



Université Abderrahmane Mira-Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

M^{lle} TALBI Nadia

Mr ZOUAOUI Mohammed

Thème

***Caractérisation des agrégats à usage de
construction***

Soutenu le 24 / 06 / 2018 devant le jury composé de:

Président	Mr MOUSSACEB.K	Professeur	U.A.M.Bejaia
Promoteur	Mr AKDIM.A	MAA	U.A.M.Bejaia
Invité	Melle DAOUDI.S	Ingénieur du laboratoire (CETIM)	CETIM. Boumerdes
Examineur	Mr AYADEN.B	MAA	U.A.M.Bejaia

Promotion: 2017-2018

Remerciements

On rend grâce à dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la santé, le courage et la patience de pouvoir accomplir ce travail.

La première personne que nous tenons à remercier est Mr AKDIM, pour l'orientation, la confiance, la patience, qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury : Mr AYADEN et Mr MOUSSACEB pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements s'adressent au laboratoire de recherche 3BS, particulièrement le directeur Mr MADANI KHodir.

Il est évident que notre travail ne pu voir le jour sans l'aide précieuse du personnel des carrières ayant fournis les agrégats faisant Object de notre étude, qu'il puisse trouver nos remerciements.

Nous tenons encore à porter tous nos remerciements à Mr MADANI, chef d'antenne du laboratoire de la Mitidja des travaux publics et de bâtiments de nous avoir accueilli.

Nous tenons à remercier chaleureusement Melle DAOUDI, ingénieur au laboratoire CETIM, pour son soutien et son aide tout au long de cette étude.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à mes parents,

*Ma mère, mon exemple éternel, la source de mes efforts, qui a œuvré
pour ma réussite par son amour et son soutien, ses sacrifices et ses
précieux conseils.*

*Mon père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de ces longues
années de sacrifices, puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son
fruit, merci pour tout.*

C'est à vous que je dois cette réussite.

*A mon frère : Salas, le bijou de la famille et mon bonheur dans cette
vie, je te souhaite un avenir plein de joie et de réussite.*

*A mes deux adorables sœurs : Yasmine et Thileli, je vous aime
énormément.*

A toute ma famille sans exception.

*A mes amies : Dyhia, Djidji, Katia, Hanane, Imene merci de m'avoir
soutenue et encouragé tout au long de cette période.*

A mes amis(es) de la première promotion génie minier.

A mon binôme : Zouaoui Mohammed, et toute sa famille.

A vous et à ceux que j'aurais très injustement oublié... merci.

Nadia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail.

A

Ma très chère mère et mon très cher père qui représentent pour moi par excellence le symbole de la bonté, la source de tendresse. Ce travail est le fruit de vos sacrifices et vos efforts fournis pour mon éducation et ma formation, vos prières et votre bénédiction m'ont été un grand soutien.

A

Mon cher et unique frère : Sofiane. Les mots ne suffisent pas pour exprimer l'estime, et l'attachement que je porte pour toi.

A

Mes très chers sœurs : Drifa, Faiza ainsi son mari Ali et leurs enfants : Moumouh, Amina et Adam. Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur, je vous remercie pour votre hospitalité sans égal et votre affection si sincère.

A

Tous mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et les familles : Zouaoui et Belarbi.

A

Mes chers ami(e)s : Kermani, Mohamed, younes, Lahcene, Saleh, Meziane, Idir, Merzouk, Abdeslam, Hamid, Karim, Anais, Tinhinane, Mouloud, Arezki, Bissa, Allaa Edine, Abdou, Lounis et particulièrement à Lysa Dennoune qui n'a jamais arrêté de m'épauler et de m'encourager durant tous mon parcours.

A

Mon binôme : Talbi Nadia que je ne cesserai jamais de la considérer parmi l'une de mes sœurs, et à qui je souhaite une bonne continuation pour son avenir professionnel. Veuillez trouver ici l'expression de mon grand respect.

Pour finir, aucune dédicace pourrai exprimer mes vifs remerciements, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Mohammed

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	ii
Liste des abréviations	iii
Introduction générale.....	1

Chapitre I : synthèse bibliographique

Introduction	3
I.1. Définition du béton	3
I.1.1. Les type de béton	4
I.2. Définition de béton ordinaire	6
I.3. Composition d'un béton ordinaire	6
I.4. Constituant de béton ordinaire	7
I.4.1. Le ciment	7
I.4.1.1. Classification de ciment en fonction de leur composition	7
I.4.2. Les granulats	8
I.4.2.1. Définition	8
I.4.2.2. Classe granulaire	8
I.4.2.3. Les différents types des granulats	8
I.4.2.4.Caractéristiques des granulats	10
I.4.3.Le sable	14
I.4.3.1.Propriétés recherchées dans un sable	14
I.4.4. Les adjuvants	16
I.4.4.1. Définition	16
I.4.4.2. Le rôle des adjuvants	16
I.4.4.3. Les type d'adjuvants	16
I.4.4.4. Effet des adjuvants sur l'hydratation du ciment	16
I.4.5. L'eau de gâchage	18
I.5. Propriétés du béton	18
I.5.1. Caractéristiques du béton ordinaire à l'état frais	18
I.5.1.1. L'ouvrabilité (essai d'affaissement au cône d'ABRAMS)	18
I.5.1.2. La densité réelle du béton frais	19
I.5.2.Caractéristiques du béton ordinaire à l'état durcis	20

I.5.2.1. Résistances mécaniques	20
I.6. Méthode de formulations des Bétons ordinaire	21
I.6.1. La méthode de Dreux-Gorisse	21
Conclusion	25

Chapitre II : Matériels et méthodes

Introduction	26
--------------------	----

Phase 01 : Echantillonnage

II.1. Démarche expérimentale	26
II.1.1. Prélèvement des échantillons (échantillonnage)	26
II.1.2. Préparation de l'échantillon pour l'essai (au laboratoire)	27

Phase 02 : Caractérisation des granulats

II.2.1. Caractéristiques géométrique des gravillons	28
II.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage	28
II.2.1.2. Coefficient d'aplatissement des granulats	30
II.2.2. Caractéristiques physiques	31
II.2.2.1. Masses volumiques, la porosité, coefficient d'absorption et la teneur en eau.....	31
II.2.2.2. Propreté des gravillons	33
II.2.2.3 Détermination du poids spécifique des gravillons (le chatelier)	33
II.2.3. Caractéristiques mécaniques.....	34
II.2.3.1. Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	35
II.2.3.2. Résistance à l'usure (Micro Deval)	36
II.2.4. Caractérisation géométrique des sables	38
II.2.5.1. Masses volumiques, coefficient d'absorption, teneur en eau	38
II.2.5.2. Détermination de la masse spécifique (le Chatelier)	38
II.2.5.3. Propreté d'un sable	38

Phase 03 : Formulation et essais sur béton

II.3.1. Formulation du béton « DREUX GORISSE »	41
II.3.2. La confection de béton à l'état frais et à l'état durci	48
II.3.2.1. Confection et cure des éprouvettes	48

II.3.2.2. Les étapes d'élaboration du mélange	48
II.3.2.3. Essais sur le béton frais	49
II.3.2.4. Essais sur le béton durci	51
Conclusion	53

Chapitre III : Résultats et discussions

Introduction	54
--------------------	----

Partie 01 : Résultats et discussions des essais sur granulats

III.1.1. Caractéristiques géométriques des gravillons	54
III.1.1.1. Analyse granulométrique par tamisage	54
III.1.1.2. Coefficient d'aplatissement des granulats	56
III.1.2. Caractéristiques physiques des gravillons	57
III.1.2.1. Masses volumiques (M_{vr} , M_{vi}), porosité (P), coefficient d'absorption (Ab) et teneur en eau (W)	57
III.1.2.2. Propreté des gravillons (P)	58
III.1.2.3. Détermination du poids spécifique des gravillons (le Chatelier)	60
III.1.3. Caractéristiques mécaniques des gravillons	60
III.1.3.1. Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	60
III.1.3.2. Résistance à l'usure (Micro Deval)	60
III.1.4. Caractérisation géométrique des sables:	61
III.1.4.1. Analyse granulométrique par tamisage	61
III.1.5. Caractéristiques physiques des sables	63
III.1.5.1. Masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau	63
III.1.5.2. Détermination du poids spécifique (le Chatelier)	64
III.1.5.3. Propreté d'un sable	65

Partie 02 : résultats des essais sur le béton

III.2.1. Propriétés des bétons à l'état frais	66
III.2.1.1. Masse volumique	66
III.2.1.2. Affaissement au cône d'Abrams	67
III.2.2. Propriétés du béton à l'état durci	68

III.2.2.1. la Masse volumique du béton durci.....	68
III.2.2.2. Résistance à la compression	69
III.2.2.3. Résistance à la flexion.....	71

Partie 03 : Etude comparative des résultats des bétons formulés

III.3.1. Formulation du béton type (A)	73
III.3.2. Formulation du béton type (B)	73
III.3.3. Formulation du béton type (C)	74
Conclusion	74

Conclusion générale 83

Perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure I.1 : Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire ..	7
Figure I.2 : L'effet des adjuvants sur le ciment.....	17
Figure I.3 : Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS	17
Figure I.4 : Mesure de l'affaissement	19
Figure II.1 : Prélèvement de l'échantillon sur tas	27
Figure II.2 : Tamiseuse	29
Figure II.3 : Grilles à fentes	30
Figure II.4 : Essai le Chatelier	34
Figure II.5 : Machine de Los Angeles.	35
Figure II.6 : Appareil Micro Deval humide à cylindres	37
Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable.	39
Figure II.8 : Essai au bleu de méthylène.	40
Figure II.9 : Courbe granulaire de référence (A).	44
Figure II.10 : Courbe de référence (B).	45
Figure II.11 : Courbe de référence (C).	45
Figure II.12 : Malaxeur pour la confection du béton	49
Figure II.13 : Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS.	50
Figure II.14. Conservation des éprouvettes.	51
Figure II.15 : Machine pour essai de compression.....	52
Figure II.16 : Essai de flexion.	52
Figure III.1 : Variation de la masse volumique à l'état frais de différents bétons.	67
Figure III.2 : variation de la masse volumique à l'état durcis de différents bétons.	69
Figure III .3 :Variation et évolution des résistances à la compression de différents bétons après 7 et 28 jours.	70
Figure III .4.Variation et évolution des résistances a la flexion de différents bétons après 7 et 28 jours.....	71

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Types de béton en fonction de leur destination	4
Tableau I.2 : Types de béton en fonction de leur masse volumique	5
Tableau I.3 : Types de béton en fonction de D_{\max}	5
Tableau I.4 : Types de béton en fonction de leur consistance	5
Tableau I.5 : Classes de résistance à la compression	6
Tableau I.6 : Classification des sables à partir de leur module de finesse.	15
Tableau I.7 : le rôle des adjuvants selon leurs types et catégorie	16
Tableau I.8 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	22
Tableau I.9 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.....	23
Tableau I.10 : Valeurs du coefficient de compacité γ	24
Tableau II.1 : Résultats de calculs des volumes.	43
Tableau II.2 : Résultats des données du point $A(X, Y)$	44
Tableau II.3 : Les pourcentages du mélange de béton des trois granulats (G_A , G_B et G_C).	46
Tableau II.4 : Résultats de calculs des volumes des granulats (G_A , G_B et G_C)	46
Tableau II.5 : Résultats de calculs des masses des granulats (G_A , G_B et G_C)	48
Tableau II.6. Masse de l'adjuvant utilisé pour chaque granulats (G_A , G_B et G_C)	49
Tableau III.1 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (G_A)	55
Tableau III.2 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (G_B).....	55
Tableau III.3 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (G_C)	56
Tableau III.4 : Résultats de la mesure du coefficient d'Aplatissement des trois types de granulats (G_A , G_B et G_C).	56
Tableau III.5 : Résultats des essais physiques pour le gravillon (G_A)......	57

Tableau III.6 : Résultats des essais physiques pour le gravillon (G_B)	58
Tableau III.7 : Résultats des essais physiques de l'échantillon pour le (C)	58
Tableau III.8 : Résultats de l'essai de propreté des gravillons (G_A , G_B et G_C).	59
Tableau III.9 : Résultats du poids spécifique des trois types de gravillons (G_A , G_B et G_C).	60
Tableau III.10 : Résultats de l'essai de résistance au choc	60
Tableau III.11 : Résultats de la détermination de la résistance à l'usure	61
Tableau III.12 : Analyse granulométrique des sables (S_A , S_B et S_C).	62
Tableau III.13 : Module de finesse des sables (S_A , S_B et S_C).	63
Tableau III.14 : Résultats des essais physiques sur les sables (S_A , S_B et S_C).	64
Tableau III.15 : Résultats du poids spécifique des trois sables (S_A , S_B et S_C).	64
Tableau III.16 : Résultats des essais d'équivalent de sable (0/2).	65
Tableau III.17 : Résultats des essais au bleu de méthylène (0/2).	66
Tableau III.18 : Variation de la masse volumique à l'état frais de différents bétons.	66
Tableau III.19 : L'ouvrabilité des trois différents types de bétons.	67
Tableau III.20 : Variation de la masse volumique à l'état durcis de différents bétons après 7 et 28 jours.	68
Tableau III.21 : Variation des résistances a la compression de différents bétons après 7 et 28 jours.	70
Tableau III. 22 : Variation des résistances a la flexion de différents bétons après 7 et 28 jours.	71
Tableau III.23. Tableau récapitulatif des résultats des essais sur granulats et sur béton durci.	72
Tableau.III.24 : Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (A) durci après 28 jours.	73
Tableau III.25 : Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (B) durci après 28 jours.	74
Tableau III.26: Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (C) durci après 28 jours.	74

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

CEM : Ciment.

CPA : Ciment Portland.

CPJ : Ciment Portland Composé.

CHF : Ciment Haut Fourneaux.

CLC : Ciment au Laitier et aux Cendres.

CPZ : Ciment Pouzzolonique.

LA : Coefficient los Angeles.

MDE : Coefficient Micro Deval en présence d'eau.

ES : Equivalent de Sable.

MB : Valeur de Bleu de Méthylène.

MF : Module de Finesse.

A : Aplatissement.

P : Propreté.

M_{vr} : Masse volumique réelle.

M_{vi} : Masse volumique imbibé.

W : Teneur en eau.

Ab : Coefficient d'absorption.

p : Porosité.

d : Poids spécifique.

BT : Béton.

Aff : Affaissement au cône d'Abrams.

Introduction générale

Introduction générale

Les granulats constituent une matière première indispensable, destinés à entrer dans la composition des matériaux orientés à la fabrication d'ouvrages, des travaux publics, de génie civil et du bâtiment [1].

Les granulats sont notamment nécessaires pour la fabrication du béton, mais ils doivent répondre à des exigences de qualité et être associés à des liants en quantité suffisante, et il est nécessaire d'en établir des caractéristiques par différents essais au laboratoire qui assurent la durabilité des bétons.

Le béton est un composant résultant d'un mélange de différents constituants dont : les granulats, le ciment, l'eau et de faibles quantités d'adjuvant (si nécessaire) [2].

Ces constituants sont dosés afin d'avoir un produit solide après durcissement avec des hautes capacités de résistance à la compression et même à la traction.

Nous avons choisi cette étude visant à faire une comparaison entre trois types de granulats de différentes provenances de carrières différentes, or, ayant de différentes caractéristiques.

Cette présente étude a pour but de formuler des bétons (adjuvantés) à base de trois types de granulats (G_A , G_B , et G_C) issus de trois carrières différentes (A, B et C) et d'étudier l'influence des caractéristiques des granulats (physiques et mécaniques) sur les propriétés physico-mécaniques du béton.

Dans le but de bien mener notre recherche, nous avons divisé notre mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre, relative à une synthèse bibliographique, qui traitera des aspects théoriques sur le béton, et ses constituants et dans lequel nous allons nous intéresser beaucoup plus sur le composant principal du béton « les granulats » en présentant les différentes caractéristiques de ce matériau.

Le deuxième chapitre, divisé en deux parties, la première partie est destinée à la caractérisation, physique et mécanique des trois types de granulats (G_A , G_B , et G_C). La deuxième partie traitera la formulation de trois types de béton adjuvanté (BT_A , BT_B , et BT_C) selon la méthode « DREUX-GORISSE » et puis nous allons montrer les différents essais sur le béton frais et durci réalisé.

Introduction générale

Le troisième chapitre, expose les résultats de la caractérisation physique et mécanique des trois types de granulats (GA, GB et GC), ainsi que les résistances obtenus par des essais sur béton adjuvanté (BT_A, BT_B, et BT_C) à l'état frais et à l'état durci, ainsi que des interprétations sur l'influence de la propreté des granulats sur les résistances du béton.

Nous allons terminer notre étude par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique sur le béton et les agrégats

Introduction

Les granulats constituent une matière première indispensable, qui rentre dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages, des travaux publics, du génie civil et du bâtiment.

Les granulats sont notamment nécessaires pour la fabrication du béton, mais ils doivent répondre à des exigences de qualité et être associés à des liants en quantité suffisante.

Dans le cadre d'une démarche expérimentale, visant à évaluer le comportement de trois types de granulats dans un béton que s'inscrit notre travail. Ce présent chapitre a pour objet de présenter dans un premier temps des généralités sur les bétons, dans lequel nous mettrons l'accent sur les différents constituants et propriétés et caractéristiques de ce dernier. Dans un second lieu, nous présenterons les principales méthodes de formulation pour la confection des bétons.

1.1. Définition du béton

Le béton est un matériau composite, il est constitué de différents matériaux, 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 : des granulats et de la matrice, dont [2] :

- 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.

- 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.

1.1.1. Les types de béton

Il existe plusieurs types de bétons, dont leur classification se fait suivant différents critères, à savoir :

A. Classification selon la destination

Le béton peut être classé en plusieurs classes selon sa destination qui sont représentées dans le tableau ci-dessous:

Tableau I.1: Types de béton en fonction de leur destination [3].

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).

B. Classification selon la masse volumique

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

Tableau I.2 : Types de béton en fonction de leur masse volumique [4].

Types de béton	Béton léger	Béton normal	Béton lourd
Masse volumique (kg/m ³)	De 800 à 2000	De 2000 à 2600	Supérieure à 2600

C. Classification selon la consistance

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

Tableau I.3: Types de béton en fonction de D_{\max} [5].

Classes du béton	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
Dimension maximale des granulats D_{\max}	$8 \leq D_{\max} < 16\text{mm}$	$16 \leq D_{\max} < 31.5 \text{ mm}$	$31.5 \leq D_{\max} < 63$

D. Classification selon leur consistance (cône d'Abrams)

La classe des bétons selon la consistance est également définie en utilisant le cône d'ABRAMS, on obtient alors cinq classes qui sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau I.4: Types de béton en fonction de leur consistance [6].

