

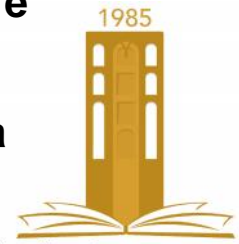


جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme
DE MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Influence de la teneur des grains de forme
d'aiguille et de plaquette dans les graviers
concassés sur les qualités d'un béton**

Dirigé par :

- Mr.Zitouni.S Promoteur
- Pr.Nacéri.A Co-promoteur

Présenté par :

- Ould Mohamed Fayçal

Promotion : 2015/2016.

Remerciements

Toute ma gratitude et remerciements vont à mon Dieu le tout puissant qui m'a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour effectuer ce travail.

Il ne m'aurait été possible, à moi seul, d'achever le présent travail sans l'assistance, l'appui et le suivi minutieux de mes enseignants et mon encadreur Mr zitouni salim et Co-encadreur prof naceri Abdelghani, à tous les deux j'exprime mon respect.

Mes sincères remerciements vont au président et aux membres du jury de soutenance qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je ne saurai oublier d'exprimer mes remerciements à tous les enseignants du département de Génie Civil, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail au premier degré à ceux qui sont plus chers à moi.

Mes très chers parents pour leur amour et patience et qui n'ont pas cessé de m'encourager durant ma vie d'étude.

Vraiment je suis très fière et très heureux pour dédie ce mémoire du profond de mon cœur a les pupilles de mes yeux :

Ma perle précieuse qui n'a jamais cessé de me témoigner tendresse et d'affection depuis ma naissance jusqu'à ce jour pour me voir réussir

Dans ma vie ma mère et mes frères

A mes très radieux et agréables frères mes frères

A toutes ma famille chacun par son nom

A mes meilleurs amis Aissa mahfoudi / Aissa bakhti / Abdelkader nassri/ radouan hamich

Et tous les étudiants du département de génie civil m'sila .spécialement promo 2016

Ould mohamed fayçal

Résumé :

L'amélioration de la qualité du béton est l'objectif de tous les chercheurs dans le domaine du génie civil, ainsi que la recherche de la bonne qualité des matériaux utilisés d'une bonne combinaison de la qualité du béton.

Notre étude centrée autour d'un composant du béton gravier concassé avec des mesures concrètes 3/8 et 8/16 et en examinant les quatre différentes combinaisons de gravier concassé et de forme aiguilles et des plaquettes dans des proportions différentes (0 %, 10 %, 15 %, 20 % plaque et aiguille) afin d'atteindre la meilleure résistance mécanique.

Mots-clés : Béton, gravier, cassé, une aiguille, une plaque, la résistance mécanique.

ملخص :

تحسين نوعية الخرسانة هو هدف كل الباحثين في مجال الهندسة المدنية، و كذلك البحث عن نوعية جيدة للمواد المستعملة و تركيبة جيدة تعطي خرسانة ذات جودة.

دراستنا تتمحور حول أحد مكونات الخرسانة و هي الحصى المكسرة ذات القياسات 3/8 و 8/16 و ذلك بدراسة أربع خلطات مختلفة من الحصى المكسرة على شكل إبر و صفائح بنسب مختلفة (0 % ، 10 % ، 15 % ، 20 % شكل إبرة و صفيحة) و ذلك من اجل الوصول إلى أفضل مقاومة ميكانيكية.

كلمات مفتاحية: خرسانة، الحصى المكسرة، شكل إبرة، شكل صفيحة، مقاومة ميكانيكية.

Abstract :

Improving the quality of concrete is the purpose of all researchers in the civil engineering field, and the search for good materials and good combination of these materials leads to an efficient concrete.

Our study centered around a component is broken gravel with concrete measurements 8/3 and 16/8 and by examining four different mixes of Gravel broken needles and plates in different proportions (0%, 10%, 15%, 20% form needle and plate) in order to reach the best mechanical resistance.

Keywords : Concrete, gravel broken, form needle, form plate, mechanical resistance.

| SOMMAIRE | PAGE |
|--|-------------|
| Introduction générale..... | 1 |
| CHAPITRE I : CONNAISSANCE GENERALE | |
| 1 : LE BETON..... | 3 |
| 1.1 : Définition..... | 3 |
| 1.2 : Types de bétons | 3 |
| 1.2.1 : Leur destination..... | 4 |
| 1.2.2 : Leur masse volumique..... | 4 |
| 1.2.3 : Leur granularité..... | 5 |
| 1.2.4 : Leur consistance (cône d'Abrams) | 5 |
| 1.3 : Propriétés du béton | 5 |
| 1.3.1 : Le béton frais..... | 5 |
| 1.3.2 : Le béton durci..... | 5 |
| 1.3.3 : Propriétés du béton frais | 6 |
| 1.3.3.1 : Affaissement au cône d'Abrams..... | 6 |
| 1.3.3.2 : La masse volumique du béton frais | 7 |
| 1.3.4 : Propriétés du béton durci | 8 |
| 1.3.4.1 : Résistance à la compression..... | 8 |
| 1.3.4.2 : Résistance à la traction par flexion..... | 9 |
| 2 : les constituants du béton..... | 10 |
| 2.1 : Les granulats | 10 |
| 2.1.1 : Définition | 10 |
| 2.1.2 : Granulats roulé et granulats concassées..... | 10 |
| 2.1.2.1 : Les granulats de roche meuble | 10 |
| 2.1.2.2 : Les granulats de roche massive..... | 10 |
| 2.1.3 : Caractéristiques des granulats..... | 11 |
| 2.1.3.1 : Granulométrie..... | 11 |
| 2.1.3.2 : Classes granulaires..... | 11 |
| 2.1.3.3: Forme des granulats..... | 12 |
| 2.1.3.3.1 : Coefficient volumétrique..... | 13 |
| 2.1.3.3.2 : Indice de forme..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 2.1.3.4 : Coefficient d'aplatissement..... | 14 |
| 2.1.4 : Caractéristiques intrinsèques..... | 14 |
| 2.1.4 .1: Caractéristiques physiques et mécaniques..... | 15 |
| 2.1.4 .1.1: Résistance à l'usure des gravillons..... | 15 |
| 2.1.4 .1.2: Résistance à la fragmentation des gravillons..... | 15 |
| 2.1.4 .1.2: Résistance au polissage des gravillons..... | 16 |
| 2.1.4 .1.3: Résistance des gravillons au gel-dégel..... | 16 |
| 2.1.4 .1.4: La masse volumique | 16 |
| 2.1.4 .1.5: La porosité..... | 16 |
| 2.1.4 .1.6: Teneur en eau | 17 |
| 2.1.4 .1.7: Coefficient d'absorption d'eau..... | 17 |
| 2.1.4.1: Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice) | 17 |
| 2.1.4.1.1: Teneur en chlorure | 18 |
| 2.1.4.1.2: Friabilité des sables | 18 |
| 2.1.4.1.3: Teneur en matière organique | 18 |
| 2.1.4.1.4: Teneur en sulfates (SO ₃) | 18 |
| 2.1.4.1.5: Teneur en soufre | 18 |
| 2.1.4.1.6: Résistance au choc thermique | 19 |
| 2.1.5 : L'inter face pâte de ciment/granulat..... | 19 |
| 2.2 : le sable..... | 20 |
| 2.2.1 : Définition..... | 20 |
| 2.2.2 : Origine des sables | 20 |
| 2.2.3 : Classification des sables..... | 21 |
| 2.2.3.1 : Sable grossier..... | 21 |
| 2.2.3.2 : Sable moyen..... | 21 |
| 2.2.3.3 : Sable fin..... | 21 |
| 2.2.4 : Module de finesse M _f | 21 |
| 2.2.5 : Équivalent de sable selon la norme..... | 22 |
| 2.3 : Le ciment..... | 23 |
| 2.3.1: Définition..... | 23 |
| 2.3.2: Les constituants du ciment..... | 23 |
| 2.3.2.1: fabrication du clinker | 23 |
| 2.3.2.2: Autres Constituants Des Ciments | 24 |
| 2.3.2.2.1: laitier granulé de Haut fourneau (S) | 24 |
| 2.3.2.2.2:Pouzzolanes naturelles (Z) | 24 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2.2.3: Cendres volantes (V ou W) | 24 |
| 2.3.2.2.4: Schistes calcinés(T) | 24 |
| 2.3.2.2.5: Calcaires (L) | 24 |
| 2.3.2.2.6: Fumées de silice (D) | 24 |
| 2.3.2.2.7: Fillers(F) | 24 |
| 2.3.3: Classification des ciments..... | 25 |
| 2.3.3.1: Classification en fonction de leur composition | 25 |
| 2.3.3.2: Classification en fonction de leur résistance..... | 25 |
| 2.4 : L'eau de gâchage..... | 26 |
| 2.4.1: L'eau chimiquement liée..... | 26 |
| 2.4.2: L'eau adsorbée..... | 26 |
| 2.4.2: L'eau libre..... | 26 |
| 2.4.3: L'eau dans la pâte de ciment..... | 27 |
| 2.4.4: L'eau hydroxyle (groupement O-H) | 27 |
| 2.4.5: L'eau inter foliaire (ou inter feuillet) | 27 |
| 2.4.6: L'eau inter lamellaire..... | 27 |
| 2.5: Les adjuvants | 27 |
| 2.5.1.1: les adjuvants retardateurs de prise | 28 |
| 2.5.1.2: les adjuvants réducteurs d'eau | 28 |
| 2.5.1.3: Les adjuvants accélérateurs de prise..... | 28 |
| 2.5.1.4: Fluidifiants | 28 |
| 2.5.2 : Rôle des différents éléments constituant le béton..... | 28 |
| 2.5.3 : Caractéristiques chimiques et diverses..... | 29 |
| 2.5.3.1 : Réaction alcali-silice (alcali-réaction) | 29 |
| 2.6: quelques méthodes de composition du béton | 29 |
| 2.6.1: Introduction | 29 |
| 2.6.2: Méthode de Bolomey | 29 |
| 2.6.3: Méthode de Faury | 30 |
| 2.6.4 : Méthode de Dreux-Gorisse (la méthode utilisé) | 30 |
| 4 : Conclusion | 38 |

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

| | |
|----------------------------------|----|
| 1 : Introduction..... | 39 |
| 2 : sable d'oued (Bousaâda)..... | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.1 : Origine du sable | 39 |
| 2.2 : Caractéristiques physiques des sables utilisés..... | 39 |
| 2.2.1 : Masse volumique (absolue)..... | 39 |
| 2.2.2 : Masse volumique apparente | 40 |
| 2.2.2.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche..... | 40 |
| 2.2.2.2 : Masse volumique apparente à l'état compact..... | 41 |
| 2.2.3 : Porosité..... | 42 |
| 2.2.4 : Compacité..... | 42 |
| 2.2.5 : L'indice des vides | 42 |
| 2.2.6 : Equivalent de sable..... | 43 |
| 2.2.6.1 : Equivalent de sable visuel (ESV)..... | 44 |
| 2.2.6.2 : Equivalent de sable au piston (ESP)..... | 44 |
| 2.2.7 : Teneur en eau..... | 45 |
| 2.2.8 : Degré d'absorption d'eau..... | 46 |
| 2.2.9 : Analyse granulométrique..... | 47 |
| 2.2.10 : Module de finesse..... | 49 |
| 2.3 : Les Caractéristiques chimiques du sable de Boussaâda..... | 50 |
| 3 : gravier | 50 |
| 3.1 : Gravier concassé..... | 50 |
| 3.1.1: Origine de gravier..... | 50 |
| 3.1.2 : Classes granulaires..... | 50 |
| 3.1.3 : Résistance à la compression de la roche d'origine..... | 51 |
| 3.2 : Caractéristiques physiques du gravier utilisé..... | 51 |
| 3.2.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche..... | 51 |
| 3.2.1.2 : Masse volumique apparente à l'état compact..... | 52 |
| 3.3 : Masse volumique apparente à l'état lâche et compact de différent mélange gravie sans plaquette et aiguille..... | 52 |
| 3.3.1: Masse volumique apparente à l'état lâche..... | 52 |
| 3.3.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact..... | 53 |
| 3.4 : Appellations des mélanges de gravier | 53 |
| 3.4.1.1 : Masse volumique apparente du gravier ($M_{1,4}^{1,2}$) à l'état lâche..... | 53 |
| 3.4.1.2 : Masse volumique apparente du gravier ($M_{1,4}^{1,2}$) à l'état compact..... | 54 |
| 3.4.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche ($M_{2,4}^{1,2}$)..... | 54 |
| 3.4.2.2 : Masse volumique apparente du gravier ($M_{2,4}^{1,2}$) à l'état compact..... | 54 |
| 3.4.3.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche ($M_{3,4}^{1,2}$)..... | 55 |

| | |
|---|----|
| 3.4.3.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact (M_{3s})..... | 55 |
| 3.4.4.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche (M_4^{atc})..... | 55 |
| 3.4.4.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact (M_4^{atc})..... | 56 |
| 3.5 : Masse volumique absolue..... | 56 |
| 3.5.1 : Porosité, compacité et indice des vides..... | 56 |
| 3.5.2 : Degré d'absorption d'eau..... | 57 |
| 3.5.3: Teneur en eau..... | 57 |
| 3.6 : Masse volumique apparente à l'état lâche et compact de différent mélange de gravie..... | 58 |
| 3.6.1: Appellations des mélanges de gravier..... | 58 |
| 3.6.1.1: Masse volumique absolue du gravier M1..... | 59 |
| 3.6.1.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M1..... | 59 |
| 3.6.1.3: Degré d'absorption d'eau des Mélange M1..... | 59 |
| 3.6.2.1: Masse volumique absolue du gravier M2..... | 60 |
| 3.6.2.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M2..... | 60 |
| 3.6.2.3: Degré d'absorption d'eau des Mélange M2..... | 60 |
| 3.6.3.1: Masse volumique absolue du gravier M3..... | 61 |
| 3.6.3.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M3..... | 61 |
| 3.6.3.3: Degré d'absorption d'eau des Mélange M3..... | 61 |
| 3.6.4.1: Masse volumique absolue du gravier M4..... | 62 |
| 3.6.4.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M4..... | 62 |
| 3.6.4.3 : Degré d'absorption d'eau des Mélange M4..... | 62 |
| 3.7 : Analyse granulométrique..... | 63 |
| 3.7.1 : Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8..... | 63 |
| 3.7.2 : Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16..... | 64 |
| 3.8 : Analyse granulométrique du gravier concassé de différent mélange..... | 64 |
| 3.8.1 : Appellations des mélanges de gravier concassé..... | 64 |
| 3.8.1.1 : Mélanges M1 (0% Plaquette et aiguille, 40% GR3/8, 60% GR 8/16)..... | 65 |
| 3.8.1.2 : Mélanges M2 (10% Plaquette et aiguille, 40% GR3/8, 50% GR 8/16)..... | 66 |
| 3.8.1.3 : Mélanges M3 (10% Plaquette et aiguille, 35% GR3/8, 55% GR 8/16)..... | 67 |
| 3.8.1.4 : Mélanges M4 (15% Plaquette et aiguille, 32.5% GR3/8, 52.5% GR 8/16)..... | 68 |
| 3.9 : Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés..... | 68 |
| 3.9.1 : Essai de résistance au choc (essai Los Angeles)..... | 69 |
| 3.9.1.1 : Principe de l'essai..... | 69 |

| | |
|---|----|
| 3.9.1.2 : Formulation..... | 69 |
| 3.9.1.3 : Classification..... | 70 |
| 3.10 : Caractéristiques chimiques des graviers utilisés..... | 70 |
| 4 : ciment | 70 |
| 4.1 : Caractéristiques du ciment CPJ-CEM II..... | 70 |
| 4.1.1 : Description..... | 70 |
| 4.2.1 : Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé..... | 71 |
| 4.2.2 : Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé..... | 71 |
| 5 : Calcul de la proportion des constituants..... | 72 |
| 5.1 : Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse | 72 |
| 5.1.1 : Données de base | 72 |
| 5.2 : Formulation de Béton à base de : 1 (m3) de béton..... | 72 |
| 5.3 : Formulation de Béton à base de : 1 (m3) de béton (40% G3/8) et (60% G8/16)..... | 72 |
| 5.4 : Formulation des différents mélanges testés..... | 73 |
| 5.4.1 : Mélanges M1 (0% Plaquette et aiguille, 40% GC3/8, 60% GC 8/16) | 73 |
| 5.4.2 : Mélanges M2 (10% Plaquette et aiguille, 35% GC3/8, 55% GC 8/16) | 73 |
| 5.4.3 : Mélanges M3 (15% Plaquette et aiguille, 32.5% GC3/8, 52.5% GC8/16) | 73 |
| 5.4.4 : Mélanges M4 (20% Plaquette et aiguille, 30% GC3/8, 50% GC 8/16) | 74 |
| 5.5 : Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci..... | 74 |
| 5.5.1 : Affaissement au cône d'Abrams..... | 74 |
| 6 : Conclusion..... | 76 |

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|---|----|
| 4.1 : Introduction..... | 77 |
| 4.2 : Représentation et analyse des résultats..... | 78 |
| 4. 2.1 : Masse volumique (apparente et absolue) et porosité des différent mélanges de gravier | 78 |
| 4.3 : Béton à l'état frais | 80 |
| 4.3.1 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton | 80 |
| 4.3.2 : La masse volumique à l'état frais des mélanges | 80 |
| 4.4 : Béton a l'état durci..... | 81 |
| 4.4.1 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton..... | 81 |
| 4.4.2 : Résistance à la compression de différents mélanges à 28 jours éprouvette (10*10*10)..... | 82 |
| 4.4.3 : Résistance à la compression en fonction du temps..... | 83 |

| | |
|--|----|
| 4.4.4 : Résistance à la traction | 84 |
| 4.5 : Conclusion générale | 86 |

| LISTE DE FIGURE..... | PAGE |
|---|-------------|
| CHAPITRE I : CONNAISSANCE GENERALE | |
| Figure 1 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams..... | 6 |
| Figure 2 : Mesure de l'affaissement..... | 7 |
| Figure 3 : Classes de consistance mesurées au cône d'Abrams..... | 7 |
| Figure 4 : Béton frais..... | 8 |
| Figure 5 : gravier concassée et gravier roulé..... | 11 |
| Figure 6 : gravier concassée à forme aiguilles et plaquette..... | 13 |
| Figure 7 : La forme d'un granulat..... | 14 |
| Figure 8 : Modèle de la morphologie de l'auréole de transition d'un béton ordinaire | 19 |
| Figure 9: Etat de l'eau dans les C-S-H..... | 27 |
| Figure10 : Abaque permettant de déterminer C/E..... | 32 |
| Figure 11 : Exemple de tracé de courbe granulométrique..... | 34 |
| CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON : | |
| Figure 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau | 40 |
| Figure 2 : L'essai l'équivalent de sable..... | 45 |
| Figure 3 : Les tamis..... | 47 |
| Figure 4 : La courbe granulométrique du sable (0/5)..... | 49 |
| Figure 5 : La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8)..... | 63 |
| Figure 6 : La courbe granulométrique des graviers concassés (8/16)..... | 64 |
| Figure 7 : La courbe granulométrique des graviers M1..... | 65 |
| Figure 8 : La courbe granulométrique des graviers M2..... | 66 |
| Figure 9 : La courbe granulométrique des graviers M3..... | 67 |
| Figure 10 : La courbe granulométrique du gravier M4..... | 68 |
| Figure 11 : Appareil de l'essai Los Angeles..... | 69 |
| CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION | |
| Figure1: masse volumique apparente des différents mélanges de gravier..... | 78 |
| Figure 2 : Masse volumique absolue des mélanges de gravier..... | 79 |
| Figure 3 : porosité des différents mélanges de gravier..... | 79 |
| Figure 4 : La masse volumique des bétons à l'état frais des mélanges de béton..... | 81 |
| Figure 5 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton..... | 82 |

| | |
|---|----|
| Figure 6 : histogramme de la Résistance à la compression en fonction de mélange de béton..... | 83 |
| Figure 7 : Résistance à la compression en fonction du temps..... | 84 |
| Figure 8 : histogramme de la Résistance à la traction en fonction de mélange de béton.. | 85 |

