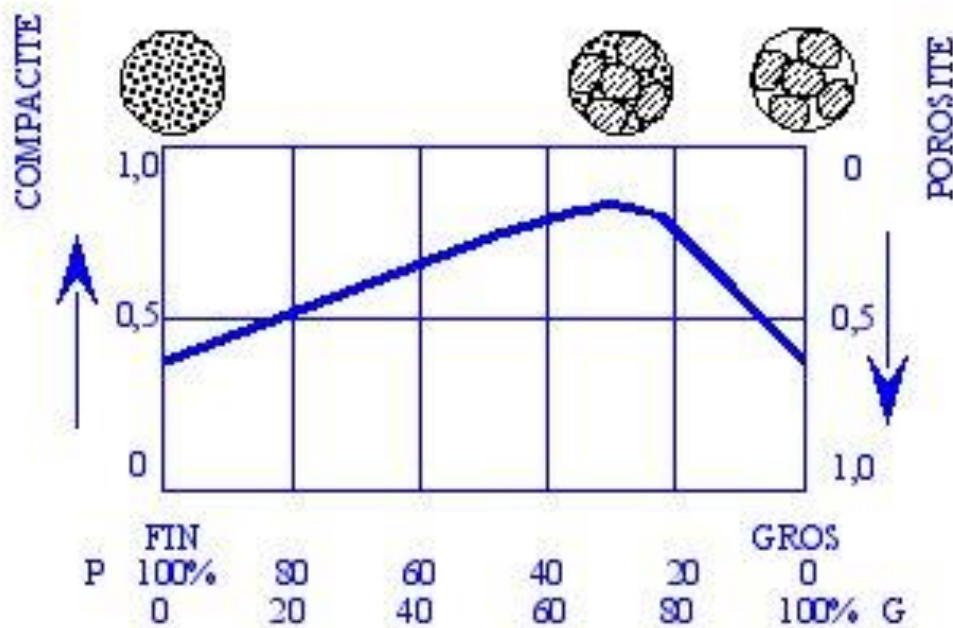
- que le béton à l'état frais soit facile à mettre en œuvre et à compacter (pour réduire la porosité).
- un maximum de granulats par unité de volume de béton (pour réduire la quantité de pâte liante nécessaire pour remplir les vides, tous les vides devant être remplis de pâte liante).
- un minimum de surface spécifique (pour réduire la quantité d'eau de gâchage et obtenir un rapport C/E plus élevé).

Par ailleurs:

- il faut choisir  $D_{max}$  aussi grand que le permet la dimension minimum de la pièce à bétonner et l'encombrement des granulats.
- la proportion de chaque dimension des grains doit être choisie de façon à remplir les vides laissés par les grains de dimensions supérieures.
- il faut réduire la teneur en éléments fins au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et une bonne compacité.

Les courbes granulométriques apporteront quelques éléments de réponses à ces conditions.

La condition essentielle pour obtenir le moins de vides possibles (meilleure compacité) dans un mélange de sable et gravillon est de: 35 % de sable de 0/5 et 65 % de gravillons 5/20.



Figure(I .2) : Compacité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers .

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560).

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

On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varient pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. Par exemple pour le tracé de la courbe granulométrique d'un sable 0/5, on pèse une certaine quantité (après séchage) soit 2 kg par exemple.

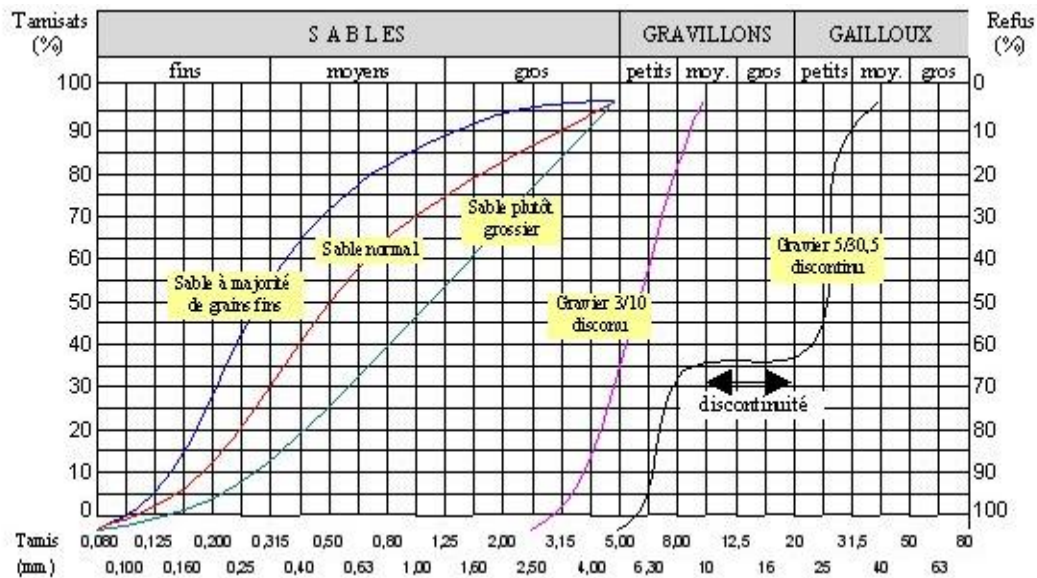
Le poids des tamisats successifs permet de déterminer les pourcentages du tamisats (tableau) correspondant à chacun des tamis utilisés.

Tableau (I .1): Résultats d'une analyse granulométrique correspondant à un sable .

| Maille des tamis<br>en (mm) | Tamisats cumulés |        |
|-----------------------------|------------------|--------|
|                             | en poids (g)     | en (%) |
| 8                           | 2000             | 100    |
| 5                           | 1920             | 98     |
| 2,5                         | 1740             | 90     |
| 1,25                        | 1300             | 75     |
| 0,63                        | 860              | 53     |
| 0,315                       | 500              | 25     |
| 0,16                        | 200              | 10     |
| 0,08                        | 40               | 2      |

La courbe correspondant à ce sable normal, est présentée sur la fig. 3.6, sur lequel ont été également portées les courbes des sables très fins et grossiers ainsi que celles de graviers. La forme des courbes granulométriques apporte les renseignements suivants:

- Les limites d et D du granulat en question;
- La plus ou moins grande proportion d'éléments fins; par exemple la courbe située au-dessus de celle du sable normal correspond à un sable à majorité de grains fins et c'est l'inverse pour celle située en dessous. En effet, ces trois sables sont des sables 0/5 mm mais les proportions de grains fins (<0,5 mm par exemple ) sont pour chacun d'eux: 25%, 45% et 60%;
- La continuité ou la discontinuité de la granularité; par exemple, les courbes de sables sont continues mais la courbe du gravier 5/31,5 présente une discontinuité; en effet le palier s'étendant de 10 à 20 mm signifie que le granulat en question ne contient pas de grains compris entre 10 et 20 mm.



Figure(I.3) Courbes Granulométriques dans différents cas

#### - Module de finesse :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Si il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

Dans le cas de la courbe granulométrique du sable normal présenté sur la fig. 3.6, son module de finesse est égal à:

$$MF = (98 + 90 + 75 + 53 + 28 + 10)/100 = 3,54$$

Les dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement, sont les suivantes:

Tableau(I.2) : Dimensions Nominale des Tamis :

| Modules | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29   | 30    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Tamris  | 0,08  | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,40  | 0,50  | 0,63 | 0,80  |
| Modules | 31    | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    | 40   | 41    |
| Tamris  | 1,00  | 1,25  | 1,60  | 2,00  | 2,50  | 3,15  | 4,00  | 5,00  | 6,30  | 8,00 | 10,00 |
| Modules | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    | 49    | 50    |      |       |
| Tamris  | 12,50 | 16,00 | 20,00 | 25,00 | 31,50 | 40,00 | 50,00 | 63,00 | 80,00 |      |       |

### **I .1.3.Types des Granulats :**

Les granulats utilisés pour composer un béton sont soit d'origine naturelle, artificielle.

#### **- Granulats Naturels :**

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Ceux issus des gisements alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière ou en mer éventuellement. [2]



Figure (I .4): Granulats Naturels

#### **- Granulats Artificiels :**

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier. Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches ou des minerais. Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé, obtenu par refroidissement lent à l'air ; le laitier granulé de haut fourneau, obtenu par refroidissement rapide dans l'eau et les granulats allégés par expansion ou frittage (l'argile ou le schiste expansés). Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usage spécifique. [2]



Figure (I .5): Granulats Artificiels

#### **I .1.4.Classification des Granulats :**

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum  $D$  exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum  $d$ , des grains et le deuxième le diamètre maximum  $D$ .

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe  $d/D$ . Lorsque  $d$  est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné  $0/D$ .

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$  et  $D$  des granulats rencontrées (Norme NFP18-101):

- Les fines  $0/D$  avec  $D \leq 0,08$  mm,
- Les sables  $0/D$  avec  $D \leq 6,3$  mm,
- Les gravillons  $d/D$  avec  $d \geq 2$  mm et  $D \leq 31,5$  mm,
- Les cailloux  $d/D$  avec  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 80$  mm,
- Les graves  $d/D$  avec  $d \geq 6,3$  mm et  $D \leq 80$  mm,

Il peut être utile dans certains cas d'écrire la classification suivante:

Tableau (I .3) : Classes granulaires des granulats:

| APPELLATION                 |        | Dimension de la maille des tamis en (mm) |
|-----------------------------|--------|------------------------------------------|
| Pierres cassées et cailloux | Gros   | 50 à 80                                  |
|                             | Moyens | 31,5 à 50                                |
|                             | Petits | 20 à 31,5                                |
| Gravillons                  | Gros   | 12,5 à 20                                |
|                             | Moyens | 8 à 12,5                                 |
|                             | Petits | 5 à 8                                    |
| Sable                       | Gros   | 1,25 à 5                                 |
|                             | Moyens | 0,31 à 1,25                              |
|                             | Petits | 0,08 à 0,31                              |
| Fines, farines et fillers   |        | inférieur à 0,08                         |

#### I .1.5.Les caractéristiques principales des granulats :

##### I .1.5.1. Caractéristiques physiques :

###### (a) La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

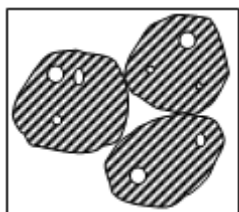


figure (I .6) : Volume hachuré = Volume absolu (sans pores)

La densité absolue est le rapport de la masse absolue d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse du même volume d'eau distillée à la même température.

###### (b) La masse volumique réelle :

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

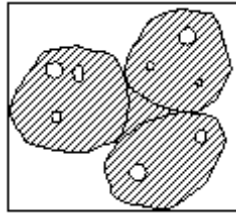


figure (I .7) : Volume hachuré = Volume réelle (apparent)

La densité réelle est le rapport de la masse réelle d'une unité de volume du matériau sec dans l'air à température donnée à la masse d'un égal volume d'eau distillée à la même température.

### (c) La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. Il faut donc préciser: masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.

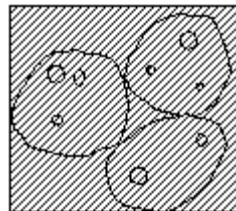


figure (I .8) : Volume hachuré = Volume du récipient

La densité apparente à l'état compacté ou non compacté sera obtenue en établissant le rapport de la masse apparente d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse d'une même quantité d'eau distillée à même température.

La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. Cette méthode toutefois présente des risques certains à cause du foisonnement. Le graphique ci-dessous donne le foisonnement du sable en fonction de la teneur en eau.