Affaissement (Aff.) en cm	Classe des bétons
0 à 2	Très ferme
3 à 5	Ferme
6 à 9	Plastique
10 à 13	Mou
>14	Très mou

E. Classification selon leur résistance à la compression sur cylindre f_{ck}

La norme EN-206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau I.5. Dans ce tableau f_{ck-cyl} est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres, $f_{ck-cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

Tableau I.5: Classes de résistance à la compression [7].

Classes	C 8/10	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55
f_{ck-cyl} (N/mm ²)	8	12	16	20	25	30	35	45
$f_{ck-cube}$ (N/mm ²)	10	15	20	25	30	37	45	55

I.2. Définition de béton ordinaire

Le béton ordinaire est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le liant peut être «hydraulique», car il fait prise par hydratation, il est appelé ciment, on obtient dans ce cas un béton de ciment, ou béton tout court. Le liant peut être aussi un hydrocarboné appelé aussi bitume, ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux [8].

I.3. Composition d'un béton ordinaire

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et le plus souvent adjuvants (*voir figure 1.1*), qui constituent un ensemble homogène [9].

Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci [10].

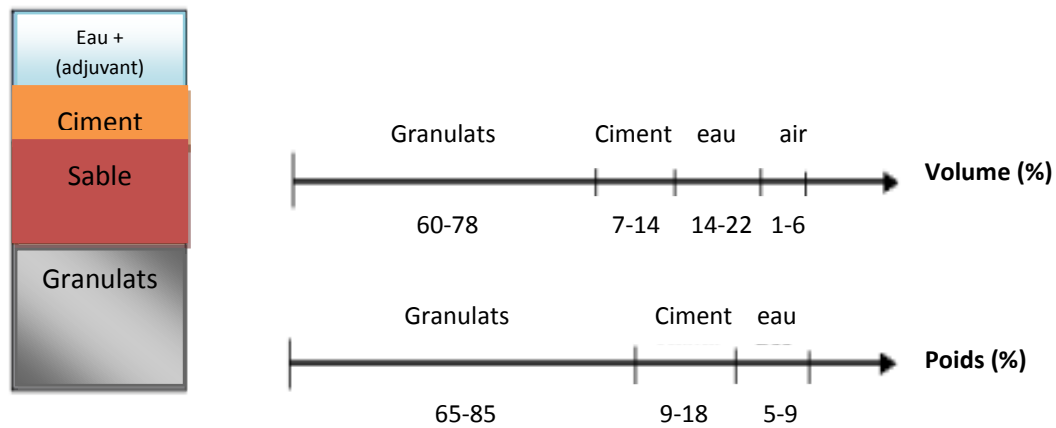


Figure I.1 : Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [9].

I.4. Constituant de béton ordinaire

I.4.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composants minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice active devant être au moins de 50% de la masse de ciment. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide [10-11].

I.4.1.1. Classification de ciment en fonction de leur composition

Les ciments sont constitués principalement du clinker et des constituants énumérés qui sont classés en fonction de leur composition en cinq types principaux, ils sont notés CEM (ciment) et numérotés de 1 à 5 en chiffre romains dans leur notation européenne (sols, granulats...) [10] :

- **CEM I:** Ciment Portland (CPA)
- **CEM II:** Ciment Portland composé (CPJ)
- **CEM III:** Ciment haut Fournaux (CHF)
- **CEM V:** Ciment composé (ou ciment au laitier et au cendres: CLC)
- **CEM IV:** Ciment pouzzolanique (CPZ)

I.4.2. Les granulats

I.4.2.1. Définition

On appelle « granulats » les matériaux inertes, sables, graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. Ces matériaux sont quelques fois encore appelés « agrégats » [1].

L'utilisation des granulats dans les bétons a pour objectif d'améliorer la résistance de la matrice cimentaire et de diminuer la quantité du liant [13].

En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais [14].

I.4.2.2. Classe granulaire

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D , d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. On peut classer les granulats en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à maille carrées dans une série normalisée. La norme française **XP P18-540** précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles [15-16]:

- fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm ;
- graves 0/D où $D > 6,3$ mm ;
- gravillons d/D où $d > 1$ et $D < 125$ mm ;
- ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm

I.4.2.3. Les différents types de granulats

Il existe plusieurs types de granulats qui sont en fonction de plusieurs critères à savoir:

A. En fonction de leur masse volumique réelle

❖ **Granulats légers** : Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est

inférieure à 2 t/m^3 , comme les argiles, les schistes, les laitiers expansés ou encore les pouzzolanes. Ils sont destinés à la préparation des bétons légers [2].

- ❖ **Granulats courants** : Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est entre 2 et 3 t/m^3 comme les matériaux naturels, alluvionnaires (silex, calcaire dur silico-calcaire) de densité entre 2.5 et 2.7 , éruptifs ou sédimentaires (grés, porphyres, diorite, basaltes, ...etc.) de densité entre 2.6 et 3 [2].
- ❖ **Granulats lourds** : Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est supérieure à 3 t/m^3 . Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour construire des ouvrages nécessitant une protection biologique contre le rayonnement. On utilise en particulier les barytines, les magnétites qui ont une densité entre 3.4 et 5.1 , aussi les riblons et les grenailles de fonte qui ont une densité entre $7,6$ et $7,8$ [2].

B. En fonction de leur origine

- ❖ **Les granulats naturels** : Ce sont des matériaux purement naturels, ne subissant aucun traitement autre que mécanique tel que l'extraction, le concassage, le broyage, le criblage, le lavage...etc [2].
- ❖ **Les granulats artificiels** : Ce sont les granulats qui proviennent de la transformation thermique des roches, de minerais ou de sous produits industriels (laitiers, scories) [1].
- ❖ **Les granulats recyclés** : Ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou d'une réutilisation [17].

C. En fonction de la forme de leurs grains

- ❖ **Les granulats concassés** : Ce sont des granulats provenant du concassage des pierres et dont les grains ont une certaine angularité. Ils sont issus du concassage des roches de porphyres, grés, calcaires, quartzites, de galets concassés et de laitiers [2].
- ❖ **Les granulats roulés** : Ils représentent les granulats ayant subis une altération naturelle mécanique due à l'eau, au vent, à l'usure réciproque des granulats lors de leur transportation dans la nature. Il résulte que plus de 90% des surfaces des grains

sont arrondies et de provenance alluvionnaire [2].

I.4.2.4. Caractéristiques des granulats

A. Caractéristiques géométriques

a) Classe granulaire

La granularité est la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat, elle s'effectue par la méthode d'analyse granulométrique. Cette opération consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carré et peser le refus obtenu sur chaque tamis. On trace ensuite la courbe [10].

b) Courbe granulométrique

On trace les courbes granulométriques sur un graphe de référence, présentant en ordonnées les pourcentages des passants ou refus, en abscisse l'ouverture des mailles. On exclut les gros grains $> 80\text{mm}$ et les fines $< 80\text{ }\mu$. La forme des courbes granulométriques apporte les informations suivantes :

- limite des différentes fractions d et D ,
- la plus ou moins grande proportion d'éléments fins.
- la continuité ou la discontinuité de la granularité en fonction des refus cumulés de la plus petite et la plus grande dimension [10].

c) Forme et coefficient d'aplatissement

La forme des granulats a une incidence directe sur la maniabilité du béton. La forme souhaitée est la sphère, alors que la forme plate est mauvaise, elle demande une quantité d'eau élevée et donc des défauts. Les grains concassés sont moins lisses que les sables roulés. La compacité est moins bonne, le béton est moins ouvrable. Il est caractérisé par une surface spécifique élevée, et exige plus de ciment, donc plus d'eau. Aussi le grain concassé présente l'avantage d'offrir plus de contact que le grain roulé [18] Le calcul du coefficient d'aplatissement selon la norme **NF EN 933-3** est selon la formule suivante :

$$A = \frac{M_e}{M_g} \times 100 \text{ [18]}$$

Avec :

M_g : la masse des granulats élémentaires d_i/D_i

M_e : la masse des grains de chaque granulat élémentaire d_i/D_i passant à travers une grille à fentes correspondante d'écartement $D_i/2$

B. Caractéristiques physiques

a) Masses volumiques, la porosité, coefficient d'absorption et de la teneur en eau

- La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel), elle est exprimée par la relation suivante, selon la norme **P 18-554** :

$$M_{vr} = \frac{M's}{Ma - M'a} [19].$$

Avec:

M_s' : masse sèche après lavage

M_a : masse humide avec surface séché

$M'a$: masse de l'échantillon imbibé

- La masse volumique réelle imbibée est définie comme le quotient de la masse de l'échantillon imbibé (cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique) par le volume qu'il occupe (volume réel), elle est exprimée par la relation suivante, selon la norme **P 18-554** :

$$M_{vi} = \frac{Ma}{Ma - M'a} [19].$$

- La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessible à l'eau au volume réel de l'échantillon, elle est exprimée par la relation suivante, selon la norme **P 18-554** :

$$P = \frac{Ma - M's}{Ma - M'a} [19].$$

- Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon (cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique), elle est exprimée par la relation suivante, selon la norme **P 18-554** :

$$Ab = \frac{Ma - M's}{M's} \times 100 [19].$$

- La teneur en eau est définie comme le rapport du volume de la différence entre la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon, elle est exprimée par la relation suivante, selon la norme **P 18-554** :

$$W = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \text{ [19].}$$

Avec:

M_h : masse humide

M_s : masse sèche

b) La propreté

La propreté occupe une place importante dans les spécifications sur les granulats. Le manque de propreté d'un granulat est lié à la présence d'éléments qui, même en faible quantité, sont indésirables pour des raisons diverses : chute de résistance, inhibition des réactions de prise des liants, comportement de l'interface liant-granulats [20].

Le granulat doit être propre, car :

- ✓ la présence de l'argile diminue l'adhérence entre mortier et gravier, Donc diminue la résistance.
- ✓ Un excès de fines entraîne un dosage important en eau,
- ✓ Un manque des fines conduit à des bétons peu malléables.

Pour les sables, la propreté est mesurée par la détermination de l'équivalent de sable [21].

C. Caractéristiques mécaniques

La nature du matériau est caractérisée par la roche ou le produit constituant le grain : basalte calcaire, grès, barytine... Le grain peut être un produit naturel obtenu par criblage (grain plus ou moins arrondi) ou un produit de concassage (grain plus ou moins anguleux) [9]. La quantité des fines doit être déterminée par des essais d'écrasement ou d'usure, on peut citer:

a) Los angles (LA)

L'essai LA consiste à mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat (selon la norme française **NF P 1-573**).

Il consiste à mesurer la masse 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 au choc de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles qui effectue 500 rotations. Plus le coefficient LA est faible, plus la résistance à la fragmentation des gravillons est élevé [22-23].

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 ;

$$LA = \frac{M-m}{50} \times 100 \quad [22].$$

Où :

$M=5000g$

m : la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6mm (en grammes).

b) Micro Deval

Lorsqu'un élément subit un frottement sous l'action d'un pneumatique ou par les mouvements relatifs des grains qui l'entourent, il y a production de fine, c'est le phénomène d'usure [24].

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) [25].

La résistance à l'usure s'exprime par le coefficient Micro-Deval MDE selon la norme française **NF P 18-572** :

$$MDE = \frac{m}{M} \times 100 \quad [24]$$

Où :

M : la masse du matériau soumise à l'essai.

m : la masse des éléments produits après abrasion et Usure qui est inférieurs à 1,6 mm.

I.4.3.Le sable

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5 mm.les fines. Le sable est un élément inerte entrant à 35% dans la composition du volume du béton, il est considéré comme l'un de ces principaux constituants. L'utilisation de ce dernier permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le gravillon et le ciment, pour une meilleure cohésion du béton [18-26].

I.4.3.1.Propriétés recherchées dans un sable

A. La granulométrie

C'est une propriété importante pour la qualité d'un béton, elle permet d'économiser le liant sans réduire les propriétés du matériau, Elle assure un volume minimal des vides entre les grains. La granulométrie des sable est fixée à l'intérieur de fuseau du quel doit se trouver la courbe représentatif de leur analyse granulométrique [9].

B. La propreté des sables

La propreté d'un sable est évaluée par deux essais complémentaires :

a) Essai d'équivalent de sable

L'équivalent de sable (Es) mesure la propreté des sables sur le plan quantitatif, c'est à dire que cet essai permet une évaluation du pourcentage en fines. L'essai s'effectue sur une fraction d'un sable inférieure à 2 mm. Tout comme l'essai de propreté pour les gravillons, l'équivalent de sable permet d'apprécier la quantité des fines [27].

La valeur de l'équivalent de sable à 10 % de fines est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée selon la formule exprimée par la norme française **NF EN 933-8** :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \text{ [27]}$$

Où :

h1 : Niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette

h2 : niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

b) Essai de bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène permet de déterminer la propreté d'un sol et de connaître le type d'argile qu'il contient (sensibles à l'eau = gonflement). C'est une évaluation qualitative

Des fines argileuses qui existent dans un sable.

On appelle «valeur de bleu» des fines, la quantité exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines [28].

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB ou MBF) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée d'après la norme **NF EN 933-9** selon la formule suivante :

$$MB = \frac{V_1}{M} \times 100 \text{ [28].}$$

Où:

V₁ : Volume total de la solution colorée injectée en millilitres

M : Masse de la prise d'essai en grammes

C. Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, ce module est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimé en pourcentage sur les tamis d'une série bien déterminée et normalisée. Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en élément fins [29].

Le coefficient du module de finesse peut être exprimé par la formule suivante, selon la Norme [EN12620] :

$$Mf = \frac{\sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4\}}{100}$$

Tableau I.6 : Classification des sables à partir de leur module de finesse.

Valeur M_f	Type du sable
1,8 et 2,2	Le sable est à majorité de grains fins
2,2 et 2,8	On est en présence d'un sable préférentiel
2,8 et 3,3	Le sable est un peu grossier
> 3,3	Le sable est grossier

I.4.4. Les adjuvants

I.4.4.1. Définition

Les adjuvants sont des produits chimiques qui sont incorporés dans les bétons lors du malaxage ou avant la mise en œuvre à un pourcentage inférieur à 5% du poids du ciment, ils provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de celui-ci [30].

I.4.4.2. Le rôle des adjuvants

Les adjuvants jouent un rôle important dans les bétons, ils améliorent les caractéristiques de ces derniers à l'état frais de même qu'à l'état durcis. Les adjuvants permettent d'assurer la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et la cure dans des conditions météorologiques défavorables. Leurs utilisations dans un béton permettent une diminution du coût de construction [15].

I.4.4.3. Les type d'adjuvants

Il existe plusieurs catégories d'adjuvants qui sont utilisés en fonction de la propriété visée à améliorer dans un béton. Ils sont ainsi définis par la norme **NF EN 934-2** et présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.7 : le rôle des adjuvants selon leurs types et catégorie [31].

Catégorie	Type	Rôle
Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier	Plastifiants et fluidifiants	Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport E/C, si l'ouvrabilité est maintenue constante, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité
Adjuvants modifiant la prise et le durcissement	Accélérateurs de prise et durcissement	Avancent le début de prise ou accélèrent le processus de durcissement en libérant la chaleur d'hydratation plus rapidement
	Retardateurs de prise	retarder le début de la prise du ciment et de prolonger ainsi le délai de mise en place du béton
Adjuvants modifiant les propriétés physiques	Hydrofuge de masse	Diminuer l'absorption capillaire des bétons, mortiers ou coulis durcis.
	Entraîneurs d'air	Incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300 μm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel dégel. Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du ressuage
	Rétenteurs d'eau	Permettent de réguler l'absorption de l'eau par un support et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange

I.4.4.4. Effet des adjuvants sur l'hydratation du ciment

La fluidification des bétons frais par les super plastifiants peut être expliquée par la dispersion des grains de ciments. Les super plastifiants sont considérés actuellement comme de puissants dispersants. Ils permettent d'éviter l'agglomération des particules de ciment et de libérer l'eau emprisonnée dans ces agglomérats [10].

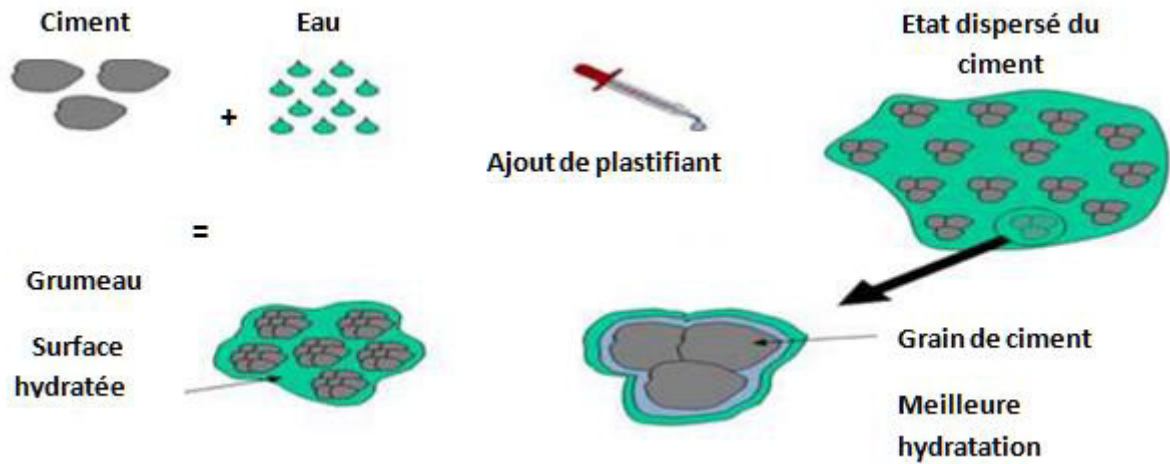


Figure I.2 : L'effet des adjuvants sur le ciment [10].

I.4.5. L'eau de gâchage

La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques et la durabilité [32]. L'eau de gâchage joue deux fonctions principales :

- ✓ Confère au béton sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques)
- ✓ assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement.

L'eau de gâchage doit être conforme aux exigences de la norme **NF EN 1008** [33].

1.5. Propriétés du béton

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **Le béton frais** : c'est un 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 ;

- **Le béton durci** : Il est considéré comme un 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.

I.5.1. Caractéristiques du béton ordinaire à l'état frais

La période durant laquelle le béton demeure plastique n'est que temporaire. La résistance du béton, pour une composition donnée, est très affectée par le degré de compacité. Il est alors important que la consistance du béton soit ajustée de façon que le béton puisse être facilement transporté, mise en place, vibré et fini sans qu'il y ait de ségrégation.

I.5.1.1. L'ouvrabilité (essai d'affaissement au cône d'ABRAMS)

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour le béton sur chantier. Cet essai est cependant très pratique pour détecter des variations de l'homogénéité d'un béton donné. On utilise un moule normalisé de 300 mm de hauteur, placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches. Chacune des couches est compactée par 25 coups d'une tige métallique normalisée [34].