CHAPITRE I : CONNAISSANCE GENERALE

Tableau 1:Types de béton en fonction de leur destination..... 4

Tableau 2. Types de béton en fonction de leur masse volumique..... 4

Tableau 3: Types de béton en fonction de D_{max} 5

Tableau 4: Types de béton en fonction de leur consistance..... 5

Tableau 5 : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse..... 22

Tableau 6 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable..... 23

Tableau 7 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %)...... 25

Tableau 8 : ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées..... 26

Tableau 9 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône et nombre de chocs..... 31

Tableau 10 : Évaluation de dimension maximale D des granulats à utiliser..... 31

Tableau 11 : Valeurs de G en fonction des dimensions D et qualité des granulats De la formule, on en déduit C /E puis on se réfère à l'abaque ci-après pour déduire C (en kg/m^3)...... 32

Tableau 12 : Correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats..... 33

Tableau 13 : valeurs sont convenables pour des granulats roules sinon il conviendra d'apporter les corrections..... 35

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

Tableau 1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda..... 40

Tableau 2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche..... 41

Tableau 3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact..... 42

Tableau 4 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda..... 43

Tableau 5 : Equivalent du sable de Boussaâda..... 44

Tableau 6 : Comparaison des résultats..... 45

Tableau 7 : Teneur en eau du sable de Boussaâda..... 46

Tableau 8 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda..... 46

Tableau 9 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre) Boussaâda..... 48

| | |
|---|----|
| Tableau 10 : Analyse chimique du sable de Boussaâda..... | 50 |
| Tableau 11 : Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche..... | 51 |
| Tableau 12 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact..... | 52 |
| Tableau 13: Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche..... | 52 |
| Tableau 14: Masse volumique apparente du gravier à l'état compact..... | 53 |
| Tableau 15: Masse volumique apparente du gravier ($\rho_{M1}^{l, \text{ét}}$) à l'état lâche..... | 53 |
| Tableau 16: Masse volumique apparente du gravier ($\rho_{M1}^{c, \text{ét}}$) à l'état compact..... | 54 |
| Tableau 17: Masse volumique apparente à l'état lâche ($\rho_{M2}^{l, \text{ét}}$)..... | 54 |
| Tableau 18: Masse volumique apparente à l'état compact ($\rho_{M2}^{c, \text{ét}}$)..... | 54 |
| Tableau 19: Masse volumique apparente à l'état lâche ($\rho_{M3}^{l, \text{ét}}$)..... | 55 |
| Tableau 20 : Masse volumique apparente à l'état compact ($\rho_{M3}^{c, \text{ét}}$)..... | 55 |
| Tableau 21: Masse volumique apparente à l'état lâche ($\rho_{M4}^{l, \text{ét}}$)..... | 55 |
| Tableau 22 : Masse volumique apparente à l'état compact ($\rho_{M4}^{c, \text{ét}}$)..... | 56 |
| Tableau 23 : Masse volumique absolue du gravier..... | 56 |
| Tableau 24 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides..... | 57 |
| Tableau 25 : Degré d'absorption d'eau du gravier..... | 57 |
| Tableau 26 : Teneur en eau du gravier..... | 57 |
| Tableau 27 : Masse volumique absolue du gravier M_1 | 59 |
| Tableau 28 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M_1 | 59 |
| Tableau 29 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_1 | 59 |
| Tableau 30 : Masse volumique absolue du gravier M_2 | 60 |
| Tableau 31 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M_2 | 60 |
| Tableau 32 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_2 | 60 |
| Tableau 33 : Masse volumique absolue du gravier M_3 | 61 |
| Tableau 34 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M_3 | 61 |
| Tableau 35 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_3 | 61 |
| Tableau 36 : Masse volumique absolue du gravier M_4 | 62 |
| Tableau 37 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M_4 | 62 |
| Tableau 38 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_4 | 62 |
| Tableau 39 : Analyse granulométrique du gravier 3/8..... | 63 |
| Tableau 40 : analyse granulométrique du gravier 8/16..... | 64 |
| Tableau 41 : analyse granulométrique du gravier M_1 | 65 |
| Tableau 42 : analyse granulométrique du gravier M_2 | 66 |

| | |
|---|----|
| Tableau 43 : analyse granulométrique du gravier M ₃ | 67 |
| Tableau 44 : analyse granulométrique du gravier M ₄ | 68 |
| Tableau 45 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé..... | 69 |
| Tableau 46: Classification des roche en fonction du coefficient LA..... | 70 |
| Tableau 47 : Analyse chimique de la pierre concassée..... | 70 |
| Tableau 48 : Caractéristiques du CPJ..... | 71 |
| Tableau 49 : Caractéristiques chimiques du CPJ..... | 71 |
| Tableau 50 : Donnés de bases pour la formulation..... | 72 |

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : masse volumique apparent et porosité des différents mélanges de béton..... | 78 |
| Tableau 2 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton..... | 80 |
| Tableau 3 : La masse volumique à l'état frais des mélanges de béton (éprouvette 10*10*10)..... | 80 |
| Tableau 4 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton..... | 81 |
| Tableau 5 : la résistance à 28 jours des différents mélanges de béton..... | 82 |
| Tableau 6 : Résistance à la compression en fonction du temps..... | 83 |
| Tableau 7 : résistance à la traction à 28 jours des mélanges de béton..... | 84 |

Introduction

Générale

INTRODUCTION GENERALE :

Une société moderne compte de plus en plus d'activités liées à la construction. Cette perpétuelle évolution fait que l'on construit tous les jours des routes, des autoroutes, des ponts, des voies de chemin de fer, des habitations, des barrages etc. L'activité de construction est immanquablement liée à la notion de développement d'un pays.

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, etc.

Mais depuis ces vingt dernières années le béton a subi des développements considérables. Il a profité en particulier des évolutions de la chimie minérale et organique et de l'amélioration des outils de production. Au-delà des progrès constants du matériau, (sur son ouvrabilité, ses performances mécaniques et sa durabilité), les recherches sur les nouveaux bétons se sont considérablement accélérées depuis 10ans et ont abouti aujourd'hui aux solutions les plus innovants tant en termes de conception que de mise en œuvre et d'esthétisme. Les bétons sont devenus les matériaux de la modernité et de l'innovation. L'étendue de leurs performances physiques, mécaniques et esthétiques s'élargit sans cesse.

L'évolution historique des techniques de construction a vu l'utilisation de divers matériaux parmi lesquels on pourra citer le torchis, le bois, la pierre de taille, l'acier et le verre pour les bâtiments, la terre battue, les dalles ou les pavés pour les infrastructures de transport. Chacun de ces matériaux trouve toujours son utilité pour des besoins spécifiques. Mais les méthodes de construction qui répondent aujourd'hui le mieux aux attentes de nos sociétés sont celles qui passent par la mise en œuvre de granulats, qui répondent à la définition de « matériaux granulaires utilisés dans la construction ». Ces matériaux sont issus d'une ressource pratiquement universelle, leur élaboration est relativement simple, leur transport facile, leur mise en œuvre rapide. Aujourd'hui, les mélanges granulaires, bétons, mortiers, graves traitées ou non traitées, enrobés, représentent la solution la plus logique et la plus économique pour la construction des infrastructures.

Ainsi, à l'heure où la préservation de l'environnement est devenue une exigence sociétale, l'exploitation des granulats naturels en carrières permet de s'assurer de la pérennité des

approvisionnement, avec une volonté affichée de concilier les impératifs économiques et environnementaux dans une perspective de développement durable.

Les granulats de part l'importance de leur utilisation à travers le monde constituent après l'air et l'eau, la troisième substance consommée par l'homme.

Les granulats font l'objet d'études de plus en plus poussées pour définir leurs propriétés et leurs caractéristiques. La technologie des bétons s'est développée de telle manière à obtenir des bétons de plus en plus performants avec un degré de technicité induisant des niveaux de performances et de sécurité requis pour la construction des ouvrages, ce qui a imposé une normalisation et une optimisation de la qualité des granulats. Il faut avoir une connaissance précise de ces matériaux utilisés en génie civil. Ils doivent répondre à des critères précis de qualité et de régularité, définis par des normes.

La recherche concernant la validation sur le béton a pour objectif de mettre en évidence l'influence des constituants, l'influence de la teneur des grains de forme d'aiguille et la plaquette dans les graviers concassés sur les qualités d'un béton, notamment leur dosage sur les différents paramètres (propreté, masse volumique.....).

Le mémoire est constitué de trois chapitres.

Introduction générale.

Le premier chapitre Nous donnons les différentes caractéristiques à prendre en compte dans les formulations.

Le deuxième chapitre expose le programme expérimental effectué. Nous avons défini toutes les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des différents granulats, du ciment et de l'eau comme le module de finesse, le pourcentage en fines, l'équivalent de sable, la teneur en eau, Los Angeles, les masses volumiques, la valeur de la porosité inter granulaire. Les analyses granulométriques de chacune des classes granulaires 3/8, 8/16 ont été établies, formules par la méthode Dreux_Gorisse.

La troisième chapitre du mémoire donne les résultats et l'interprétation de l'étude expérimentale menée sur bétons, Les mélanges sont un béton, un béton de graves et quatre recomposés permettant de définir différents pourcentages des classes granulaires utilisées dans la composition des bétons. Les expérimentations consistent en la détermination des résistances mécaniques comme la résistance à la compression à 7 - 14 et 28 jours et la résistance à la traction à 28 jours. Pour donner un sens pratique à ce travail, une étude comparative a été faite, en prenant les résultats d'analyse et de résistance de bétons réalisés et utilisés sur laboratoire 2016.

Une conclusion générale.

Chapitre I

Connaissance

Générale

1. LE BETON

1.1. Définition

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ».

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de génie civil. Il est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

La structure du béton est composée de deux principaux constituants : les granulats et la matrice :

- Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. Les granulats sont obtenus à partir des carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires et artificiels tels que les laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils conditionnent la compacité du matériau ainsi que ses caractéristiques mécaniques.
- La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes. Il existe plusieurs types de matrice parmi lesquelles on trouve : la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. [1]

1.2. Types de bétons :

La classification des bétons se fait suivant différents critères, comme :

1.2.1. Leur destination [2]

| Types de béton | Destination |
|--|--|
| Bétons compactés au rouleau | bétons spéciaux pour réaliser certain type de barrage (barrages poids). |
| Bétons projetés | Pour réaliser les travaux miniers et souterrains, pour la réparation des ouvrages détériorés |
| Bétons de construction | destinés à la construction courante des bâtiments ou des ouvrages de faible importance |
| Bétons autonivelants (autoplaçants) | Pour les ouvrages présentant un ferrailage vraiment dense ou d'une forme variable difficile à mouler (courbures multiples). |
| Bétons coulables sous l'eau | Pour la construction ou la réparation des barrages, les structures portuaires, les tunnels |
| Bétons fibrés | Pour les dallages (fibres métalliques), piste d'aéroport ou des pièces techniques telles que les tuyaux, gaines (fibres de verre). |

Tableau 1:Types de béton en fonction de leur destination [2]**1.2.2. Leur masse volumique :**

Selon la classification européenne, il y a trois classes de béton qui sont représentées ci-dessous dans le tableau suivant :

| Types de béton | Béton léger | Béton normal | Béton lourd |
|--|--------------------|---------------------|--------------------|
| Masse volumique (kg/m³). | De 800 à 2000 | De 2000 à 2600 | Supérieure à 2600 |

Tableau 2. Types de béton en fonction de leur masse volumique [3]

1.2.3. Leur granularité :

La classification se fait en fonction de la dimension maximale des granulats D_{max} :

| Classes du béton | Béton fin | Béton moyen | Béton gros |
|--|-------------------|---------------------|---------------------|
| Dimension maximale des granulats D_{max} | 8 D_{max} 16 mm | 16 D_{max} 31.5mm | 31.5 D_{max} 63mm |

Tableau 3: Types de béton en fonction de D_{max} [4].

1.2.4. Leur consistance (cône d'Abrams) :

Elle est définie en utilisant le cône d'Abrams, et on obtient les cinq classes suivantes :

| Classe | Consistance du béton | Affaissement (en mm) au cône d'Abrams |
|--------|----------------------|---------------------------------------|
| S1 | Ferme | 10 - 40 |
| S2 | Plastique | 50 - 90 |
| S3 | Très plastique | 100 - 150 |
| S4 | Fluide | 160 - 210 |
| S5 | Très fluide | ≥ 220 |

Tableau 4: Types de béton en fonction de leur consistance [5]

1.3 : Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

1.3.1 : Le béton frais: mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

1.3.2 : Le béton durci: solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

1.3.3 : Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage [6].

- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau. [7]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [8], [9].

1.3.3.1 : Affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance. [10]

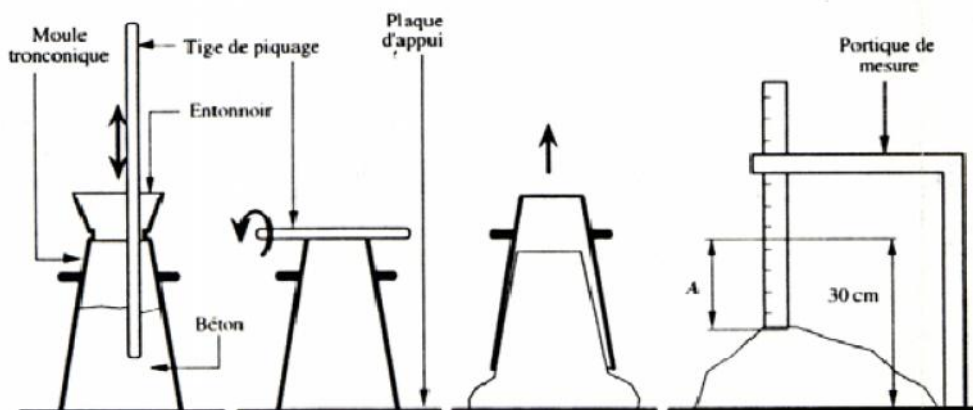


Figure 1 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams. [10]



Figure 2 : Mesure de l'affaissement. [10]

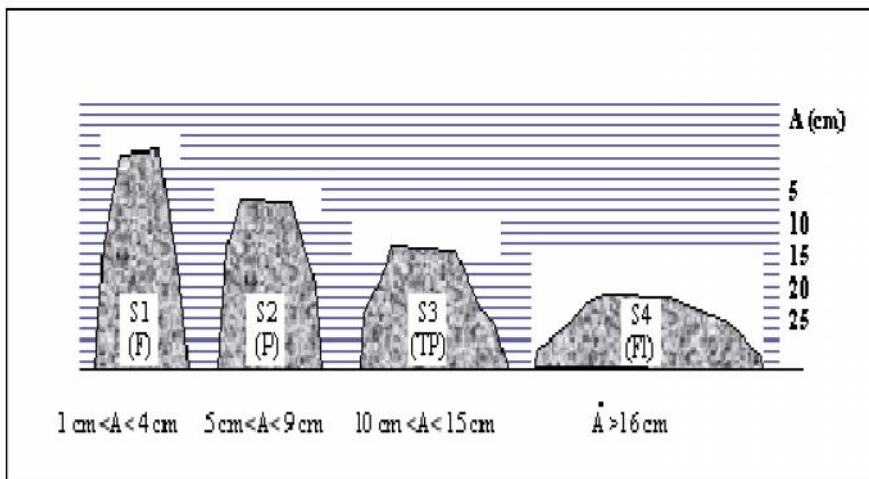


Figure 3 : Classes de consistance mesurées au cône d'Abrams.

1.3.3.2. La masse volumique du béton frais :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = (M_2 - M_1) / V \quad (1.1)$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m³).

m₁ : est la masse du récipient (kg).

m_2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3).

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches.



Figure 4 : Béton frais [11]

1.3.4 : Propriétés du béton durci :

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

1.3.4.1. Résistance à la compression : [12]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de

compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_c = \frac{F}{A \cdot C} \quad (1.2)$$

où :

- f_c : résistance en compression, exprimée en méga pascal (N/mm²) .
- F : charge maximale, exprimée en Newtons .
- $A \cdot C$: l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm²) près.

1.3.4.2 : Résistance à la traction par flexion : [13]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NFP18-407(NA428), munie d'un banc de flexion à 4 points. Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{P \cdot A}{2} \quad (1.3)$$

et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est :

$$f_{tj} = \frac{6M}{a^3} \quad (1.4)$$

la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$f_{tj} = 1.8 \frac{P}{a^2} \quad (1.5)$$

2 : LES CONSTITUANTS DU BETON :**2.1 : Les granulats :****2.1.1 : Définition :**

On appelle granulat un matériau granulaire utilisé dans le domaine de construction, soit lié à d'autres substances (liant, bitume) pour obtenir mortier, bétons, bétons routiers ...etc., soit non lié comme les ballasts des voies ferrées, les granulats pour le système de drainage. Il est constitué de plusieurs grains minéraux de différentes dimensions comprises entre 0 et 125 mm le plus fréquemment mais peuvent être allés jusqu'à 150 mm par exemple pour des exigences d'utilisations (Cas des barrages). Le granulat peut être de provenance naturelle ou artificielle.

2.1.2 : Granulats roulés et granulats concassés [7] :

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

2.1.2.1 : Les granulats de roche meuble :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion.

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

2.1.2.2 : Les granulats de roche massive :

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

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.



Figure 5 : gravier concassée et gravier roulé

2.1.3 : Caractéristiques des granulats :

Les granulats sont caractérisés par des spécificités qu'ils doivent satisfaire pour réaliser une bonne utilisation dans différents domaines. Ces spécifications dites caractéristiques des granulats sont bornées par des normes et des exigences. Elles servent à prendre en compte l'utilisation, la fiabilité, l'économie en se basant sur les recherches et les expériences scientifiques.

On distingue :

2.1.3.1 : Granulométrie:

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un gravier. Elle consiste à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560).

2.1.3.2 : Classes granulaires:

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoirs (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 rencontrés (Norme NFP18-101)[14] : • Les fines 0/ D avec $D = 0,08$ mm.

- Les sables 0/ D avec $D = 6,3$ mm.
- Les gravillons d/D avec $d = 2$ mm et $D = 31,5$ mm.
- Les cailloux d/D avec $d = 20$ mm et $D = 80$ mm.

2.1.3.3: Forme des granulats:

On distingue les formes des granulats suivantes :

- Forme cubique (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur inférieur à 2)
- Forme irrégulière (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur de 2 à 3)
- Forme anguleuse (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur supérieur à 3)

Cette dernière forme incluse les formes d'aiguilles et de plaquette.

Dans la pratique c'est difficile de procurer les graviers de forme cubique. Le gravier roulé avec des surfaces lisses et formes rondes donnent une bonne maniabilité, tandis que la pierre concassée avec des formes anguleuses et surfaces rugueuses donne une mauvaise maniabilité dans les mêmes conditions.

Ont indiqué le comportement négatif des grains de forme d'aiguille et de plaquette qui peuvent rendre le gravier plus poreux, peuvent diminuer la maniabilité et la résistance du béton, et causer des difficultés pour le compactage, par conséquent la dépense en ciment sera plus grande, c'est pourquoi on préfère les granulats cubiques aux plaquettes et aux aiguilles.

On ne permet l'utilisation des graviers sous formes d'aiguille et de plaquette qu'en faible quantité.

D'autre part avec un bon compactage on peut obtenir des bétons de propriétés mécaniques élevées avec des graviers de forme de lamelle. on indique que la présence des graviers de forme de plaquette influe positivement sur la résistance du béton à la compression, flexion et fendage.

Pour une teneur en gravier de forme de plaquette égale à 30 % dans le béton la maniabilité ne change pas, tandis que la résistance à la compression augmente de 20%, celle à la flexion et fendage augmente de 5%.

Remarquons également que le gravier contient des grains légèrement arrondis avec la surface lisse, tandis que les grains de la pierre concassée ont des formes irrégulières avec arêtes vives et surface rugueuse, ce qui influe considérablement sur la maniabilité du béton frais et sur la résistance du béton durci.

Le gravier roulé augmente de l'ordre de 10 % la fluidité du béton mais il diminue 10% sa résistance par rapport à la pierre concassée.

C'est une comparaison seulement relative sur le comportement de deux sortes de gravier dans le béton frais et le béton durci.



Figure 6 : gravier concassée à forme aiguilles et plaquette.

2.1.3.3.1 : Coefficient volumétrique:

Pour un grain, c'est le rapport entre le volume v du grain considéré et la sphère circonscrite de diamètre d, d étant la plus grande dimension du grain. Pour un grain :

$$C = \frac{v}{\frac{\pi d^3}{6}} \quad (1.6)$$

Un granulat constitué d'un ensemble de grains :

$$C = \frac{\sum v_i}{\sum \frac{\pi d_i^3}{6}} = \frac{V}{\frac{\pi}{6} \sum d^3} \quad (1.7)$$

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre d'éclats et d'aiguilles. Un coefficient élevé correspond à un granulat dit : "cubique" ou "arrondi".