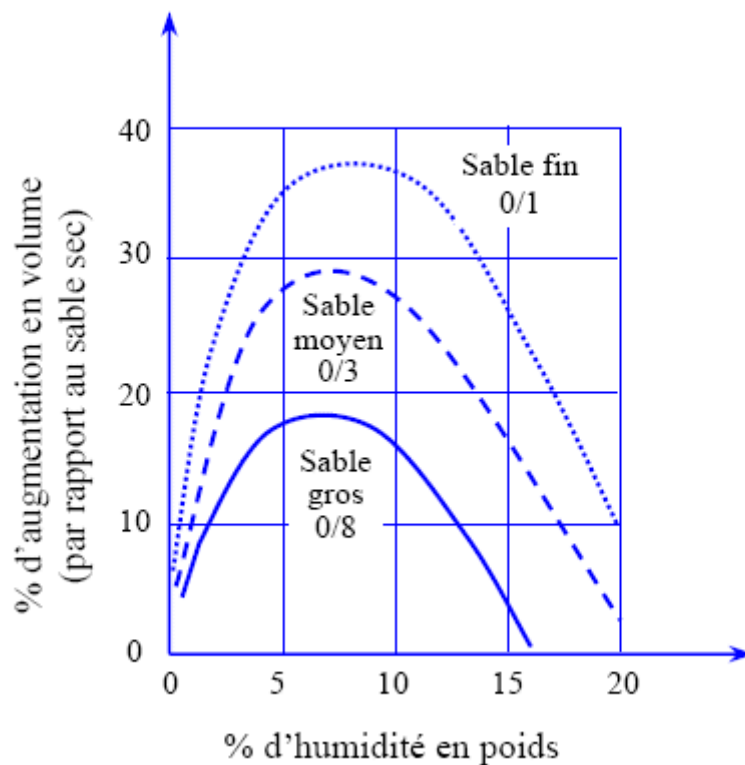


figure (I.9) : : Foisonnement du Sable en Fonction de La Teneur en Eau

#### (d) Absorption :

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte sont appelés absorption.

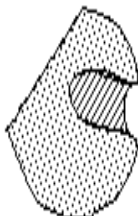
L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger.

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels le LECA (Light expansés Clay agrégat = agrégats légers expansés d'argile), sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

La figure suivante montre les divers cas qui peuvent se présenter lorsqu'un granulat est poreux et qu'il est ou a été en contact avec de l'eau.

Lorsque les granulats sont légèrement poreux, il faut travailler, lors de l'étude de la composition d'un béton, avec des matériaux saturés à surface sèche. On obtient cet état en conservant les granulats dans l'eau pendant plusieurs heures et en les laissant sécher juste avant emploi jusqu'à ce que leur surface devienne roulant dans un linge sec.

Tableau(I .4) : La teneur en eau des granulats stocké à l'atmosphère

|                                                              |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                     |                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>SEC</b><br/>(dessiccation jusqu'à poids constant)</p> |  <p><b>NATURELLEMENT SEC</b><br/>(séchage naturel à l'air)</p> |  <p><b>SATURE SURFACE SECHE</b></p>                |  <p><b>SATURE SURFACE HUMIDE</b></p>                |
|  <p><b>PAS D'EAU DANS DES PORES</b></p>                    |  <p><b>UN PEU D'EAU DANS DES PORES</b></p>                   |  <p><b>PORES REMPLIS D'EAU SURFACE SECHE</b></p> |  <p><b>PORES REMPLIS D'EAU SURFACE HUMIDE</b></p> |
| <p>SI LES GRANULATS SONT POREUX, UNE PARTIE DE L'EAU DE GACHAGE EST ABSORBEE PAR LES GRANULATS</p>                                            |                                                                                                                                                 | <p>PAS D'EGHAGE D'EAU ENTRE GRANULAT ET PATE DE CIMENT</p>                                                                          | <p>L'EAU A LA SURFACE DES GRANULATS DILUE LA PATE DE CIMENT ET DOIT ETRE COMPACTEE COMME EAU DE GACHAGE</p>                            |

**(e) Porosité et compacité :**

**- Porosité**

En général la porosité est la rapport du volume des vides au volume.

$$P = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

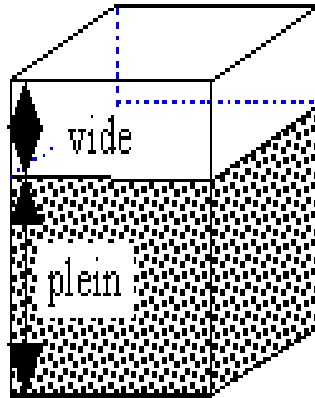


figure (I .10) : Volume quelconque

On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

**- Compacité**

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total.

Ou volume des pleins par unité de volume apparent.

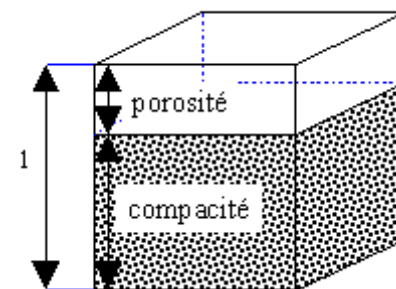


figure (I .11) : Volume unitaire

$$C = \frac{\text{plein}}{\text{vie} + \text{plein}}$$

$$p = \frac{\text{vide}}{\text{vide} + \text{plein}}$$

La porosité et la compacité sont liées par la relation:

$$P + C = 1$$

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 100%. En effet:

$$P + C = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} + \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{\text{volume total}}{\text{volume total}} = 1$$

Si l'on connaît la masse volumique  $D$  et la masse spécifique  $g$  d'un matériau, il est aisé de calculer sa compacité et porosité.

$$C = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparente}}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparent}}} \cdot \frac{M}{M} = \frac{M/V_{\text{apparent}}}{M/V_{\text{absolu}}}$$

d'où  $c = \frac{\Delta}{\gamma}$  ou, exprimée en %

$$\begin{aligned} C\% &= 100 \frac{\Delta}{\gamma} \\ P\% &= 100 \left( 1 - \frac{\Delta}{\gamma} \right) \end{aligned}$$

#### (f) Teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau  $W$  contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

$E$  = Poids d'eau dans le matériau.

$P_s$  = Poids du matériau sec.

$P_h$  = Poids matériau humide.

Si  $W$  est exprimé en (%)

$$W\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100$$

partir des définitions données plus haut, on peut écrire les relations :

$$E = \frac{W\%}{100} P_s \quad Ph = P_s + E = \left(1 + \frac{W\%}{100}\right) P_s \quad P_s = \frac{Ph}{1 + \frac{W\%}{100}}$$

$$E = \frac{W\%}{100 + W\%} Ph$$

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. L'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats. Il faut par conséquent disposer de moyens pour mesurer combien il y a d'eau dans les granulats.

#### **Actions possibles de l'eau sur les matériaux :**

Lorsque tous les vides d'un corps sont remplis d'eau, on dit qu'il est saturé. Le degré de saturation est le rapport du volume des vides remplis d'eau au volume total des vides. Il joue un grand rôle dans les phénomènes de destruction des matériaux poreux par le gel. En se transformant en gel, l'eau augmente de 9% en volume environ.

La plupart des matériaux gonflent lorsque leur teneur en eau augmente et, inversement lorsqu'elle diminue (bois, roches sédimentaires, bétons, par exemple).

(g) Propreté et forme des granulats :

Propreté des granulats :

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des adhérences entre les granulats et la pâte.

Forme des granulats :

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

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

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage

$$\frac{G}{E} > 1.58$$

pondéral des éléments qui vérifient la relation:

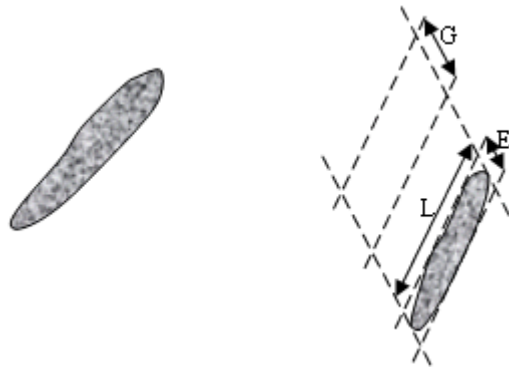


figure (I .12) :: Forme d'un granulat

Dans les mêmes conditions  $L \leq G \leq E$ , on peut déterminer aussi:

- l'indice d'allongement.
- l'indice d'aplatissement.

$$\beta = \frac{G}{L} \leq 1$$

$$\leq 1 \quad \alpha = \frac{E}{G}$$

La forme des granulats influence:

- La facilité de mise en œuvre et le compactage du béton.
- La compacité du mélange, donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment.

L'état de surface des grains influence:

- La compacité du mélange.
- L'adhérence du granulat à la pâte de ciment.

La forme est d'autant meilleure qu'elle est proche d'une sphère ou d'un cube:

Tableau (I .5): Forme des granulats

|                   |                                                                                     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| cubes,<br>sphères | trois dimensions à peu près égales<br>(bonne compacité)                             |
| plaquettes        | une dimension beaucoup plus petite que les deux autres<br>(mauvaise compacité)      |
| aiguilles         | une dimension beaucoup plus grande que les deux autres<br>(très mauvaise compacité) |

### I .1.5.2. Caractéristiques mécaniques :

#### Méthodes de mesures

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

#### - Essai Micro Dévale :

C'est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Les modalités de cet essai font l'objet de la norme NF P 18-572

#### - Essai Micro Dévale :

Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il fait l'objet de la norme NF P 18-573.

Le coefficient Los Angeles calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat. Pour les granulats susceptibles d'être soumis aux effets du gel, on peut mesurer le coefficient Los Angeles après une série de 25 cycles gel/dégel (-25 °C, +25 °C) et le comparer au coefficient de référence.

Les granulats sont classées en 6 catégories allant de A à F, chacune d'elle devant les conditions suivantes:

Tableau (I.6): Catégories des granulats selon la résistance au chocs et à l'usure.

| CATEGORIES | $L_A + M_{DE}$ | $L_A$     | $M_{DE}$  |
|------------|----------------|-----------|-----------|
| A          | $\leq 25$      | $\leq 20$ | $\leq 15$ |
| B          | $\leq 35$      | $\leq 25$ | $\leq 20$ |
| C          | $\leq 45$      | $\leq 30$ | $\leq 25$ |
| D          | $\leq 55$      | $\leq 35$ | $\leq 30$ |
| E          | $\leq 80$      | $\leq 45$ | $\leq 45$ |
| F          | $> 80$         | $> 45$    | $> 45$    |

LA – Coefficient Los Angeles

MDE – coefficient Micro Duval

### I .1.6. Production des Granulats :

L'extraction de matériaux alluvionnaires peut être effectuée à l'aide d'un chargeur ou d'une excavatrice, si la zone est sèche, grâce aux pelles à godets multiples. Si la zone contient de l'eau, une drague connectée à convoyeurs flottants d'un banc ou roches massives, extraction nécessite l'utilisation d'explosifs. Dynamitage décompose les matériaux, qui sont ensuite portées à une installation de manutention. [3]