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse. La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est l'affaissement; il est mesuré à 5 mm près (voir figure I.3) [35].

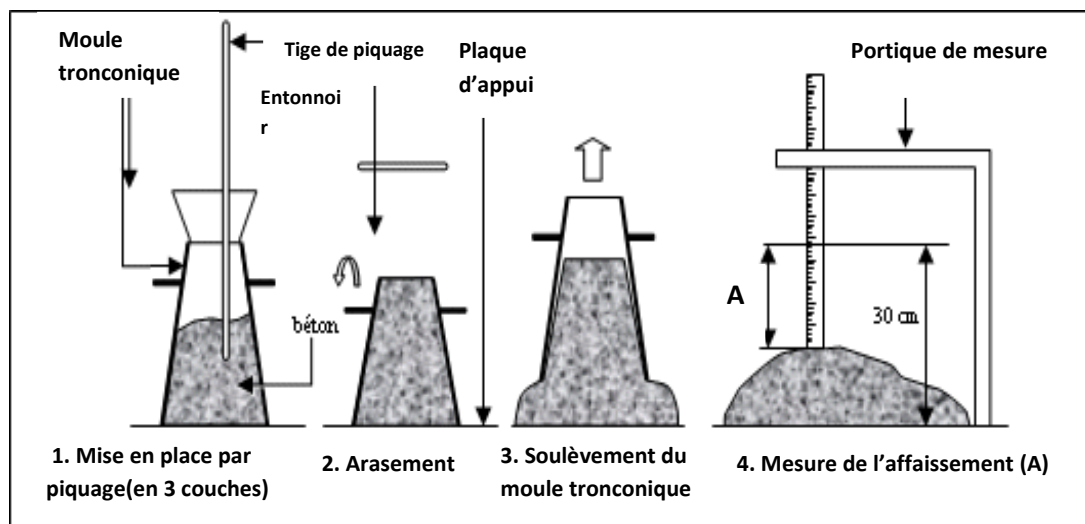


Figure I.3. Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS [35].



Figure I.4. Mesure de l'affaissement [36].

L'essai d'affaissement est sensible aux modifications de la consistance du béton correspondant à des affaissements compris entre 10mm et 210mm [13].

I.5.1.2. La densité réelle du béton frais

La masse volumique du béton courant dépend évidemment de la composition et des constituants, et en général, elle varie dans les limites suivantes (2200 – 2400) Kg/m³ [34].

La mesure de la masse volumique est très simple. Il suffit de mesurer la masse du béton versé dans un contenant de volume bien déterminé. La masse volumique est donnée par le rapport de la masse de béton sur le volume du contenant. Il est clair que les bétons sont en fonction de l'air entrainé, c'est-à-dire que la masse volumique diminue en fonction de la présence en air. Elle est calculée d'après la norme **EN 12350-6** selon la formule suivante:

$$MV = \frac{M}{V} (\text{kg/m}^3) [35]$$

I.5.2. Caractéristiques du béton ordinaire à l'état durcis

Ouvrabilité et résistance sont des qualités à chercher de pair pour un béton, car chacune de ces propriétés est étroitement liée l'une à l'autre et d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

Depuis l'origine, le matériau béton est caractérisé essentiellement par sa résistance mécanique, mesurée en générale à 28 jours d'âge et contrôlée par des essais destructifs [37].

I.5.2.1. Résistances mécaniques

A. Résistance à la compression

On peut définir la résistance à la compression comme la mesure de la résistance maximale d'une éprouvette cylindrique ou cubique du béton ou du mortier sous une charge axiale. Elle est généralement exprimée en mégapascals (MPa) [15].

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La contrainte de rupture à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette [38].

La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs paramètres :

- Le type et la classe du ciment.
- La qualité des granulats utilisés pendant le bétonnage.
- Le dosage des matériaux utilisés.
- La cadence et les conditions de réalisation [26].

B. La résistance à la traction par flexion

L'essai de traction par flexion consiste à réaliser une flexion à trois ou quatre points afin de générer au sein de l'éprouvette des efforts de traction. Cet essai s'effectue en générale selon l'une des deux procédures :

- Avec une seule charge concentrée au milieu de l'éprouvette.
- Avec deux charge concentrées, symétrique, égales, appliquées au tiers de la portées [39].

I.6. Méthode de formulations des Bétons ordinaire

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré. Pour cela, les méthodes de formulations proposées sont nombreuses. Elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférences pondéreuses à savoir : la méthode d'OKAMURA et OZAWA ; la méthode Japonaise, la méthode Suédoise, la méthode Française et en fin la méthode de Dreux-Gorisse [30].

La méthode la plus utilisée dans l'industrie pour la formulation des bétons ordinaire est celle de **Dreux-Gorisse**, parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné une satisfaction, d'une part, et d'autre part, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [40].

I.6.1. La méthode de Dreux-Gorisse

La méthode de Dreux-Gorisse a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et résistance recherchées. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment connu. Les proportions de différents granulats sont déterminées à travers la courbe de référence. Cette courbe est tracée à travers les courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées. Un coefficient de compacité est probablement donné au béton, il permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux de notre béton. Quelque essais préliminaires de plasticité doivent avoir lieu pour fixer le dosage en eau afin d'adapter la maniabilité désirée [10].

▪ Les données de base

- **la résistance souhaitée à 28 j (F_C)** : Il s'agit de la résistance nominale d'un béton à 28 j.
- **L'ouvrabilité du béton** : Elle est fonction de la destination du produit, du moyen de vibration au chantier. Elle se détermine par la mesure de l'affaissement : AF (cm) à l'aide du cône d'ABRAMS en fonction de l'ouvrage.
- **Dimensions maximales** : D_{\max} est choisi en fonction de la nature de l'ouvrage.
- **Dosage du ciment** : Suivant la méthode de Dreux la résistance est donnée par la relation ci-dessous par laquelle on peut tirer la quantité du ciment:

$$F_C = G \times F_{CE} \times \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) [6].$$

Où :

F_C : Résistance moyenne en compression désirée (à 28jours) en MPa,

G : Coefficient granulaire (tableau I.8),

F_{CE} : Classe vraie du ciment (à 28jours) en MPa,

C : Dosage en ciment (en Kg/m^3),

E : Dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour $1m^3$)

Tableau I.8 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G [6].

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins $D \leq 16mm$	Moyen $20 \leq D \leq 40mm$	Gros $D \geq 50mm$
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

- **Dosage en eau** : Après le calcul du rapport E/c on tire la valeur de l'eau, cette valeur est corrigée en fonction de la plasticité et de l'ouvrabilité réelle.
- **Analyse granulométrique des granulats**: L'intérêt de cette analyse est de tracer le graphe des différentes fractions qui constituent le béton. Après l'opération du tamisage, nous obtenons un graphe d'analyse granulométrique par lequel on trace une courbe de référence OAB. A l'aide de cette courbe, on détermine les teneurs des composants pour la formulation des bétons souhaités, la valeur du point A(X, Y) doivent être choisis et calculés selon les spécifications bien déterminés :

a) En abscisses (X)

Si $D \leq 20$ mm, l'abscisse est $D/2$

Si $D \geq 20mm$, l'abscisse est située au milieu du « segment gravier ».

b) En ordonnés

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$$

Où:

D_{max} : diamètre du plus gros grain

K : terme correcteur qui dépend de plusieurs facteurs (Tableau I.9)

Tableau I.9 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats [6].

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment						
400+ superplastifiant	-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

Correction supplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6M_f - 15$ (avec M_f : module de finesse)

Correction supplémentaire K_p : si la qualité du béton est précise, il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courante ». on pourra pour cela majorer le terme K de la valeur $K_p = +5$ à $+10$ environ, selon le degré de plasticité désiré.

- **Le coefficient de compacité (γ)**: C'est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matières solides (ciment et granulat) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais en œuvre, le choix de la valeur s'effectue à partir du tableau I.10.

Tableau I.10 : Valeurs du coefficient de compacité γ [6].

consistance	Serrage	γ Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
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 normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,730	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	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	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- **Sable roulé et gravier concassé= -0,01**
- **Sable et gravier concassé= 0,03**

Une fois connues les propriétés et particularités des différentes composants du béton, on peut calculer les dosages de chacun de ces composants à mettre en œuvre pour obtenir 1m³ réel de béton capable de répondre aux spécifications de qualité fixées en fonction de différents paramètres en présence, telles les résistances mécaniques et conditions de mis en œuvre.

Il est à citer qu'il existe d'autres méthodes de formulations de béton comme :

- La méthode s'OKAMURA et OZAWA
- La méthode Japonaise
- La méthode Suédoise
- La méthode Française.

Conclusion

La confection d'un béton de qualité nécessite une très bonne connaissance des constituants entrant dans les formulations des bétons, ce qui à une influence directe sur les propriétés du béton recherchés ainsi que sur les paramètres désirées dans ce dernier. C'est dans cette optique qu'on procède aux méthodes de formulation qui sont issus de l'expérimentation. Ces méthodes permettent d'optimiser les proportions de différents constituants afin de pouvoir aboutir les performances recherchés.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Introduction

L'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'influence de la propreté des granulats sur le béton, ce présent chapitre s'intéressera dans un premier temps aux propriétés et caractéristiques géométriques, physiques et mécaniques des gravillons notés (G_A , G_B , G_C) et des sables notés communément (S_A , S_B , S_C).

Dans un deuxième temps, nous allons confectionner trois types de bétons (BT_A , BT_B , BT_C) adjuvantés à partir des trois types de granulats et de sables précités, suivant la méthode de formulation la plus utilisée « DREUX GORISSE ». Des essais seront réalisés sur le béton frais et durcis, permettront de déterminer l'influence de la propreté des granulats sur les caractéristiques des bétons obtenus.

II.1. Démarche expérimentale

La partie expérimentale est répartie en trois phases, l'échantillonnage, caractérisation des granulats puis formulation et essais sur béton. Chaque phase consiste à :

Première phase :

Elle consiste à échantillonner, préparer les échantillons pour l'étape d'analyse et faire des prises d'essais.

Deuxième phase :

Permet de caractériser les granulats et de déterminer leur propreté.

Troisième phase :

Réalisation des formulations et essais sur béton afin de déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

Phase 01 : échantillonnage

II.1.1. Prélèvement des échantillons (échantillonnage)

Les granulats ayant fait l'objet de notre étude proviennent de trois carrières de wilaya différentes, à savoir Jijel, Bejaia et Boumérdes. L'éthique de travail des laboratoires d'analyses, nous a imposé une confidentialité stricte, d'où l'absence totale de toutes

informations concernant la provenance exacte de nos agrégats. Néanmoins, nous avons adopté une codification qui sera utilisée au cours de notre travail, comme suit :

- Gravillons G_A et sables S_A proviennent de la carrière A (wilaya de Bejaia)
- Gravillons G_B et sables S_B proviennent de la carrière B (wilaya de Boumerdes)
- Gravillons G_C et sables S_C proviennent de la carrière C (wilaya de Jijel)

L'échantillonnage est cependant, une étape déterminante dans tout travail. Afin de bien mener notre étude nous avons pris le soin de prélever de la manière la plus correcte possible.

Les agrégats étaient directement prélevés à partir de la chaîne de production (à la sortie des convoyeurs) en fonction des granulométries à utiliser.

Sur terrain nous avons procédé selon la méthode complètement aléatoire, qui consiste à prélever sur différents points d'un même tas homogénéisé.

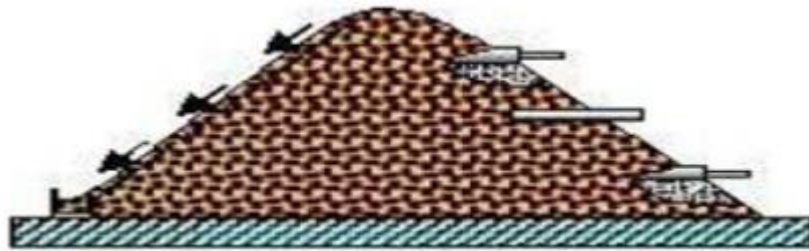


Figure II.1 : Prélèvement de l'échantillon sur tas.

II.1.2. Préparation de l'échantillon pour l'essai (au laboratoire)

La préparation peut s'effectuer selon deux manières différentes :

➤ Séparation par quartage

L'échantillon doit être bien mélangé et homogénéisé, puis étalé sur une surface lisse, ensuite séparer le tas en quatre parties égales (à peu près) suivant deux axes perpendiculaires et prélever chaque deux parties opposées.

➤ **Séparation au moyen de diviseurs**

La réduction de l'échantillon au laboratoire à l'aide d'un diviseur- échantillonneur à ouverture variable, permet de diviser facilement le matériau en deux parties représentatives de l'échantillon, Les 3 types de granulats ont subi cette opération afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble de l'échantillon récupéré des trois carrières différentes.

Phase 02 :

C'est la phase de caractérisation des granulats. Les matériaux ont été choisis en fonction du besoin de notre travail et de la disponibilité de ces derniers au niveau des carrières.

➤ **Propriétés recherchées dans un gravillon**

Afin de pouvoir mieux observer l'influence de la propreté des granulats, qui est l'idée de base de notre étude, nous avons prélevé trois types de granulats à différentes classes granulaires des gravillons à savoir les classes 3/8 mm, 8/15 mm, et 15/25 mm, alors on note :

- G_A gravillons des classes (3/8, 8/15, 15/25) provenant de la carrière (C_A)
- G_B gravillons des classes (3/8, 8/15, 15/25) provenant de la carrière (C_B)
- G_C gravillons des classes (3/8, 8/15, 15/25) provenant de la carrière (C_C)

II.2.1. Caractéristiques géométrique des gravillons

II.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage

La granulométrie est l'étude de la répartition des éléments selon leur taille par tamisage, après l'opération de concassage. L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme (**NF P 18-561**), qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieur ou égale à 80 mm, en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas, le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne du tamis.

Cet essai est précédé d'un tamisage humide sur un tamis de 0,063 mm afin d'éliminer les fines et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse.



Figure II.2 : Tamiseuse.
(Photo prise au laboratoire Mitidja, Bejaia Mars 2018).

L'analyse granulométrique nous permet de déterminer la classe réelle du gravier, dont ils sont exprimés en pourcentage massique de granulats passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis. La proportion de particules retenues par un tamis s'appelle le refus, son complément le passant.

✓ **Méthode de calcul :**

Calcul du refus cumulés (%) :

$$\frac{R_i}{M_s} \times 100 \text{ (II.1)}$$

Avec :

R_i : Masse des refus cumulés, en grammes

M_s : Masse totale sèche de l'échantillon, en grammes.

Calcul du tamisât cumulés (%)

$$1 - \frac{R_i}{M_s} \times 100 \text{ (II.2)}$$

Avec :

R_i : Masse des refus cumulés, en grammes

M_s : Masse totale sèche de l'échantillon, en grammes.

II.2.1.2. Coefficient d'aplatissement des granulats

L'élaboration des bétons de ciment, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser un béton très compact.

L'essai d'aplatissement consiste à effectuer un double tamisage, d'abord, au moyen du tamis d'essai, l'échantillon est fractionné en différents granulats élémentaires d_i/D_i . Chacun des granulats élémentaires est ensuite tamisé au moyen de grilles à fente parallèles d'une largeur d'écartement $D_i/2$ [18].

Le coefficient d'aplatissement A global est calculé en tant que masse totale des particules passant à travers des grilles à fentes, exprimé en pourcentage du total de la masse sèche des particules faisant l'objet de l'essai est cela selon la norme (NF EN 933 – 3) [18].

Plus coefficient A est élevé, plus le gravillon contient des éléments plats. Une mauvaise forme a une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation.



Figure II.3 : Grilles à fentes
(Photo prise au laboratoire Mitidja, Bejaia Mars 2018).

✓ **Méthode de calcul :**

Le calcul du coefficient d'aplatissement est calculé selon la formule suivante :

$$A = \frac{Me}{Mg} \times 100 \quad (\text{II.3})$$

Avec :

M_g : la masse des granulats élémentaires d_i/D_i , en grammes

M_e : la masse des grains de chaque granulat élémentaire d_i/D_i passant à travers une grille à fentes correspondante d'écartement $D_i/2$, en grammes.

II.2.2. Caractéristiques physiques

II.2.2.1. Masses volumiques, la porosité, coefficient d'absorption et la teneur en eau

Elles sont liées en général à la qualité de la roche exploitée : masse volumique réelle, absorption d'eau, porosité et teneur en eau.

A) Masse volumique réelle et imbibée en t/m^3 :

Ces deux paramètres permettent la vérification de la régularité minéralogique des matériaux ainsi que le calcul des rendements volumiques des formules de béton. Les masses volumiques réelles et imbibées des différents granulats utilisés sont mesurées d'après la norme **NF P 18-554** selon les formules suivantes [19] :

➤ Masse volumique réelle en t/m^3 :

$$M_{vr} = \frac{M's}{Ma - M'a} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

M_s' : masse sèche après lavage

M_a : masse humide avec surface séchée

M'_a : masse de l'échantillon imbibée

➤ Masse volumique imbibée en t/m^3 :

$$M_{vi} = \frac{Ma}{Ma - M'a} \quad (\text{II.5})$$

B) Teneur en eau

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

La teneur en eau d'un granulat est le rapport du poids d'eau contenu au poids des grains composant le granulat. La teneur en eau est mesurée d'après la norme **NF P 18-554** selon la formule suivante [19]:

$$W = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \text{ (II.6)}$$

Avec:

M_h : masse humide

M_s : masse sèche

C) Coefficient d'absorption

Ce coefficient est pris en compte dans le calcul du rapport Eau efficace/Ciment dans les bétons, ainsi que l'estimation de l'aptitude du granulat à influencer sur la rhéologie du béton. Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures à 22° C à la masse sèche de l'échantillon conformément à la norme **NF P 18-554**, il se calcule selon la formule suivante [19] :

$$Ab = \frac{M_a - M'_s}{M'_s} \times 100 \text{ (II.7)}$$

Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant. On en tient compte dans la formulation. Le coefficient Ab doit être inférieur à 6 % pour les granulats destinés aux bétons.

D) Porosité

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

La porosité P est par définition le complément à l'unité de la compacité. L'essai est réalisé selon la norme **NFP18-554** elle se calcule selon la formule suivante [19]:

$$P = \frac{M_a - M'_s}{M_a - M'_a} \quad (\text{II.8})$$

II.2.2.2. Propreté des gravillons

Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats/pâte ayant un impact sur la résistance du béton.

Cet essai définit le mode opératoire pour quantifier la présence d'éléments fins ou argileux à la surface des granulats supérieurs à 2 mm. La propreté superficielle définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm (**NF P 8-591**). L'essai consiste à séparer les particules par lavage avec le tamis correspondant (0,5 mm) [20].