2.1.3.3.2 : Indice de forme:

- La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques (Fig. 6) :
- 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 granula

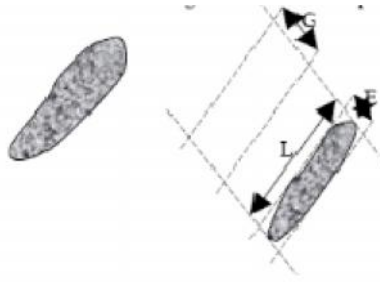


Figure 7 : La forme d'un granulat

2.1.3.4 : Coefficient d'aplatissement:

L'effet négatif des éléments plats, sur l'ouvrabilité et le degré de compactage pour les bétons, et sur les performances des couches de roulement est connu. Il se crée le problème de manque de rugosité nécessaire et on est face à des couches de roulement trop glissantes. Les méthodes de fabrication des granulats, malheureusement, impose l'existence des plats et ne nous permet que de limiter le pourcentage de ces derniers afin d'obtenir un bon granulat. Pour cela le coefficient d'aplatissement sert comme test permettant d'évaluer la forme des granulats. [13]

Le coefficient d'aplatissement A est le rapport de la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement $D_i/2$ en gramme à la somme des masse des granulats élémentaires d_i/D_i en grammes. Ce rapport représenté ci-dessous est exprimé en pourcentage et arrondi au nombre entier le plus proche.

Plus A est élevée, plus le gravillon contient d'éléments plats. Une mauvaise forme a une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation. On le note :

$$A = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (1.8)$$

Où :

M2 : la somme des masses des granulats élémentaires d_i/D_i en grammes.

M1 : la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement $D_i/2$ en gramme.

2.1.4 : Caractéristiques intrinsèques :

Ce sont les propriétés appartenant au granulat lui-même et qui sont inhérentes au temps. Elles sont liées à l'origine des roches ou des produits constituant le granulat. Parmi ces caractéristiques on cite les suivantes :

2.1.4 .1: Caractéristiques physiques et mécaniques

2.1.4 .1.1: Résistance à l'usure des gravillons:

Elle est déterminée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau ou à sec. Cet essai consiste à reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure par frottement.

Cette résistance est caractérisée par le coefficient Micro-Deval qui représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai (éléments inférieurs à 1.6mm). Plus le coefficient MD est faible, plus la résistance à l'usure des gravillons, est élevée. [15]

On peut aussi exploiter un autre coefficient pour évaluer la résistance à l'usure des gravillons et aussi des cailloux, c'est le coefficient Deval " D ", il est déterminée à partir d'un essai Deval qui a pour objet de définir la résistance à l'usure des gravillons et des cailloux par frottement mutuel dans un cylindre à sec ou en présence d'eau.

Il est donné par la formule suivante :

$$MDE = \frac{m}{500} \times 100 \quad (1.9)$$

Où m : la masse des éléments fins inférieurs à 1.6 mm produits lors de l'essai.

2.1.4 .1.2: Résistance à la fragmentation des gravillons :

Elle est déterminée par le coefficient Los-Angeles. Le principe de cet essai est la détermination du coefficient dit " Los-Angeles " pour évaluer la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques.

Il consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques. Le coefficient LA représente la proportion d'éléments fins produits au cours de l'essai. Plus le coefficient, est faible plus la résistance des gravillons, est élevée.

A l'aide d'un autre coefficient on peut également évaluer la résistance d'un granulat à la fragmentation, c'est le coefficient de fragmentation dynamique.

Il est déterminé à partir d'un essai qui consiste à mesurer la quantité d'éléments fins inférieurs à 1.6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée. La formule qui sert à calculer le coefficient de fragmentation dynamique est la même que celle du coefficient Los-Angeles.

2.1.4 .1.2: Résistance au polissage des gravillons:

Cette résistance est évaluée à partir d'un coefficient de polissage accéléré des gravillons, ce dernier se calcule à partir d'un essai qui fournit une mesure relative caractérisant l'aptitude des gravillons à se polir. Plus le coefficient de polissage accéléré est élevé, plus la résistance au polissage est importante. [16]

2.1.4 .1.3: Résistance des gravillons au gel-dégel:

La vulnérabilité du granulats dans le béton à l'action du gel-dégel est en fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton (utilisation par exemple d'air entraîné). Concernant le granulats lui-même la vulnérabilité est en fonction de trois critères, l'absorption d'eau, la résistance à la fragmentation après l'essai gel-dégel et sa sensibilité au gel. [17]

2.1.4 .1.4: La masse volumique :

On appelle masse volumique d'un corps, la masse de l'unité de volume de ce corps.

On distingue :

- **Masse volumique apparente :**

masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

- **Masse volumique absolue :** masse de l'unité de volume d'un corps sans tenir compte des vides qu'elle contient.

- **Masse volumique réelle :** masse de l'unité de volume absolue de corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume des vides inter-granulaires.

2.1.4 .1.5: La porosité :

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. Elle influe sur l'aptitude de résister aux sollicitations mécaniques (compression statique, usure, abrasion...etc.), chimiques (attaque en ions solvants) et surtout à la tenue au gel-dégel ; c'est pour ça que la porosité est un critère important et sert à améliorer les performances des bétons notamment leur durabilité.

La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555). [18]

$$P\% = \frac{\rho_{abs}}{\rho_{app}} * 100 \quad (1.10)$$

2.1.4 .1.6: Teneur en eau :

Elle est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon, exprimée en pourcentage. La teneur en eau est un facteur important pour adapter les proportions des constituants lors de la formulation des bétons afin d'éviter le phénomène de foisonnement ou la perturbation de la consistance des bétons.

2.1.4 .1.7: Coefficient d'absorption d'eau:

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 est appelé 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 que 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 mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NFP 18554 et 18555). [19]

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pourcent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sèche}}{M_{sèche}} * 100 \quad (1.11)$$

Avec :

M_{humide} la masse humide constante de l'échantillon après immersion;

$M_{sèche}$ la masse sèche constante de l'échantillon après séchage à l'étuve 105°C.

2.1.4.1: Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice):

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali- réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Il doit être possible de connaître la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton et déterminer la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faïençage ou d'éclatement du béton [13]

2.1.4.1.1: Teneur en chlorure :

Les ions de chlorure modifient la cinétique d'hydratation du liant et favorisent la corrosion des armatures ou des câbles de précontrainte. Les normes fixent les limites de la teneur en chlorure des bétons en différenciant les bétons non armés, armés, ou précontraints. Dans le cas où la valeur de la teneur en chlorure dépasse la limite recommandée, le producteur doit communiquer cette valeur pour permettre l'établissement du bilan des chlorures dans la formulation des bétons.

2.1.4.1.2: Friabilité des sables :

La friabilité des sables est une mesure globale d'homogénéité appliquée aux sables alluvionnaires et aux produits de démolition. Une valeur élevée indique une forte proportion d'éléments tendres ou friables nuisibles à l'aspect des parements et à la durabilité des bétons surtout des dallages et des chaussées.

Le coefficient de friabilité des sables est le rapport de la masse m , des éléments inférieurs à 0.1 mm, produits au cours de l'essai de fragmentation du sable dans un cylindre en rotation à l'aide d'une charge et en présence d'eau, sur la masse de matériau soumis à l'essai. Le rapport est exprimé en pourcentage.

2.1.4.1.3: Teneur en matière organique :

La présence de la matière organique peut perturber la prise des bétons, faire chuter les résistances surtout au jeune âge et donner lieu à des taches sur les parements. Pour les sables un test calorimétrique est réalisé et pour les sables non conformes, on fait des essais complémentaires : comparatifs de résistance sur mortiers.

2.1.4.1.4: Teneur en sulfates (SO_3) :

Les sulfates solubles (gypse, plâtre) en faible proportion peuvent perturber la prise et modifier les effets des adjuvants (réducteur d'eau). Cette action dépend en fait de la qualité de SO_3 présente dans le béton.

2.1.4.1.5: Teneur en soufre :

Les sulfures (pyrites) présents dans certains granulats (calcaires primaires notamment) peuvent s'oxyder et se transformer en sulfates pouvant donner lieu à des réactions expansives (formation d'ettringite) avec le ciment. Cette oxydation s'accompagne souvent de la production de taches de rouille sur les parements, et lorsque les grains de pyrites sont assez gros (millimétriques), on obtient des pustules et des éclatements.

2.1.4.1.6: Résistance au choc thermique :

Les granulats doivent être résistants à la chaleur.

2.1.5 : L'interface pâte de ciment/granulat [20]:

La liaison qui s'établit au cours de l'hydratation entre la pâte de ciment et les granulats se traduit par une zone de pâte particulière appelée " auréole de transition " ou interface pâte/granulats [Maso, 1980]. Son épaisseur augmente avec la taille des granulats mais est toujours inférieure à 50 m. Elle se caractérise par une porosité 30% plus importante que celle de la pâte de ciment et une orientation préférentielle des hydrates. Plusieurs modèles décrivent cette zone de transition [Monteiro, 1986], Sur la(Fig.7),le modèle de [Diamond, 1986] pour un béton ordinaire est présent.

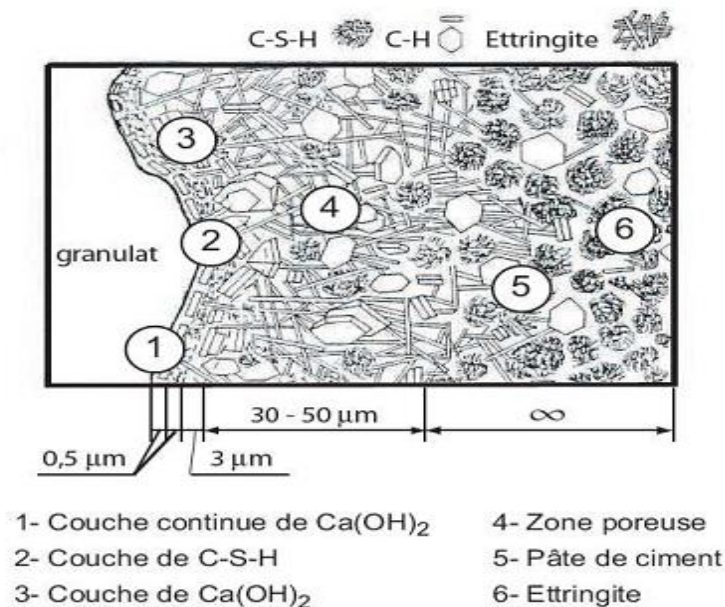


Figure 8 : Modèle de la morphologie de l'auréole de transition d'un béton ordinaire [Diamond, 1986]

On observe une zone de pâte hydratée particulière autour des granulats. La première couche la plus proche de la surface des granulats, très compacte, est composée de cristaux de portlandite orientés perpendiculairement aux granulats [Diamond, 1986]. La deuxième couche d'épaisseur approximative de 0,5 m est composée de feuillets de C-S-H. Après une deuxième couche de portlandite Ca(OH)₂, nous passons dans la zone de forte porosité avec des grains de grande dimension et de faible cohésion et par conséquent de moindre résistance mécanique par rapport à la matrice. Cette zone représente le point faible des bétons soumis aux sollicitations mécaniques et les premières fissures contournent les granulats et passent à travers la matrice.

La nature des granulats influence la qualité de la zone de transition. Les granulats calcaires (réactifs) présentent les plus fortes liaisons avec la pâte de ciment du fait des réactions chimiques qui se produisent au cours du temps et augmentent les forces d'adhésion. La réaction entre le CaCO_3 provenant des granulats calcaires et les aluminates tricalciques et les alumino-ferrites tétracalciques engendrent une formation de monocarbo-aluminates de calcium ($[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6\cdot\text{H}_2\text{O}]_2\text{CO}_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ainsi, la zone de transition entre les granulats calcaires et la pâte de ciment est ainsi plus résistante et de perméabilité plus faible [Gaweska Hager, 2004]. L'augmentation de la résistance du matériau béton obtenue avec les granulats de cette nature a été observée par [Malier, 1992], contrairement aux granulats de type quartz (comme les granulats siliceux) qui sont neutres par rapport à la pâte de ciment [20].

La formation de ces C-S-H génère une réduction de la porosité également accentuée par l'effet de remplissage (effet filler) de cette fine, améliorant ainsi les performances mécaniques du matériau.

2.2 : LE SABLE:

2.2.1 : Définition: On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre $80\ \mu\text{m}$ et $05\ \text{mm}$; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à $6,3\text{mm}$ et dont le passant à $80\ \mu\text{m}$ n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à $5\ \text{mm}$, non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination. [21]

2.2.2 : Origine des sables : [21]

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants ; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre $0,2\text{mm}$ et $0,5\text{mm}$

est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir :

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau).
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent).
- Grains non usés.

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects : granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté,...etc. [21]

2.2.3 : Classification des sables:

2.2.3.1 : Sable grossier : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

2.2.3.2 : Sable moyen : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.

2.2.3.3 : Sable fin : Plus de 75% des éléments supérieurs à 80 µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves. [14]

2.2.4 : Module de finesse M_f :

Le module de finesse M_f est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2.2 et 2.8; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. [14]

Norme Française [NFP18-540]

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$M_{Finesse} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Refus cumulés de tamis}[(5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,3 \text{ et } 0,16)]}{100} \right)}{100}$$

- Pour $1,8 < M_f < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

- Pour $2,2 < M_f < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < M_f < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

| Sable | Module de finesse MF | Refus cumul sur les tamis 0.633 en % |
|-------|----------------------|--------------------------------------|
| Gros | 3.4 à 2.4 | 50 à 75 |
| moyen | 2.5 à 1.9 | 35 à 50 |
| fin | 2.0 à 1.5 | 20 à 35 |

Tableau 5 : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse.

2.2.5 : Équivalent de sable selon la norme: (NA454) [22]

Les sables utilisés dans différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importantes des argiles fines nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans les sable peut être déterminée grâce à l'essai de propreté appelé "équivalent de sable".

Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable. Cet essai peut être réalisé par deux types de mesure :

- Mesure avec une règle de mesure (ESV).
- Mesure avec un piston (ESP).

$$ESV = \frac{h_1}{h_2} * 100\% \quad ESP = \frac{h_2}{h_1} * 100\% \quad (1.12)$$

| E.S.V | E.S.P | Nature Et Qualité Du Sable |
|-----------------------|-----------------------|--|
| $E_{sv} < 65$ | $E_{sp} < 60$ | sable argileux ; à rejeter pour des bétons de qualité |
| $65 \leq E_{sv} < 75$ | $60 \leq E_{sp} < 70$ | sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante |
| $75 \leq E_{sv} < 85$ | $70 \leq E_{sp} < 80$ | sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité. |
| $E_{sv} \geq 85$ | $E_{sp} \geq 80$ | sable très propre : absence presque totale de fines argileuses |

Tableau 6 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable.

2.3 : Le ciment:

2.3.1: Définition :

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Il ne faut pas confondre :

Le ciment, poudre commercialisée en sac ou en vrac, avant son gâchage avec l'eau; la pâte de ciment, au moment du gâchage du ciment avec l'eau; le ciment hydraté ou pâte de ciment durcie lorsque le mélange eau + ciment s'est solidifié [23].

2.3.2: Les constituants du ciment [14]

2.3.2.1: fabrication du clinker :

Le composé de base des ciments est un mélange de chaux apportée par des roches calcaires et d'alumine, de silice et d'oxyde de fer apportés par des argiles. Calcaires et argiles sont extraits de carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker Portland.

Le clinker, auquel on ajoute quelque pourcentage de gypse est ensuite finement broyé de manière à obtenir une poudre dont la masse volumique absolue varie de 3,0 à 3,2 kg/m³.

2.3.2.2: Autres Constituants Des Ciments :

Ils modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. De part leur nature, ils permettent aussi d'abaisser le prix de revient.

2.3.2.2.1: laitier granulé de Haut fourneau (S) : Il est obtenu par refroidissement rapide de scories provenant de la fusion de minerai de fer dans un haut fourneau. Le laitier a des propriétés hydrauliques.

2.3.2.2.2: Pouzzolanes naturelles (Z) : Ce sont des roches d'origine volcanique ou sédimentaires ayant une composition appropriée, ou des argiles et schistes activés thermiquement. Les pouzzolanes n'ont pas de propriété hydrauliques, mais en présence de la chaux libérée par le clinker au cours des on hydratation, elles forment des hydrates stables : on dit qu'elles ont des propriétés pouzzolaniques.

2.3.2.2.3: Cendres volantes (V ou W) : Elles proviennent du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques au charbon. On distingue : Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques; Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

2.3.2.2.4: Schistes calcinés(T) : Ce sont des schistes portés à une température de 800°C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

2.3.2.2.5: Calcaires (L) : Ils doivent être constitués de 75% au moins de CaCO₃.

2.3.2.2.6: Fumées de silice (D) : Proviennent de l'industrie du silicium et des alliages. Elles ont des propriétés pouzzolaniques.

2.3.2.2.7: Fillers(F): Ce sont des constituants secondaires et n'excèdent pas 5% dans la composition des ciments. Ce sont des matières minérales naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

2.3.3: Classification des ciments:

2.3.3.1: Classification en fonction de leur composition : norme NFP15-3

| | Ciment Portland | Ciment portland composé | | Ciment de haut fourneau | | | Ciment pouzzolanique | | Ciment au laitier et aux cendres | |
|------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| | CPA-CEM I | CPJ-CEM II/A | CPJ-CEM II/B | CHF-CEM III/A | CHF-CEM III/B | CLK-CEM III/C | CPZ-CEM IV/A | CPZ-CEM IV/B | CLC-CEM V/A | CLC-CEM V/B |
| Clinker (K) | ≥ 95% | ≥ 80% ≤ 94% | ≥ 65% ≤ 79% | ≥ 35% ≤ 64% | ≥ 20% ≤ 34% | ≥ 5% ≤ 19% | ≥ 65% ≤ 90% | ≥ 45% ≤ 64% | ≥ 40% ≤ 64% | ≥ 20% ≤ 39% |
| Laitier (S) | * | 6% ≤ | 21% ≤ | ≥ 36% ≤ 65% | ≥ 66% ≤ 80% | ≥ 81% ≤ 95% | * | * | ≥ 18% ≤ 30% | ≥ 31% ≤ 50% |
| Pouzzolane (Z) | * | total | total | * | * | * | 10% ≤ total | 36% ≤ total | 18% ≤ total | 31% ≤ total |
| Cendres siliceuses (V) | * | ≤ 20% | ≤ 35% | * | * | * | ≤ 35% | ≤ 55% | ≤ 30% | ≤ 50% |
| Fumée de silice (D) | * | (fumée) | (fumée) | * | * | * | (fumée ≤ 10%) | (fumée ≤ 10%) | * | * |
| Cendres calciques (W) | * | de | de | * | * | * | * | * | * | * |
| Schistes (T) | - | silice | silice | - | - | - | - | - | - | - |
| Calcaires (L) | * | ≤ 10%) | ≤ 10%) | * | * | * | * | * | * | * |
| Fillers (F) | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

Tableau 7 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %).

2.3.3.2: Classification en fonction de leur résistance:

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous-classes sont associées aux 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées.

Les classes doivent respecter les spécifications indiquées dans (Tableau 8) ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées. [14]

| Classe | Résistance à la compression (MPa) norme EN 196-1 | | | | Retrait à 28 jours (1) | Début de prise | Stabilité |
|--------|--|----------|------------------|--------|------------------------------|-------------------|-----------|
| | au jeune âge | | à 28 jours | | norme | norme | norme |
| | 2 jours | 7 jours | mini | maxi | P 15-433 | EN 196-3 | EN 196-3 |
| 32,5 | | (17,5) | ≥ 32,5 (30) | ≤ 52,5 | ≤ 800 | ≥ 90 | ≤ 10 |
| 32,5 R | ≥ 13,5 (12) | | ≥ 32,5 (30) | ≤ 52,5 | ≤ 1000 | ≥ 90 | ≤ 10 |
| 42,5 | ≥ 12,5 (10) | | ≥ 42,5 (40) | ≤ 62,5 | ≤ 1000 | ≥ 60 | ≤ 10 |
| 42,5 R | ≥ 20 (18) | | ≥ 42,5 (40) | ≤ 62,5 | ≤ 1000 | ≥ 60 | ≤ 10 |
| 52,5 | ≥ 20 (18) | | ≥ 52,5 (50) | | | ≥ 60 | ≤ 10 |
| 52,5 R | ≥ 30 (28) | | ≥ 52,5 (50) | | | ≥ 60 | ≤ 10 |

Tableau 8 : ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées [14].