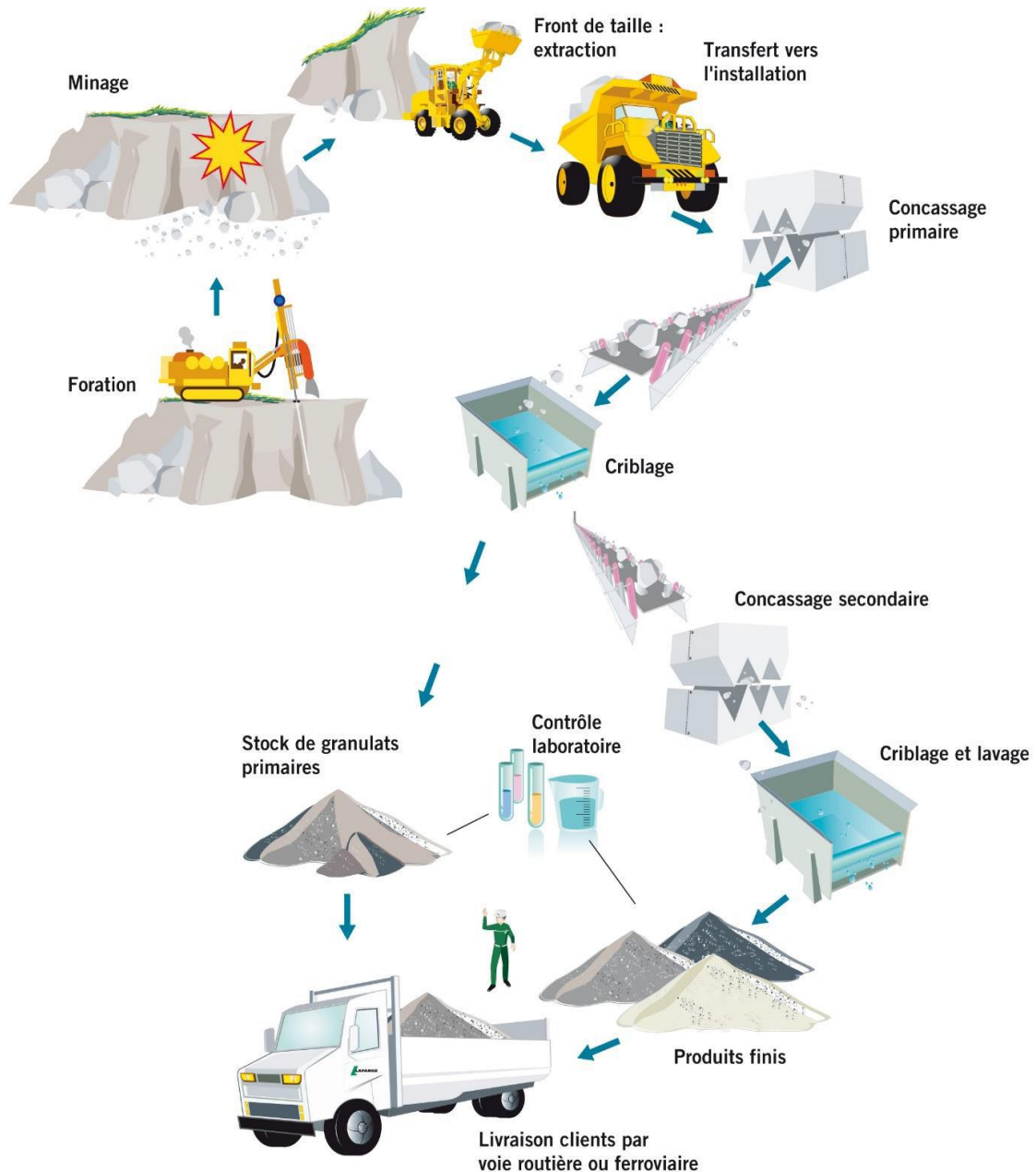


figure (I .13) : Processus de fabrication des granulats. [3]

### **I .1.7.Généralités sur les Granulats Routiers :**

D'une manière générale, les granulats destinés à la fabrication des bétons bitumineux peuvent avoir des origines différentes : [4]

- Carrières de roches massives.
- Carrières de matériaux alluvionnaires (ballastières).

La fabrication des granulats est assurée par des installations de concassage-criblage dont la taille et la nature des différents composants varient selon l'importance des chantiers et la nature des matériaux bruts à traiter. [4]

Les équipements standards communs à toutes les installations de concassage-criblage sont :

- Trémies d'alimentation et trémies tampon.
- Concasseurs primaires à machines.
- Des concasseurs giratoires à cône (secondaire ou tertiaire).
- Des cribles vibrant.
- Des convoyers ou sauterelles.

L'assemblage et le nombre de ces différents équipements est défini par la nature et les caractéristiques des granulats à produire, la nature du matériau brut à traiter. [4]

Les stations de concassage-criblage sont souvent caractérisées par leur capacité de production exprimée en Tonne/heure , toutes catégories confondues. [4]

Les installations de production de granulats concassés varient en fonction de la nature de la roche exploitée et du débouché commercial des granulats produits qui couvre une large gamme: 0/3, 3/8, 8/15 , 15/25 , 25/40 et les tout-venants de concassages 0/25, 0/40, 0/60. [4]

## **I.2. LE Bitumes :**

### **I.2. 1.Définition de Bitumes :**

Les bitumes sont des sous-produits d'hydrocarbures lourds, résidus noirs de pétrole brut obtenus soit par distillation naturelle, soit par distillation en raffinerie.

Les bitumes de distillation directe sont utilisés pour la confection d'enrobés à chaud. [5]

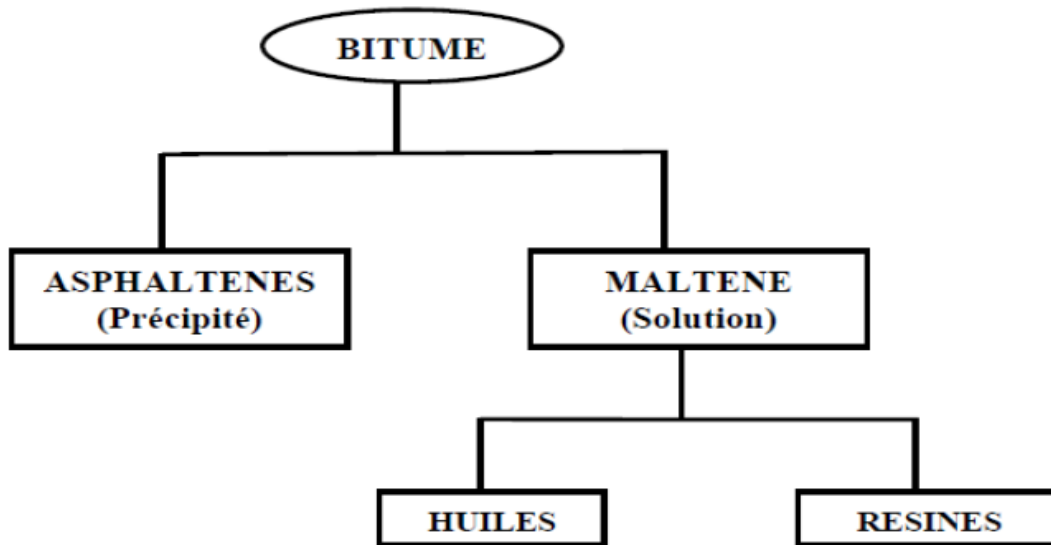


Figure(I.14):Bitumes.

### **I 2.2.Composition du Bitume:**

A température ordinaire, les bitumes se présentent comme des corps visqueux ou des solides susceptibles de fluer sous leurs poids propre. [6]

La séparation du bitume par solvant permet de séparer les bitumes en asphaltées et en maltées: les asphaltées représentent 10 à 30% des bitumes, ils constituent la partie insoluble des bitumes dans les solvants de type n-alcanes et se présentent sous la forme d'un solide dur friable, brun-noir qui contribue largement à la couleur noir du bitume. Les maltées, partie soluble correspondent à l'association des résines et des huiles; les résines ont un rôle essentiel vis-à-vis la stabilité colloïdale du bitume, les huiles représentent 40% à 60% du bitume. [6]



Figure(I.15): Séparation d'un bitume en asphaltées, résines et huiles

### I.2. 3. Différents types de Bitumes :

a) Bitumes purs :

D'après leur mode de fabrication, on peut obtenir des bitumes dont leur consistance est variable. Cette dernière est déterminée par l'essai de pénétrabilité .

Il existe plusieurs types de classes .

- Bitumes très durs (20/30)
- Bitumes durs (35/50)
- Bitumes semi-durs (50/70)
- Bitumes semi-mous (70/100)
- Bitumes mous (160/220)
- Bitumes très mous (300/350).



Figure(I.16): Bitumes Pure.

### b) Cut-backs :

Ce sont des bitumes fluidifiés, obtenus par un mélange de bitume soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soient avec des huiles légères ou plus souvent moyenne, provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité. Ce procédé permet notamment de les utiliser à une température nettement plus basse que celle nécessaire à la mise en œuvre du bitume pur .



Figure(I.17): Bitume Cut-back

### c) Émulsions :

Les émulsions de bitume sont des dispersions de fines particules de bitume dans l'eau, au moyen généralement d'un agent émulsif qui est un type de savon résineux qui stabilise le produit.

Les émulsions éliminent les dangers d'incendie et l'effet toxique. Ce n'est pas le cas des cut-backs .



Figure(I.18):Bitumes émulsions.

#### **d) Bitume en Algérie :**

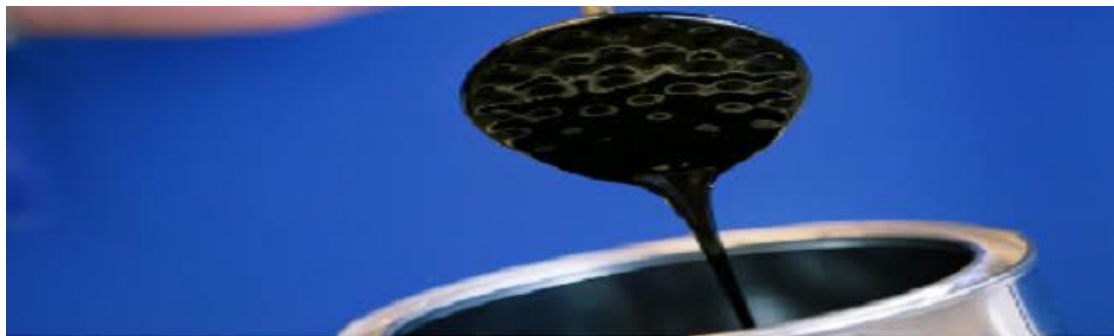
En Algérie, Les classes de bitumes purs employés en techniques routières sont 35/50 (40/50) et 70/100 (80/100).

Le pétrole algérien n'est pas assez dense pour en extraire du bitume, celui-ci est alors importé soit sous forme :

- de matière première : brut réduit, raffiné à Arzew et à Skikda
- d'un produit fini : bitume pur.

Le bitume 35/50 est fabriqué à la raffinerie d'Arzew par soufflage, il est destiné aux enrobés à chaud.

Le 70/100 est fabriqué à la raffinerie de Skikda par la distillation sous vide Concernant le bitume fluidifié, il est fabriqué aux unités de NAFTAL à partir du bitume pur 70/100 auquel il est ajouté un solvant. Celui-ci est destiné aux enduits superficiels. Quant à l'émulsion est destinée aux enrobés à froid.



Figure(I.19):Bitume en Algérie(NAFTAL)

#### **e) Asphaltées :**

Les asphaltées constituent la fraction la plus condensée du bitume Lorsque ces asphaltées sont séparés du bitume par précipitation, ils se présentent sous la forme d'un solide dur et friable , de couleur brun-noir dont le point de ramollissement est assez élevé, compris entre 150 et 200 °C. Les asphaltées peuvent représenter jusqu'à 30% du bitume. Pour un bitume de distillation direct ou à usage routier leur quantité est estimée à moins de 20%. Les asphaltées sont constitués de carbone et d'hydrogène avec un rapport H/C généralement égale à 1,1 mais aussi d'azote, d'oxygène et jusqu'à 10% de soufre . Les métaux sont également présents dans les asphaltées, essentiellement du nickel, du fer et du vanadium .

La masse moléculaire des asphaltées est élevée et varie selon la méthode utilisée. Néanmoins, d'après plusieurs chercheurs, elle varie dans une fourchette de 800 à 300000g/mol. Leur taille varie de 5 à 30nm.

Les asphaltées peuvent être précipités par n-hexane ou par le n-heptane. Afin d'uniformiser leur obtention, la norme T 60-115 a normalisé leur précipitation par le n-heptane.

Les asphaltées sont essentiellement composés d'atomes de carbone et d'hydrogène. Des études RMN ont permis d'évaluer le rapport C/H à 1,1, et ont montré que près de 40 % des atomes de carbone sont inclus dans des cycles aromatiques et 90 % des atomes d'hydrogène sont portés par un carbone saturé.