➤ Méthode de calcul

La propreté superficielle se calcule à partir de la relation suivante :

$$P = \frac{m}{M_s} \times 100 \quad (\text{II.9})$$

Avec:

m : Masse sèche des éléments < 0,5 mm, en gramme

M_s : Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai, en gramme.

II.2.2.3 Détermination du poids spécifique des gravillons (le chatelier)

Cet essai consiste à emplir une masse de poudre broyée provenant de chaque type de granulats dans un densitomètre le chatelier d'un volume V_i l'équivalent de 250 cm³. Le chatelier est mis dans un bain marie à une température fixe de 20°C jusqu'à ce qu'il se stabilise. A l'aide d'un entonnoir, on introduit notre échantillon dans le chatelier, jusqu'à ce que le liquide soit dans la partie utile de la graduation supérieure, on chasse les bulles d'air et on le remet dans le bain marie puis nous notons le volume final V_f .



Figure II.4 : Essai le chatelier.
(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

➤ Méthode de calcul

Le poids spécifique en (g/cm^3) se calcule selon la formule suivante :

$$d = \frac{m_{ech}}{V_f - V_i} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

m_{ech} : la masse de l'échantillon pour la prise d'essai, en gramme

V_f : Volume final, en cm^3

V_i : Volume initial, en cm^3 .

II.2.3. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers. C'est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Les modalités de cet essai font l'objet de la norme **NF P 18-572**.

II.2.3.1. Résistance à la fragmentation (Los Angeles)

La résistance mécanique du béton est fortement liée à la résistance à la fragmentation des gravillons. Cette dernière est mesurée par un essai de résistance aux chocs qui permet de déterminer le coefficient Los Angeles (LA) : plus il est faible, plus la résistance du granulat est élevée. La valeur de LA détermine l'usage du matériau en terme de résistance finale des ouvrages réalisés.

On a effectué l'essai sur des granulats de classe 10/14, l'essai doit être effectué sur un granulat passant au tamis de 14 mm et retenu sur celui de 10 mm, après avoir effectué le lavage et le séchage dans l'étuve 105°C.

La masse de l'échantillon pour l'essai sera de $5000\text{g} \pm 5\text{g}$ de manière que la masse soit :

- 60% de la masse totale prise dans la classe 10/12,5
- 40% de la masse totale prise dans la classe 12,5/14

Les classes granulaires de l'essai Los Angeles sont présentées dans les annexes (*voir Annexe I*)

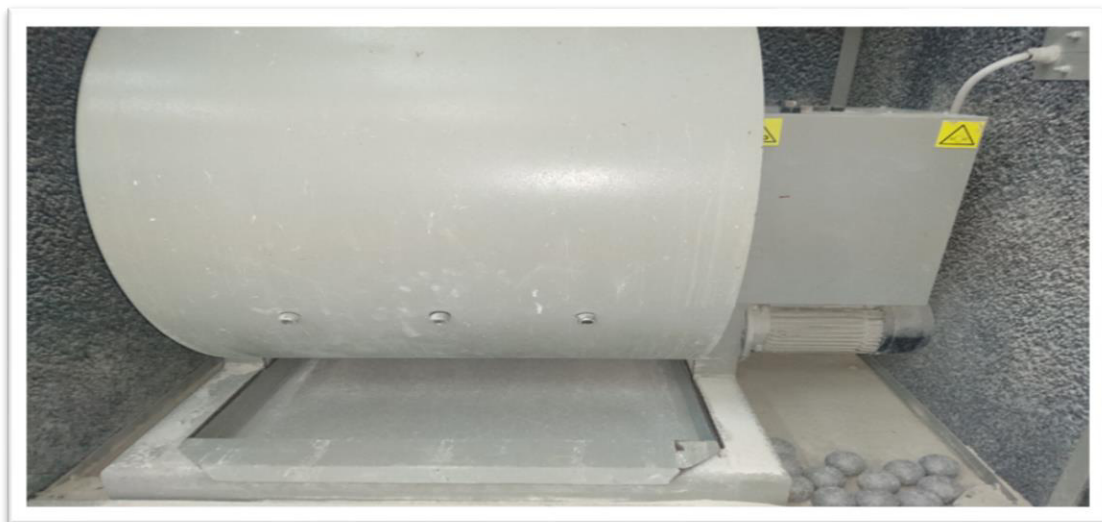


Figure II.5 : Machine de Los Angeles.

(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

➤ **Méthode de calcul**

Le coefficient Los Angeles (L_A) est défini par le rapport suivant :

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \times 100 \text{ (II.11)}$$

Où :

m : la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm (en grammes).

II.2.3.2. Résistance à l'usure (Micro Deval)

Une bonne résistance à l'usure du granulat permet d'éviter des modifications de la granularité lors du malaxage et du transport et afin d'éviter de modifier les propriétés du béton (de résistance et d'ouvrabilité).

L'essai consiste à mesurer l'usure produite dans des conditions définies par frottements réciproques des granulats dans un cylindre en rotation (12000 rotations/nm) avec une charge abrasive et en présence d'eau ($2,5L \pm 0,05L$). Lorsque la rotation est achevée, on calcule le coefficient micro-Deval à partir du pourcentage de granulats retenu sur un tamis de 1,6 mm (NF P 18-572).

On a effectué l'essai sur des granulats de classe 10/14, l'essai doit être effectué sur un granulat passant au tamis de 14 mm et retenu sur celui de 10 mm, après avoir effectué le lavage et le séchage dans l'étuve ;

La masse de l'échantillon pour l'essai sera de $500g \pm 5g$ de manière que la masse soit :

- 60% de la masse totale prise dans la classe 10/12,5
- 40% de la masse totale prise dans la classe 12,5/14

Le choix de la charge abrasive selon les classes granulaire est présenté dans les annexes (voir Annexe 2).

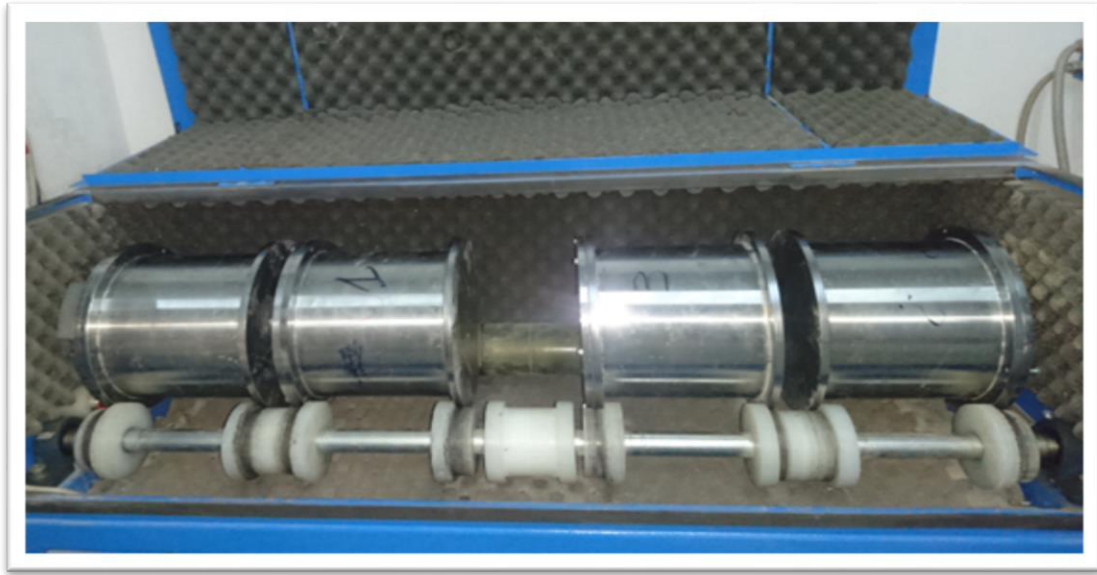


Figure II.6 : Appareil Micro Deval humide à cylindres.
(Photo prise au laboratoire Mitidja, Bejaia Mars 2018).

➤ **Méthode de calcul**

Le coefficient Micro Deval (M_D) est défini par le rapport suivant :

$$M_D = \frac{500-m}{5} \times 100 \text{ (II.12)}$$

Où :

m : la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm (en grammes).

➤ **Propriétés recherchées dans un sable**

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

En vue de son utilisation dans la confection des bétons, le sable doit être soumis à des essais de laboratoire tels que l'analyse granulométrique, l'essai de l'équivalent de sable et l'analyse chimique ...etc. Pour ce faire, les sables que nous avons utilisé proviennent du même produit du granulat, c'est-à-dire que c'est des sables concassés à une de fraction de 0/3 mm des carrières C_A , C_B , et C_C :

- S_A 0/3 mm de la carrière (A)
- S_B 0/3 mm de la carrière (B)
- S_C 0/3 mm de la carrière (C)

II.2.4. Caractérisation géométrique des sables

Pour la caractérisation géométrique des sables, nous avons effectué un seul essai qui est l'analyse granulométrique par tamisage, et nous avons suivi la même méthode que l'analyse granulométrique par tamisage pour les gravillons.

II.2.5. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques qui définissent un sable sont :

II.2.5.1. Masses volumiques, coefficient d'absorption, teneur en eau

Pour cet essai nous avons effectué le même principe et méthode de calcul que l'essai sur gravillons.

II.2.5.2. Détermination de la masse spécifique (le Chatelier)

Pour cet essai nous avons effectué le même principe et méthode de calcul que l'essai sur gravillons.

II.2.5.3. Propreté d'un sable

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la quantité d'éléments très fins d'origine calcaire ou argileuse contenus dans le sable. L'essai au bleu de méthylène permet de caractériser la nature de ces fines :

- S'il s'agit de fines calcaires, le sable est apte à entrer dans la composition du béton
- S'il s'agit de fines argileuses en grande quantité, il n'est pas apte. Les fines de nature argileuse peuvent entraîner des effets secondaires importants même lorsque leur teneur dans les sables est faible, elles influencent négativement :
 - La résistance du béton
 - La stabilité des chaussées
 - La rhéologie des bétons

A) Essai d'équivalent de sable

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables sur la fraction 0/2 mm limitée à 10 % de fines entrant dans la composition des bétons.

Cet essai permet de mesurer la quantité de matières très fines contenues dans le sable mais sans faire la distinction entre les colloïdes nocifs et les fines nécessaires à certains bétons, notamment les bétons apparents. Il exprime un rapport volumétrique conventionnel entre les éléments dits sableux et les éléments fins (fines de concassage, argiles, impuretés, etc.).

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée (NF EN 933-8) permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable. Plus la valeur de propreté (SE) est élevée, plus le sable est propre.

Le principe de l'essai consiste à faire flocculer les fines contenues dans le sable au moyen d'une solution lavante appropriée et mesurer à l'aide d'un régleur la hauteur h_1 (hauteur de l'eau sale) du niveau supérieur du flocculat au fond de l'éprouvette, et h_2 (hauteur de sable à piston) du niveau supérieur du manchon et la face inférieure de la tête du piston.



Figure II.7. Essai d'équivalent de sable.

(Photo prise au laboratoire Mitidja, Bejaia Mars 2018).

➤ Méthode de calcul

Le calcul l' E_s piston des 02 essais s'effectue à partir de la loi suivante :

$$Es = \frac{h2}{h1} \times 100 \text{ (II.13)}$$

Ou :

h1 : hauteur de l'eau sale, en cm

h2 : hauteur de sable à piston, en cm

B) Essai de bleu de méthylène

Des doses d'une solution de bleu de méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition de solution en effectuant un test à la tache sur papier filtre pour déceler la présence de colorant libre. Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée, cela selon la norme (NF EN 933-9) [28].

A l'aide de la burette, introduire 5ml de la solution colorée dans un sable (tamisé au tamis de 2 mm) et un volume de 500 ml d'eau distillée, agiter pendant une minute, et effectuer le test à la tache en prélevant une goutte de suspension à l'aide de la baguette en verre et la déposer sur le papier filtre. On ajoute après chaque minute 5 ml de la solution jusqu'à ce qu'on obtient lors du prélèvement une auréole bleu-clair autour de la partie sombre.

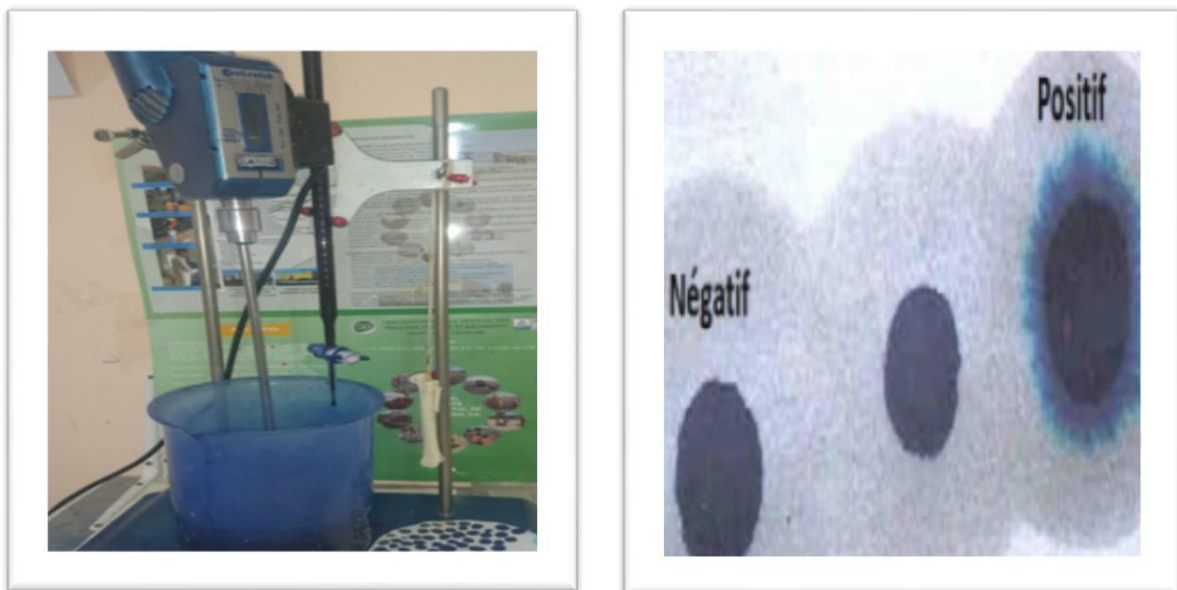


Figure II.8. Essai au bleu de méthylène.
(Photo prise au laboratoire Mitidja, Bejaia mars 2018)

➤ **Méthode de calcul**

La valeur de bleu de méthylène exprimée en grammes de colorant par kilogramme de fraction 0/2 mm peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$MB = \frac{V_1}{M} \times 10 \text{ (II.14)}$$

Avec :

V_1 : Volume total de la solution colorée injectée, en millilitres

M : Masse de la prise d'essai de fraction granulométrique 0/2 mm = 200g

Phase 03 :

C'est la phase qui nous permet de réaliser des formulations (selon la méthode « DREUX GORISSE ») et des essais sur béton, afin de déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

II.3.1. Formulation du béton « DREUX GORISSE »

La préparation des matières premières selon la méthode de formulation du béton « DREUX GORISSE » fait appel aux matériaux suivants les matières premières suivantes :

- Granulats (G_A , G_B et G_C)
- Ciment de type CEMII/A 42.5. de la carrière EL MEFTAH (Les résultats des essais sur le ciment sont présentés en annexes (voir Annexe 3))
- Un super plastifiant haut réducteur d'eau, (**MEDAFLOW 30**) (Les caractéristiques de l'adjuvant sont présentées en annexes (voir Annexe 4))
- eau de gâchage: L'eau utilisée lors de la fabrication des mélanges de béton est celle provenant du robinet exempt d'impuretés. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoique le béton obtenu a une température assez constante d'un mélange à l'autre, de 18°C à 20°C.

Nous avons fixé quelques paramètres afin de pouvoir réduire les variantes et d'exploiter celle que nous voudrions évaluer :

- ✓ Type de béton : Ordinaire adjuvanté
- ✓ Diamètre maximal des granulats $D_{max} = 25$ mm

- ✓ Les quatre classes granulaires utilisées: 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25
- ✓ Ouvrabilité du béton : plastique (Affaissement au cône d'Abrams, valeur visée : Aff = 12 cm), qui est le paramètre le plus important pour la mise en œuvre des bétons.
- ✓ Serrage : vibration normale (Table vibrante)
- ✓ Dosage en ciment : $C = 350 \text{ Kg/m}^3$.
- ✓ $\frac{C}{E} = 1,7$
- ✓ Résistance caractéristique projetée à 28 jours pour tous les bétons R_{c28} = reste à déterminer en MPa.
- ✓ Dosage en eau : $C = 350 \text{ kg/m}^3$; ce qui implique un rapport $\frac{C}{E} = 1,7$;

D'où : $E = \frac{350}{1,7}$.

$E = 206 \text{ kg/m}^3$

- ✓ Coefficient de compacité : (voir tableau I.10)

$\gamma = \frac{0,825 + 0,830}{2}$ D'où

$\gamma = 0,8275$

Nous avons corrigé la compacité pour un sable et un gravier concassé, donc : $\gamma = 0,8275 - 0,003$
donc :

$\gamma = 0,797$

Volume totale de la prise d'essai (en litres) : $V = \gamma \times 1000$ ce qui implique :

$V = 0,797 \times 1000$

$V = 797 \text{ l}$

Volume du ciment (en litres) : $V_c = \frac{M_C}{M_{VC}}$

Avec

M_{VC} : la masse volumique du ciment = 3,03 Kg/l

M_C : la masse du ciment = 350 Kg

$$V_c = 115,51 \text{ l}$$

Volume des granulats : $V_{gr} = Y - V_c$

Avec

Y : le volume total = 797 l

V_c : le volume du ciment = 115,51 l

$$V_{gr} = 681,49 \text{ l}$$

➤ **Calcul des volumes**

Tableau II.1 : Résultats de calculs des volumes.

Volume totale de la prise d'essai (en litres) Y	Volume du ciment (en litres) $V_c = \frac{MC}{MVC}$	Volume des granulats (en litres) $V_{gr} = Y - V_c$
797	115,51	681,49

➤ **Tracé de la courbe granulaire de référence**

Sur un graphe d'analyse granulométrique type **AFNOR** (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence **OAB**. Le point **B** (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension **D** des plus gros granulats, c'est-à-dire :

Point B ($X = D_{max}$ et $Y = 100\%$) \longrightarrow **B (25, 100)**

Point O ($X = 0.063$ et $Y = 0$) \longrightarrow **O (0.063, 0)**

Le point de brisure **A** aux coordonnées suivantes :

- En abscisses (à partir de la dimension **D** du tamis)

On a : $D = 25 \text{ mm}$ donc l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38(5 mm) et le module correspondant à 25 mm.