2.4 : L'eau de gâchage :

L'eau est un constituant du béton nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. Une classification classique permet de distinguer trois types d'eau [10] :

2.4.1: L'eau chimiquement liée: Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.

2.4.2: L'eau adsorbée:

Est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs des forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de VAN DER WAALS. La structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas la.

2.4.2: L'eau libre:

Cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les macropores.

2.4.3: L'eau dans la pâte de ciment: [20]

L'eau présente dans les C-S-H et celle présente dans les zones d'adsorption empêchée jouent un rôle majeur dans le comportement différé du béton. Leurs caractéristiques sont les suivantes:

L'eau dans les C-S-H: A partir de multiples méthodes expérimentales, Sierra, a pu identifier dans la structure des C-S-H la présence de l'eau sous trois formes, classées ici par ordre décroissant d'énergie de liaison avec le solide (Figure .8) :

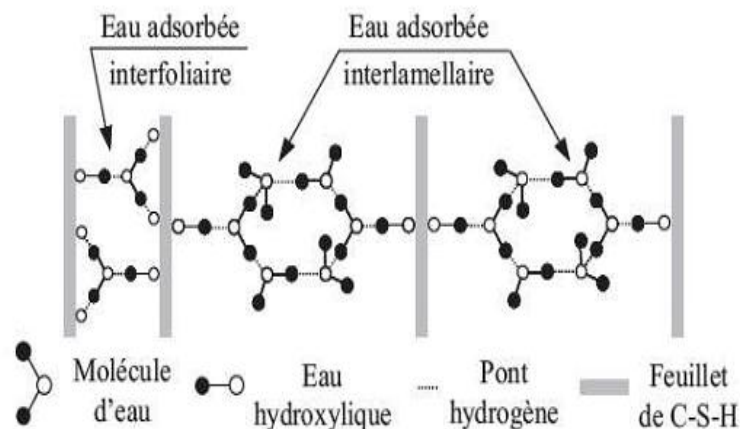


Figure 9: Etat de l'eau dans les C-S-H.

2.4.4: L'eau hydroxyle (groupement O-H):

Elle est liée aux atomes de silicium et de calcium à la surface des feuillets.

2.4.5: L'eau inter foliaire (ou inter feuillet):

Elle est liée aux feuillets par des groupements hydroxyles. Elle intervient dans la cohésion intrinsèque de la lamelle.

2.4.6: L'eau inter lamellaire:

Elle est soit fixée à la surface des lamelles par un hydroxyle, soit liée à d'autres molécules d'eau.

2.5: Les adjuvants :

Les adjuvants sont utilisés dans le but de faciliter la mise en œuvre des BCR, d'adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, de réduire les coûts de mise en œuvre, d'améliorer les propriétés du BCR durci voire même de lui conférer des propriétés nouvelles.

Toutefois, dans le cas du BCR, la durée courte de malaxage et la faible quantité d'eau font qu'il y a une atténuation de l'effet des adjuvants, d'où une augmentation du dosage en adjuvant par rapport au béton plastique afin d'accroître leur efficacité. Pas mal de précautions doivent être prises pour leur utilisation. Il est même recommandé de réaliser des essais au laboratoire afin de déterminer le dosage optimal et de mesurer l'effet sur les propriétés du BCR frais et durci.

Les principaux adjuvants généralement utilisés dans le BCR sont :

2.5.1.1: les adjuvants retardateurs de prise :

Ces adjuvants augmentent la durée de transport et de mise en place du béton, permettent de maintenir longtemps la consistance recherchée du béton ou de ménager la contrainte des reprises de bétonnage.

2.5.1.2: les adjuvants réducteurs d'eau :

Ils ont pour rôle, à consistance égale de réduire le dosage en eau et à dosage en eau constant d'augmenter l'affaissement au cône d'abrams. Ces adjuvants sont couramment employés dans la réalisation des BCR puisque permettant une amélioration de l'homogénéité de la pâte. Cependant, ces adjuvants employés à fort dosage peuvent avoir un effet retardateur de prise.

L'utilisation de certains adjuvants dans un chantier de BCR n'est pas courante. Ces adjuvants sont les suivants :

2.5.1.3: Les adjuvants accélérateurs de prise.

2.5.1.4: Fluidifiants :

Ces derniers ne sont pas employés puisque entraînant une très grande maniabilité alors que l'effet d'une maniabilité trop élevée est néfaste pour un mélange de béton (ressuage, déformation excessive à la suite du compactage...).

2.5.2 : Rôle des différents éléments constituant le béton:

- **Ciment** : c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **L'eau**: c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Les granulats** : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Le sable**: il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

2.5.3 : Caractéristiques chimiques et diverses

2.5.3.1 : Réaction alcali-silice (alcali-réaction) :

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. [24]

Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali-réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Il doit être possible de connaître la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton et déterminer la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faïençage ou d'éclatement du béton. [25]

2.6: QUELQUES METHODES DE COMPOSITION DU BETON :

2.6.1: Introduction :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage.

En général, il existe deux sortes de méthodes qui sont dites : « à granulométrie continue » et « à granulométrie discontinue ».

Les méthodes proposées sont nombreuses, on ne citera que les méthodes courantes dans la suite.

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

- Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).
- Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

2.6.2: Méthode de Bolomey : [27]

Pour une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

$$P = A + C \left(100 - \frac{d}{A \sqrt{D}} \right) \quad (1.13)$$

p : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.

d : ouverture d'un tamis en mm

D : diamètre du plus gros grain en mm.

A : varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

2.6.3: Méthode de Faury : [27] [26]

Selon Faury, la courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est théoriquement une droite. Cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($< D/2$) des gros grains ($> D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée

Y est calculée par la formule suivante :

$$Y = A + 1' \frac{\sqrt[5]{D} - \frac{B}{D}}{D + \frac{B}{D-0.75}} \quad (1.14)$$

A : se choisit dans un tableau de valeurs variant de 22 à 38.

B : varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

r : rayon moyen du moule.

L'axe des ordonnées est gradué linéairement et l'axe des abscisses en échelle proportionnelle à $\sqrt[5]{D}$ pour le traçage de la courbe de référence de Faury.

2.6.4 : Méthode de Dreux-Gorisse (la méthode utilisée) : [27]

La méthode de Dreux-Gorisse est en ce moment la plus utilisée en ce qui concerne les dosages de béton. On peut dire que c'est une combinaison de méthodes : elle s'inspire à la fois des méthodes scientifiques, des approches empiriques et aussi une approche statistique.

Dans la suite on essaiera de donner le chemin à suivre pour bien composer les bétons.

2.6.4.1: Données de base :

2.6.4.1.1: nature de l'ouvrage :

Il est nécessaire de connaître la nature de l'ouvrage : ouvrage massif, faiblement ou très ferraille, épaisseur minimale, couverture par rapport au coffrage, ...

2.6.4.1.2: Résistance souhaitée :

On note R_c la résistance à la compression que le béton doit avoir et on note R_{c28} sa résistance à 28 jours. Mais pour garantir la sécurité il faut que $R_{c28} > R_c$.

On admet que :

$$R_{c28} = R_c + 15\% \left(\text{ou } 20\% \right) \quad (1.15)$$

2.6.4.1.3: consistance desirée :

Il est nécessaire de connaître la consistance qui sera mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams.

| Plasticité | Serrage | Affaissement A en cm | N nombre de chocs tests CES |
|------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Béton très ferme | Vibration puissante | 0 à 2 | 60 |
| Béton ferme | Bonne vibration | 3 à 5 | 30 à 50 |
| Béton plastique | Vibration courante | 6 à 9 | 15 à 25 |
| Béton mou | Piquage | 10 à 13 | 10 à 15 |
| Béton liquide | Léger Piquage | 14 | <10 |

Tableau 9 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône et nombre de chocs.

C'est donc les données du problème à résoudre, dans la suite on dira que ce sont les solutions à combiner.

2.6.4.1.4: dimension maximale des granulats :

La dimension maximale D des granulats peut être définie à partir de plusieurs paramètres.

| Caractéristiques de la pièce à bétonner | Granulats D | |
|--|------------------------|-----------|
| | Roulés | Concassés |
| e espacement entre armatures horizontales | D 0.9 e | D 0.8 e |
| c couvertures entre armatures et coffrages | D 0.8 c | D 0.7 c |
| r' rayon moyen des mailles de ferrailage | D 1.8 r' | D 1.6 r' |
| r rayon moyen du moule | D 1.2 r | D r |
| hm épaisseur minimale | $D \leq \frac{h_m}{4}$ | |

Tableau 10 : Évaluation de dimension maximale D des granulats à utiliser.

2.6.4.1.5: dosage en ciment :

On évalue C/E en fonction de la résistance moyenne désirée R_{C28} :

$$R_{C28} = G + R_{cv} \quad (1.15)$$

R_{C28} : résistance moyenne en compression désirée (à 28 j) en bars ;

R_{CV} : classe vraie du ciment (à 28 j) en bars ;

C : dosage en ciment (en kg/m³) ;

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour 1 m³) ;

G : coefficient granulaire.

| valeurs de G coefficient granulaire | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------|------|
| qualité des granulats | dimension des granulats D (mm) | | |
| | Fins | moyens | gros |
| | D 16 | 25 D 40 | D 63 |
| Excellente | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| bonne, courante | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| passable | 0.35 | 0.40 | 0.45 |

Tableau 11 : Valeurs de G en fonction des dimensions D et qualité des granulats De la formule, on en déduit C /E puis on se réfère à l’abaque ci-après pour déduire C (en kg/m³).

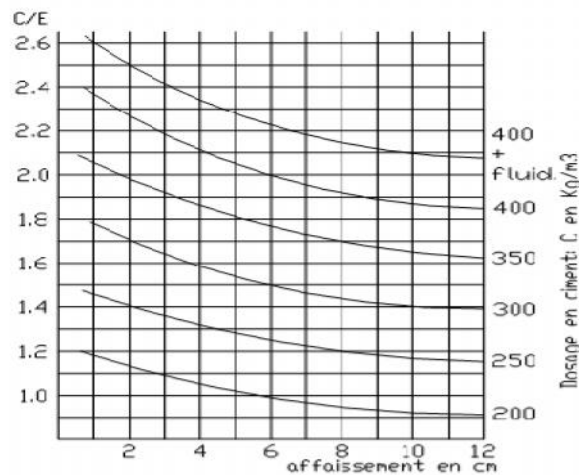


Figure 10 : Abaque permettant de déterminer C/E.

Mais la norme NFP 18-305 préconise :

$$C(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{220 + B}{\sqrt[5]{D}} \quad (1.16)$$

B : classe de résistance du béton (en bars)

2.6.4.1.6: Dosage en eau :

Ayant fait le choix de dosage en C, on déduit le dosage approximatif en eau total à prévoir.

Mais Dreux a conclu qu'il faudra apporter des corrections si $D \geq 25$ mm à cause des surfaces spécifiques.

| | | | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|----|-----|
| Dimension maximale des D en (mm) | 5 | 10 | 16 | 25 | 40 | 63 | 100 |
| Correction sur le dosage en eau en (%) | +15 | +9 | +4 | 0 | -4 | -8 | -12 |

Tableau 12 : Correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats.

Nous savons que les granulats sont stockés le plus souvent à l'air libre donc ils subissent tous les intempéries. Alors il ne faudra pas prendre à la légère l'apport en eau des granulats au moment du dosage.

$$\text{Dosage en eau réel} = \text{dosage en eau (d'après l'abaque)} + \text{correction en eau (à cause de la surface spécifique)} - \text{eau d'apport des granulats}$$

2.6.4.1.7: Tracé de la courbe granulatoire de référence :

Il est important de tracer les courbes granulométriques de chaque granulat dans un même graphique de type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats).

On trace sur cette même graphique une courbe granulométrique de référence qui est linéaire et possède un point de brisure.

Soient OAB les points de ralliement de la courbe de référence où O est l'origine et B a pour ordonnée 100% et l'abscisse le module de D, le point de brisure est A qui a pour coordonnée :

– en abscisse

Si $D \leq 25$ mm, l'abscisse est $D/2$;

Si $D > 25$ mm, l'abscisse est située au milieu du segment limité par le module 38 et le module correspondant à D.

– en ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{\frac{D}{D + K}} \quad (1.17)$$

| vibration | faible | | normale | | puissante | |
|------------------|--------|----------|---------|----------|-----------|----------|
| | roulé | concassé | roulé | concassé | roulé | concassé |
| forme(s,t,sable) | | | | | | |
| 400+fluidifiant | -2 | 0 | -4 | -2 | -6 | -4 |
| 400 | 0 | +2 | -2 | 0 | -4 | -2 |
| 350 | +2 | +4 | 0 | +2 | -2 | 0 |
| 300 | +4 | +6 | +2 | +4 | 0 | +2 |
| 250 | +6 | +8 | +4 | +6 | +2 | +4 |
| 200 | +8 | +10 | +6 | +8 | +4 | +6 |

Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats.

Si le module de finesse du sable est fort, une correction supplémentaire sera apportée qui est K_s : $K_s = 6 M_f - 15$ M_f : module de finesse du sable.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

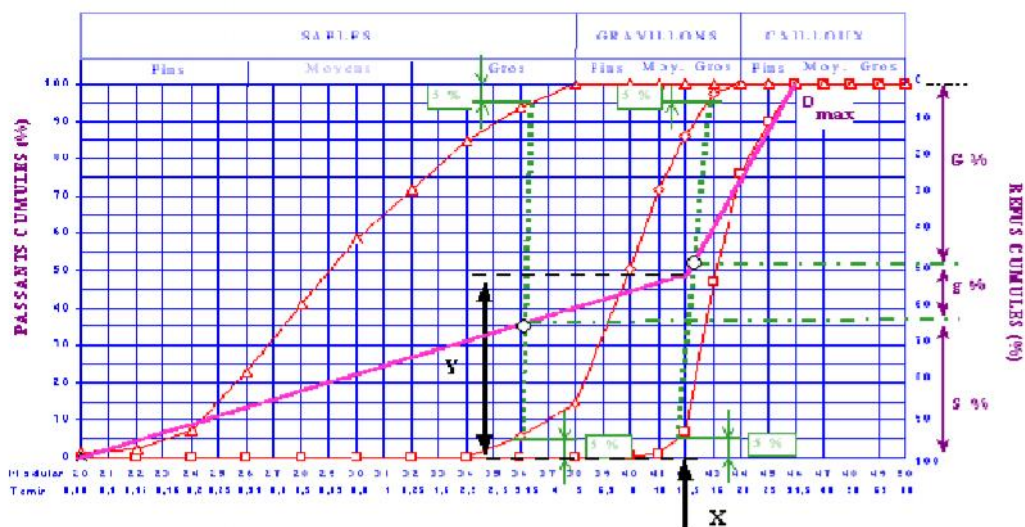


Figure 11 : Exemple de tracé de courbe granulométrique

2.6.4.1.8: Dosage en granulats :

Le dosage en granulats dépend du coefficient de compacité (dépend du mode de serrage et de la plasticité), les valeurs de sont données dans le tableau :

| Consistance du béton frais | mode de serrage | G | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | D _{max} 5 mm | D _{max} 10 mm | D _{max} 12.5 mm | D _{max} 20 mm | D _{max} 31.5 mm | D _{max} 50 mm | D _{max} 80 mm |
| molle | Piquage | 0.750 | 0.780 | 0.795 | 0.805 | 0.810 | 0.815 | 0.820 |
| | vibration faible | 0.755 | 0.785 | 0.800 | 0.810 | 0.815 | 0.820 | 0.825 |
| | vibration normal | 0.760 | 0.790 | 0.805 | 0.815 | 0.820 | 0.825 | 0.830 |
| plastique | Piquage | 0.760 | 0.790 | 0.805 | 0.815 | 0.820 | 0.830 | 0.830 |
| | vibration faible | 0.765 | 0.795 | 0.810 | 0.820 | 0.825 | 0.835 | 0.835 |
| | vibration normal | 0.770 | 0.800 | 0.815 | 0.825 | 0.830 | 0.835 | 0.835 |
| | vibration puissante | 0.775 | 0.805 | 0.820 | 0.830 | 0.835 | 0.840 | 0.845 |
| ferme | vibration faible | 0.775 | 0.805 | 0.820 | 0.830 | 0.840 | 0.840 | 0.845 |
| | vibration normal | 0.780 | 0.810 | 0.825 | 0.835 | 0.845 | 0.845 | 0.850 |
| | vibration puissante | 0.785 | 0.815 | 0.830 | 0.840 | 0.850 | 0.850 | 0.855 |

Tableau 13 : Nota : Ces valeurs sont convenables pour des granulats rous

Sinon il conviendra de rapporter les corrections suivantes:

- sable roulé et gravier concassé = - 0,01
- sable et gravier concassé = - 0,03

Pour les granulats légers, on pourra diminuer de 0,03 les valeurs f_A qui correspondent ici à des granulats denses ordinaires.

Pour un dosage en ciment C (signe différent) 350 kg/m³ on apportera le terme correctif

$$\text{Suivant : } \frac{C-350}{5000}$$

2.6.4.1.9: Valeurs du coefficient de compacité :

Pour connaître le dosage en pourcentage des granulats, on doit tracer les lignes de partage entre chacun des granulats (on joint le point 95% de la courbe granulaire du premier au point 5% de la courbe du granulats suivant et ainsi de suite).

On lira sur la courbe de référence, au point de croisement avec la ou les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats.

1^{ère} étape : Calcul en volume absolu des solides :

Volume total absolu : 1000 (en Litre) ;

Volume absolu ciment : $C/3.1$ (C dosage en ciment en kg et 3,1 masse spécifique du ciment en L) ;

Volume absolu des granulats (V_g) : $(1000 - C/3.1) = V_g$;

Volume absolu de chaque granulats (V_{gi}) : $V_{gi} = V_g \times \%$ du granulats (i sur le graphique)

2^{ème} étape : Dosages en matériaux secs en kg (en connaissant les densités absolues

de chacun des granulats d_{gi}) : $D_{gi}(\text{kg}) = V_{gi} \times d_{gi}$

On a tous les dosages nécessaires pour confectionner un béton mais il faudra faire des essais pour tester la résistance, l'ouvrabilité et ségrégabilité et si besoin faire des corrections.

2.6.4.1.10: Corrections à faire :

- Si la résistance est insuffisante :
 - augmenter le dosage en ciment ;
 - diminuer le dosage en eau (faire appel à un plastifiant si nécessaire) ;
 - diminuer en élément fin du sable au profit des éléments plus gros (mais augmentation du risque de ségrégation) ;

- abaisser un peu le point A de la courbe de référence pour augmenter G/S.
- Si l'ouvrabilité est insuffisante, existence de ségrégation :
 - vérifier que le sable n'a pas un module de finesse trop fort (correction par ajout de sable fin).
 - si le béton a un aspect trop sec, augmenter le dosage en eau mais faire attention à la chute de résistance.
 - relever un peu le point A de la courbe de référence pour diminuer G/S (augmenter le dosage en élément fin au détriment des plus gros).

On a donné des descriptions brèves des différentes méthodes de composition du béton que ce soit scientifique ou empirique. Pour mieux cerner la difficulté de dosage des constituants d'un béton. On a étudié une méthode fréquemment utilisée dans les centrales bétons qui est la méthode de Dreux Gorisse.

4 : Conclusion :

Dans ce chapitre on a essayé d'identifier les caractéristiques des matériaux utilisés suivant les normes "AFNOR", et cela afin d'avoir l'opportunité de savoir la compatibilité de ces matériaux pour la composition d'un béton courant.

Cependant les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont :

Le ciment portland composé **CPJ-CEM II / 42,5** (hammam dalàa M'sila) de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle, avec une finesse et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.

Pour le gravier, deux classes sont utilisées, le gravier 3/8 et le gravier 8/16, Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).leur d'origine calcaire compacte et dure, avec une granulométrie continue et un degré d'impureté acceptable, ce qui est compatible à la composition du béton.