La concentration en hétéroatomes est élevée (N : 0,5-0,7 %, O : 1,5-5 %, S : 1,6-10 %)

Comme la composition globale des bitumes, la composition et la structure des asphaltées sont différentes suivant le mode de fabrication du bitume. En effet, les asphaltées résultent d'une polycondensation de monomères qui a lieu en deux temps : tout d'abord, dans le pétrole brut, au cours de l'évolution géologique, et ensuite lors de la production du bitume. Par ailleurs, les asphaltées d'un bitume soufflé sont différents de ceux d'un bitume issu de distillation directe.



Figure(I.20):Asphaltées.

### **I.3.L'enrobé Bitumineux :**

Nous présentons brièvement quelques généralités sur l'enrobé bitumineux et ses composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriés de chacun d'eux. et quelques types de bétons bitumineux utilisés dans la couche de roulement. Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivant: la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats, qui ont des influences sur la

compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes pour obtenir un enrobé selon le choix désiré. [7]

Les bétons bitumineux :

Béton bitumineux est un enrobé riche en bitume constitué d'un mélange de granulats (sable, gravier et fines), utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est-à-dire pour les couches supérieures de la chaussée. Les bétons bitumineux se classent en fonction de leur granulométrie. Ils sont toujours posés sur une couche de base en matériaux hydrocarbonés ou traités au liant hydraulique ou sur une couche de liaison en enrobés pour les couches minces.[7]

Composition de béton bitumineux :Le béton bitumineux est composé de différents éléments :

- Gravillons.
- Sable.
- Filer.
- bitume .

utilisé comme liant. Le béton bitumineux crée généralement la couche supérieure des chaussées appelée couche de surface[7].

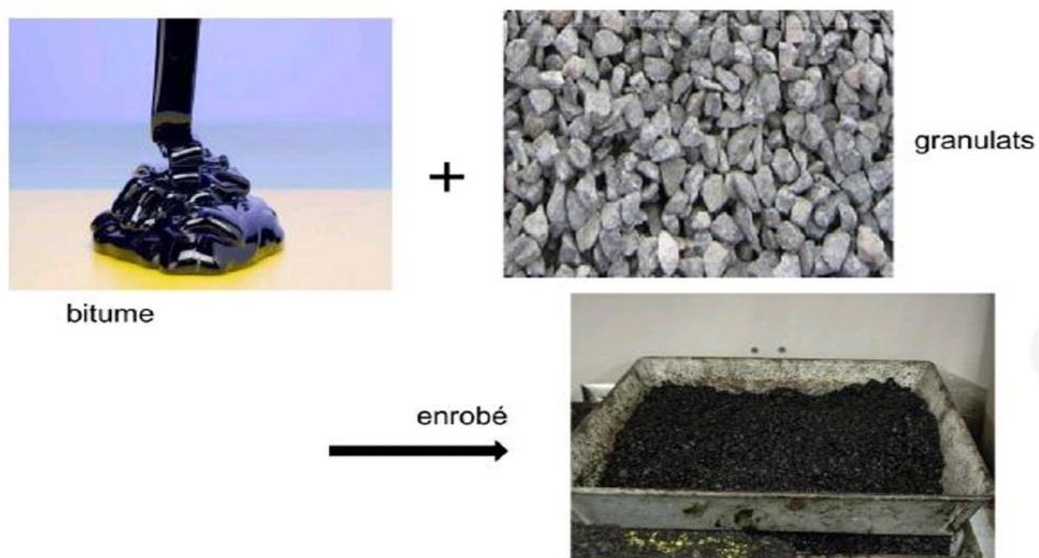


Figure (I.21) : Composants béton enrobe

# **CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS**

## Introduction:

Dans ce chapitre, nous étudions deux axes principaux, le premier parle des matériaux utilisés dans les expérimentations de cette recherche .Le deuxième axe traite de l'ensemble des expérimentations appliquées à ces matériaux.

## II. Matériaux et Essais :

### II.1.Les Différents Matériaux Utilises :

#### II.1.1.Trois Type Gravier :

- Gravier de Hassi Massoud (0/3 , 3/8 et 8/15 ).
- Gravier de Ain Touta (0/3 , 3/8 et 8/15 ).
- Gravier de Biskra (0/3 , 3/8 et 8/15 ).

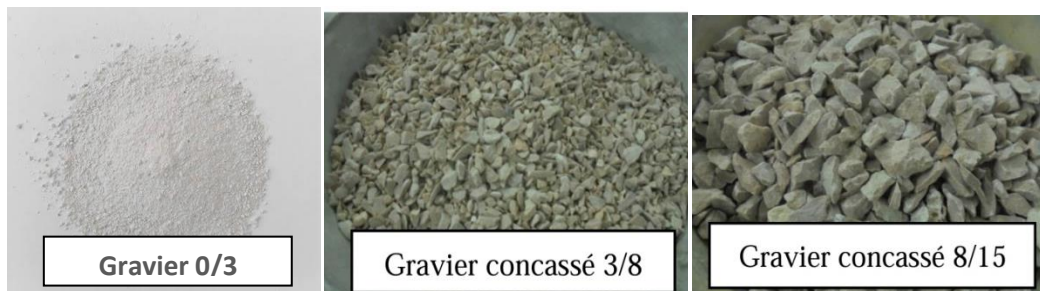


Figure (II.1): Les différents types des gravier

#### II.1.2.Les enrobés :

Bitume pur 40/50 :

- Produit obtenu par la distillation sous vide du pétrole brut réduit importé .
- C'est un bitume routier.
- Le grade 40/50 représente l'intervalle de la valeur de pénétrabilité .



figure(II.2):Bitume Pur 40/50

## II.2. Les Différents Essais :

### II.2.1. Essais Granulats

#### II.2.1.1. La Masse Volumique( $\rho$ ) :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

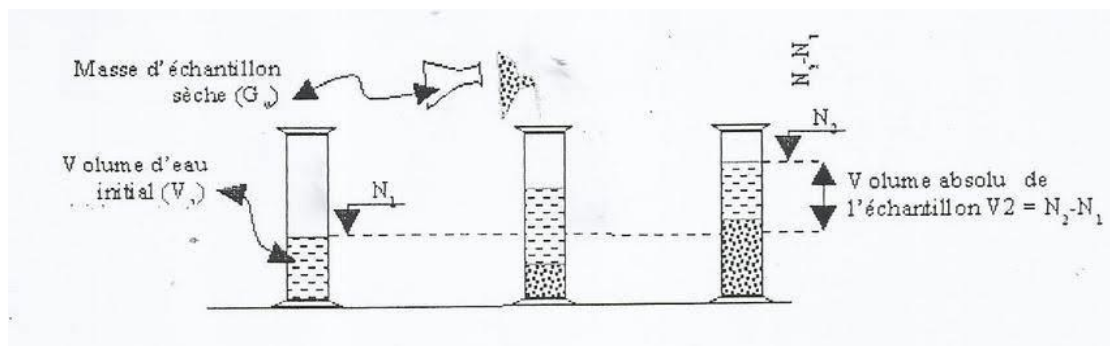


Figure (II.3): essai la masse volumique absolue

La densité absolue est le rapport de la masse absolue d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse du même volume d'eau distillée à la même température.

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. Il faut donc préciser: masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.

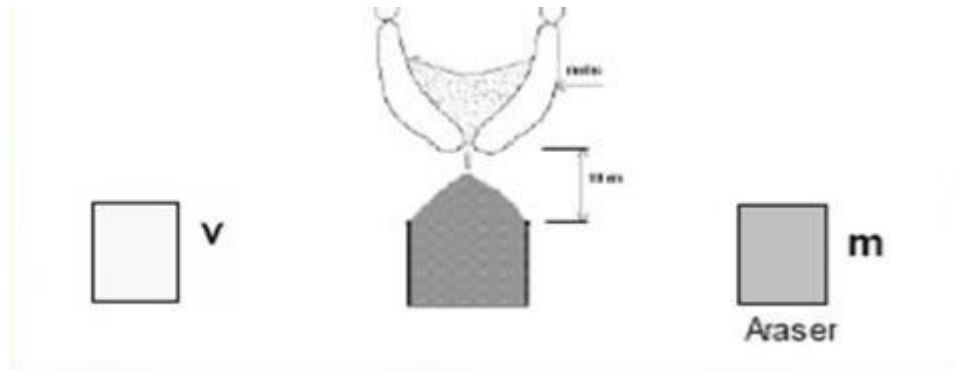


Figure (II.4): essai la masse volumique apparent

La densité apparente à l'état compacté ou non compacté sera obtenue en établissant le rapport de la masse apparente d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse d'une même quantité d'eau distillée à même température.

La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. Cette méthode toutefois présente des risques certains à cause du foisonnement.

#### II.2.1.2.Densité(D):

d'une espèce chimique égale rapport de la masse de cette espèce et de la masse volumique de l'eau .

Densité Apparent :  $D_{app} = \frac{\rho_{app}}{\rho_{eau}}$

$$\rho_{eau} = 1000 \text{ Kg}$$

Densité Absolue :  $D_{abs} = \frac{\rho_{abs}}{\rho_{eau}}$

$$\rho_{eau} = 1000 \text{ Kg}$$

#### II.2.1.3.La Porosité (P):

est l'ensemble de vides d'une matériaux solide , ces vides sont remplis par de fluide (liquide ou gaz).

- Porosité inter granulaire : c'est une l'ensemble de vide qui existent á l'intérieur des grains.

$$p = \frac{D_{abs} - D_{app}}{D_{abs}} \times 100$$

#### **II.2.1.4.La Teneur en Eau (W):**

La quantité d'eau liquide contenue d'une échantillon de matière .

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

#### **II.2.1.5.La Propreté (Pr) :**

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des adhérences entre les granulats et la pâte.

La propreté désigne:

d'une part, la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent lorsqu'on frotte les granulats entre les mains.

d'autre part, les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton, parmi lesquelles on peut citer les scories, le charbon, les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine.

$$P_s = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100$$

### II.2.1.6. Analyse Granulométrique des Granulats:

✓ **Définition :**

les granulats utilisés dans la domaine de bâtiment et de génie sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle ou artificielle de dimension comprise entre 0 et 80 mm. Ils sont généralement pas constitués par des éléments de tailles mais par un ensemble de grains de taille variées se répartissent en deux limites : la plus petite  $d$  et la plus grande  $D$ . [8]

✓ **But:**

- Déterminer les dimensions des grains
- Déterminer la distribution dimensionnelle des grains .
- En déduire le module finesse ( MF ) (pour l'échantillon du sable) [8]

✓ **Principe:**

L'analyse granulométrique consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 80 mm et 0.08 mm.

On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis . [8]

✓ **Matériels utilisés :** [8]

- Appareil tamiseur
- Series de tamis
- Balance de précision



Figure (II.5): Matériels utilisés en essai Analyse granulométrique.

### II.2.1.7. Equivalent de Sable :

L'essai d'équivalent de sable permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. [9]

#### ✓ But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. [9]

#### ✓ Principe de l'essai :

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

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins .
- hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESv (équivalent de sable visuel) ou ESp (équivalent de sable au piston). [9]

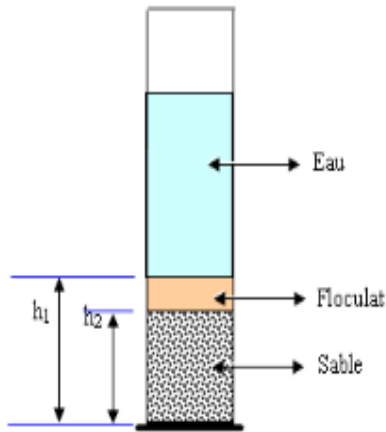


Figure (II.6): Schéma de Principe de l'équivalent de sable.