On a **$D_{max} = 25 \text{ mm}$** , donc $X \in (5 + 25/2)$ **$X = 11$**

- En ordonnées : **$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s + K_p$**

Où K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage de la forme des granulats roulés ou concassés et également du module de finesse du sable.

Tableau II.2 : Résultats des données du point A(X, Y)

Granulats	K	$K_s = 6 \times M_f$	K_p	X	Y
A	+2	7,26	+7	11	61
B	+2	3,06	+7	11	57,06
C	+2	3,36	+7	11	57,36

Les courbes suivantes illustrent la présentation des différentes courbes d'analyse granulométrique de chaque type de granulats, ainsi que la méthode par laquelle nous avons pour le tracé de la courbe de référence ainsi que les différents pourcentages pris pour les formulations.

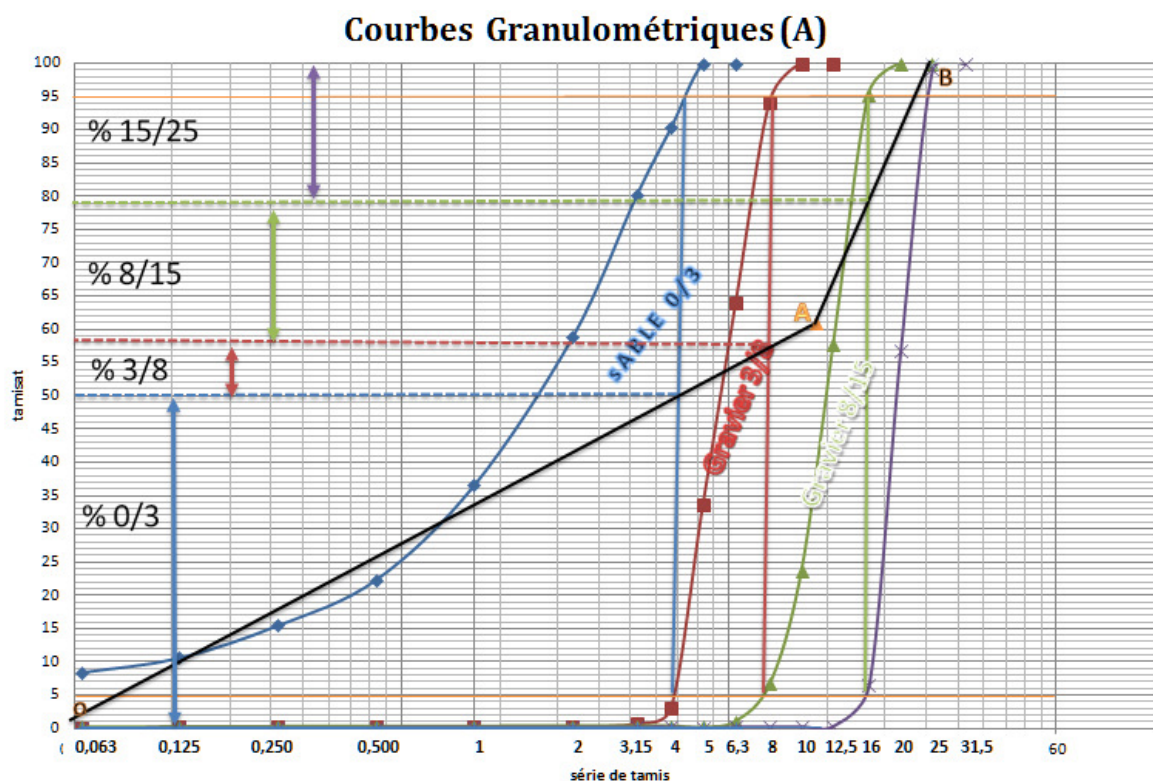


Figure II.9 : Courbe granulaire de référence (A).

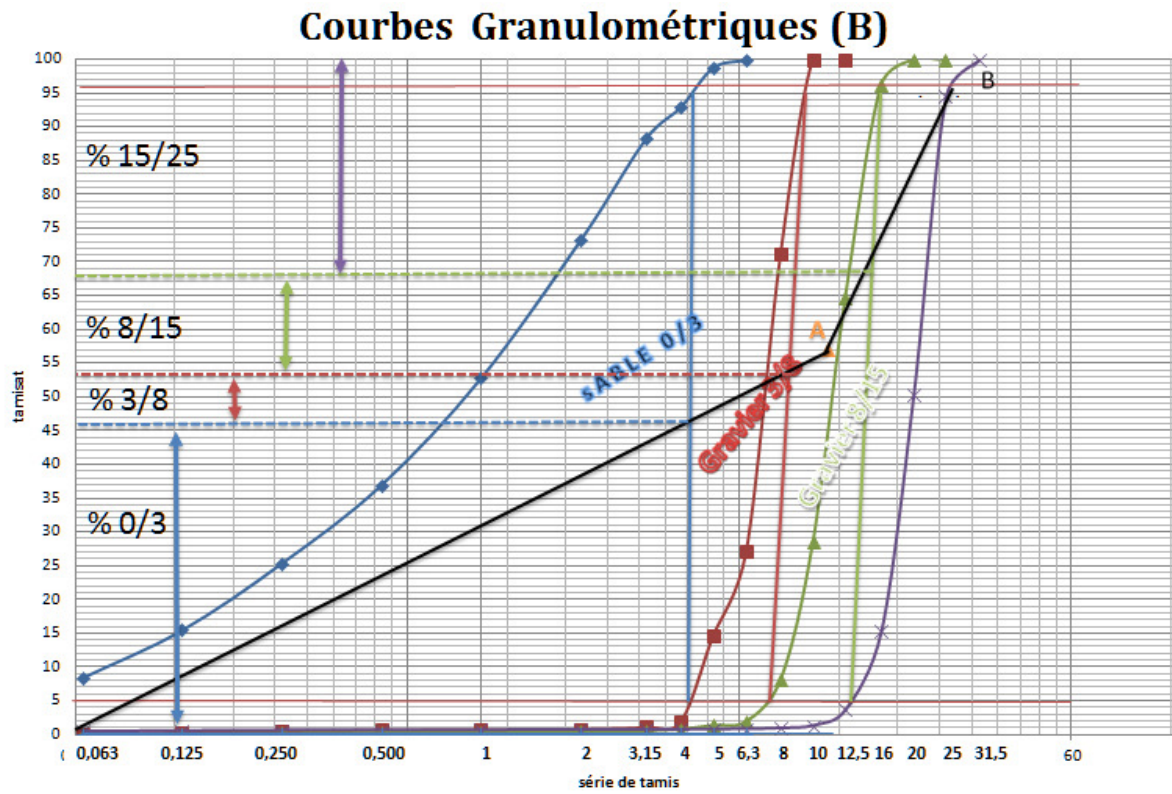


Figure II.10 : Courbe de référence (B).

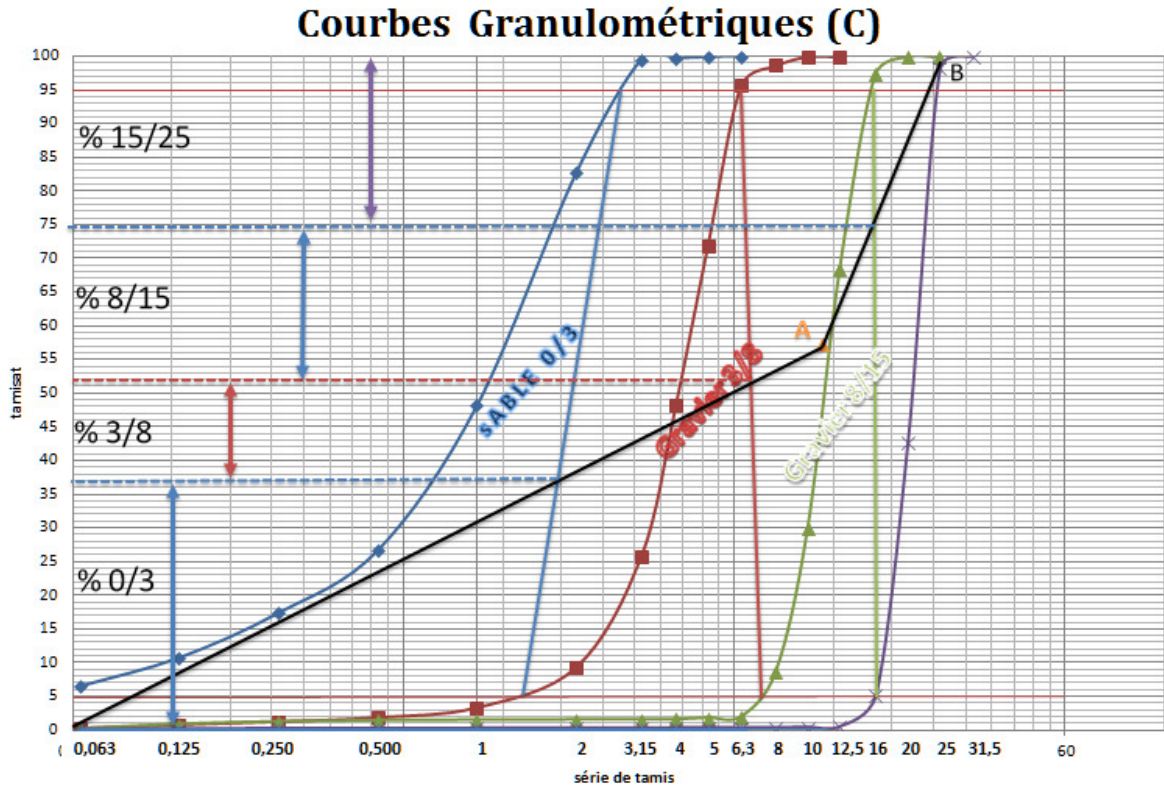


Figure II.11 : Courbe de référence (C).

Les pourcentages des constituants : Les proportions de sable et de gravier nécessaire, obtenus à partir d'une méthode graphique appelée la ligne de partage sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau II.3. Les pourcentages du mélange de béton des trois granulats (G_A , G_B et G_C).

Classe granulaire	Les pourcentages du mélange de béton (%)		
	Granulats A	Granulats B	Granulats C
0/3	51	46	37
3/8	7	7	15
8/15	22	14	22
15/25	20	33	26

➤ **Calcul des volumes selon les classes granulaires, à partir des pourcentages**

Nous avons calculé le volume total des granulats qui est de $V=681,49$ l, et afin nous avons trouvé le volume de chaque fraction (0/3, 3/8, 8/15, 15/25)

Les résultats du calcul des volumes de toutes les classes granulaires, des trois granulats (G_A , G_B et G_C) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Résultats de calculs des volumes des granulats (G_A , G_B et G_C)

Classe granulaire	Volume V(l)		
	Granulats A	Granulats B	Granulats C
0/3	347,55	313,48	252,15
3/8	47,70	47,70	102,22
8/15	149,92	95,40	149,92
15/25	136,29	224,89	177,18

➤ **Calcul des masses**

Calcul des masses sur un volume de 1000 L ($1m^3$)

La masse se calcule par la relation suivante :

$$M = V \times d$$

Avec :

V : volume exprimé en (l)

d : densité exprimé en kg/l

A) Granulats (G_A)

Fraction (0/3) $M = 347,55 \times 2,73 = 948,7$ kg

Fraction (3/8) $M = 47,70 \times 2,71 = 130$ kg

Fraction (8/15) $M = 149,92 \times 2,71 = 406,5$ kg

Fraction (15/25) $M = 136,29 \times 2,71 = 368,56$ kg

B) Granulats (G_B)

Fraction (0/3) $M = 313,48 \times 2,69 = 843,26$ kg

Fraction (3/8) $M = 47,70 \times 2,70 = 128,79$ kg

Fraction (8/15) $M = 95,40 \times 2,70 = 257,58$ kg

Fraction (15/25) $M = 224,89 \times 2,70 = 607,203$ kg

C) Granulats (G_C)

Fraction (0/3) $M = 252,15 \times 2,76 = 695,93$ kg

Fraction (3/8) $M = 102,22 \times 2,76 = 282,13$ kg

Fraction (8/15) $M = 149,92 \times 2,76 = 413,77$ kg

Fraction (15/25) $M = 177,18 \times 2,76 = 489$ kg

Le tableau suivant, représente les résultats de calculs des masses

Tableau II.5 : Résultats de calculs des masses des granulats (G_A , G_B et G_C)

Mélange du béton	Masses (Kg/m^3)		
	Béton (A)	Béton (B)	Béton (C)
Sable 0/3	948,7	843,26	695,93
Gravillon 3/8	130	128,79	282,13
Gravillon 8/15	406,5	257,58	413,77
Gravillon 15/25	368,56	607,203	489,0
Ciment	350	350	350
Eau	206	206	206
G/S	0,95	1,18	1,7

Remarque : $G/S = \frac{\text{la sommes des masses des graviers en (kg)}}{\text{la masse du sable en (kg)}}$

II.3.2. La confection de béton à l'état frais et à l'état durci

II.3.2.1. Confection et cure des éprouvettes

Deux types d'éprouvettes sont utilisées dans cette étude, cubiques pour l'essai de compression ayant les dimensions (15x15x15 cm), et prismatique pour l'essai de flexion de dimensions (7 x7x 28 cm).

Une moyenne de 2 éprouvettes de béton a été admise pour les essais de compression, tandis que pour l'essai de flexion une moyenne de 3 éprouvettes (pour chaque type de béton A, B et C).

II.3.2.2. Les étapes d'élaboration du mélange

On commence par verser les trois types de graviers 15/25 8/15 puis 3/8 dans le malaxeur, ensuite on verse le sable (3/8)

Nous avons malaxé pendant 1 min, puis nous avons ajouté le ciment (**CEMII/A 42.5 de carrière EL MEFTAH**) et versé l'eau lentement, nous avons ajouté ensuite l'adjuvant (**MEDAFLOW 30**) et nous continuons l'opération de malaxage pendant 4min



Figure II.12 : Malaxeur pour la confection du béton
(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

➤ Adjuvant

L'adjuvant utilisé est le **MEDAFLOW 30** qui est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et des mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable

Les masses de l'adjuvant utilisé pendant chaque essai en fonction du type de granulats (A, B et C) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.6. Masse de l'adjuvant utilisé pour chaque granulat (G_A , G_B et G_C)

Types de granulat	Masse de l'adjuvant utilisé (g)
A	76,6
B	190,4
C	26,6

II.3.2.3. Essais sur le béton frais

Nous avons effectué immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sur béton frais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues (essai d'affaissement, la masse volumique).

A. Essai d'affaissement (Cône d'Abrams)

L'essai consiste à remplir le moule en trois couches, chacune correspond approximativement, après serrage, au tiers de la hauteur du moule. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage, démouler verticalement (sans mouvement de torsion) en 5 à 10 secondes ensuite à l'aide d'un réglet mesurer l'affaissement du béton à 10 mm près.



Figure II.13 : Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS.

(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

B. Essai de la masse volumique

Nous commençons par peser le récipient et noter sa masse (m_1), le remplir de béton en trois couches, nous effectuons un serrage manuel à la tige de piquage, soumettre le béton à un nombre de coups égale à 25 coups.

Après serrage de la couche supérieure, nous arasons la surface au niveau du bord supérieur du récipient, à l'aide de la truelle en acier ou de la taloche. Nous raclons la surface et le bord avec la règle d'arasement et nous nettoyons l'extérieur du récipient.

Nous pesons le récipient et son contenu afin de déterminer sa masse m_2 et nous enregistrons la valeur obtenue.

➤ Expression des résultats

La masse volumique du béton se calcule selon la formule suivante :

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

D : la masse volumique du béton frais (en Kg/m^3)

$M1$: la masse du récipient vide (en Kg)

$M2$: la masse du récipient entièrement rempli de béton serré à refus (en Kg)

V : volume du récipient (en m^3).

➤ **Remplissage des éprouvettes**

Nous remplissons les éprouvettes pour les essais sur béton à l'état durci (compressions et flexion), et nous appliquons la méthode de serrage sur une table vibrante, ensuite nous raclons la surface et le bord avec la règle d'arasement et nous nettoyons l'extérieur des moules. Enfin nous les laissons durcir à l'air libre pendant 24 heures. Après cela, les éprouvettes sont ensuite immergées totalement sous l'eau à température ambiante de 20°C dans un bassin humide pour 7 et 28 jours de maturation.

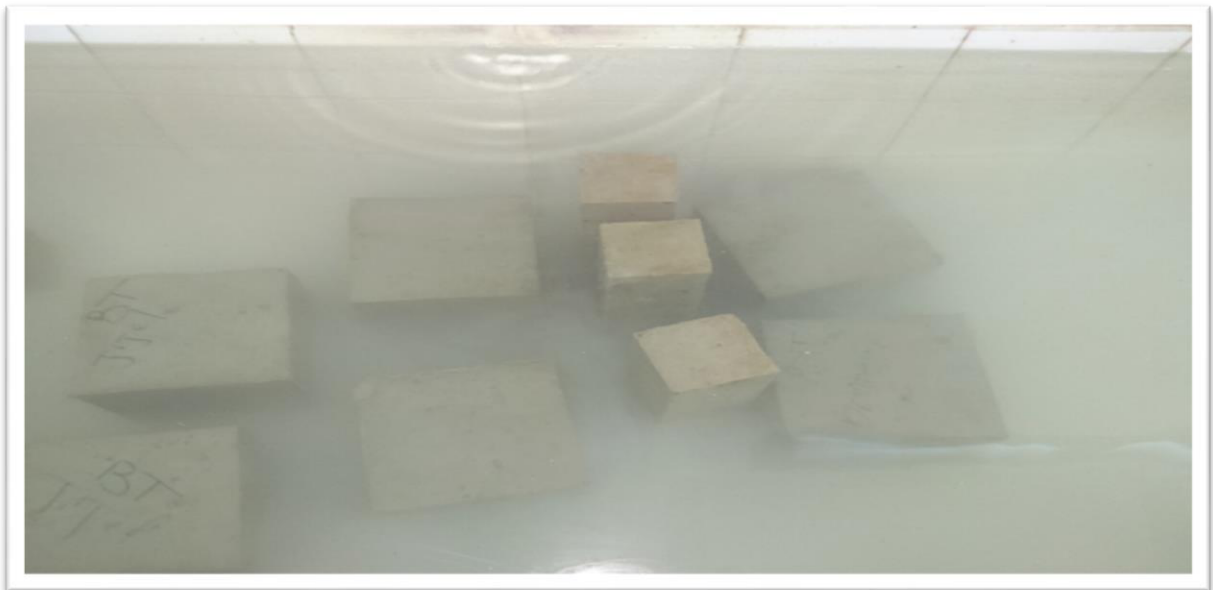


Figure II.14. Conservation des éprouvettes.
(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

II.3.2.4. Essais sur le béton durcis

A) Essai de la résistance à la compression

Cet essai a été effectué sur une presse de force et de dimensions appropriées à l'éprouvette à tester de dimensions $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}^3$, cela conformément à la norme EN NF

12390 - 3. Pour les différents mélanges, trois éprouvettes par échéance ont été utilisés pour effectuer l'essai, soit après 28 jours de cure.