Pour les sables utilisés, sont des sables de différentes origines, le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR), qui se caractérise par une granulométrie étalée d'une propriété admissible.

En ce qui concerne la composition du béton on a présenté une méthode couramment utilisée, c'est la méthode de "Dreux _ Gorisse".

Cette méthode est très simple et efficace, elle se base par l'obtention d'une bonne compacité avec une ouvrabilité adéquate, sachant qu'on a pris préalablement un dosage en ciment de 383 kg/m^3 .

Dans le chapitre qui suit on étudiera les différentes compositions de béton, et la composition du béton on a présenté une méthode couramment utilisée, c'est la méthode de "Dreux _ Gorisse".

Chapitre II

Caractéristiques

Des Matériaux

De Béton

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

1 : Introduction:

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- Le ciment CPJ de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa (M'sila).
- L'eau potable du laboratoire (laboratoire de génie civil).

2 : SABLE D'OUED (BOUSAADA):

2.1 : Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA)

2.2 : Caractéristiques physiques des sables utilisés:

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

2.2.1 : Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

*Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :

$$V_1 = V - 300(\text{ml}) \quad (2.1)$$

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.2)$$

Avec : $M = 300$ g.

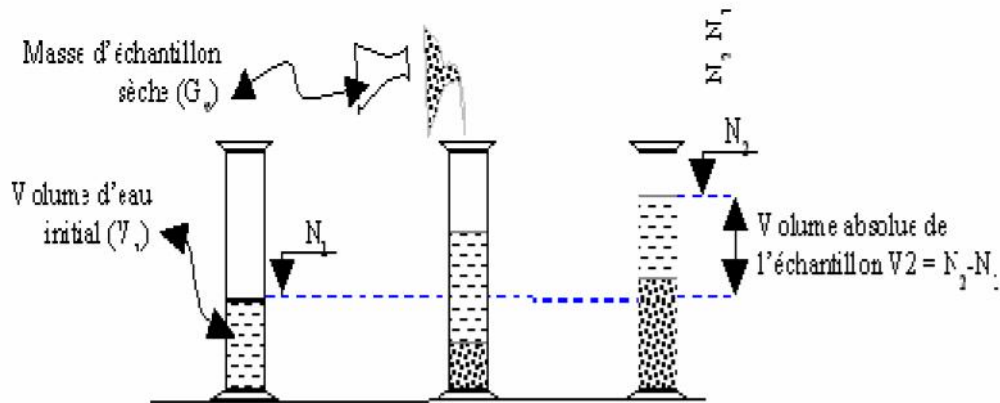


Figure 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

Résultats obtenus :

| N° d'essai | M (g) | V_e (cm ³) | V_1 (cm ³) | ρ (g / cm ³) | ρ_{moy} (g / cm ³) |
|------------|-------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 300 | 300 | 118 | 2,54 | 2.54 |
| 2 | 300 | 300 | 119 | 2.52 | |
| 3 | 300 | 300 | 116 | 2.57 | |

Tableau 1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

2.2.2 : Masse volumique apparente : NF P 18-554

2.2.2.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche:

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

- **Mode opératoire :**

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.

- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$.
- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \quad (2.3)$$

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | ρ_{app} (g/cm ³) | ρ_{app} moyenne (g/cm ³) |
|------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---|
| 01 | 114 | 1526 | 1.56 | 1.563 |
| 02 | 114 | 1529 | 1,57 | |
| 03 | 114 | 1525 | 1.56 | |

Tableau 2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

2.2.2.2 : Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Mode opératoire :

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à **30** secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M_2 le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (2.4)$$

Où :

M_1 : Masse du récipient à vide.

M_2 : Masse du récipient plus le sable.

V_r : Volume du récipient.

| N° d'essai | M1 (g) | M2 (g) | \dots_{app} (g/cm ³) | $\dots_{app\ moy}$ (g/cm ³) |
|------------|--------|--------|------------------------------------|---|
| 01 | 114 | 1629 | 1,68 | 1,713 |
| 02 | 114 | 1673 | 1,73 | |
| 03 | 114 | 1668 | 1,72 | |

Tableau 3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.

2.2.3 : Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la

formule suivante :

$$\dots_L P(\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100 \quad (2.5)$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $\dots_L = 38,46\%$.
- Etat compacte : $\dots_c = 32,55\%$.

2.2.4 : Compacité : La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P \quad (2.6)$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $C_L = 61,53\%$.
- Etat compacte : $C_c = 67,44\%$.

2.2.5 : L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P). \quad (2.7)$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $e = 0,608\%$

- Etat compacte : $e = 0,482\%$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants :

| Porosité P% | | Compacité C% | | Indice des vides e | |
|-------------|---------|--------------|---------|--------------------|---------|
| Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| 38.46 | 32.56 | 61.53 | 67.44 | 0,608 | 0,482 |

Tableau 4 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.

2.2.6 : Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).

A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

- Laisser reposer pendant **10** minutes.

Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20cm** de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.

- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vanteau dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2^{ème}** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

2.2.6.1 : Equivalent de sable visuel (ESV):

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (2.8)$$

Où : $h_2 < h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

2.2.6.2 : Equivalent de sable au piston (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (2.9)$$

Où h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$).

| <i>N° d'essai</i> | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV (%) | h'_2 (cm) | ESP (%) |
|-------------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01 | 8.9 | 9.8 | 90.81 | 8.6 | 87.75 |
| 02 | 8.9 | 9.7 | 91.75 | 8.7 | 89.69 |
| 03 | 8.9 | 9.8 | 90.81 | 8.7 | 88.77 |

Tableau 5 : Equivalent du sable de Boussaâda.

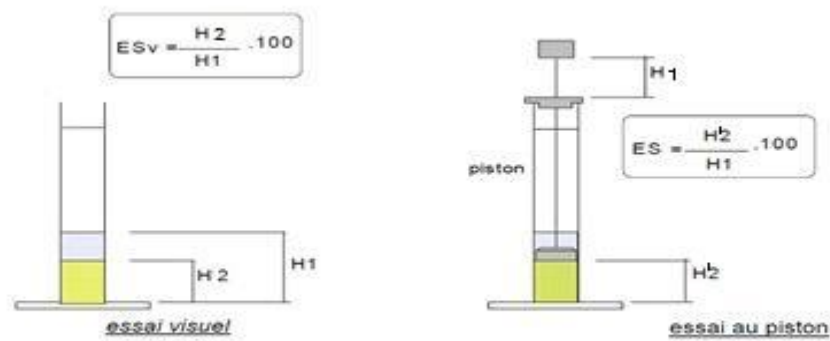


Figure 2 : L'essai l'équivalent de sable.

$$(ESV)_{\text{moy}} = 91.12\%$$

Donc: $ESV > 85\%$

$$(ESP)_{\text{moy}} = 88.73\%$$

$ESP > 80\%$.

| E.S.V | E.S.P | Nature et qualité du sable |
|-----------|----------|--|
| ES<65 | ES<60 | Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité. |
| 65<ES<75 | 65<ES<70 | Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait. |
| 75 ES<85 | 70 ES<80 | Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité. |
| E.S > 8<5 | E.S>8<0 | Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. |

Tableau 6 : Comparaison des résultats. [08]

Pour le sable de Boussaâda C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

2.2.7 : Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25** % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

***Mode opératoire :**

- Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (**500 g**).
- Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110 °C** pendant **24heurs**.
- Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

La teneur en eau du sable est :

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) * 100[\%] \quad (2.10)$$

Où :

- M_h : Poids du sable humide en (g).
- M_s : Poids du sable sec en (g).

| <i>N° d'essai</i> | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 1 | 500 | 495 | 1 | 1,2 |
| 2 | 500 | 494 | 1,2 | |
| 3 | 500 | 493 | 1,4 | |

Tableau 7 : Teneur en eau du sable de Boussaâda.

2.2.8 : Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%] \quad (2.11)$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

| <i>N° d'essai</i> | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 1 | 300 | 307,98 | 2,66 | 2,67 |
| 2 | 300 | 308,66 | 2,88 | |
| 3 | 300 | 308,86 | 2,95 | |

Tableau 8 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda.

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à **5%**, c'est -à- dire $A_b < 5\%$. Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée.

La norme NF P 18 541 fixe comme valeur maximale **5%**, pour les bétons classiques, ce qui est peut-être insuffisamment sévère, valeur d'ailleurs ramenée à **2,5%** pour les bétons de résistance caractéristique supérieure à **36 MPa**.

Observation :

Exceptionnellement, pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à **2 %**.

2.2.9 : Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :



Figure 3 : Les tamis.

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes.
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau. Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

Mode opératoire :

- Prélever (**1,5 kg**) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08mm**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine

d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

- Peser chaque tamis séparément à **1 g** près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumuler du tamis 2 ($R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T = 100 - R_c$ (2.12)

Où :

- T: Tamisât en %
- R_c : Refus cumulés en %

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulés | | Tamisât (%) |
|--------------|----------------------|---------------|-------|-------------|
| | | (g) | (%) | |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2.5 | 102 | 102 | 6.8 | 93.2 |
| 1.25 | 56 | 158 | 10.53 | 89.47 |
| 0.63 | 61 | 219 | 14.6 | 85.4 |
| 0.315 | 404 | 623 | 41.53 | 58.47 |
| 0.16 | 720 | 1343 | 89.53 | 10.47 |
| 0.08 | 145 | 1488 | 99.2 | 0.8 |
| Fond | 12 | 1500 | 100 | 0.0 |

Tableau 9 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre) Boussaâda.

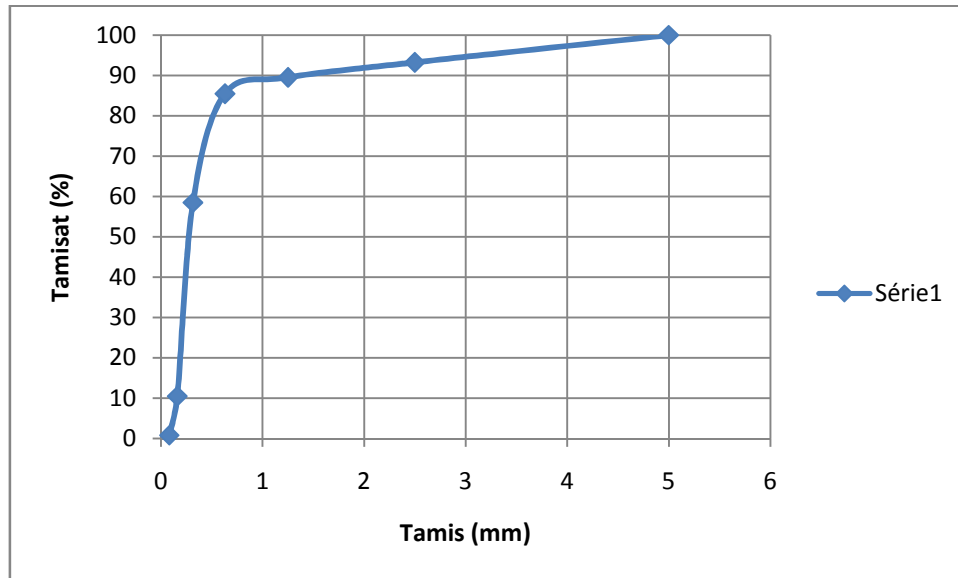


Figure 4 : La courbe granulométrique du sable (0/5).

Commentaire :

$ES_{moy} = 91,12\%$

- Le sable de dune (Oued Maitre) très propre.
- Le sable (0/5) est un sable fin.

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

Nous déduisons que c'est un sable fin et il n'est pas de bonne qualité, il n'est donc spécifié pour la fabrication des bétons du point de vue de l'analyse granulométrique.

2.2.10 : Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} \quad (2.13)$$

Où : R_c : Refus cumulé.

Et le refus dont le tamis **0,16** = 89.53%

Pour le sable de Boussaâda : $M_f = 1.62$.

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit :

- Sable gros $M_f > 2.5$
- Sable moyen $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- ✓ Pour le sable de Boussaâda : $1.5 < M_f < 2$: C'est un **sable fin**.

2.3 : Les Caractéristiques chimiques du sable de Boussaâda :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars **2005**, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau : 10.**).

| <i>CONSTITUANTS</i> | | |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|
| <i>ELEMENT</i> | <i>SYMBOLE</i> | <i>TENEUR EN (%)</i> |
| Silice | SiO ₂ | 86.95 |
| Chaux | CaO | 6.33 |
| Oxyde ferrique | Fe ₂ O ₃ | 0.90 |
| Alumine | AL ₂ O ₃ | 1.92 |
| Oxyde magnésium | MgO | 0.53 |
| Sulfate | So ₃ | 0.44 |
| Pente au fer | P.A.F | 2.81 |

Tableau 10 : Analyse chimique du sable de Boussaâda.

Commentaire :

- Le sable de **BOUSAADA** est un sable à haute teneur en silice.
- Le sable de base de notre recherche provient.

3 : Gravier :

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

3.1 : Gravier concassé:

3.1.1: Origine de gravier:

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à **25Km** de M'sila, en allant vers **B.B.A** (carrière **COSIDER**).[09]

3.1.2 : CLASSES granulaires:

Les fractions du gravier sont :

- Fraction 3/8.
- Fraction 8/16.

3.1.3 : Résistance à la compression de la roche d'origine:

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à **610 g /Cm²**.

3. 2 : Caractéristiques physiques du gravier utilisé:**3.2.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche.****Mode opératoire :**

- Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- Peser le récipient à l'état vide (M_1).
- Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10cm.
- Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M_2 ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (2.14)$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M_1 : Le poids du récipient à l'état vide.
- M_2 : Le poids du récipient plein de gravier.

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| 3/8 | 1 | 2.921 | 12.815 | 7 | 1.41 |
| | 2 | 2.921 | 12.945 | 7 | |
| | 3 | 2.921 | 12.828 | 7 | |
| 8/16 | 1 | 3.47 | 17.662 | 10 | 1.40 |
| | 2 | 3.47 | 17.452 | 10 | |
| | 3 | 3.47 | 17.557 | 10 | |

Tableau 11 : Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche.

3.2.2 : Masse volumique apparente à l'état compact.

| | N° d'essai | M (kg) | M ₂ (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------------|------------|--------|---------------------|-------|----------------|
| 3/8 | 1 | 2.921 | 13.625 | 7 | 1.53 |
| | 2 | 2.921 | 13.697 | 7 | |
| | 3 | 2.921 | 13.701 | 7 | |
| 8/16 | 1 | 3.47 | 18.541 | 10 | 1.50 |
| | 2 | 3.47 | 18.614 | 10 | |
| | 3 | 3.47 | 18.491 | 10 | |

Tableau 12 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact.**3.3 : Masse volumique apparente à l'état lâche et compact de différent mélange gravie sans plaquette et aiguille :****3.3.1: Masse volumique apparente à l'état lâche :**

| | N° d'essai | M (kg) | M ₂ (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------------|------------|--------|---------------------|-------|----------------|
| 3/8 | 1 | 0.114 | 1.416 | 0.9 | 1.43 |
| | 2 | 0.114 | 1.388 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.408 | 0.9 | |
| 8/16 | 1 | 0.114 | 1.398 | 0.9 | 1.40 |
| | 2 | 0.114 | 1.364 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.392 | 0.9 | |

Tableau 13: Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche.

3.3.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact.

| | N° d'essai | M (kg) | M ₂ (kg) | V (L) | ... _{moy} (kg/L) |
|-------------|------------|--------|---------------------|-------|---------------------------|
| 3/8 | 1 | 0.114 | 1.460 | 0.9 | 1.48 |
| | 2 | 0.114 | 1.433 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.453 | 0.9 | |
| 8/16 | 1 | 0.114 | 1.481 | 0.9 | 1.51 |
| | 2 | 0.114 | 1.476 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.486 | 0.9 | |

Tableau 14: Masse volumique apparente du gravier à l'état compact.**3.4 : Appellations des mélanges de gravier :**

Les différents mélanges sont présentés sous cette forme :

$$M_{(\% \text{ Plaquette et aiguille, \% GC3/8, \% GC 8/16})}$$

Avec GC : Gravier concassé

A) Mélanges M₁(0 % Plaquette et aiguille, 40% GC3/8, 60% GC 8/16) : (M₁)**3.4.1.1 : Masse volumique apparente du gravier (M₁) à l'état lâche.**

| | N° d'essai | M (kg) | M ₂ (kg) | V (L) | ... _{moy} (kg/L) |
|----------------------|------------|--------|---------------------|-------|---------------------------|
| M₁ | 1 | 0.114 | 1.489 | 0.9 | 1.51 |
| | 2 | 0.114 | 1.482 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.468 | 0.9 | |

Tableau 15: Masse volumique apparente du gravier (M₁) à l'état lâche.

3.4.1.2 : Masse volumique apparente du gravier (M_1) à l'état compact.

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_1 | 1 | 0.114 | 1.535 | 0.9 | 1.56 |
| | 2 | 0.114 | 1.528 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.523 | 0.9 | |

Tableau 16: Masse volumique apparente du gravier (M_1) à l'état compact.B) Mélanges M_2 (10 % Plaquette et aiguille, 35% GC3/8, 55% GC 8/16) : (M_2)3.4.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche (M_2):

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_2 | 1 | 0.114 | 1.419 | 0.9 | 1.46 |
| | 2 | 0.114 | 1.440 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.440 | 0.9 | |

Tableau 17: Masse volumique apparente à l'état lâche (M_2).3.4.2.2 : Masse volumique apparente du gravier (M_2) à l'état compact.

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_2 | 1 | 0.114 | 1.502 | 0.9 | 1.51 |
| | 2 | 0.114 | 1.458 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.476 | 0.9 | |

Tableau 18: Masse volumique apparente à l'état compact (M_2).

C) Mélanges M_3 (15% Plaquette et aiguille, 32.5% GC3/8, 52.5% GC8/16) : (M_3)3.4.3.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche (M_3) :

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_3 | 1 | 0.114 | 1.484 | 0.9 | 1.51 |
| | 2 | 0.114 | 1.472 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.476 | 0.9 | |

Tableau 19: Masse volumique apparente à l'état lâche (M_3).3.4.3.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact (M_3):

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_3 | 1 | 0.114 | 1.496 | 0.9 | 1.54 |
| | 2 | 0.114 | 1.498 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.511 | 0.9 | |

Tableau 20 : Masse volumique apparente à l'état compact (M_3).D) Mélanges M_4 (20% Plaquette et aiguille, 30% GC3/8, 50% GC8/16) : (M_4)3.4.4.1 : Masse volumique apparente à l'état lâche (M_4) :

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | ... moy (kg/L) |
|-------|------------|--------|------------|-------|----------------|
| M_4 | 1 | 0.114 | 1.49 | 0.9 | 1.52 |
| | 2 | 0.114 | 1.476 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.496 | 0.9 | |

Tableau 21: Masse volumique apparente à l'état lâche (M_4).

3.4.4.2 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact (M_4) :

| | N° d'essai | M (kg) | M_2 (kg) | V (L) | \dots_{moy} (kg/L) |
|-------------------------|------------|--------|------------|-------|----------------------|
| M_4 | 1 | 0.114 | 1.536 | 0.9 | 1.58 |
| | 2 | 0.114 | 1.543 | 0.9 | |
| | 3 | 0.114 | 1.538 | 0.9 | |

Tableau 22 : Masse volumique apparente à l'état compact (M_4).**3.5 : Masse volumique absolue :****Mode opératoire :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

| | N° d'essai | M (g) | V_e (cm ³) | V_1 (g) | \dots_{moy} (g/cm ³) |
|-------------|------------|-------|--------------------------|-----------|------------------------------------|
| 3/8 | 1 | 300 | 300 | 110 | 2.65 |
| | 2 | 300 | 300 | 112 | |
| | 3 | 300 | 300 | 117 | |
| 8/16 | 1 | 300 | 300 | 115 | 2.63 |
| | 2 | 300 | 300 | 110 | |
| | 3 | 300 | 300 | 117 | |

Tableau 23 : Masse volumique absolue du gravier.**3.5.1 : Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554**

Le mode opératoire est sembléa celui effectue pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] * 100 \quad (2.15)$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = \left(\dots_a / \dots_{ab} \right) = 100 - P \quad (2.16)$$

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100-P)} \quad (2.17)$$

| <i>Fraction de gravie</i> | Porosité (%) | Compacité (%) | l'indice de vide |
|---------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| <i>3/8</i> | 46.79 | 53.20 | 0.879 |
| <i>8/16</i> | 46.76 | 53.23 | 0.878 |

Tableau 24 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

3.5.2 : Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554

| Graviers | N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 3/8 | 01 | 700 | 709,06 | 1,29 | 1.29 |
| | 02 | 700 | 709,77 | 1,39 | |
| | 03 | 700 | 708,53 | 1,21 | |
| 8/16 | 01 | 700 | 712 | 1,71 | 1.66 |
| | 02 | 700 | 711 | 1,57 | |
| | 03 | 700 | 712 | 1,71 | |

Tableau 25 : Degré d'absorption d'eau du gravier.