#### II.2.1.8.Los Angeles (LA) :

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. [10]

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

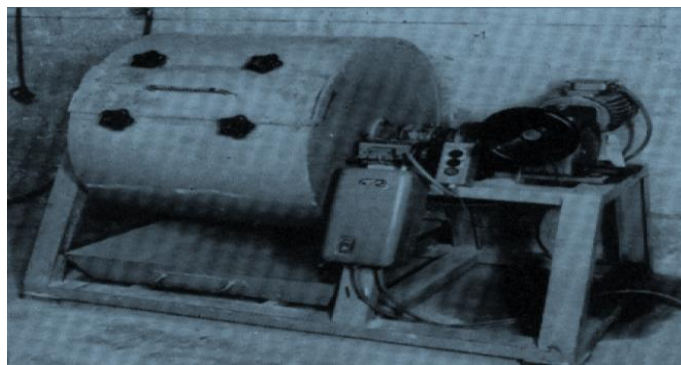


Figure (II.7):L'appareil Los Angeles

#### ✓ Objectifs de Essai Los Agneles :

- Connaitre appareils de Los Angeles .
- Déterminer la résistance à la fragmentation du gravier suivant le coefficient LA.
- Classifier le type des graviers selon le coefficient LA.

#### ✓ Principe de l'essai :

L'essai permet à déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats. Le matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat, d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur

le cylindre de la machine Los Angeles. En outre, l'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés.

✓ **Equipements nécessaires :**

La machine Los Angeles comporte :

- Un cylindre creux en acier de  $12\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$  d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, ayant un diamètre intérieur de  $711\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  et une longueur intérieure de  $508\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ . Le cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales .
- Une ouverture de 150 mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre, permet d'introduire l'échantillon.
- La charge est constituée par des boulets sphériques de 47 mm de diamètre environ et pesant 420 et 445 g ;
- Un moteur d'au moins 0,75 kW, assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours/minute .
- e- Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai .
- f- Un compte tours de type rotatif, arrêtant automatiquement le moteur au nombre des tours voulus .
  - Une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg .
  - Les tamis.

✓ **Mode opératoire**

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

(4-6.3 mm ; 6.3-10 mm ; 10-14 mm ; 10-25 mm ; 16-31.5 mm et 25-50 mm) de la granularité du matériau, tel qu'il sera mis en œuvre .

- La masse de l'échantillon pour essai sera de 5000 g ; 5 g .
- Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à

la classe granulaire choisie (Voir le tableau suivant, Tableau) :

Tableau (II.1) : Charge de boulets relatifs en fonction de la classe granulaire choisie . [11]

| Classes granulaires (mm) | Fractions | Nombre de boulets | Poids total de la charge (g) | Poids des fractions (g) |
|--------------------------|-----------|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| 4 – 6,3                  |           | 7                 | $3080 \pm 20$                | $5000 \pm 2$            |
| 6,3 – 10                 |           | 9                 | $3960 \pm 25$                | $5000 \pm 2$            |
| 10 – 14                  |           | 11                | $4840 \pm 25$                | $5000 \pm 2$            |
| 10-25                    | 10-16     | 11                | $4840 \pm 25$                | 3000                    |
|                          | 16-25     | 11                | $4840 \pm 25$                | 2000                    |
| 16 -31,5                 | 16 – 25   | 12                | $5280 \pm 25$                | 2000                    |
|                          | 25 – 31,5 | 12                | $5280 \pm 25$                | 3000                    |
| 25 - 50                  | 25 – 40   | 12                | $5280 \pm 25$                | 3000                    |
|                          | 40 - 50   | 12                | $5280 \pm 25$                | 2000                    |

- Mise en route de l'essai en faisant effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35 tr/mn .
- Enlever le granulat après l'essai. Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter
- les pertes de granulat (Figure II.2.5).
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm et peser le refus.
- soit « m1 » le résultat de la pesée. [11]

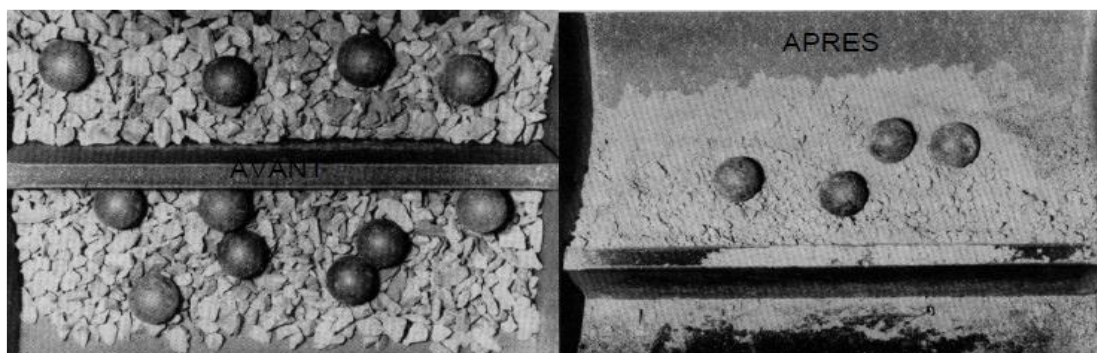


Figure (II.8) : Mise en place de matériau dans la machine. [11]

#### II.2.1.9. Micro Dévale (MD) :

L'essai permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau . [12]



Figure (II.9): L'appareil micro dévale

##### ✓ Objectifs :

- a) Connaître l'appareil micro-Dévale .
- b) Déterminer la résistance à la usure du gravier suivant le coefficient MD .
- c) Classifier le type des graviers selon le coefficient MD. [13]

##### ✓ Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produits dans la machine Dévale par les frottements réciproques et les chocs modérés des granulats. [13]

##### ✓ Équipements nécessaires :

La machine micro-Dévale comporte :

- a- Un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre intérieur de  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  et une longueur utile de  $154 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm et de  $400 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  pour les 25-50 mm. Chaque cylindre permet d'effectuer un essai .
- b- La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de 10 mm- 0.5 mm

de diamètre en acier inox .

c- Un moteur (environ 1 kW) doit assurer aux cylindres une vitesse de rotation régulière de 100 tr/min - 5 tr/min .

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

- Une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg.
- Les tamis (Tamis de 1.6 mm et les tamis pour déterminer les classes granulaires). [13]

✓ **Mode opératoire :**

- La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes granulaires (4- 6.3 mm ; 6.3-10 mm ; 10-14 mm ; 10-25 mm ; 16-31.5 mm et 25-50 mm) de la granularité du matériau, tel qu'il sera mis en oeuvre. Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm une charge abrasive est utilisée .
- La masse de l'échantillon pour essai sera 500 g  $\pm$  2 g pour les gravillons de 4-14 mm et de 10 kg  $\pm$  20 g pour les granulats de 25-50 mm .
- Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge abrasive qui est fixée suivant le tableau pour les gravillons de 4-14 mm et de 10 kg de matériau pour les granulats compris entre 25 et 50 mm (sans la charge abrasive)

Tableau (II. 2) : Charge abrasive en fonction de la classe granulaire choisie.

| Classes granular (mm) | Charge abrasive (g) |
|-----------------------|---------------------|
| 4 - 6.3               | 2000 $\pm$ 5        |
| 6.3 - 10              | 4000 $\pm$ 5        |
| 10 - 14               | 5000 $\pm$ 5        |

- Ajouter une quantité de 2.5 L d'eau pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm et de 2.0 L d'eau pour les gravillons compris entre 25 et 50 mm .
- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de 100 tr/min  $\pm$  5 tr/min pendant :
  - 2 h ou 12000 tr pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm .
  - 2 h 20 min ou 14000 rotations pour les gravillons compris entre 25 et 50 mm.
- Recueillir le granulat ainsi que la charge abrasive (pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm) dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes d'éléments .
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm .

- Laver l'ensemble sous un jet d'eau (retirer la charge abrasive à l'aide d'un aimant par exemple pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm) .
- Sécher le refus à 1.6 mm à l'étuve à 105 °C, jusqu'à masse constante .
- Peser ce refus, soit « m1 » le résultat de la pesée. [13]

## II.2.2. Essais Les Enrobes :

### II.2.2.1. Essai Marshall :

#### ✓ But :

Cet essai a pour but de trouver les caractéristiques mécaniques : la stabilité, qui est la résistance maximale de l'éprouvette à l'écrasement, et le fluage qui est caractérisé par le raccourcissement du diamètre de l'éprouvette au moment de sa rupture. [14]



Figure (II.10):L'appariel Marshall

#### ✓ Principe:

Les enrobés sont compactés dans des moules au moyen d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques. Le compactage se fait à raison de 50 coups par face. [14]

✓ **Appareillage** : [14]

1. Balance hydrostatique .
2. Bain thermostatique à la température 60°C.
3. Moule cylindrique :
  - Diamètre intérieur : 101,6 mm .
  - Hauteur : 87,3 mm .
4. Presse mécanique.
5. Fluage mètre.
6. Thermo sonde.
7. Dame de compactage à base circulaire de 98,4 mm de diamètre, équipé d'un mouton . cylindrique creux et symétrique par rapport à l'axe de la dame. La masse du mouton est de 4535 g et sa hauteur de chute est de 457 mm.
8. Pied à coulisse.
9. Poêle.
10. Appareil de démoulage.

✓ **Domain d'application** : [15]

Il est applicable à tous les enrobés à chaud ne comportant pas de granulats de dimension supérieure à 25mm.

✓ **Mode opératoire** : [15]

Préparation des prises d'essai :

Prélever chaque fraction de granulats entrant dans la composition de l'enrobé, à partir de lots de granulats préalablement séchés et parfaitement homogénéisés. La quantité prélevée doit permettre de confectionner une gâchée de 6 à 10 kg de granulats selon l'étude. Préparer également un récipient métallique la quantité du liant nécessaire à l'enrobage de cette gâchée (plus 50g environ pour sécurité). Au moment du mélange pour les enrobés à chaud à base de bitume pur, les températures des granulats du bitume et les matériels sont définis comme suit :

- Enrobé à base de bitume 40/50 160°C
- Enrobé à base de bitume 60/70 150°C
- Enrobé à base de bitume 80/100 140°C

Placer tous les granulats prélevés y compris le filler dans une cuve de malaxeur de préférence, sinon dans un récipient de capacité analogue. L'ensemble devra

séjourner au moins 4 heures dans une étuve à la température de malaxage définie ci-dessous. Les différents matériels, comme la cuve de malaxeur moules, de compactage, piston devront être également à la même température (2 heures minimum à l'étuve). Le chauffage du liant doit être effectué en deux phases.

- Ramollissement à l'étuve à la température de malaxage pendant 30 mns environ.
- Mise en température sur la plaque chauffante (réchaud) ; pour éviter tout risque de sur chauffage en enfin de permettre une homogénéisation. Agiter constamment le bitume (lorsque la température du liant est à 10°C au dessus de la température définitive réduire le chauffage, afin de ce pas dépasser cette température.

### **Malaxage :**

Si les granulats n'ont pas été chauffés directement dans la cuve du malaxeur, les verser doucement (pour éviter une perte éventuelle de filer) dans la cuve de malaxeur à la même température. Cette cuve est centrée sur le malaxeur.

### **Remplissage des moules :**

En fin de malaxage, sortir de l'étuve les moules de compactage dans l'ordre 12 – 3 – 4 – 5 (qui sera de remplissage et de démoulage) et les graisser.

Avant chaque pesée, mélanger la gâchée à l'aide d'une pelle afin d'éviter toute ségrégation. Peser la quantité de mélange correspondant à une éprouvette, quantité qui aura été déterminée à partir de l'éprouvette témoin. Introduire cette quantité d'enrobé dans la moule en un seule fois après avoir déposé au fond de ce moule un disque en papier filtre ou siliconé, remplir successivement les 4 autres moules. Pour assurer un bon état de surface latérale de l'éprouvette et pour éviter une disparition trop grande des résultats, introduire une spatule (chauffée à la température de malaxage) le long de la paroi du moule et effectuer environ trente fois un mouvement de haut en bas en décrivant trois fois le tour, sur toutes la hauteur de l'enrobé foisonné. Assurer le surfaçage supérieur à l'aide du piston extracteur chaud en faisant pivoter celui-ci trois ou quatre fois au contact de l'enrobé . [15]

# **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS**

## Introduction

Cet axe nécessite un ensemble de résultats liés aux propriétés physiques des granulés représenté dans le calcul de la masse volumétrique apparente et absolue, ainsi que de l'équivalent sable, de la pureté et de l'analyse granulaire et discuté.