Figure II.15 : Machine pour essai de compression.
(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

A) Essai de la résistance à la compression

L'essai a été effectué selon la norme **NF P 12390 – 5**. Les éprouvettes testées sont des prismes de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ après une cure de 7 et 28 jours dans l'eau à 22°C . Nous avons pris la moyenne de trois éprouvettes pour chaque type de béton. Cet essai consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté (a) et de longueur ($L = 4a$) à l'aide d'une machine de flexion.



Figure II.16. Essai de flexion.
(Photo prise au laboratoire CETIM, Boumerdes Avril 2018).

Conclusion

Les granulats présentent des caractéristiques très différentes selon leur origine. Ces caractéristiques influant sur celles du béton, il importe de bien les connaître et de veiller au respect des spécifications.

Les essais physiques et les analyses mécaniques effectués donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des bétons qui seront étudiés au chapitre suivant à l'état frais et à l'état durci. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux vis-à-vis la propreté.

Chapitre III :

Résultats et discussions

Introduction

Ce chapitre regroupe dans un premier lieu les différents résultats obtenus à partir de plusieurs essais de caractérisation physique et mécanique sur les trois types de granulats (G_A , G_B et G_C)

Ensuite, nous allons traiter les caractéristiques physico-mécanique de trois types de bétons adjuvantés à l'état frais et à l'état durci, avec l'utilisation des trois différents types de granulats après formulation par la méthode « DREUX GORISSE », les bétons confectionnés sont caractérisés par des essais recommandés par la normalisation en vigueur :

- A l'état frais : masse volumique, essai d'affaissement « cône d'Abrams »
- A l'état durci : masse volumique, résistance mécanique à la compression et à la flexion.

Les différents résultats sont analysés et discutés.

Partie 01 : Résultats et discussions des essais sur granulats

➤ Propriétés recherchées dans un gravillon

II.1.1. Caractéristiques géométriques des gravillons

II.1.1.1. Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de l'analyse granulométrique des granulats (G_A , G_B , G_C) des Carrière A, B et C (région de Bejaia, Boumerdes et Jijel) respectivement, sont présentés dans les tableaux ci-dessous:

Tableau III.1 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (**G_A**).

Tamis (mm)	% Tamisât cumulé		
	Gravillons 3/8	Gravillons 8/15	Gravillons 15/25
31,5			100
25			99,15
20			57,05
16		95,32	6,71
12,5		58,12	0,67
10	100	24,35	0,55
8	94,26	7,45	0,519
6,3	64,38	1,91	0,513
4	4,30	1,20	0,51
3,15	1,95	1,19	0,50
2	1,49	1,18	0,49
1	1,43	1,17	0,48
0,63	1,42	1,16	0,47
0,5	1,41	1,14	0,46
0,25	1,40	1,12	0,45
0,125	1,36	1,09	0,42
0,063	1,28	1,01	0,38

Tableau III.2 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (**G_B**).

Tamis (mm)	% Tamisât cumulé		
	Gravillons 3/8	Gravillons 8/15	Gravillons 15/25
31,5			100
25			94,53
20		100	50,62
16		96,15	15,96
12,5		64,97	4,40
10	100	29,25	2,04
8	71,60	9,06	1,65
6,3	28,12	2,88	1,52
4	3,24	1,72	1,44
3,15	2,4	1,50	1,42
2	2,14	1,33	1,39
1	2,03	1,24	1,38
0,63	1,98	1,20	1,37
0,5	1,96	1,18	1,36
0,25	1,86	1,11	1,33
0,125	1,68	1,03	1,26
0,063	1,43	0,95	1,15

Tableau III.3 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8, 8/15 et 15/25 du gravillon (G_c).

Tamis (mm)	% Tamisât cumulé		
	Gravillons 3/8	Gravillons 8/15	Gravillons 15/25
31,5			100
25			98,28
20		100	42,99
16		97,36	5,62
12,5		69,30	0,99
10	100	31,83	0,87
8	98,67	11,09	0,82
6,3	95,75	4,71	0,80
4	49,22	4,32	0,77
3,15	27,98	4,31	0,76
2	11,95	4,27	0,75
1	6,12	4,22	0,72
0,63	5,01	4,19	0,707
0,5	4,19	4,16	0,703
0,25	4,09	3,99	0,68
0,125	3,63	3,63	0,64
0,063	3,13	2,79	0,57

Les résultats détaillés de l'analyse granulométrique sont présentés en annexes (*voir annexe 05,06, et 07*).

III.1.1.2. Coefficient d'aplatissement des granulats

Les résultats de la mesure du coefficient d'Aplatissement des granulats sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau II.4 : Résultats de la mesure du coefficient d'Aplatissement des trois types de granulats (G_A, G_B et G_C).

Nom de l'échantillon	Coefficient d'aplatissement A (%)		
	Gravillons 3/8	Gravillons 8/15	Gravillons 15/25
G _A	11,78	5,89	2,80
G _B	15,08	16,92	6,99
G _C	10	8	5

Les résultats détaillés de l'aplatissement sont présentés en annexes (*voir annexe 08, 09, 10*).

Pour l'utilisation des gravillons dans un béton, on doit se référer à la norme **NF 12620**. Sur laquelle on a déduit qu'un gravillon est utilisable pour un béton, s'il n'a pas un excès en éléments plats, si sa valeur (A) soit inférieure à 20% ($< 20\%$), d'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, on peut conclure que:

- ✓ Pour tous les granulats (G_A , G_B et G_C) des fractions (3/8, 8/15 et 15/25) dont les valeurs sont toutes inférieures à 20%, ce qui permet l'obtention d'un béton compact. Cette caractéristique est assurée par l'efficacité du procédé de broyage au niveau des carrières.

III.1.2. Caractéristiques physiques des gravillons

III.1.2.1. Masses volumiques (M_{Vr} , M_{Vi}), porosité (P), coefficient d'absorption (Ab) et teneur en eau (W)

Les résultats de la mesure des propriétés physiques des granulats (A, B et C) sont présentés dans les tableaux suivants, avec :

M_h : masse humide

M_s : masse sèche

M'_s : masse sèche après lavage

M_a : masse humide avec surface séchée

M'_a : masse de l'échantillon imbibée

Tableau III.5 : Résultats des essais physiques pour le gravillon (G_A).

Echantillon (A)	M_h	M_s	M'_s	M_a	M'_a	M_{Vr}	M_{Vi}	Ab(%)	P	W(%)
Gravillon 3/8	4671,7	4667,4	600	605,0	374,4	2,60	2,62	0,83	0,021	0,092
Gravillon 8/15	4954,1	4950,7	600,2	603,5	377,1	2,65	2,66	0,54	0,014	0,068
Gravillon 15/25	6365,2	6359,6	600,8	603,5	378,6	2,67	2,68	0,44	0,012	0,088

Tableau III.6 : Résultats des essais physiques pour le gravillon (G_B).

Echantillon (B)	M_h	M_s	M'_s	M_a	M'_a	M_{vr}	M_{vi}	Ab(%)	P	W(%)
Gravillon 3/8	2396,9	2355,6	600,5	608,9	375,3	2,56	2,60	1,39	0,03	1,75
Gravillon 8/15	4112,9	4052,7	600,4	607,8	374	2,56	2,59	1,23	0,03	1,48
Gravillon 15/25	4570	4518,5	602,1	607,5	375,3	2,59	2,61	0,89	0,02	1,14

Tableau III.7 : Résultats des essais physiques de l'échantillon pour le (C).

Echantillon (C)	M_h	M_s	M'_s	M_a	M'_a	M_{vr}	M_{vi}	Ab(%)	P	W(%)
Gravillon 3/8	2521,3	2460,3	600,2	604,7	379,2	2,66	2,68	0,74	0,02	2,47
Gravillon 8/15	4171,1	4124,8	601,7	607,5	379,0	2,62	2,65	0,96	0,025	1,12
Gravillon 15/25	6833,7	6791,7	601,6	605,6	380,1	2,66	2,68	0,66	0,02	0,62

D'après les tableaux ci-dessus, on peut conclure que :

- La masse volumique réelle la plus importante dans les trois types d'échantillons (A, B et C) est celle des gravillons $G_{B3/8}$ par rapport aux gravillons $G_{A(3/8)}$ et $G_{C(3/8)}$, et celle de $G_{A(8/15)}$ et $G_{A(15/25)}$ est de valeur plus importante que $G_{B(8/15)}$, $G_{B(15/25)}$ et $G_{C(8/15)}$ et $G_{C(15/25)}$.
- Le coefficient d'absorption et de porosité des gravillons sont plus élevé en G_B qu'en gravillons G_A et G_C

III.1.2.2. Propreté des gravillons (P)

Les résultats de l'essai de propreté sur les gravillons (G_A , G_B et G_C) sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau III.8 : Résultats de l'essai de propreté des gravillons (G_A , G_B et G_C).

Echantillon	3/8	8/15	15/25
G_A	2,15	0,63	0,48
G_B	1,12	1,02	0,53
G_C	4,37	3,9	3,1

Les résultats détaillés de propretés sont présentés en annexes (voir annexe 11, 12, 13).

Les gravillons peuvent être classés selon la norme **NF 12620**, qui indique qu'un gravillon est propre si sa valeur (P) soit inférieure à 1,5% ($<1,5\%$).

- **Gravillons G_A**

A partir des résultats obtenus pour G_A : ($G_{A(3/8)}=2,15\%$, $G_{A(8/15)}=0,63\%$, $G_{A(15/25)}=0,48\%$), on peut déduire que:

- ✓ Les gravillons $G_{A(3/8)}$ sont impropres, et ne sont pas exploitables, car ils ne répondent pas aux spécifications de la norme,
- ✓ Les gravillons $G_{A(8/15)}$ et $G_{A(15/25)}$: sont propres, et exploitables pour la mise en place des bétons, car ils répondent aux spécifications de la norme.

- **Gravillons G_B**

Concernant le G_B : ($G_{B(3/8)}=1,12\%$, $G_{B(8/15)}=1,02\%$, $G_{B(15/25)}=0,53\%$), on peut considérer que :

- ✓ Les gravillons $G_{B(3/8)}$, $G_{B(8/15)}$ et $G_{B(15/25)}$: sont tous propres, et exploitables pour la mise en place des bétons, car ils répondent aux spécifications de la norme.

- **Gravillons G_C**

D'après les résultats obtenus pour G_C : ($G_{C(3/8)}=2,15\%$, $G_{C(8/15)}=0,63\%$, $G_{C(15/25)}=0,48\%$), on peut déduire que :

- ✓ Les gravillons $G_{C(3/8)}$ et $G_{C(8/15)}$ et $G_{C(15/25)}$ sont impropres, et ne sont pas exploitables, car ils ne répondent pas aux spécifications de la norme,

III.1.2.3. Détermination du poids spécifique des gravillons (le Chatelier)

Les résultats de l'essai de la détermination du poids spécifique sur les gravillons des échantillons (G_A , G_B et G_C) sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau III.9 : Résultats du poids spécifique des trois types de gravillons (G_A , G_B et G_C).

Echantillon	$m_{éch}$ (g)	V_i (cm^3)	V_f (cm^3)	d (g/cm^3)
G_A	55,0	250,0	20,3	2,71
G_B	55,0	250,0	20,3	2,71
G_C	55,0	250,0	19,9	2,76

D'après les résultats obtenus, les valeurs du poids spécifique pour chaque type de gravillons (G_A , G_B et G_C) sont respectivement : $2,71 \text{ g/cm}^3$, $2,71 \text{ g/cm}^3$ et $2,76 \text{ g/cm}^3$

On remarque que le poids spécifique des gravillons G_A et G_B ont marqué une valeur identique.

III.1.3. Caractéristiques mécaniques des gravillons**III.1.3.1. Résistance à la fragmentation (Los Angeles)**

Les résultats de la détermination de la résistance au choc, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.10 : Résultats de l'essai de résistance au choc.

Echantillons	Masse sèche du refus à 1,6mm m (g)	Coefficient Los Angeles %
G_A	3747	25,06
G_B	3709,3	25,814
G_C	3654,3	26,914

III.1.3.2. Résistance à l'usure (Micro Deval)

Les résultats de la détermination de la résistance à l'usure sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau III.11 : Résultats de la détermination de la résistance à l'usure.

Echantillons	Masse sèche du refus à 1,6mm m (g)	Coefficient Micro Deval %	Moyenne
G_A	424,4	15,12	15,42
	421,4	15,72	
G_B	423,5	15,3	15,20
	424,5	15,1	
G_C	416,6	16,68	16,64
	417	16,60	

Nous avons obtenus les valeurs de L_A pour les gravillons (G_A , G_B et G_C) respectivement : 15,42%, 15,20%, 17%, et les valeurs de coefficient M_D pour les gravillons (G_A , G_B et G_C) respectivement : 25,06%, 25,80%, 27%. Donc d'après le tableau présenté en annexes (voir Annexe 14), on peut conclure que :

- ✓ Les granulats G_A , G_B et G_C sont classés dans la catégorie : $13 \leq MDE < 20$ pour MDE et $20 \leq LA < 30$ pour LA, d'où la conclusion que les trois granulats ont des caractéristiques intrinsèques moyennes.

➤ Propriétés recherchées dans un sable

III.1.4. Caractérisation géométrique des sables:

III.1.4.1. Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables (S_A , S_B et S_C) sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau III.12 : Analyse granulométrique des sables (S_A , S_B et S_C).

Tamis (mm)	% Tamisât cumulé		
	Sable 0/3 (S_A)	Sable 0/3 (S_B)	Sable 0/3 (S_C)
6,3	100	100	100
5	99,80	98,8	99,8
4	99,20	93,0	99,7
3,15	80,00	88,5	99,5
2,5	67,10	80,5	93,5
2	58,20	73,5	83,2
1,25	40,20	58,2	57,0
1	35,70	53,1	49,6
0,63	25,60	41,9	34,1
0,5	21,20	37,4	28,7
0,315	15,80	29,2	22,1
0,25	14,30	25,8	19,7
0,125	9,30	16,0	13,2
0,08	7,60	11,2	10,4
0,063	7,10	9,0	9,2

Les résultats détaillés de l'analyse granulométrique sont présentés en annexes (*voir annexe 15, 16, 17*).

Les résultats de l'analyse granulométrique des granulats sont présentés dans (*voir les figures III.1, III.2, III.3*)

✓ Module de finesse

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin.

Un module de finesse élevé est caractérisé par un sable grossier. Selon la norme **EN12620**, on peut déduire les limites des valeurs du module de finesse qui servent à qualifier le sable ou la grave en termes d'indice de finesse :

- 1,8 et 2,2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2,2 et 2,8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2,8 et 3,3 : le sable est un peu grossier,

- $> 3,3$: le sable est grossier.

Ce paramètre est calculé selon la norme **EN12620** suivant la formule :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4\}}{100}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.13 : Module de finesse des sables (S_A , S_B et S_C).

Echantillon	Mf	Type de sable
S_A	3,71	Grossier
S_B	3,01	Un peu grossier
S_C	3,06	Un peu grossier

D'après le tableau ci-dessus, on peut conclure que :

- ✓ La valeur du module de finesse la plus élevée, est celle des sables S_A ($Mf=3,71$), d'où ces sables sont grossiers car cette valeur est supérieure à 3,2 ($>3,2$)
- ✓ Les sables S_B et S_C dont leur module de finesse sont respectivement 3,01 et 3,06, d'où leur sables sont un peu grossiers car leurs valeurs sont comprises entre 2,8 et 3,3.

III.1.5. Caractéristiques physiques des sables

III.1.5.1. Masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau

Les résultats des essais physiques sur les sables (S_A , S_B et S_C) de fraction (0/3) sont présentés dans le tableau suivant, avec :

M_h : masse humide

M_s : masse sèche

M_s' : masse sèche après lavage

M_a : masse humide avec surface séchée

M'_a : masse de l'échantillon imbibée

Tableau III.14 : Résultats des essais physiques sur les sables (S_A , S_B et S_C).

Echantillon	M _h	M _S	M' _S	M _a	M' _a	M _{Vr}	M _{Vi}	Ab(%)	W(%)
S _A	3071,3	3057	500	504,2	311,2	2,59	2,61	0,84	0,46
S _B	2108,2	2056,9	500	512,9	314,4	2,52	2,58	2,58	2,49
S _C	1992,8	1900,5	500	512,1	319,7	2,58	2,66	2,42	4,8

D'après le tableau ci-dessus, on peut conclure que :

- La masse volumique réelle est importante dans le sable S_A que dans les sables S_B et S_C.
- Le coefficient d'absorption est d'une valeur plus élevée dans le sable S_B par rapport aux sables S_A et S_C.

III.1.5.2. Détermination du poids spécifique (le Chatelier)

Les résultats de l'essai de la détermination du poids spécifique sur les sables (S_A, S_B et S_C) de fraction (0/3) sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau III.15 : Résultats du poids spécifique des trois sables (S_A, S_B et S_C).

Echantillon	m _{éch} (g)	V _i (cm ³)	V _f (cm ³)	D (g/cm ³)
A	55,0	250,0	20,1	2,73
B	55,0	250,0	20,4	2,70
C	55,0	250,0	19,9	2,76

D'après les résultats obtenus à partir du tableau ci-dessus, les valeurs du poids spécifique pour chaque type de sables (S_A, S_B et S_C) sont respectivement : 2,73 g/cm³, 2,70 g/cm³ et 2,76 g/cm³

III.1.5.3. Propreté d'un sable

Les essais de propreté d'un sable sont répartis sur deux essais :

A) Essai d'équivalent de sable

Les résultats de l'essai d'équivalent de sable sur les sables (S_A , S_B , S_C) de fraction (0/2) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.16 : Résultats des essais d'équivalent de sable (0/2).

Echantillon	Hauteur totale (h1)	Hauteur de sable à piston (h2)	E.S piston %	Valeur moyenne
S_A	10,9	8,35	76,60	75,57
	11	8,2	74,54	
S_B	16,2	7,9	48,76	49,54
	15,4	7,75	50,32	
S_C	11,80	7,7	65,25	65,68
	12,40	8,2	66,12	

D'après la norme **NF 18-545**, On peut déterminer la signification de l'ESp et classer le sable suivant les résultats obtenus de l'équivalent de sable à piston.

Nous avons obtenus les valeurs d'équivalent de sable S_A , S_B , S_C respectivement : 75,57%, 49,54%, 66%, donc d'après le tableau présenté en annexes (voir Annexe 18), on peut conclure que :

- ✓ **70 < S_A < 80** : sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
- ✓ **S_B < 60** : Sable argileux – risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
- ✓ **60 < S_C < 70** : Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante.