3.5.3: Teneur en eau :

| Graviers | N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 3/8 | 01 | 500 | 498 | 0,40 | 0.53 |
| | 02 | 500 | 497 | 0,60 | |
| | 03 | 500 | 497 | 0,60 | |
| 8/16 | 01 | 500 | 497 | 0,60 | 0.53 |
| | 02 | 500 | 498 | 0,40 | |
| | 03 | 500 | 498 | 0,60 | |

Tableau 26 : Teneur en eau du gravier.

3.6 : Masse volumique apparente à l'état lâche et compact de différent mélange gravie :**3.6.1: Appellations des mélanges de gravier :**

Les différents mélanges sont présentés sous cette forme :

$$M_{(\% \text{ Plaquette et aiguille, \% GC 3/8, \% GC 8/16})}$$

Avec GC : Gravier concassé

***Mode opératoire :**

On détermine la masse volumique absolue du gravie à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange gravie – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le gravie seul.

Volume de gravie : $V_1 = V - 300$ (ml).

La masse volumique absolue du gravie est déterminée par la formule:

| |
|--------------------------------------|
| $\dots = \frac{M}{V_1} \quad (2.18)$ |
|--------------------------------------|

Avec : $M = 300$ g.

Résultats obtenus :

A) Mélanges M_1 (0 % Plaquette et aiguille, 40% GC 3/8, 60% GC 8/16) : (M_1)

3.6.1.1: Masse volumique absolue du gravier M_1 :

| Gravier | N° d'essai | M (g) | Ve (cm ³) | V1(g) | ^{*** moy} (g/cm ³) |
|---------|------------|-------|-----------------------|-------|--|
| M_1 | 1 | 300 | 300 | 137 | 2.18 |
| | 2 | 300 | 300 | 135 | |
| | 3 | 300 | 300 | 139 | |

Tableau 27 : Masse volumique absolue du gravier M_1 .

3.6.1.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélanges M_1 : NF P 18-554

| Fraction de gravie | Porosité (%) | | Compacité (%) | | l'indice de vide | |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-------------|
| | Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| M_1 | 30.73 | 28.44 | 69.26 | 71.55 | 0.44 | 0.39 |

Tableau 28 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélanges M_1 .

3.6.1.3: Degré d'absorption d'eau des Mélanges M_1 : NF P 18-554

| Gravier | N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|---------|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| M_1 | 01 | 300 | 304.55 | 1.51 | 1.52 |
| | 02 | 300 | 304.16 | 1.39 | |
| | 03 | 300 | 304.96 | 1.65 | |

Tableau 29 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_1 .

B) Mélanges M₂ (10% Plaquette et aiguille, 35% GC3/8, 55% GC 8/16) : (M₂)

3.6.2.1: Masse volumique absolue du gravier M₂ :

| Gravier | N° d'essai | M (g) | Ve (cm ³) | V1(g) | <i>... moy</i> (g/cm ³) |
|----------------|------------|-------|-----------------------|-------|--|
| M ₂ | 1 | 300 | 300 | 132 | 2.29 |
| | 2 | 300 | 300 | 130 | |
| | 3 | 300 | 300 | 131 | |

Tableau 30 : Masse volumique absolue du gravier M₂.

3.6.2.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M₂ : NF P 18-554

| <i>Fraction de gravie</i> | Porosité (%) | | Compacité (%) | | l'indice de vide | |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-------------|
| | Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| M ₂ | 36.24 | 34.06 | 63.75 | 65.93 | 0.56 | 0.52 |

Tableau 31 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M₂.

3.6.2.3: Degré d'absorption d'eau des Mélange M₂: NF P 18-554

| Gravier | N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | A (%) | A _{moy} (%) |
|----------------|------------|--------------------|--------------------|-------|----------------------|
| M ₂ | 01 | 300 | 303.8 | 1.26 | 1.26 |
| | 02 | 300 | 303.65 | 1.21 | |
| | 03 | 300 | 303.95 | 1.31 | |

Tableau 32 : Degré d'absorption d'eau du gravier M₂

C) Mélanges M_3 (15% Plaquette et aiguille, 32.5% GC3/8, 52.5% GC8/16) : (M_3)3.6.3.1: Masse volumique absolue du gravier M_3 :

| Gravier | N° d'essai | M (g) | Ve (cm ³) | V1(g) | \dots_{moy} (g/cm ³) |
|---------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------------------------|
| M_3 | 1 | 300 | 300 | 130 | 2.31 |
| | 2 | 300 | 300 | 129 | |
| | 3 | 300 | 300 | 129 | |

Tableau 33 : Masse volumique absolue du gravier M_3 3.6.3.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélanges M_3 : NF P 18-554

| Fraction de gravie | Porosité (%) | | Compacité (%) | | l'indice de vide | |
|-----------------------|--------------|---------|---------------|---------|------------------|---------|
| | Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| M_3 | 34.63 | 33.33 | 65.36 | 66.66 | 0.53 | 0.5 |

Tableau 34 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélanges M_3 3.6.3.3: Degré d'absorption d'eau des Mélanges M_3 : NF P 18-554

| Gravier | N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|---------|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| M_3 | 01 | 300 | 303.5 | 1.16 | 1.16 |
| | 02 | 300 | 303.62 | 1.20 | |
| | 03 | 300 | 303.38 | 1.12 | |

Tableau 35 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_3

D) Mélanges M_4 (20% Plaquette et aiguille, 30% GC3/8, 50% GC 8/16) : (M_4)3.6.4.1: Masse volumique absolue du gravier M_4 :

| Gravier | N° d'essai | M (g) | Ve (cm ³) | V1(g) | \dots_{moy} (g/cm ³) |
|---------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------------------------|
| M_4 | 1 | 300 | 300 | 128 | 2.34 |
| | 2 | 300 | 300 | 129 | |
| | 3 | 300 | 300 | 127 | |

Tableau 36 : Masse volumique absolue du gravier M_4 3.6.4.2: Porosité, compacité et indice des vides des Mélange M_4 : NF P 18-554

| Fraction de gravie | Porosité (%) | | Compacité (%) | | l'indice de vide | |
|--------------------|--------------|---------|---------------|---------|------------------|---------|
| | Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| M_4 | 35.04 | 32.47 | 64.95 | 67.52 | 0.54 | 0.48 |

Tableau 37 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides des Mélange M_4 3.6.4.3 : Degré d'absorption d'eau des Mélange M_4 : NF P 18-554

| Gravier | N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|---------|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| M_4 | 01 | 300 | 302.3 | 0.76 | 0.77 |
| | 02 | 300 | 302.45 | 0.81 | |
| | 03 | 300 | 302.20 | 0.73 | |

Tableau 38 : Degré d'absorption d'eau du gravier M_4

3.7 : Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

3.7.1 : Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8 :

A)- Fraction 3/8 (1.5Kg)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 8 | 32 | 32 | 2.13 | 97.87 |
| 6,3 | 411 | 443 | 29.53 | 70.47 |
| 5 | 420 | 863 | 57.53 | 42.47 |
| 4 | 465 | 1328 | 88.53 | 11.47 |
| 3,15 | 141 | 1469 | 97.93 | 2.07 |
| 2,5 | 25 | 1494 | 99.6 | 0.4 |
| Fond | 6 | 1500 | 100 | 0 |

Tableau 39 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

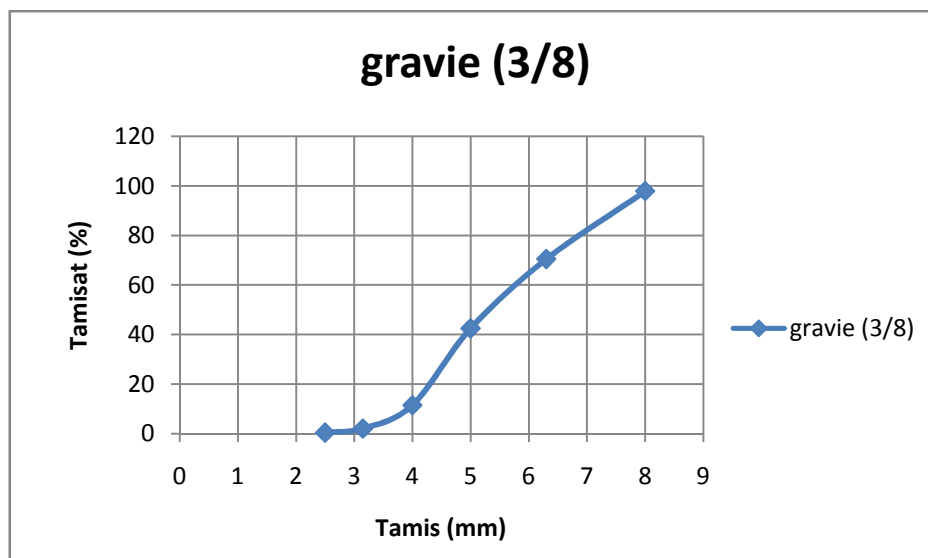


Figure 5 : La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8).

3.7.2 : Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16 :

B)- Fraction 8/16 (1.5Kg)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 16 | 43 | 43 | 2.86 | 97.14 |
| 12,5 | 359 | 402 | 26.8 | 73.2 |
| 10 | 715 | 1117 | 74.46 | 25.54 |
| 8 | 326 | 1443 | 96.2 | 3.8 |
| 6,3 | 54 | 1497 | 99.86 | 0.14 |
| 5 | 1 | 1498 | 99.86 | 0.14 |
| Fond | 2 | 1500 | 100 | 0 |

Tableau 40 : analyse granulométrique du gravier 8/16.

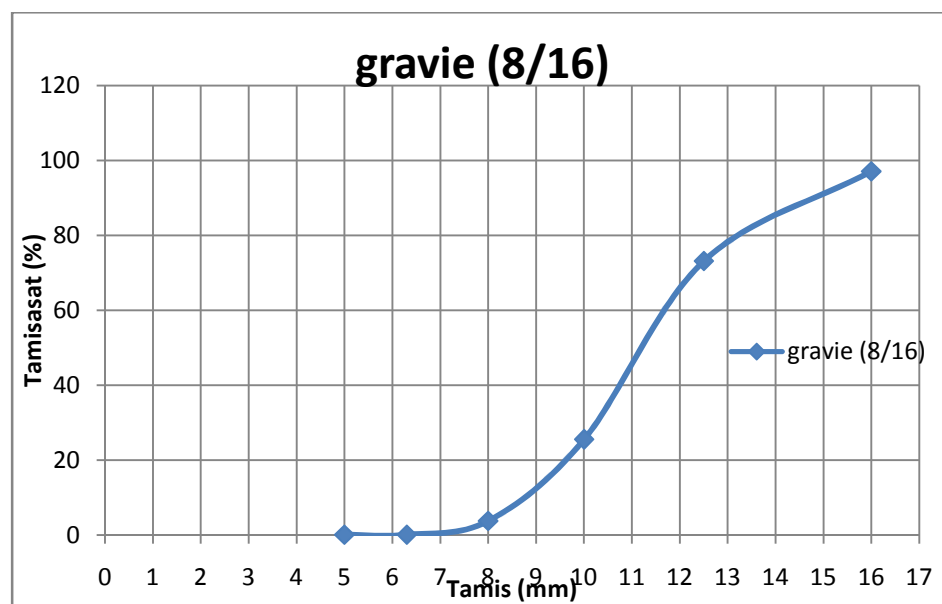


Figure 6 : La courbe granulométrique des graviers concassés (8/16).

3.8 : Analyse granulométrique du gravier concassé de différent mélange :

3.8.1 : Appellations des mélanges de gravier concassé:

Les différents mélanges sont présentés sous cette forme :

$$M_{(\% \text{ Plaquette et aiguille, \% GR3/8, \% GR 8/16})}$$

Avec GC : Gravier concassé

3.8.1.1 : Mélanges M1 (0% Plaquette et aiguille, 40% GC3/8, 60% GC 8/16) : (M₁)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 16 | 21.7 | 21.7 | 1.44 | 98.56 |
| 12,5 | 179.2 | 200.9 | 13.93 | 86.07 |
| 10 | 454.9 | 655.8 | 43.72 | 56.28 |
| 8 | 216.3 | 872.1 | 58.14 | 41.86 |
| 6,3 | 151.7 | 1023.8 | 68.25 | 31.75 |
| 5 | 168.5 | 1192.3 | 79.48 | 20.52 |
| 4 | 170.5 | 1362 | 90.8 | 9.2 |
| 3,15 | 109.5 | 1472.3 | 98.15 | 1.85 |
| 2,5 | 26.3 | 1498.6 | 99.86 | 0.14 |
| Fond | 1.2 | 1499.8 | 99.99 | 0 |

Tableau 41 : analyse granulométrique du gravier M₁.

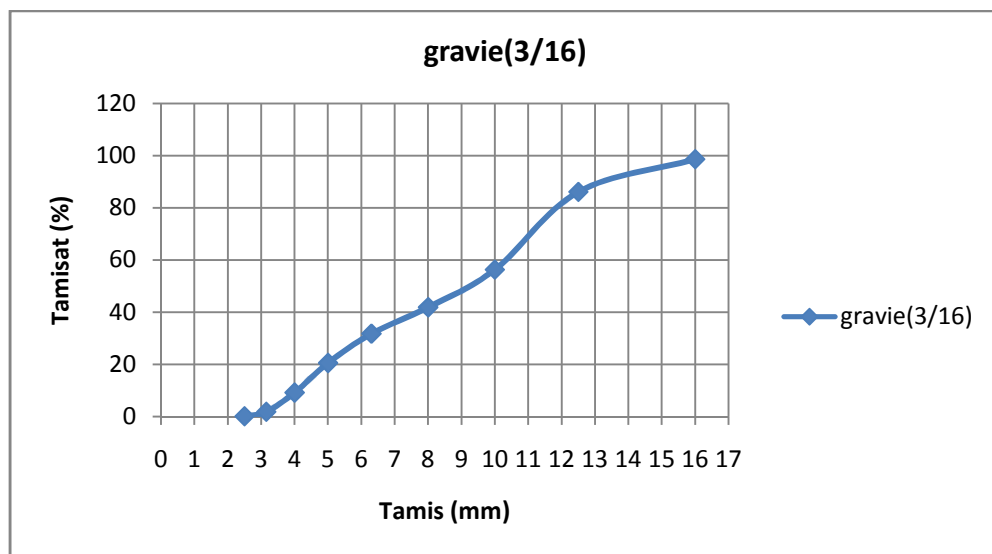
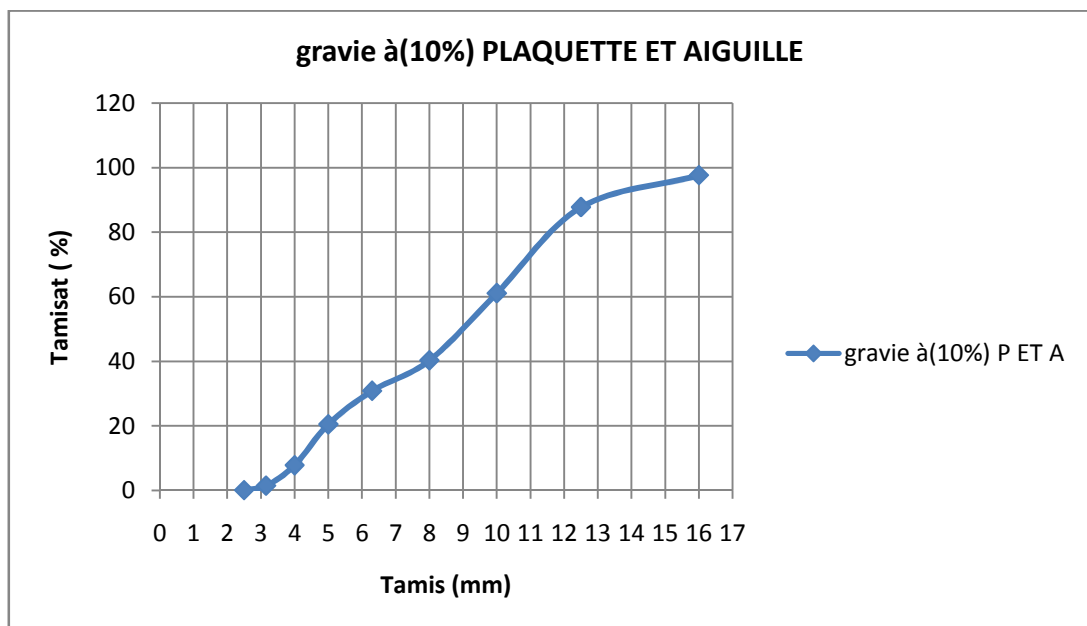


Figure 7 : La courbe granulométrique des graviers M₁

3.8.1.2 : Mélanges M₂ (10% Plaquette et aiguille, 35% GC3/8, 55% GC 8/16) : (M₂)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 16 | 36.1 | 36.1 | 2.40 | 97.60 |
| 12,5 | 148 | 184.1 | 12.27 | 87.73 |
| 10 | 399.9 | 584 | 38.93 | 61.07 |
| 8 | 311.9 | 895.9 | 59.72 | 40.28 |
| 6,3 | 141.5 | 1037.4 | 69.16 | 30.84 |
| 5 | 170.8 | 1208.2 | 80.54 | 20.46 |
| 4 | 175.1 | 1383.3 | 92.22 | 7.78 |
| 3,15 | 95 | 1478.3 | 98.55 | 1.45 |
| 2,5 | 20.2 | 1498.5 | 99.9 | 0.1 |
| Fond | 1.3 | 1499.9 | 99.99 | 0 |

Tableau 42 : analyse granulométrique du gravier M₂.Figure 8 : La courbe granulométrique des graviers M₂

3.8.1.3 : Mélanges M₃ (15% Plaquette et aiguille, 32.5% GC3/8, 52.5% GC8/16) : (M₃)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 16 | 28.6 | 28.6 | 1.90 | 98.10 |
| 12,5 | 255.5 | 284.1 | 18.94 | 81.06 |
| 10 | 346.9 | 631 | 42.06 | 57.94 |
| 8 | 265 | 896 | 59.73 | 40.27 |
| 6,3 | 96.4 | 992.4 | 66.16 | 33.84 |
| 5 | 147.5 | 1139.9 | 75.99 | 24.01 |
| 4 | 189.2 | 1329.1 | 88.60 | 11.40 |
| 3,15 | 133.5 | 1462.6 | 97.50 | 2.50 |
| 2,5 | 35.4 | 1498 | 99.86 | 0.14 |
| Fond | 2 | 1500 | 100 | 0 |

Tableau 43 : analyse granulométrique du gravier M₃

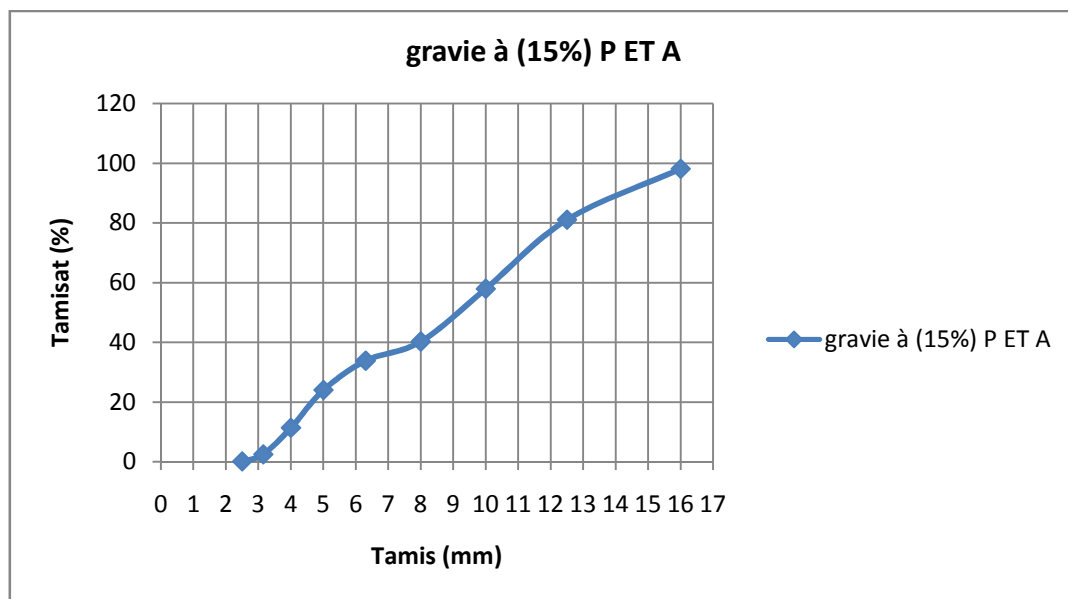


Figure 9 : La courbe granulométrique du gravier M₃

3.8.1.4 : Mélanges M₄ (20% Plaquette etaille, 30% GC3/8, 50% GC 8/16) : (M₄)