Dans cette section , un ensemble de résultats obtenus dans les deux expériences, Los Angeles et Macro dévale .

### III.1.La Masse Volumique : (la norme NF P 18 -555)

#### III.1.1.La Masse Volumique Apparente ( $\rho_{app}$ ) :



Figure (III.1):L'essai La masse volumique apparente

Résultats les graviers dans le tableau suivant :

Tableau (III.1) : .La masse volumique apparente en (g/cm<sup>3</sup>)

|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain touta |
|------|----------------|--------|-----------|
| 0/3  | 1.6            | 1.97   | 1.92      |
| 3/8  | 1.58           | 1.6    | 1.76      |
| 8/15 | 1.57           | 1.49   | 1.66      |

### III.1.2.La Masse Volumique Absolue ( $\rho_{abs}$ ) : (la norme NF P 18 -555)



Figure (III.2):L'essai La masse volumique absolue

Résultats les graviers dans le tableau suivant

Tableau (III.2) : .La masse volumique absolue

| La masse volumique absolue ( $\text{g/cm}^3$ ) |                |        |           |
|------------------------------------------------|----------------|--------|-----------|
| Classe de granulat                             | Provenance     |        |           |
|                                                | Hassi Messaoud | Biskra | Ain Touta |
| 0/3                                            | 2.5            | 2.5    | 2.67      |
| 3/8                                            | 2.5            | 2.53   | 2.56      |
| 8/15                                           | 2.52           | 2.56   | 2.65      |

## II.2.La Densité :

### III.2.1.Densité Apparente ( $D_{app}$ ) :

Tableau (III.3) : densité apparente :

|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain Touta |
|------|----------------|--------|-----------|
| 0/3  | 1.6            | 1.97   | 1.92      |
| 3/8  | 1.58           | 1.6    | 1.76      |
| 8/15 | 1.57           | 1.49   | 1.66      |

### III.2.2.Densité Absolue (Dabs) :

Tableau (III.4): densité absolue

|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain touta |
|------|----------------|--------|-----------|
| 0/3  | 2.5            | 2.5    | 2.67      |
| 3/8  | 2.5            | 2.53   | 2.56      |
| 8/15 | 2.52           | 2.56   | 2.65      |

### III.3.La Propreté (Pr) :

Tableau (III.5) : la propreté en (%) :

|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain touta |
|------|----------------|--------|-----------|
| 8/15 | 3.73%          | 2.04%  | 1.1%      |

### III.4.La Porosité (P) :

Tableau (III.6):la porosité en (%) :

|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain touta |
|------|----------------|--------|-----------|
| 8/15 | 37.2%          | 41.79% | 37.35%    |

Interprétation : gravier de Biskra Plus perméable à l'eau.

### III.5.Teneur en Eau (W) :

Tableau (III.7): Teneur en eau des différents types de graviers :

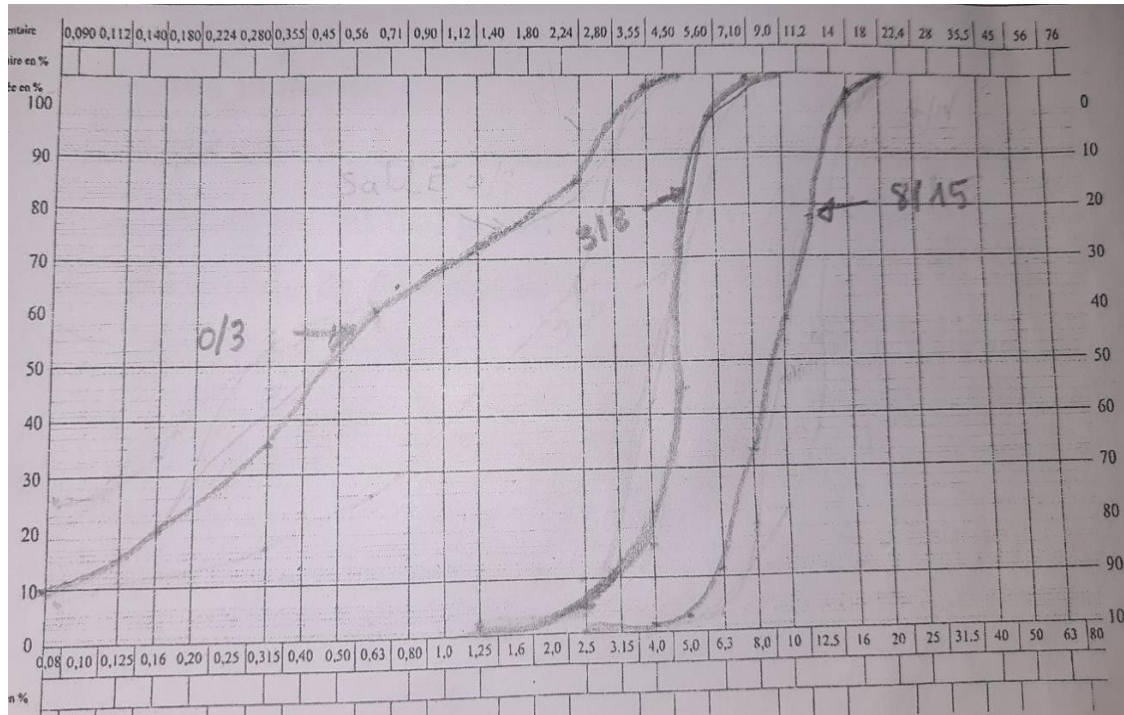
|      |                |        |           |
|------|----------------|--------|-----------|
|      | Hassi Messaoud | Biskra | Ain touta |
| 8/15 | 1.1            | 2.0    | 2.45      |

### III.6.Analyse Granulométrique des Granulats : (la norme NF P 18 -560)

#### III.6.1.Gravier de Hassi Messaoud :

Tableau (III.8) : analyse granulométrique Gravier de Hassi Messaoud :

| Tamis(mm) | PTC(%)0/3 | PTC(%)3/8 | PTC(%)8/15 |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 20        | /         | /         | 100        |
| 16        | /         | /         | 96.5       |
| 12.5      | /         | /         | 78.10      |
| 10        | /         | 100       | 56.90      |
| 8         | /         | 100       | 33         |
| 6.3       | /         | 95.5      | 10.90      |
| 5         | 100       | 45.17     | 2.60       |
| 4         | 99.8      | 14.67     | 0.9        |
| 2.5       | 84.63     | 1.67      | 0.7        |
| 1.25      | 72.06     | 1.5       | /          |
| 0.63      | 61        | /         | /          |
| 0.315     | 54.30     | /         | /          |
| 0.16      | 33.10     | /         | /          |
| 0.08      | 26.4      | /         | /          |



Figure(III.3) : Courbe Analyse Granulométrique Gravier de Hassi Messoud

|                 |                  |                |
|-----------------|------------------|----------------|
| <b>D10=0.08</b> | <b>D30=0.125</b> | <b>D60=0.5</b> |
|-----------------|------------------|----------------|

Résultats : Coefficient d'uniformité Cu et Coefficient de courbure Cc :

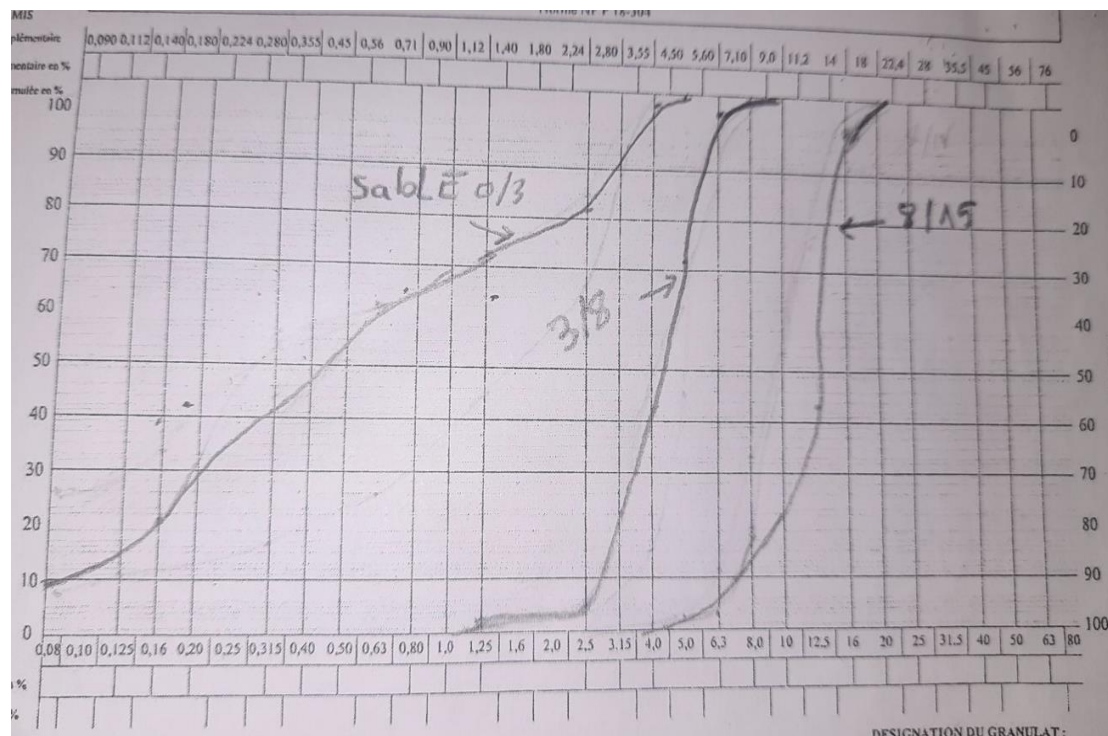
|      |      |
|------|------|
| Cu   | Cc   |
| 0.39 | 6.25 |

### III.6.2.Gravier de Biskra:

Tableau (III.9) : Analyse Granulométrique Gravier de Biskra

| Tamis(mm) | PTC(%)0/3 | PTC(%)3/8 | PTC(%)8/15 |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 20        | /         | /         | 100        |
| 16        | /         | /         | 77.40      |
| 12.5      | /         | /         | 42.10      |
| 10        | /         | 100       | 15.40      |
| 8         | /         | 100       | 14.10      |

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 6.3   | /     | 97.67 | 12.20 |
| 5     | 100   | 73.17 | 12.10 |
| 4     | 99.75 | 42.50 | 12.10 |
| 2.5   | 82.44 | 4.17  | /     |
| 1.25  | 70.64 | 3.50  | /     |
| 0.63  | 59.43 | /     | /     |
| 0.315 | 48.92 | /     | /     |
| 0.16  | 33.35 | /     | /     |
| 0.08  | 27.39 | /     | /     |



Figure(III.4):courbe Gravier de Biskra analyse granulométrique

|                 |                |                 |
|-----------------|----------------|-----------------|
| <b>D10=0.08</b> | <b>D30=0.2</b> | <b>D60=0.63</b> |
|-----------------|----------------|-----------------|