B) Essai de bleu de méthylène

Les résultats de l'essai au bleu de méthylène sur les sables (S_A , S_B , S_C) de fraction (0/2) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.17 : Résultats des essais au bleu de méthylène (0/2).

Echantillon	Quantité totale de solution de colorant ajouté (ml)	Valeur MB
S_A	15	0,75
S_B	65	3,25
S_C	20	1

D'après la norme **NF 18-545**, On peut déterminer la signification de MB et classer le sable suivant les résultats obtenus.

Nous avons obtenus les valeurs de MB pour les sables S_A , S_B , S_C respectivement : 0,75, 3,25, 1, donc on peut conclure que :

- ✓ Les sables (S_A et S_C) sont recommandés pour un béton durable,
- ✓ Le sable (S_B) n'est pas recommandé pour un béton durable.

Partie 02 : résultats des essais sur le béton

III.2.1. Propriétés des bétons à l'état frais

III.2.1.1. Masse volumique

Dans le tableau I.1 nous présentons les résultats des mesures de la masse volumique pour les bétons $B_{T(A)}$, $B_{T(B)}$, $B_{T(C)}$.

Tableau III.18 : Variation de la masse volumique à l'état frais de différents bétons.

Désignation du béton	$B_T (A)$	$B_T (B)$	$B_T (C)$
La masse volumique de béton (kg/m^3)	2400	2346,6	2324,8

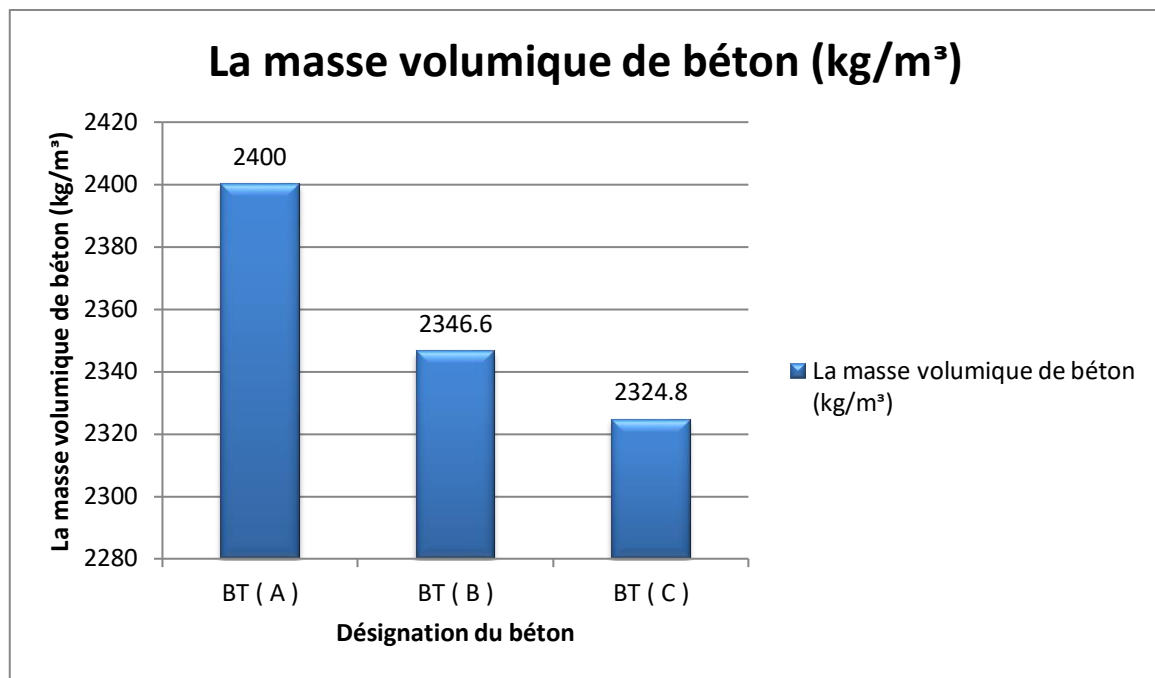


Figure III.1 : Variation de la masse volumique à l'état frais de différents bétons.

La figure ci-dessus (figure III.4) représente la masse volumique des bétons (BT_A, BT_B, BT_C) à l'état frais, d'après ces résultats on remarque que la valeur de la masse volumique du béton BT_A est plus élevée que la masse volumique des bétons BT_B et BT_C et cela est lié au fait que la masse volumique des granulats G_A est plus importante que celle des granulats G_B et G_C.

III.2.1.2. Affaissement au cône d'Abrams

L'ouvrabilité des différents bétons composés a été évalué à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams.

L'essai d'affaissement a été effectué conformément à la norme européenne **NF EN 12350-2**, les résultats obtenus sur les trois types de béton B_{T(A)}, B_{T(B)} et B_{T(C)} sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.19. L'ouvrabilité des trois différents types de bétons.

Désignation du béton	B _{T(A)}	B _{T(B)}	B _{T(C)}
Ouvrabilité (cm)	19	19	19

Tous les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante qui est de l'ordre de 19 cm.

A partir du tableau ci-dessus et d'après les résultats obtenus, l'affaissement est classé selon la norme **NF EN 12350-2** en classe S4 (aff > 16cm)

III.2.2. Propriétés du béton à l'état durci

II.2.2.1. la Masse volumique du béton durci

La masse volumique du béton durcis a été déterminé pour les différents bétons confectionnés, conformément a la norme **NF EN 12390-7**. Elle a été déterminée à l'âge de 7 jours, puis à 28 jours, sur une éprouvette cubique de dimension de (15x15x15 cm) de masse (m) et de volume réel (V).

La masse volumique du béton durci a été calculé selon la formule suivante :

$$Mv = \frac{m}{V} (\text{Kg/m}^3)$$

Les résultats obtenus après 7 et 28 jours sont présentés dans les tableaux ci-dessous (Tableau III.20) :

Tableau III.20. Variation de la masse volumique à l'état durcis de différents bétons après 7 et 28 jours

Désignation du béton	Durée de durcissement	B _{T(A)}	B _{T(B)}	B _{T(C)}
La masse volumique du béton durcis (kg/m³)	Après 7 jours	2430	2360	2425
	Après 28 jours	2420	2375	2420

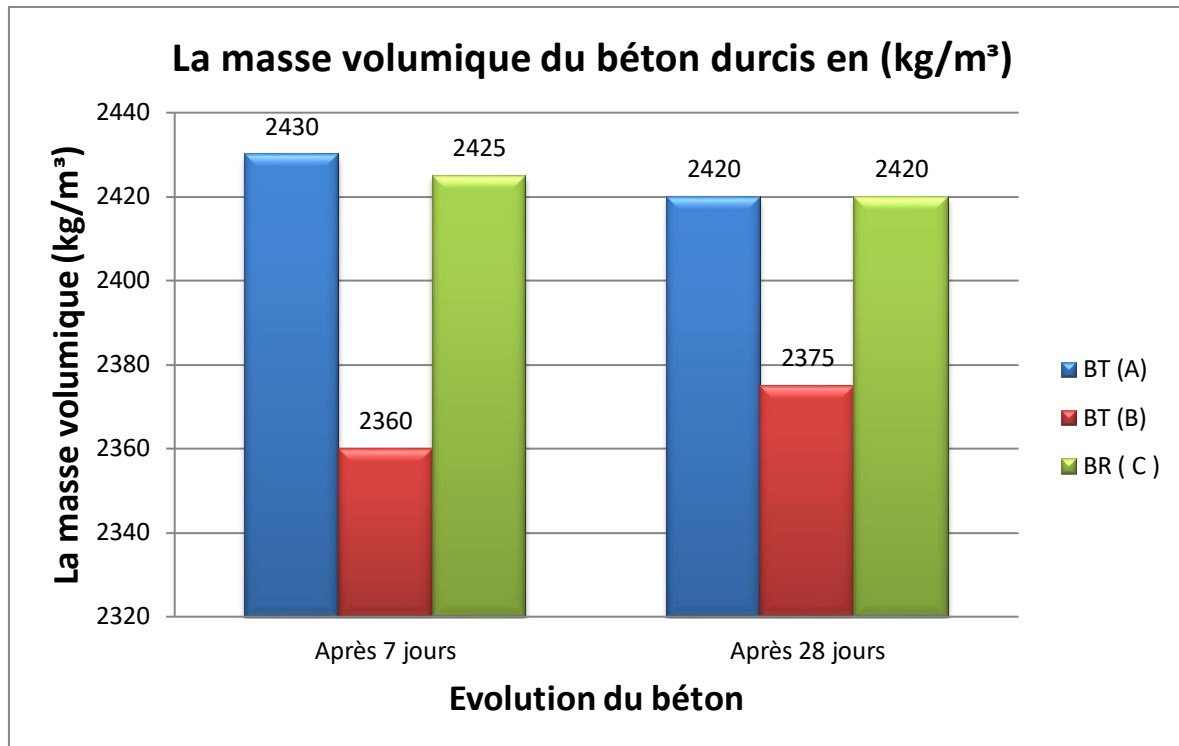


Figure III.2 : variation de la masse volumique à l'état durcis de différents bétons.

La figure ci-dessous (*figure III.5*), représente l'évolution de la masse volumique des différents bétons à l'état durci, on remarque que la masse volumique varie d'un béton à l'autre, mais la masse volumique du béton (B_{TB}) reste inférieure aux autres bétons.

cette variation est due a la finesse des particules des sables qui occupent plus les vides entre la structure de béton, donc la compacité augmente, et la masse volumique aussi augmente avec.

II.2.2.2. Résistance à la compression

L'essai de résistance a la compression du béton a été effectué conformément a à la norme européenne **NF EN 12390-3**. Par application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique, dans le sens perpendiculaire à l'axe de coulage, jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression.

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

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Où :

f_c : résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés)

F : charge maximale, exprimée en Newtons

A_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.

Les résultats de l'essai de compression des bétons sont présentés dans le ci-dessous (tableau III.21) :

Tableau III.21. Variation des résistances à la compression de différents bétons après 7 et 28 jours.

Désignation du béton	Durée de durcissement (jours)	$B_{T(A)}$	$B_{T(B)}$	$B_{T(C)}$
Contrainte obtenue en (Mpa)	Après 7 jours	24,9	23,1	24,6
	Après 28 jours	32,4	30,2	31,8

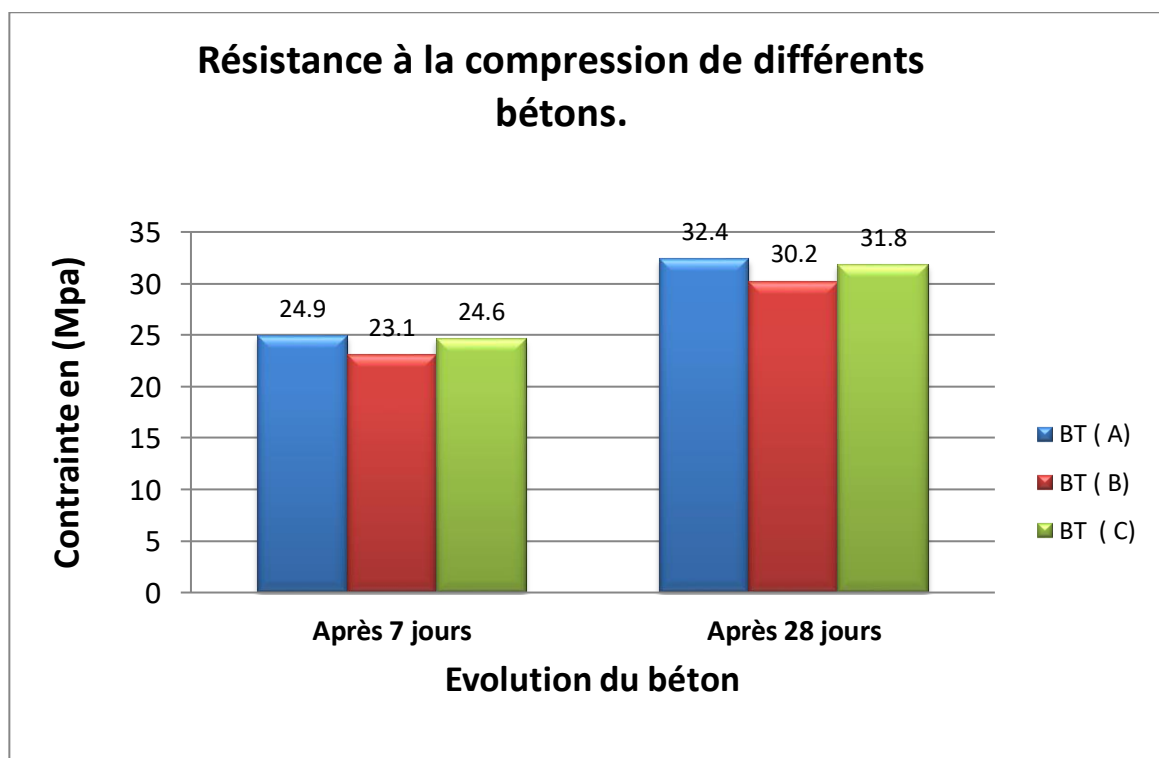


Figure III.3 : Variation et évolution des résistances à la compression de différents bétons après 7 et 28 jours.

II.2.2.3. Résistance à la flexion

L'essai a été effectué selon la norme européenne **NF EN 12390-5**, par l'emplacement de l'éprouvette prismatique de dimension (7x7x28 cm) dans l'appareil de chargement de la machine à essai.

Les résultats de l'essai de flexion des bétons sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau III.22)

Tableau III. 22. Variation des résistances à la flexion de différents bétons après 7 et 28 jours.

Désignation du béton	Durée de durcissement (jours)	B _{T(A)}	B _{T(B)}	B _{T(C)}
Contrainte obtenue en (Mpa)	Après 7 jours	3,9	4,4	4,7
	Après 28 jours	6,0	5,2	6,6

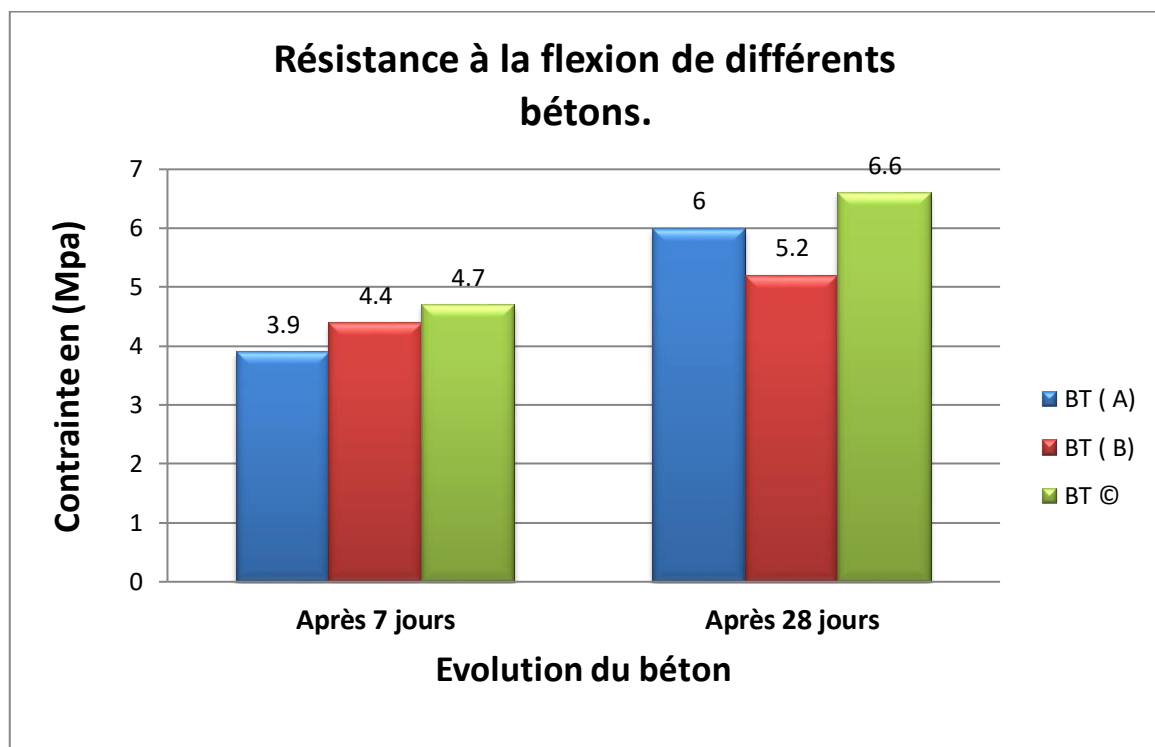


Figure III .4. Variation et évolution des résistances à la flexion de différents bétons après 7 et 28 jours.

D'après les tableaux (tableaux III.21, III.22), et les figures (figures III.7, III.9), nous remarquons l'évolution et l'augmentation des résistances mécaniques à la compression, et à la traction par flexion en fonction de l'âge de conservation, cette augmentation de résistance est due au développement de l'hydratation avec le temps, et cela explique le phénomène de consolidation des bétons sous l'effet du durcissement de la pâte de ciment.

Partie 03 : Etude comparative des résultats des bétons formulés :

Tableau III.23. Tableau récapitulatif des résultats des essais sur granulats et sur béton durci.

Type d'essai sur granulats	Résultats des essais sur les granulats								
	G _A			G _B			G _C		
Equivalent de sable (%)	75,57			49,54			66		
Bleu de méthylène	0,75			3,25			1		
Propreté (%)	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25
	2,15	0,63	0,48	1,12	1,02	0,53	4,37	3,9	3,1
Aplatissement (%)	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25
	11,78	5,89	2,80	15,08	16,92	6,99	10	8	5
Absorption (%)	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25	3/8	8/15	15/25
	0,83	0,54	0,54	1,39	1,23	0,89	0,74	0,96	0,66
MDE (%)	15,42			15,2			17		
LA (%)	25,06			25,8			27		
Type d'essai sur béton	Résultats des essais sur les bétons								
	B _{T(A)}			B _{T(B)}			B _{T(c)}		
Compression (Mpa)	32,4			30,2			31,8		
Flexion (Mpa)	6			5,2			6,6		

III.3.1. Formulation du béton type (A)

Cette formulation présente des résultats très satisfaisant vis-à-vis de la résistance à la compression, vu que les caractéristiques de fabrication et les caractéristiques intrinsèques sont de très bonne qualité, néanmoins la résistance à la flexion est très faible par rapport au rapport G/S qui est très faible, pour un bon béton il est préférable d'avoir un rapport G/S proche de 1.5.

Nous avons constaté que, la propreté superficielle de la fraction 3/8 utilisée pour cette formulation est égale à 2,15 %, cette valeur n'est pas en concordance avec la norme **NF-12620** qui indique un seuil maximal de 1,5%. Autrement ses résistances augmentent plus que celles obtenues.