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|
| 16 | 33.1 | 33.1 | 2.20 | 97.8 |
| 12,5 | 213.8 | 246.9 | 16.46 | 83.54 |
| 10 | 418 | 664.9 | 46.32 | 53.68 |
| 8 | 265.2 | 930.1 | 62 | 38 |
| 6,3 | 104.2 | 1034.3 | 68.95 | 31.05 |
| 5 | 142.6 | 1176.5 | 78.43 | 21.57 |
| 4 | 164.7 | 1341.2 | 89.41 | 10.59 |
| 3,15 | 119.4 | 1460.6 | 97.37 | 2.63 |
| 2,5 | 37.1 | 1497.7 | 99.84 | 0.16 |
| Fond | 2.2 | 1499.9 | 99.99 | 0 |

Tableau 44 : analyse granulométrique du gravier M₄

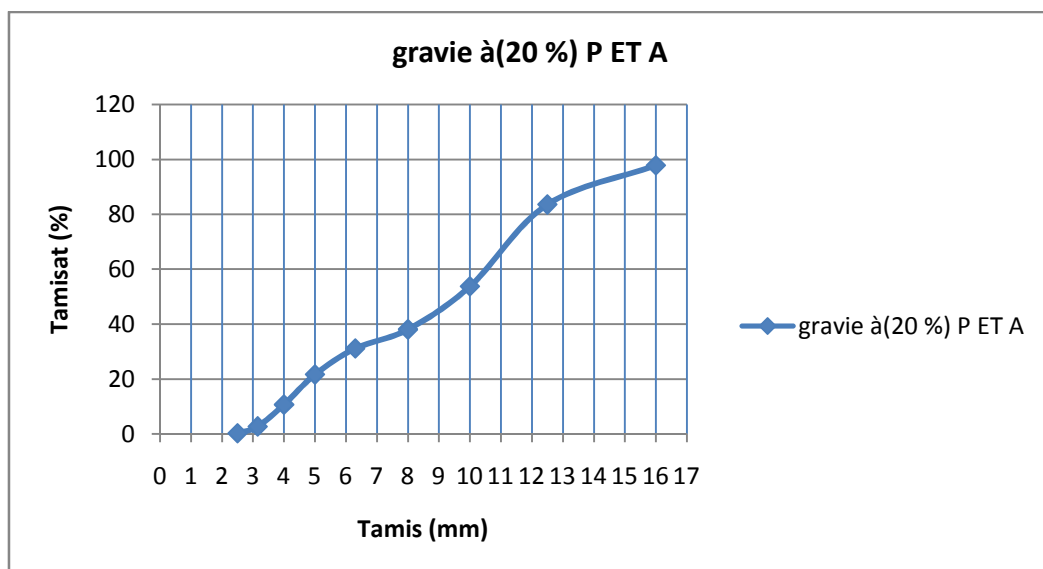


Figure 10 : La courbe granulométrique du gravier M₄

3.9 : Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés:

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

3.9.1 : Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles L_A , et sur le principe de l'effritement par abrasion.



Figure 11 : Appareil de l'essai Los Angeles.

3.9.1.1 : Principe de l'essai:

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à **1.6** mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre **4** et **50** mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en **500** rotations.

3.9.1.2 : Formulation:

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à **1.6** mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (LA) :

$$L_A = \left(\frac{m}{M} \right) * 100 \quad (2.19)$$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

| Fraction de Gravier | Nombre de boules | M (Kg) | m (Kg) | Coef LA % |
|---------------------|------------------|--------|--------|-----------|
| Gravier 3/8 | 7 | 5 | 1.054 | 21.08% |
| Gravier 8/16 | 11 | 5 | 0.859 | 17.18% |

Tableau 45 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé

3.9.1.3 : Classification : Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

| Coefficient L_A | Nature de la roche |
|-------------------|--------------------|
| < 20 | Très dure |
| 20 à 25 | Dure |
| 25 à 30 | Assez dure |
| 30 à 40 | Mis dure |
| 40 à 50 | Tendre |
| > 50 | Très tendre |

Tableau 46: Classification des roches en fonction du coefficient LA

Commentaire :

- Le gravier (3/8) : c'est un gravier dur (LA=21.08 %) / (LA entre 20 à 25),
- Le gravier (8/16) : c'est un gravier très dur (LA=17.18 %) / (LA < 20),

3.10 : Caractéristiques chimiques des graviers utilisés :

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars 2004, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau III.29**). [15]

| ELEMENT | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | Fe_2O_3 | MgO | SO_3 | K_2O | Na_2O |
|------------|---------|-----------|-------|-----------|-------|--------|--------|---------|
| Teneur (%) | 40.65 | 8.87 | 40.56 | 3.25 | 3.65 | 0.79 | 0.65 | 0.01 |

Tableau 47 : Analyse chimique de la pierre concassée.

4 : CIMENT :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe **42.5** provient de la cimenterie de l'ACC de M'sila.

4.1 : Caractéristiques du ciment CPJ-CEM II:

4.1.1 : Description :

Le ciment portland composé **CPJ-CEM II / 42,5** est un produit en broyant le clinker qui se compose essentiellement de silicate de calcium avec le gypse comme ajout constitué de différentes formes de calcium, il est conforme à la norme NA 442. Il est généralement utilisé lorsqu'il n'y a pas de besoins spéciaux, dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau.

Il est appliqué dans plusieurs domaines à savoir :

Le secteur de construction en béton armé pour les bâtiments résidentiels et administratifs

Le secteur de travaux publics pour les ponts, les revêtements des routes ou les structures ferroviaires.

4.2.1 : Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant: [10]

| | | <i>Unités</i> | <i>Valeur</i> |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Masse volumique absolue | | g/cm ³ | 3,1 |
| Consistance normale | | % | 26 – 28 |
| La finesse (Blaine) | | cm ³ /g | 4000 – 4200 |
| Le Chatelier | A froid | mm | 00 |
| | A chaud | | 2 |
| Temps de prise | Début | Heur : min | 2 : 30 |
| | Fin | | 3 : 30 |
| Résistance à la compression | 2 jours | MPa | 18 |
| | 7 jours | | 32 |
| | 28 jours | | Plus de 42.5 |

Tableau 48 : Caractéristiques du CPJ.

4.2.2 : Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé:

L'analyse chimique et minéralogique du CPJ est établie au laboratoire de l'ACC. Les résultats sont regroupés dans les tableaux

Suivants :

| ELEMENT | SiO₂ | Al₂O₃ | CaO | Fe₂O₃ | MgO | SO₃ | Na₂O |
|-------------------|------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|-----------------------|------------------------|
| Teneur (%) | 20.7 | 4.75 | 62.92 | 3.75 | 1.90 | 1.98 | 0.09 |

| Eléments | C3S | C2S | C3A | C4AF |
|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|
| | 3CaOSiO₂ | 2CaOSiO₂ | 3CaAl₂O₃ | 4CaOAl₂O₃Fe₂O₃ |
| Teneur(%) | 59 | 14 | 6 | 10 |

Tableau 49 : Caractéristiques chimiques du CPJ.

5 : Calcul de la proportion des constituants :**5.1 : Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse :****5.1.1 : Données de base:**

| Données de base Description (valeur) | Données de base Description (valeur) |
|---|---|
| Béton normal de classe | C25/30 |
| Consistance | béton plastique |
| Dimension maximale de granulat | D= 16mm |
| Forme des granulats | Granulats concassés |
| Qualité des granulats | Bonne (courante) |
| Serrage | vibration normale (courante) |
| Dosage en ciment | C = 383kg/m ³ |
| Classe vraie du ciment v'c (bars) | 462 bars |
| Module de finesse MF | 1.58 |
| Coefficient granulaire G | 0,45 |
| AF | 7 |

Tableau 50 : Données de bases pour la formulation.**5.2 : Formulation de Béton à base de : 1 (m³) de béton.**

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 202.64L \\ C = 383kg / m^3 \\ S = 642.52kg / m^3 \\ G_{3/8} = 142.78kg / m^3 \\ G_{8/16} = 999.47kg / m^3 \end{array} \right.$$

5.3 : Formulation de Béton à base de : 1 (m³) de béton (40% G3/8) et (60% G8/16).

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 202.64l \\ C = 383kg / m^3 \\ S = 642.52kg / m^3 \\ G_{3/8} = 456.9kg / m^3 \\ G_{8/16} = 685.35kg / m^3 \end{array} \right.$$

5.4 : Formulation des différents mélanges testés :**5.4.1 : Mélanges M1**_(0 % Plaquette et aiguille, 40% GC3/8, 60% GC 8/16) : (**M₁**)

➤ **M₁** : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3$$

Formulation de Béton à base de : (0 % de plaquette et aiguille ; 40 % G 3/8 ; 60 % G 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 3.32 \text{ l} \\ C = 6.28 \text{ kg / m}^3 \\ S = 10.53 \text{ kg / m}^3 \\ G_{3/8} = 7.49 \text{ kg / m}^3 \\ G_{8/16} = 11.24 \text{ kg / m}^3 \\ (0)\% = \text{plaquette et aiguille} \end{array} \right.$$

5.4.2 : Mélanges M2_(10% Plaquette et aiguille, 35% GC3/8, 55% GC 8/16) : (**M₂**)

➤ **M₂** : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3$$

Formulation de Béton à base de : (10 % de plaquette et aiguille ; 35 % G 3/8 ; 55 % G 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 3.32 \text{ l} \\ C = 6.28 \text{ kg / m}^3 \\ S = 10.53 \text{ kg / m}^3 \\ G_{3/8} = 6.554 \text{ kg / m}^3 \\ G_{8/16} = 10.30 \text{ kg / m}^3 \\ \text{plaquette et aiguille} = 1.873 \text{ kg / m}^3 \end{array} \right.$$

5.4.3 : Mélanges M3_(15% Plaquette et aiguille, 32.5% GC3/8, 52.5% GC8/16) : (**M₃**)

➤ **M₃** : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : (15 % de plaquette et aiguille ; 32.5 % G 3/8 ; 52.5 % G 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 3.32 \text{ l} \\ C = 6.28 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ S = 10.53 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ G_{3/8} = 6.085 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ G_{8/16} = 9.835 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ \text{plaquette et aiguille} = 2.8095 \text{ kg} / \text{m}^3 \end{array} \right.$$

5.4.4 : Mélanges M4 (20% Plaquette et aiguille, 30% GC3/8, 50% GC8/16) : (M4)

➤ M4 : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : (20 % de plaquette et aiguille; 30 % G 3/8 ; 50 % G 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 3.32 \text{ l} \\ C = 6.28 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ S = 10.53 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ G_{3/8} = 5.617 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ G_{8/16} = 9.367 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ \text{plaquette et aiguille} = 3.746 \text{ kg} / \text{m}^3 \end{array} \right.$$

5.5 : Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci:

5.5.1 : Affaissement au cône d'Abrams:

a) Principe de l'essai:

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

b) Appareillage:

- Moule pour former l'éprouvette : en métal non directement attaqué par la pâte de ciment, d'une épaisseur minimale de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :
- diamètre de la base : (200 ± 2) mm;
- diamètre du haut : (100 ± 2) mm;
- hauteur : (300 ± 2) mm;

Le moule doit être muni, à sa partie supérieure, de deux poignées et, à sa partie inférieure, de pattes de fixation ou d'appui, afin de l'immobiliser.

- Tige de piquage : de section circulaire, rectiligne, en acier, de (16 ± 1) mm de diamètre, et de (600 ± 5) mm de longueur, dont les extrémités sont arrondies.
- Entonnoir (facultatif) : en matériau non absorbant et non directement attaquant par la pâte de ciment, ayant un dispositif permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le moule spécifié ci-dessus.
- Règle : graduée de 0 mm à 300 mm, avec des graduations de 5 mm, le zéro étant situé à une extrémité de la règle.
- Surface ou plateau de base : plateau ou autre surface, rigide, plat, non absorbant, sur lequel le moule sera posé.
- Récipient de ré-homogénéisation : plateau plat de structure rigide, en matériau non absorbant et non directement attaquant par la pâte de ciment. Ses dimensions doivent être appropriées de sorte que le béton puisse être facilement regâché, à l'aide de la pelle carrée.
- Pelle carrée : La pelle de forme carrée est nécessaire pour assurer un mélange correct du matériau sur le récipient de ré-homogénéisation
- Minuterie ou horloge : capable de mesurer le temps à 1 seconde près.

c) Mode opératoire:

- Humilier le moule et le plateau de base, puis placer le moule sur le plateau
- Maintenir fermement le moule en place pendant le remplissage, en le solidarissant par les deux pattes de fixation.
- Remplir le moule en trois couches, chacune correspondant approximativement, après serrage, au tiers de la hauteur du moule. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage. Répartir les coups uniformément sur la section de chaque couche. Pour la couche inférieure, il est nécessaire d'incliner légèrement la tige et de donner approximativement la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre. Piquer la deuxième couche et la couche supérieure, chacune sur toute son épaisseur, de sorte que la tige pénètre légèrement dans la couche sous-jacente. Lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure, mettre un excès de béton au-dessus du moule avant de commencer le piquage. Si lors du piquage de la couche supérieure apparaît un manque de béton au dessous du bord supérieur du moule. Ajouter du béton pour avoir toujours un excès. Après avoir piqué correctement la couche supérieure, araser le béton suivant le bord supérieur du moule en effectuant un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage.

- Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau de base. Démouler le béton en soulevant verticalement le moule avec précaution.
- Immédiatement après avoir retiré le moule, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point la plus haut du corps d'épreuve affaissé.

6 : Conclusion:

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques des composants sont été établies. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires sont présentées. Il était important de définir la partie normative à laquelle doivent répondre les différents mélanges. La méthode de formulation a été développée et le calcul de la proportion des constituants a été fait. L'essai au cône d'Abrams nous a permis de déterminer la consistance des bétons étudiés.

Chapitre III

Résultats Et

Discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

4.1 : Introduction:

Depuis que l'on fabrique des bétons, les ingénieurs et les chercheurs se sont efforcés d'élaborer des théories, d'effectuer des recherches et des essais et déduire des méthodes de composition pour la fabrication des bétons. Ces méthodes de formulation, de protection, de contrôle, et d'évaluation sont aujourd'hui très nombreuses.

Les essais de contrôle de béton à l'état durci :

Les essais mécaniques destructifs:

Essais compression, qui consistent à appliquer une charge croissante, avec une vitesse appropriée pour chaque essai, jusqu'à la rupture. Dans ce chapitre, on va présenter les résultats des travaux élaborés en analysant la formulation des différents échantillons testés, et l'évaluation par les essais de compression qui sont capable, d'après nos essais, de donner une première impression sur les caractéristiques mécaniques du béton durci.

Nous remarquons que le gravier « Cosider » contient un pourcentage faible de plaquettes et aiguilles, nous avons trouvé entre 13 et 18 % d'aiguilles et plaquettes dans notre gravier, pour Cela on a limité le pourcentage à 20% et on pris les pourcentages d'aiguilles et plaquettes suivant : (0%, 10%, 15%, 20 %).

4.2 : Représentation et analyse des résultats:

4. 2.1 : Masse volumique (apparente et absolue) et porosité des différent mélanges de gravier :

| Mélange | M1 (0%plaquettes et aiguilles) | M2 (10%plaquettes et aiguilles) | M3 (15%plaquettes et aiguilles) | M4 (20%plaquettes et aiguilles) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Masse volumique apparente (kg/cm ³) | 1.56 | 1.51 | 1.54 | 1.58 |
| Masse volumique absolue (kg /cm ³) | 2.18 | 2.29 | 2.31 | 2.34 |
| Porosité (%) | 0.28 | 0.34 | 0.33 | 0.32 |

Tableau 1 : masse volumique apparent et porosité des différents mélanges de béton

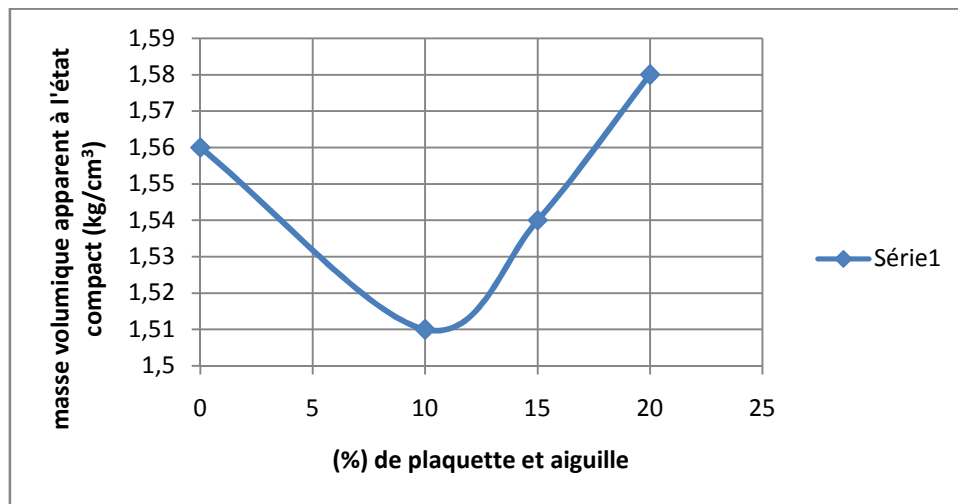


Figure1: masse volumique apparente des différents mélanges de gravier

Le mélange de fraction de gravier M2 avec 10 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique apparente la plus petite, le mélange M4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique apparente la plus grande.

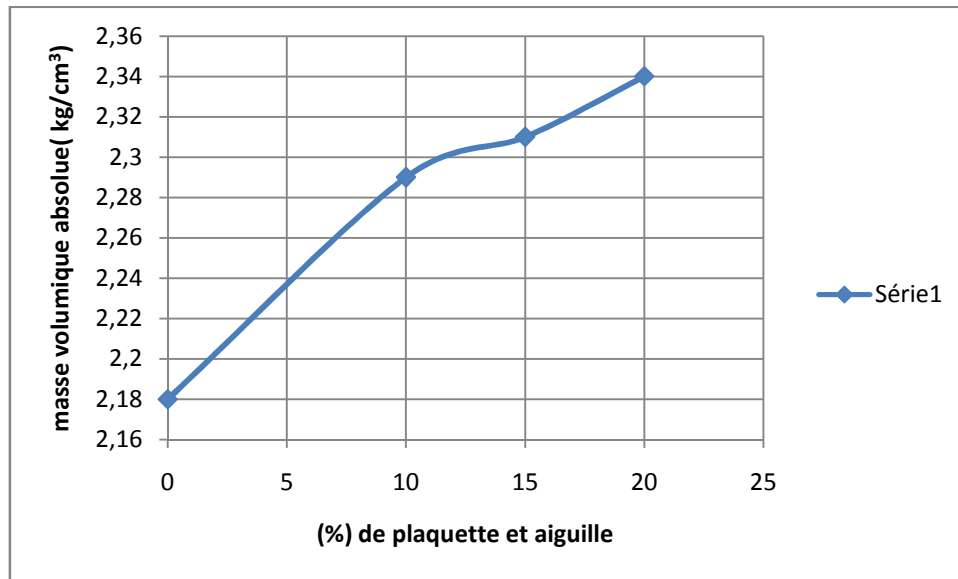


Figure 2 : Masse volumique absolue des mélanges de gravier

Le mélange de fraction de gravier M1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique absolue la plus petite, le mélange M4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique absolue la plus grande.