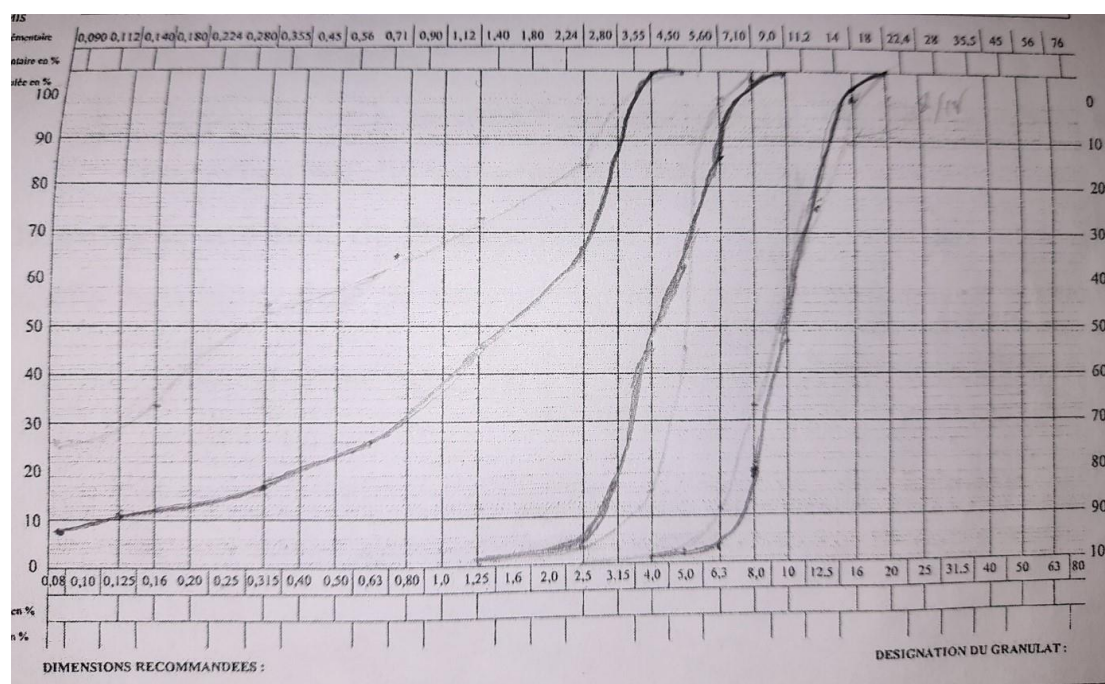
Résultats : Coefficient d'uniformité Cu et Coefficient de courbure Cc :

|      |      |
|------|------|
| Cu   | Cc   |
| 7.87 | 0.79 |

### III.6.3.Gravier de Ain Touta :

Tableau (III.10): analyse granulométrique carrier Ain Touta :

| Tamis(mm) | PTC(%)0/3 | PTC(%)3/8 | PTC(%)8/15 |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 20        | /         | /         | 100.0      |
| 16        | /         | /         | 97.50      |
| 12.5      | /         | /         | 74.90      |
| 10        | /         | 100       | 46.00      |
| 8         | /         | 99        | 17.50      |
| 6.3       | /         | 86.17     | 2.90       |
| 5         | 100       | 61.67     | 0.70       |
| 4         | 100       | 34.17     | 0.50       |
| 2.5       | 66        | 2.84      | /          |
| 1.25      | 44        | 0.84      | /          |
| 0.63      | 25        | /         | /          |
| 0.315     | 16.44     | /         | /          |
| 0.16      | 10.22     | /         | /          |
| 0.08      | 9.66      | /         | /          |



Figure(III.5):courbe analyse granulométrique Gravier de Ain Touta

|                  |                 |                |
|------------------|-----------------|----------------|
| <b>D10=0.125</b> | <b>D30=0.80</b> | <b>D60=1.8</b> |
|------------------|-----------------|----------------|

Résultats : Coefficient d'uniformité Cu et Coefficient de courbure Cc :

|      |      |
|------|------|
| Cu   | Cc   |
| 14.4 | 2.84 |

#### III.6.4.Module de Finesse (MF) :

Le module de finesse (MF) du sable est défini dans la norme comme la somme des pourcentages cumulatifs retenus sur une série de tamis normalisés donnée, divisée par 100. Il indique la finesse d'un sable: plus le module de finesse est élevé, plus le sable est grossier. [16]

$$MF = \frac{\sum \text{des refus cumlés en \% des tamis (0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5 et 5mm)}}{100}$$

- A = préférentiel Module finesse 2,20 à 2,80 (La mise en œuvre facile et la résistance élevée). [16]
- B = trop fin Module finesse 1,80 à 2,20 (augmentation de dosage en eau alors la mise en œuvre facile mais la résistance du béton chute). [16]
- C = trop grossier Module finesse 2,80 à 3,20 (manque ouvrabilité donc la mise en œuvre est difficile, une bonne résistance mécanique et risque de ségrégation limitent). [16]

##### III.6.4.1.Résultats :

Tableau (III.11) :Résultats Module de finesse (MF)

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| Provenance de Gravier     | Module de finesse ( <b>MF</b> ) |
| Gravier de Hassi Messaoud | 1.95                            |

|                      |      |
|----------------------|------|
|                      |      |
| Gravier de Biskra    | 2.05 |
| Gravier de Ain Touta | 3.38 |

### III.7. Pourcentage de Fine :

$$PF = \frac{mf}{mt} \times 100$$

mf=masse de fine(g)

mt=masse total un échantillon(g)

#### III.7.1. Résultats :

Tableau (III.12) : Résultats Pourcentage de fine(PF) en (%):

| Echantillon              | Pourcentage de fine(PF) |
|--------------------------|-------------------------|
| Gravie de Hassi Messaoud | 26.39%                  |
| Gravie de Biskra         | 27.38%                  |
| Gravie de Ain Touta      | 9.6%                    |

### III.8. Equivalent de Sable : (la norme NF P 18 -598)

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable effectué sur une fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

#### ▪ Principe :

Verser une prise d'essai de sable et une petite quantité de solution dans un cylindre gradué et agiter de façon à détacher les revêtements argileux de sable de la prise d'essai.

« Irriguer », alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable.

Après 20 minutes, calculer l'équivalent de sable (SE) comme la hauteur de sédiment, exprimée en pourcentage de la hauteur totale de matériau floculé dans le cylindre.



Figure(III.6):Equivalent de sable

▪ **Résultats :**

L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = \frac{H2}{H1} \times 100$$

ES : la valeur de l'équivalent de sable.

h1 : hauteur (sable+ éléments fins).

h2 : hauteur (sable propre seulement).

III.8.1: Résultats :

Tableau (III.13) :Résultats d'équivalent de sable du sable concassé 0/3

| Echantillon                     | Sable concassé 0/3 | Specification |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Gravie de Hassi Messaoud Es (%) | 19.34%             | < 50          |
| Gravie de Biskra Es (%)         | 25.42%             | < 50          |
| Gravie de Ain Touta Es (%)      | 54.83%             | > 50          |

### **Commentaire et Interprétation :**

Les résultats obtenus dans les propriétés physiques appliquées aux granules inclus un ensemble de discussions, qui sont les suivantes:

**La Masse Volumique :** Nous notons que les masses volumétriques apparentes et absolues des gravie Ain Touta du mûrier sont importantes par rapport aux masses volumétriques des granulats de Hassi Messaoud et de Biskra . et donc que le gravier de Ain Touta est plus lourd que les autres galets, et cela est dû à sa composition minérale et chimique, qui est composée des roches de la carrière Ain Touta .

**La Densité :** les graviers Ain Touta est moins perméabilité a l'eau.

**La propreté :** Grâce aux résultats obtenus, nous avons constaté que la pureté du gravier Ain Touta est de 1,1%, ce qui signifie qu'il contient un pourcentage d'impuretés inférieur, ce qui est la meilleure valeur de pureté parmi les trois types de gravier mentionnés, ce qui lui permet d'être le plus approprié dans le mélange d'asphalte.

**Teneur en eau :** Grâce au résultat auquel nous sommes parvenus, nous avons trouvé la valeur la plus élevée de la teneur en eau dans les trois types de gravier au gravier d'Ain Tota à 2,45%, ce qui est une grande différence entre celui-ci et la teneur en eau du gravier de Hassi Messaoud, qui est de 1% .

Si cela indique quelque chose, cela indique que les roches d'Ain Tota sont saturées d'eau .

### **Analyse Granulométrique des Granulats :**

Gravier de Hassi Messoud:

- Cu: la matériau est dit mal gradué.
- Cc: semi-étalée.

**Gravier de Biskra :**

- Cu: la matériau est dit mal gradué.
- Cc: semi-étalée.

### **Gravier de Ain Touta :**

Cu: Gravier Ain Touta est dit bien gradué .

Cc: Granulométrie semi-étalée.

**Module de finesse :** On note que le gravier d'Ain Touta  $M_f = 3,38$  signifie que c'est un gravier grossier qui ne contient qu'un faible pourcentage de fine, contrairement au gravier de Hassi Messaoud qui contient un pourcentage important de fine où son coefficient de finesse est :  $MF = 1,95$

1.8 à 2.2 le sable est un peu trop fin

2.2 à 2.8 le sable est préférentiel

2.8 à 3.2 le sable est un peu trop grossier.

**Pourcentage de Fine:** gravier carrier Ain Touta contient pourcentage moins de fine .

**Equivalent de Sable :** A travers les résultats obtenus, on constate que l'équivalent sableux du gravier Ain Touta  $E_s = 54,83$  est le plus grand équivalent sable des trois types de gravier Cela indique qu'il contient un pourcentage inférieur de fine et de nuit sur la qualité de ce gravier .

$E_s > 60$  est considéré comme une bonne valeur selon la norme .

Les discussions précédentes ont mis en évidence que le gravie de Ain Touta sont les plus appropriés en termes de composition physique des granulés.

### **III.9. Los Angeles (LA) : (la norme NF P 18 -573)**

▪ **But d'essai :**

Cet essai permet de déterminer la résistance aux chocs des granulats. Il simule les chocs des roues des véhicules sur une route ou le poids d'un bâtiment en béton.

▪ **Principe d'essai :**

L'essai consiste à introduire des gravillons dans le cylindre de la machine Los Angeles. Lors de sa rotation, les granulats sont heurtés par des boulets plus lourds que les gravillons.

La masse des éléments inférieurs à 1,6 mm à la fin de l'essai donne la résistance aux chocs du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant aux chocs.



Figure(III.7):La Machine « Los Angeles » et Les Boulets

Tableau (III.14) : résultats Los Angeles :

| Caractéristique | Ain Touta | Biskra | Hassi Messaoud |
|-----------------|-----------|--------|----------------|
| LA(%)           | 23.85     | 26.11  | 32.18          |

### III. 10. Micro Dévale (MDE) : (la norme NF P18-572)

#### ▪ But d'essai :

Cet essai permet de déterminer l'usure d'une chaussée sous l'effet de frottements (pneus des véhicules).

#### ▪ Principe d'essai :

L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons. Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1.6 mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.



Figure(III.8):La machine micro-Dévale



Figure(III.9):Billes inoxydables

Tableau (III.15) : résultats micro dévale :

| Caractéristique | Ain Touta | Biskra | Hassi Messoud |
|-----------------|-----------|--------|---------------|
| MDE(%)          | 19.73     | 24.27  | 30.40         |

#### Commentaires et Interprétations :

Les résultats obtenus dans les propriétés mécaniques appliquées aux granulés incluent un groupe de discussions, qui sont les suivantes:

#### Essai Los Angeles :

On note que la valeur (LA) des gravillons d'Ain Touta est de 23,85 , soit moins de 25, ce qui est une valeur acceptable et considérée comme bonne selon la Norme, ce qui indique que ce gravier a une bonne résistance mécanique du fait de la composition minérale et chimique de ces derniers. Roches, contrairement aux galets de Biskra et Hassi Messaoud, qui ont une valeur LA supérieure à 25 selon la Norme, ce sont des valeurs inacceptables et non valables pour la construction de routes, ce qui est une raison due à la composition des roches à partir desquelles ce gravier est extrait

Généralement pour les granulats destinés à l'utilisation routière les spécifications exigent :

$$LA \leq 25$$

#### **Essai Micro Dévale :**

Nous notons que la valeur MDE du gravier Ain Tota est de 19,73, ce qui est inférieur à 20 et est considéré comme admissible et acceptable selon la Norme. C'est la preuve que ce gravier est résistant à la corrosion, contrairement au gravier de Biskra et Hassi Messaoud gravier, dans lequel le pourcentage de MDE est supérieur à 20, et donc ils ont une faible résistance à l'abrasion et ne sont pas adaptés à la construction de routes Généralement pour les granulats destinés à l'utilisation routière les spécifications exigent :

$$MDE \leq 20$$

Les deux discussions précédentes ont montré que le gravie de ain touta sont les plus durs mécaniquement et les plus résistants à l'érosion.

#### **III.11.Essai Marshall : (la norme NFP 98-251-2)**

Essais de stabilité et de fluage Marshall les éprouvettes, conservée à la température ambiante sont soumise à l'eau de compression le lendemain soit un temps d'attente variant de 18 à 24 heures. Une demi heures avant l'essai, immerger les éprouvettes dans un bain thermostatique à  $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Ce temps d'immersion est impératif. Il est donc nécessaire d'échelonner les mises à l'immersion compte tenu de la durée de l'essai ; les éprouvettes seront donc immergées toutes les 5mns dans l'ordre 1-2-3 ainsi que les moules d'essai dont on aura vérifié auparavant le bon état de fonctionnement. Au moment de l'essai, retirer le moule de l'eau, enlever la mâchoire supérieure, graisser les tiges de guidage au moyen de graisse aux silicones. Introduire l'éprouvette dans la mâchoire inférieure, replacer la mâchoire supérieure et porter l'ensemble immédiatement entre les

plateaux de la presse dont la vitesse aura été réglée à 0,846 mm/s. Amener le piston en contact avec la mâchoire supérieure. Prendre les lectures initiales sur les tiges de guidage (à droite et à gauche) à l'aide d'un fluxmètre, pour déterminer le fluage ; puis déclencher le mécanisme d'avancement de la presse. La stabilité Marshall est l'effort maximale enregistrée, corrigée éventuellement en fonction de la hauteur, dès que cette valeur est atteinte, on stoppe l'avancement pour pouvoir mesurer le fluage (nouvelles mesures sur les tiges de guidage, le fluage étant la différence entre les mesures finales et initiales)

On détermine:

A- La stabilité Marshall à 60°C est exprimée en kilogramme et représente la moyenne des résultats sur les trois éprouvettes.

B- Le fluage Marshall est exprimé en 1/10mm et représente la moyenne des affaissements des 3 éprouvettes.

Les autres résultats seront présents de la façon suivante

C- Masse volumique apparente de l'éprouvette

- C1 : les mesures géométriques.
- C2 : les mesures après pesées hydrostatiques (MVA) Masse volumique réelle des granulats (MVRg)

D- Compte tenu de la masse volumique réelle de chacun d'entre eux et de leurs proportions dans le mélange des granulats.

▪ **Résultats :**

En raison du manque de temps et du manque de moyens et de Laboratoire pour réaliser cet essai (essai Marshall), nous nous sommes basés sur les résultats du laboratoire (LBTP) réalisé sur le gravier de Ain Touta, et qui sont récapitulés comme suit :

Tableau (III.16): Granulométrie du sable de concassage 0/4 (Ain Touta) :

| <b>Tamis (mm)</b> | <b>Tamisât (%)</b> |
|-------------------|--------------------|
| <b>5</b>          | <b>100</b>         |
| <b>4</b>          | <b>97</b>          |
| <b>3.15</b>       | <b>91</b>          |
| <b>2</b>          | <b>70</b>          |
| <b>1.25</b>       | <b>54</b>          |
| <b>0.63</b>       | <b>37</b>          |
| <b>0.5</b>        | <b>33</b>          |
| <b>0.2</b>        | <b>23</b>          |
| <b>0.1</b>        | <b>20</b>          |
| <b>0.08</b>       | <b>18</b>          |

Tableau (III.17) : Masse volumique granulats :

| <b>Classe</b>                                       | <b>0/14</b> |
|-----------------------------------------------------|-------------|
| <b>Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.53</b> |
| <b>Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)</b>   | <b>2.65</b> |

**Equivalent du sable à 10% de fines :**

Tableau (III.18) : Essai sur sable de concassage (sur la fraction 0/2)

| <b>Fraction</b> | <b>ES à 10%</b> |
|-----------------|-----------------|
| <b>0/2</b>      | <b>63%</b>      |

Tableau (III.19) : Bitume pur 40/50 :

| <b>Essais</b>                  | <b>Résultats</b> | <b>Spécifications</b> |
|--------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Point de ramollissement</b> | <b>52</b>        | <b>47 à 60</b>        |
| <b>Pénétrabilité à 25 °C</b>   | <b>46</b>        | <b>40 à 50</b>        |

**Caractérisation d'un essai Marshall :**

Tableau (III.20) : Enrobé 0/14 (Granulat 0/14 Ain Touta – Bitume pur 40/50) :

| <b>Désignations</b>                                     | <b>Résultats</b> |              |              | <b>Moyen</b> | <b>Spécifications</b> |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| <b>Classe de Bitume</b>                                 | <b>46</b>        |              |              | <b>46</b>    | <b>40 à 50</b>        |
| <b>Teneur en liant (%)</b>                              | <b>5.89</b>      |              |              | <b>5.89</b>  | <b>-</b>              |
| <b>Eprouvette N°</b>                                    | <b>1</b>         | <b>2</b>     | <b>3</b>     | <b>-</b>     | <b>-</b>              |
| <b>Masse volumique apparente (MVA) g/cm<sup>3</sup></b> | <b>2.272</b>     | <b>2.274</b> | <b>2.269</b> | <b>2.272</b> | <b>-</b>              |
| <b>Masse volumique réelle (MVR) g/cm<sup>3</sup></b>    | <b>2.433</b>     |              |              | <b>2.433</b> | <b>-</b>              |
| <b>Compacité %</b>                                      | <b>93.38</b>     | <b>93.46</b> | <b>93.26</b> | <b>93.37</b> | <b>92 à 96</b>        |

|                                      |             |             |             |             |                   |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| <b>Stabilité Marshall (KG)</b>       | <b>1163</b> | <b>1175</b> | <b>1158</b> | <b>1165</b> | <b>Min : 1050</b> |
| <b>Fluage Marshall<br/>(1/10 mm)</b> | <b>25.4</b> | <b>24.2</b> | <b>27.3</b> | <b>25.6</b> | <b>&lt; 40</b>    |

CONCLUSION GÉNÉRALE

1- Dans le cadre de la comparaison des matériaux locaux, ce travail a contribué à la comparaison des propriétés spatio-physiques d'un ensemble de graviers provenant de différentes carrières, qui serviront à la fabrication de béton bitumineux.

2- Selon les essais réalisés sur le gravier nous avons remarqué une différence dans les caractéristiques des graviers des carrières Ain Touta , Hassi Messoud et de Biskra , surtout au niveau de la résistance.

3- Les essais micro Dévale, Equivalent de Sable et Los Angeles ont démontré que le graver Hassi Messoud et Biskra n'est pas convenable pour les routes à grand trafic de poids lourd.

4- Les essais ont par contre démontré que le gravier de Ain Touta est bon pour la formulation des enrobés et la réalisation des routes.

5- Dans le cadre du programme expérimental, des essais normatifs sont réalisés dans des conditions de contraintes et de températures bien définies. Cette recherche montre la diversité des résultats obtenus, ce qui nous a permis de conclure :

- -L'étude actuelle a montré une qualité acceptable du point de vue des propriétés intrinsèques du gravier Ain Touta pour une utilisation dans la fabrication du béton bitumineux.
- -Il a été découvert à travers l'étude et les expérimentations appliquées aux échantillons que les graviers de Biskra et Hassi Messoud ne remplissent pas les conditions qualificatives pour le calibrage des bétons bitumineux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

|     |                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| [1] | CTTP : LES CARACTERISATION D'UN ENROBE A BASE DE SABLE DE DUNE PARLES ESSAISDES 4 NIVEAUX DE FORMULATION                                                                                                                                               | 3  |
| [2] | A.BOUMADIANE : [INGENIEUR EXPERT ROUTIER] « LES BETONS BITUMINEUX, FORMULATION ; EXECUTION; CONTROLE DE QUALITE » (LE LABORATOIRE D'EXPERTISE D'ESSAIS ET D'ETUDES L3E)                                                                                | 8  |
| [3] | LAMRANI ALAOUI YOUSSEF ET EL MOUEDEN MOAD « REVUE SUR LES ESSAIS NORMALISEES APPLICABLES AUX GRANULATS POUR DES APPLICATIONS DU GENIE CIVIL ET POSITIONNEMENT DE LA MODELISATION GRANULAIRE SUR CES ESSAIS ». ECOLE DES MINES DOUAI . 2017.PAGES 14-15 | 19 |
| [4] | A.BOUMADIANE : [INGENIEUR EXPERT ROUTIER] « LES BETONS BITUMINEUX, FORMULATION ; EXECUTION; CONTROLE DE QUALITE » (LE LABORATOIRE D'EXPERTISE D'ESSAIS ET D'ETUDES L3E).                                                                               | 20 |
| [5] | HELIL.H ; KHOUDJA.N, 2017 : « MEMOIRE DE MASTER EN GENIE CIVIL » (ETUDE D'UN BETON BITUMINEUX A BASE DE SABLES DE DUNES ).                                                                                                                             | 21 |
| [6] | KHENGGAOUI SAFIA, 2013 : « EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN GENIE CIVIL » (VALORISATION DU SABLE DE DUNES EN COUCHE DE ROULEMENT SABLE – BITUME).                                                                                       | 21 |
| [7] | BOUKRA BETTAYEB, O. AND K. ALLAOUI, FORMULATION ET CARACTERISTIQUE D'UN BETON BITUMINEUX A BASE DES MATERIAUX D'ADRAR. 2019, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.                                                                                             | 25 |
| [8] | CHOUNGARA TOUFIK , POLYCOPIEE DE TP "ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS",UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDA RELOUED , ALGERIA , 2020/2021 , PAGE1.                                                                                                     | 31 |
| [9] | GUESSOUM YOUNES ET TALBI SAID , ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE ET DE LA DURABILITE DES DIFFERENTS                                                                                                                                                  | 32 |

|      |                                                                                                                                                                              |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|      | BETONS A BASE DE SABLE MODIFIE, UNIVERSITED'EL-OUED, ALGERIA, PAGE 31.                                                                                                       |    |
| [10] | M. GHOMARI F ET MME BENDI-OUIS A,ESSAI LOS ANGELES ,UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID,ANNEE UNIVERSITAIRE 2007 -2008,PAGE 2.                                                       | 33 |
| [11] | DR. ISMAIL BENESSALAH, POLYCOPIE DES TRAVAUX PRATIQUES GEOTECHNIQUE ROUTIERE, UNIVERSITE HASSIBABENBOUALI DE CHLEF, OCTOBRE 2020, PAGES 30-31-32                             | 35 |
| [12] | M. GHOMARI F ET MME BENDI-OUIS A,ESSAI MICRO DEVAL ,UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID,ANNEE UNIVERSITAIRE 2007 -2008,PAGE 2.                                                       | 36 |
| [13] | DR. ISMAIL BENESSALAH, POLYCOPIE DES TRAVAUX PRATIQUES GEOTECHNIQUE ROUTIERE, UNIVERSITE HASSIBABENBOUALI DE CHLEF, OCTOBRE 2020, PAGES 41-42-43.                            | 36 |
| [14] | ANDRIANTSIMBAZAFY TSIRYNIAINA,COMPORTEMENT DU BITUME AVEC AJOUT DE POUDRETTE DECAOUTCHOUC ISSUE DES PNEUMATIQUES USAGEES NONRECYCLES,UNIVERSITE D'ANTANANARIVO,2015,PAGE 69. | 38 |
| [15] | BITUME FLUIDIFIES OU CUT- BACK ,EMULSIONS DE BITUME , PAGES 65-67.                                                                                                           | 39 |
| [16] | BARON. J ET SOUTEREY. R. « LE BETON HYDRAULIQUE: CONNAISSANCE ET PRATIQUE" PRESSES ». 1982.                                                                                  | 49 |