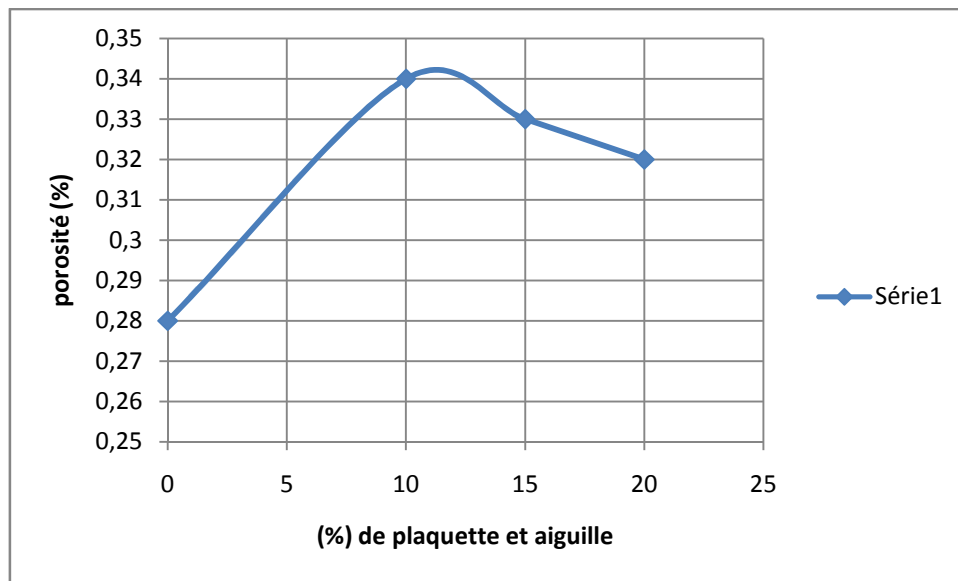


Figure 3 : porosité des différents mélanges de gravier

Le mélange de fraction de gravier M1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne une porosité minimale.

Avec ces mélanges optimums nous avons confectionné nos bétons.

4.3 : Béton à l'état frais:**4.3.1 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton :**

Pour une consistance normale. Entre 6 et 7 cm au cône d'Abrams, nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

| Type de béton | Affaissement (cm) |
|--------------------------------------|-------------------|
| B1 (0 %de GC plaquette et aiguille) | 6 |
| B2 (10 %de GC plaquette et aiguille) | 7 |
| B3 (15 %de GC plaquette et aiguille) | 6 |
| B4 (20 %de GC plaquette et aiguille) | 6.5 |

Tableau 2 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton

L'affaissement est maintenue entre 6 et 7 pour tous nos bétons.

4.3.2 : La masse volumique à l'état frais des mélanges :

| certain mélange | La masse volumique à l'état frais (kg/m3) |
|--------------------------------------|---|
| B1 (0 %de GC plaquette et aiguille) | 2.480 |
| B2 (10 %de GC plaquette et aiguille) | 2.451 |
| B3 (15 %de GC plaquette et aiguille) | 2.447 |
| B4 (20 %de GC plaquette et aiguille) | 2.421 |

Tableau 3 : La masse volumique à l'état frais des mélanges de béton (éprouvette10*10*10)

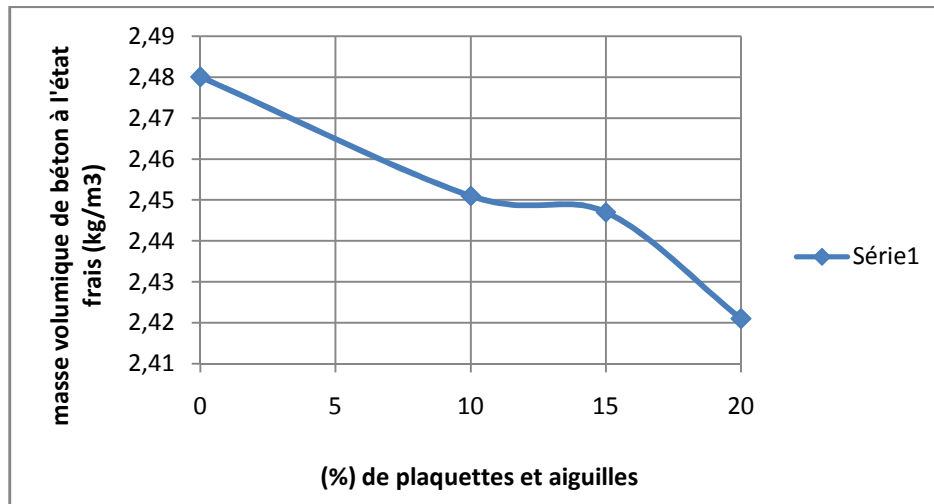


Figure 4 : La masse volumique des bétons à l'état frais des mélanges de béton

Le mélange B1 (béton témoin) avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure masse volumique à l'état frais pour différent âges, le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique à l'état frais.

4.4 : Béton a l'état durci :

4.4.1 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton:

| certains mélange | La masse volumique à l'état durci (kg/m ³) |
|--------------------------------------|--|
| B1 (0 %de GC plaquette et aiguille) | 2.413 |
| B2 (10 %de GC plaquette et aiguille) | 2.404 |
| B3 (15 %de GC plaquette et aiguille) | 2.389 |
| B4 (10 %de GC plaquette et aiguille) | 2.378 |

Tableau 4 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton

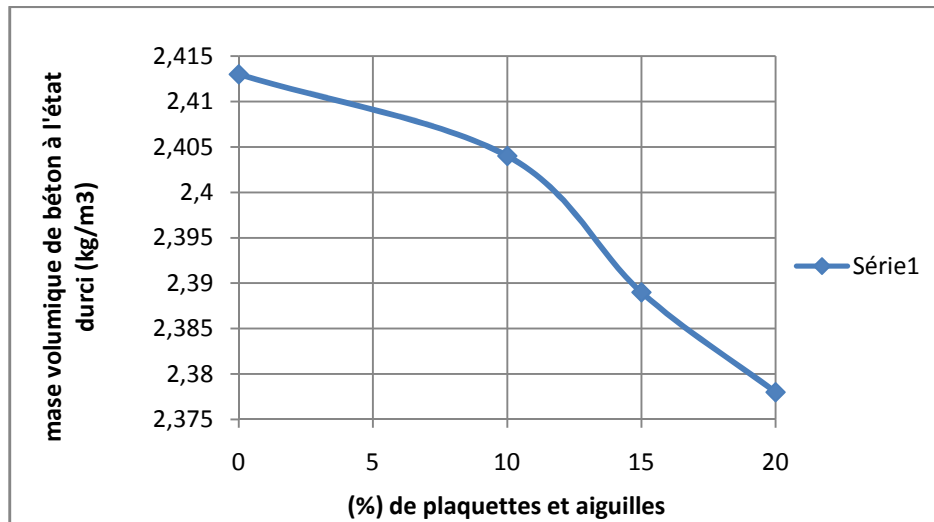


Figure 5 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton

Le mélange B1 (béton témoin) avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure masse volumique à l'état durci pour différent âges, le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique à l'état durci.

4.4.2 : Résistance à la compression de différents mélanges à 28 jours éprouvette (10*10*10).

| Béton | B1 (0%de GC plaquette et aiguille) | B2 (10%de GC plaquette et aiguille) | B3 (15%de GC plaquette et aiguille) | B4 (20%de GC plaquette et aiguille) |
|---|--|---|---|---|
| Résistance à la compression à 28J (Mpa) | 36.92 | 34.27 | 32.48 | 31.33 |

Tableau 5 : la résistance à 28 jours des différents mélanges de béton

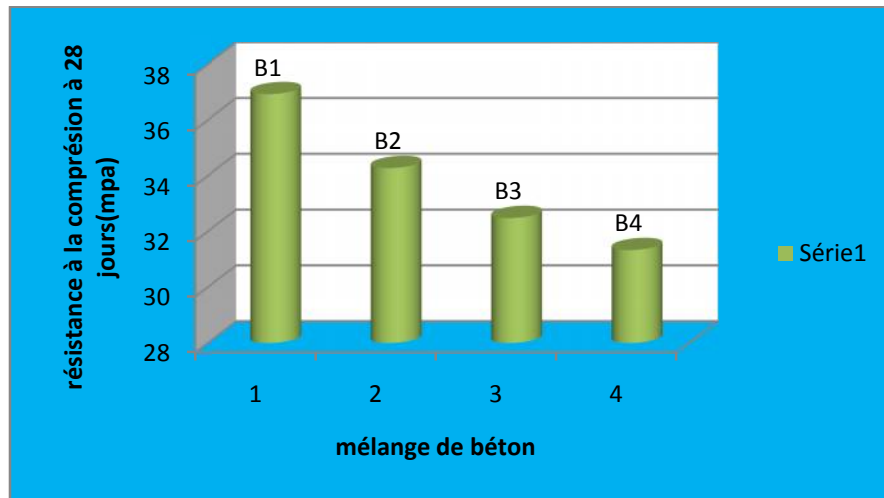


Figure 6 : histogramme de la Résistance à la compression en fonction de mélange de béton

Le mélange témoin B1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure valeur de la résistance à la compression.

Le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus faible résistance à la compression.

4.4.3 : Résistance à la compression en fonction du temps :

| Résistance à la compression(MPA) | B1 (0% de GC plaquette et aiguille) | B2 (10%de GC plaquette et aiguille) | B3 (15%de GC plaquette et aiguille) | B4 (20%de GC plaquette et aiguille) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 7 jours | 26.98 | 25.79 | 25.31 | 25.46 |
| 14 jours | 32.35 | 31.73 | 30.70 | 30.65 |
| 28 jours | 36.92 | 34.27 | 32.48 | 31.33 |

Tableau 6 : Résistance à la compression en fonction du temps

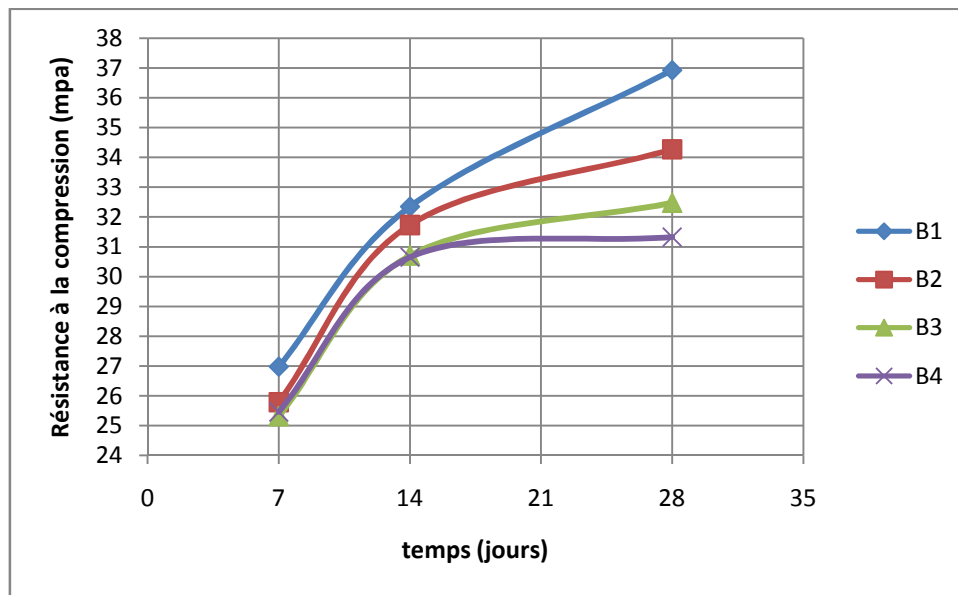


Figure 7 : Résistance à la compression en fonction du temps

La résistance à la compression augmente avec le temps à 7j ,14j, et 28jours.

Le mélange de béton B1 (béton témoin) donne la meilleure résistance pour différents âges de conservation.

4.4.4 : Résistance à la traction :

| Béton | B1 (0% de GC plaquette et aiguille) | B2 (10% de GC plaquette et aiguille) | B3 (15% de GC plaquette et aiguille) | B4 (20% de GC plaquette et aiguille) |
|--|---|--|--|--|
| Résistance à la traction à 28J (mpa) | 5.33 | 4.23 | 3.93 | 3.46 |

Tableau 7 : résistance à la traction à 28 jours des mélanges de béton

On prend le mélange de béton optimum de chaque combinaison, (B1, B2, B3, B4)

Pour comparer leurs résistances et tirer des conclusions.

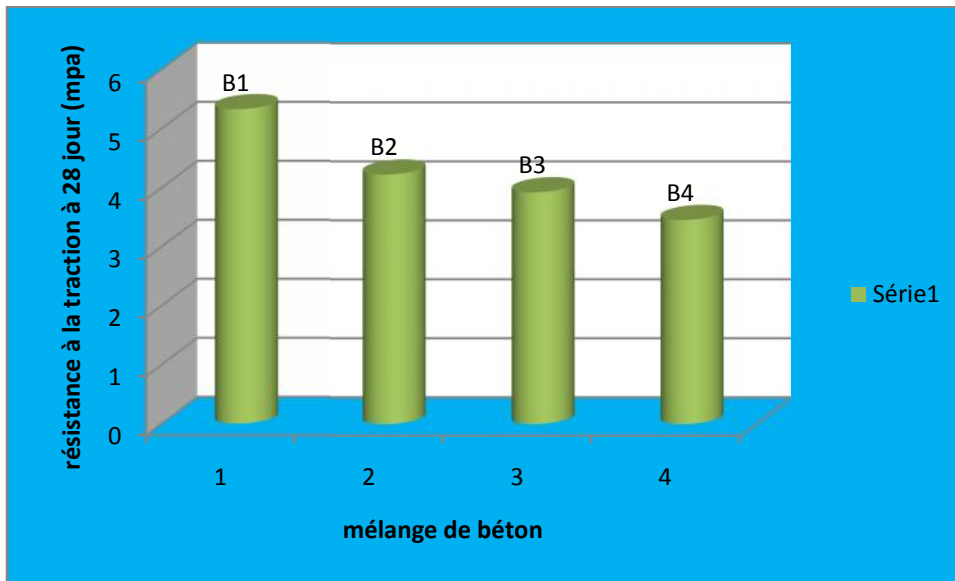


Figure 8 : histogramme de la Résistance à la traction en fonction de mélange de béton

Le mélange témoin B1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure valeur de la résistance à la traction.

Le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus faible résistance à la traction.

Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE :

- Le mélange de fraction de gravier M2 avec 10 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique apparente la plus petite, le mélange M4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique apparente la plus grande.
- Le mélange de fraction de gravier M1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique absolue la plus petite, le mélange M4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la masse volumique absolue la plus grande.
- Le mélange de fraction de gravier M1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne une porosité minimale.
- L'affaissement est maintenue entre 6 et 7 pour tous nos bétons.
- Le mélange B1 (béton témoin) avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure masse volumique à l'état frais pour différent âges, le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique à l'état frais.
- Le mélange B1 (béton témoin) avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure masse volumique à l'état durci pour différent âges, le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique à l'état durci.
- Le mélange témoin B1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure valeur de la résistance à la compression (36.92 mpa), Le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus faible résistance à la compression.
- La résistance à la compression augmente avec le temps à 7j ,14j, et 28jours, Le mélange de béton B1 (béton témoin) donne la meilleure résistance pour différents âges de conservation.
- Le mélange témoin B1 avec 0 % d'aiguilles et plaquettes donne la meilleure valeur de la résistance à la traction, Le mélange B4 avec 20 % d'aiguilles et plaquettes donne la plus faible résistance à la traction.

BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] **BERBAOUL.R:** « Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenu le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.
- [2] **BARON. J et OLLIVIER.J :** « Les bétons : bases et données pour leur formulation » Edition Eyrolles. 1999.
- [3] **OLLIVIER. J.P et VICHOT A.** pour l'ATILH : « La durabilité du béton.»- Presses de l'école des Ponts et Chaussées - Paris - 2008.
- [4] **Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1 : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.**
- [5] **DREUX G., FESTA J. :** 1995, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles.
- [6] **DREUX. G 1979 :** « Nouveau guide du béton. » L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par : • La nature et le dosage du liant.
- [7] **GABRYSIA. F:** Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007
- [8] **ADAMM.N :** « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000
- [9] **VENANT.M :** « Ciment et bétons. » 2ème édition. 1973
- [10] **Groupe Eyrolles :** « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [11] **EN-12350-6 :** masse volumique du béton frais.
- [12] **EN-12390-3 :** résistance à la compression des éprouvettes.
- [13] **GHOMARI. F., BENDI – OUIS A :** « Sciences des matériaux. » Université Aboubekr Belkaid. Département de génie civil.
- [14] **(F DE LARRARD)** concrète mixture-proportioning-A scientific Approach Londers 1999.
- [15] **THIBAUT. B, BOUFFARD.M, HORLAIT.C, LACROIX.R :** Projet IFIPS(2008)
- [16] **DONGMO.E et BERTHE.J :** « Caractérisation des déformations d'orniérage des chaussées bitumineuses. » Thèse : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005 [17/01/2006]

[17]**BRUNO.S** : « Etude des mouvements d'eau dans les matériaux poreux appliquée à la résistance au gel et au comportement des crépis sur la maçonnerie. » Thèse No 848 (1990).
Département des matériaux. Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE pour l'obtention du grade de docteur es sciences techniques.

[18] **A.A.MOHAMED**. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes :
Université KASDI MERBAH de Ouargla 2011

[19] les **fiche** technique, TOME 2, ont été réalisées par les experts de CIMBETON. Elles ont pour titre : (les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre)

[20] **ABDELKADIR MAKANI** influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique différé UNNIVERSITE TOULOUSE LE 11 juillet 2011

[21] **Powers t.c** propriété of fresh concrete, (**J.WILEY 1969**).

[22] **centre** de documentation.insytut algérien de normalisation date : 2006

[23]<http://www.estigc.fr/labo/beton/dreuxgranulats.htm>

[24]**Fascicule de documentation de FD P 18-542** : « Granulats - Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction. » Février 2004.

[25] **GUIDE METHODOLOGIQUE** : Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne, LCPC (2003).

[26] Pr **RANAIVONIARIVO** Velomanantsoa Gabriely Cours de Mortiers et Bétons 4e Année
Science et Ingénierie des Matériaux École Supérieur Polytechnique d'Antananarivo Université
d'Antananarivo, 2006-2007

[27] « Guide pratique du béton »

Résumé :

L'amélioration de la qualité du béton est l'objectif de tous les chercheurs dans le domaine du génie civil, ainsi que la recherche de la bonne qualité des matériaux utilisés d'une bonne combinaison de la qualité du béton.

Notre étude centrée autour d'un composant du béton gravier concassé avec des mesures concrètes 3/8 et 8/16 et en examinant les quatre différentes combinaisons de gravier concassé et de forme aiguilles et des plaquettes dans des proportions différentes (0 %, 10 %, 15 %, 20 % plaque et aiguille) afin d'atteindre la meilleure résistance mécanique.

Mots-clés : Béton, gravier, cassé, une aiguille, une plaque, la résistance mécanique.

ملخص:

تحسين نوعية الخرسانة هو هدف كل الباحثين في مجال الهندسة المدنية، و كذلك البحث عن نوعية جيدة للمواد المستعملة و تركيبة جيدة تعطي خرسانة ذات جودة.

دراستنا تتمحور حول أحد مكونات الخرسانة و هي الحصى المكسرة ذات القياسات 3/8 و 8/16 و ذلك بدراسة أربع خلطات مختلفة من الحصى المكسرة على شكل إبر و صفائح بنسب مختلفة (0 % ، 10 % ، 15 % ، 20 % شكل إبرة و صفيحة) و ذلك من اجل الوصول إلى أفضل مقاومة ميكانيكية.

كلمات مفتاحية: خرسانة، الحصى المكسرة، شكل إبرة، شكل صفيحة، مقاومة ميكانيكية.

Abstract :

Improving the quality of concrete is the purpose of all researchers in the civil engineering field, and the search for good materials and good combination of these materials leads to an efficient concrete.

Our study centered around a component is broken gravel with concrete measurements 8/3 and 16/8 and by examining four different mixes of Gravel broken needles and plates in different proportions (0%, 10%, 15%, 20% form needle and plate) in order to reach the best mechanical resistance.

Keywords : Concrete, gravel broken, form needle, form plate, mechanical resistance.