Tableau.III .24. Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (A) durci après 28 jours.

Béton A	G/ S	E/ C	EAU (L)	CIME NT (Kg)	Agrégats (Kg)				Adj. (Kg)
					S0/3	G3/8	G8/15	G15/2 5	
(350kg/m ³)	0.95	0.58	206	350	948.7	130	406.5	368.56	3,33

III.3.2. Formulation du béton type (B)

Cette formulation présente des résultats très faible en matière de résistance à la compression, vu que les caractéristiques intrinsèques sont de très bonne qualité néanmoins les caractéristiques de fabrications sont de mauvaise qualité, cependant la résistance à la flexion présente une très faible valeur, de même le rapport G/S est faible, et pour un bon béton il est préférable d'avoir un G/S proche de 1.5 et ES > 65 et MB < 1.5 selon la norme **NF P18-545**.

Tableau III.25 : Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (B) durci après 28 jours.

Béton B	G/S	E/C	Eau (L)	Ciment (Kg)	Agréats (Kg)				Adj. (Kg)
					S0/3	G3/8	G8/15	G15/2 5	
(350kg/m ³)	1.18	0.58	206	350	843.26	128.26	257.58	607.20	7,61

III.3.3. Formulation du béton type (C) :

Cette formulation présente des résultats satisfaisant vis-à-vis de la résistance a la compression vu que les caractéristiques intrinsèques sont de très bonne qualité et les caractéristiques de fabrications sont bonnes, mais reste inferieur a celle du sable du béton type A. Cependant la résistance a la flexion est élevée et ce par rapport au rapport G/S qui 1.7 qui est jugé de faire, et pour un bon béton il est préférable d’avoir un rapport G/S proche de 1.5.

Nous avons constaté que, la propreté superficielle des fractions 3/8 et 8/15 utilisées pour cette formulation égale 4,37 % et 3,9% respectivement, elle ne sont pas conforme a la norme **NF -12620** indiquant un seuil maximal de 1,5%, autrement ses résistances augmentent plus que celles obtenues.

Tableau III.26: Tableau représentatif des paramètres a influence direct sur les caractéristiques du béton (C) durci après 28 jours.

Béton C	G/S	E/C	Eau (L)	Ciment (Kg)	Agréats (Kg)				Adj. (Kg)
					S0/3	G3/8	G8/15	G15/25	
(350kg/m ³)	1.70	0.58	206	350	695.93	282.13	413.77	489	1,06

Conclusion

D’après les résultats obtenus des différents essais de caractérisations (géométriques, physiques et mécaniques) des trois types de granulats G_A, G_B et G_C, nos granulats sont classés selon des normes prescriptives, et d’après les résultats obtenus de la résistance des trois types

de béton B_{TA} , B_{TB} et B_{TC} , on peut enfin comprendre l'influence de la propreté des granulats sur la qualité du béton, c'est-à-dire à chaque fois que notre granulat soit propre, on obtient une résistance importante et plus élevée (et vice versa)

Afin d'avoir un bon béton qui va résister à la compression et la flexion, il faut gérer les paramètres suivant :

- Avoir un sable propre et des agrégats avec des caractéristiques intrinsèques de bonne qualité.
- Le rapport G/S qui doit être proche de 1,5

Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats obtenus lors de cette étude, confirment l'intérêt de la propreté d'un granulat dans la résistance d'un béton destiné à la construction.

Les résultats de la caractérisation des granulats G_A , G_B et G_C issus des trois carrières (A, B et C) des classes granulaires (0/3, 3/8, 8/15, 15/25) nous a révélé que ce qui suit :

Les granulats les plus conformes aux normes, sont ceux de la carrière (A), qui ont montré les caractéristiques suivantes :

- ✓ Caractéristiques géométriques : (module de finesse=3,71, aplatissement < 20%),
- ✓ Propreté des sables : ($ES > 65\%$, $MB \leq 1,5$),
- ✓ Caractéristiques physiques et mécaniques : (résistance à l'usure $MDE \leq 20\%$, et à la fragmentation $LA \leq 30\%$).

Tandis que les granulats des carrières B et C, ont une utilisation réduite en rapport de :

- ✓ Propreté des sables ($Es = 49,54\%$, $MB=3,25$) pour les granulats G_B
- ✓ Propreté des gravillons ($P > 1,5$), ce qui induit un taux de fines élevé, par conséquent une grande quantité d'eau de gâchage et d'adjuvant à utiliser, ce qui se répercute négativement sur la qualité du béton.

Après formulation des bétons, il nous été permet de conclure que :

Le béton a présente une meilleur résistance a la compression, avec une valeur de $B_{TA}= 32,4$ MPa, cette valeur est obtenue suit aux caractéristiques des agrégats G_A .

Le béton C vient en deuxième position avec une valeur de résistance a la compression d'une valeur de $B_{TC}= 31,1$ MPa

Le béton B étant celui qui présente la plus faible résistance a la compression avec une valeur de $B_{TB}= 30,2$ MPa, cela est du a la mauvais propreté des agrégats utilisé, a savoir ceux de la carrière B.

Perspectives

Perspectives

Au terme de notre travail, nous conseillons timidement que les travaux futurs portés sur le même sujet puissent prendre en considération les points suivants :

- Evaluer la résistance de deux types de béton, un formulé avec un sable lavant, et l'autre avec un sable non lavant c'est-à-dire avec et sans présence des fines particules (argileuse ou calcaire).
- Effectuer un autre essai important sur le béton qui est la durabilité.
- Effectuer dans la mesure du possible plusieurs formulations afin de les comparer
- Orienter les agrégats non propres aux formulations des bétons bitumineux.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1] **M.TALEB**, mémoire de fin d'étude en génie des matériaux, pate d'un béton autoplaçant (BAP) à base d'ajouts cimentaires locaux, université de M'hamed bouguerra Boumerdes, 2016.
- [2] **A. BOUFEDAH BADISSI**, Influence de la granularité (classe granulaire 4/22,4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaire, Université Mentouri Constantine, Janvier 2011.
- [3] **J. BARON, J. OLLIVIER**, Les bétons : bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, 1999.
- [4] **J.P. OLLIVIER, A. VICHOT**, La durabilité du béton, Presses de l'école des Ponts et Chaussées, Paris, 2008.
- [5] **Collection CIM béton, Fiches techniques, Tome 1**, 71 pages, Réf G10, Editeur Cimbéton, Septembre 2005.
- [6] **G. DREUX, J. FESTA**, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Huitième édition, Eyrolles, 1995.
- [7] **Contexte normatif des bétons**, Conception et réalisation des ouvrages avec les produits structuraux en béton, Paris, édition septembre 2005.
- [8] **M. AYAD, Y.BARKA**, Mémoire de fin d'étude, Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences, université Abou Bekr Belkais, Tlemcen, 2013.
- [9] **R.FERET, B.WILLIAM. P.FRANJ**, Materials, construction, and design of concrete and reinforced concrete, London, 1912.
- [10] **M.AIT MOUSSA, A.ALEM**, Elaboration et caractérisation physico-mécanique du béton (ordinaire et adjuvanté) dont les matières premières sont de différentes provenances, Université M'hamed Bougara, Boumerdes, 2017.
- [11] **F.Gabrysiak**, Matériaux – Les bétons.
- [12] **S.BETHMONT**, Thèse de doctorat, mécanismes de ségrégation dans les bétons auto plaçant, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- [13] Norme européenne NF EN 12350-1 « Essai pour béton frais –partiel 1 : prélèvement» Edité et diffusée par l'association française de normalisé (AFNOR), avril 2012.

Références bibliographique

- [14] **D.BENAMRANE**, L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [15] **M.CHABI, B.LAMALI**, mémoire de fin d'étude, Valorisation de la poudre de verre dans un béton ordinaire pour la précontrainte, université de M'hamed bouguerra Boumerdes, 2017
- [16] **LIBRAIRIE TECHNIQUE TECHNOSCIENCES**, Granulats sols ciments bétons : Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, 344 pages, 2009.
- [17] **L.BERREDJEM**, thèse de Magister, Le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable Formulation et comportement physique et mécanique des bétons à base de ces recyclés, Annaba 2009.
- [18] **G.DREUX**, livre, Nouveau guide du béton, Ed Eyrolles, PARIS, 1998.
- [19] Norme française P 18-554 « Masses volumiques, la porosité, coefficient d'absorption et de la teneur en eau », Edité et diffusée par l'association française de normalisation (AFNOR), Décembre 1990
- [20] **D.GUY**, les granulats, ing complexe scientifique 2700, rue Einstein sainte-Foy, Québec.
- [21] **F.GORISSE**, Essais et contrôle des bétons, P200, édition Eyrolles, 1978.
- [22] **R.DUPAIN, R.LANCHAN, J.SAINT, ARROMAN**, Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, 1999.
- [23] **B.THIBAUT, M.BOUFFARD, C.HORLAIT, R.LACROIX**, Projet IFIPS, 2008.
- [24] **F.PERCHE**, THÈSE de doctorat, adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciments, la faculté sciences et techniques de l'ingénieur -institut des matériaux, 2004.
- [25] **E.DONGMO, J.BERTHE**, thèse de doctorat, Caractérisation des déformations d'orniérage des chaussées bitumineuses, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- [26] **K.KHOUDJIA, L.MHAMED**, thèse de doctorat, étude des propriétés physico-mécanique et rhéologique des bétons à base des sable de carrières : expérimentation et modélisation, Université Mohamed Khider biskra, 2016.

Références bibliographique

- [27] **NF P 18-597** : norme européenne, détermination de la propreté des sables : équivalent de sable a 10 de fines, AFNOR 1990
- [28] **NF P 18-592** : norme européenne, essais de bleu de méthylène, AFNOR 1990.
- [29] **F.GHOMARI, A.BENDI – OUIS**, Sciences des matériaux, Université Aboubekr Belkaid, Département de génie civil.
- [30] **G.DREUX, J.FESTA**, Livre, Nouveau guide du béton et de ces constituants, Huitième édition 1998, Saint- Germain Paris, Troisième tirage 2007.
- [31] **F.GHOMARI**, Science des matériaux de construction, Université Aboubeker Belkaid, 2011
- [32] **D-Z.BENAMRANE**, mémoire de fin d'étude, l'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [33] **Norme européenne NF EN 1008** : eau de gâchage pour béton, AFNOR, Juillet 2003.
- [34] **M.KORICHI, M.KARA**, Réalisation de BHP avec l'amélioration des propriétés physico-chimique et mécanique du béton en utilisant les ajouts de la fumée de silice et du sable de dunes siliceux finement broyé, Université M'hamed bougara Boumerdes, 2012.
- [35] Norme européenne NF EN 12350-2 « Essai pour béton frais –partie2 :Essai d'affaissement» Edité et diffusée par l'association française de normalisé (AFNOR), avril 2012.
- [36] **Groupe Eyrolles**, Cône d'Abrams, Edition Eyrolles, 2010.
- [37] Norme européenne NF EN 12350-4 « Essai pour béton frais –partie4 : Indice de serrage» Edité et diffusée par l'association française de normalisé (AFNOR), avril 2012.
- [38] **R.Dupain**, granulats sols ciment et béton, Edition CASTEILLA, Paris.
- [39]. **L.MHAMED, KHOUADJIA**, thèse de doctorat, étude des propriétés physico-mécanique et rhéologique des bétons à base des sable de carrières : expérimentation et modélisation, université Mohamed Khider biskra, 2016.

Références bibliographique

[40] **NF EN 1097-2** : essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, partie 2 : méthode pour la détermination de forme d'une fracture routière, AFNOR, Octobre 1998.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : les classes granulaires de l'essai Los Angeles

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Poids total de la charge(g)	Poids des fractions (g)
4-6,3	7	3080±20	5000±2
6,3-10	9	3960±25	5000±2
10-14	11	4840±25	5000±2

Annexe 02 : Charge abrasive selon la classe granulaire

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4-6,3	2000±5
6,3-10	4000±5
10-14	5000

Annexe 03 : Les compositions chimiques et les caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Composition chimique du ciment(%) :

Composition chimique	Teneur%
SiO ₂	17,81
AL ₂ O ₃	4,84
Fe ₂ O ₃	2,96
CaO	60,55
MgO	1,56
SO ₃	2 ,51
K ₂ O	0,57
Na ₂ O	0,01
P ₂ O ₅	0,14
TiO ₂	0 ,24
Perte au feu	8,8000

Les caractéristiques physiques du ciment :

Annexes

Essai	unité	résultat
Consistance normalisé	H2O	27,8
Temps de prise (mn)	Début	140
	Fin	205
Masse volumique absolue du ciment (g/cm ³)		3,06
Surface suivant la méthode de baleine (cm ³ /g)		4491

Les caractéristiques mécaniques du ciment.

Echéance en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02jours	4,4	22,5
07jours	6,3	37,5
28jours	7,5	49,5

Annexe 04 : Caractéristiques de l'adjuvant

- Aspect liquide
- Couleur.....brun clair
- PH 6 - 6,5
- Densité1, 07± 0,1g/l
- Teneur en chlore< 0 ,1 g/l
- Extrait sec 30%

Propriété

Grâce à ses propriétés **le MEDAFlow 30** permet :

➤ Sur béton frais :

- l'obtention d'un rapport E/C très faible
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton.

➤ Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme

Annexes

- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration.

Domaines d'application

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

Annexe 05 : Analyse granulométrique des granulats de la carrière A

Gravillons 3/8 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide M1h=4671,7	31,5			
	25			
Masse sèche M1s=4667,4	20			
	16			
Echantillon pour analyse	12,5			
	10	0	0	100
Masse humide Mh=3482,1	8	199,8	5,74	94,26
	6,3	1239,2	35,62	64,38
Masse sèche Ms1=3437,3	4	3329,6	95,70	4,30
	3,15	3411,4	98,05	1,95
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms= 3434,4	2	3427,3	98,51	1,49
	1	3429,4	98,57	1,43
	0,63	3429,7	98,58	1,42
	0,5	3429,9	98,59	1,41
	0,25	3430,4	98,60	1,40
	0,125	3431,6	98,64	1,36
	0,063	3434,4	98,72	1,28

Annexes

Gravillons 8/15 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide M1h=4954,1	31,5			
	25			
Masse sèche M1s=4950,7	20	0	0	100
	16	203	4,68	95,32
Echantillon pour analyse	12,5	1814,5	41,88	58,12
	10	3277,3	75,65	24,35
Masse humide Mh=4334,9	8	4009,5	92,55	7,45
	6,3	4249,6	98,09	1,91
Masse sèche Ms1=4294	4	4280	98,80	1,2
	3,15	4280,4	98,81	1,19
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms= 4331,92	2	4280,9	98,82	1,18
	1	4281,4	98,83	1,17
	0,63	4282,1	98,84	1,16
	0,5	4282,6	98,86	1,14
	0,25	4283,5	98,88	1,12
	0,125	4285,1	98,99	1,09
	0,063	4288,2	98,99	1,01

Gravillons 15/25 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide M1h=6365,2	31,5	0	0	100
	25	55,9	0,85	99,15
Masse sèche M1s=6359,6	20	2810,8	42,95	57,05
	16	6104,2	93,29	6,71
Echantillon pour analyse	12,5	6499,5	99,33	0,67
	10	6507,7	99,45	0,55
Masse humide Mh=6549	8	6509,3	99,481	0,519
	6,3	6509,7	99,487	0,513
Masse sèche Ms1=6521,1	4	6510,2	99,49	0,51
	3,15	6510,7	99,50	0,5
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms= 6543,23	2	6511,5	99,51	0,49
	1	6512,4	99,52	0,48
	0,63	6513	99,53	0,47
	0,5	6513,3	99,54	0,46
	0,25	6514,3	99,55	0,45
	0,125	6516,3	99,58	0,42
	0,063	6518,7	99,62	0,38

Annexes

Annexe 06 : Analyse granulométrique des granulats de la carrière B

Gravillons 3/8 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide	31,5			
M1h=2396,9	25			
Masse sèche	20			
M1s=2355,6	16			
Echantillon pour analyse	12,5			
	10	0	0	100
Masse humide	8	934,9	28,40	71,60
Mh=3349,3	6,3	2366,1	71,88	28,12
Masse sèche	4	3185,2	96,76	3,24
Ms1=3246,9	3,15	3212,8	97,60	2,4
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms= 3291,58	2	3221,3	97,86	2,14
	1	3225	97,97	2,03
	0,63	3226,6	98,02	1,98
	0,5	3227,3	98,04	1,96
	0,25	3230,6	98,14	1,86
	0,125	3236,4	98,32	1,68
	0,063	3244,8	98,57	1,43

Gravillons 8/15 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide	31,5			
M1h=4112,9	25			
Masse sèche	20	0	0	100
M1s=4052,7	16	119,9	3,85	96,15
Echantillon pour analyse	12,5	1090,7	35,03	64,97
	10	2203,1	70,75	29,25
Masse humide	8	9831,5	90,94	9,06
Mh=3159,8	6,3	3024,1	97,12	2,88
Masse sèche	4	3060	98,28	1,72
Ms1=3084,4	3,15	3067,1	98,50	1,50
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms= 3113,5	2	3072,2	98,67	1,33
	1	3075,1	98,76	1,24
	0,63	3076,2	98,80	1,20
	0,5	3076,8	98,82	1,18
	0,25	3079	98,89	1,11
	0,125	3081,7	98,97	1,03

Annexes

	0,063	3084	99,05	0,95
--	-------	------	-------	------

Gravillons 15/25 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide M1h=4570	31,5	0	0	100
	25	257,6	5,47	94,53
Masse sèche M1s=4518,5	20	2324,9	49,38	50,62
	16	3956,5	84,04	15,95
Echantillon pour analyse	12,5	4500,6	95,60	4,40
	10	4612,1	97,96	2,04
Masse humide Mh=4761,4	8	4630,3	98,35	1,65
	6,3	4636,6	98,48	1,52
Masse sèche Ms1=4677,6	4	4640,2	98,56	1,44
	3,15	4641	98,58	1,42
Masse totale sèche $Ms = \frac{M1s}{M1h} \times Mh$ Ms=4707,7	2	4642,3	98,61	1,36
	1	4643,1	98,62	1,38
	0,63	4643,6	98,63	1,37
	0,5	4643,9	98,64	1,36
	0,25	4645,3	98,67	1,33
	0,125	4648,8	98,74	1,26
	0,063	4653,7	98,85	1,15

Annexe 07 : Analyse granulométrique des granulats de la carrière C

Gravillons 3/8 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{Ri}{Ms} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{Ri}{Ms} \times 100$
Masse humide M1h=2521,3	31,5			
	25			
Masse sèche M1s=2460,3	20			
	16			
Echantillon pour analyse	12,5			
	10	0	0	100
Masse humide Mh=2837,7	8	37	1,33	98,67
	6,3	117,7	4,25	95,75
Masse sèche Ms1=2688	4	1392,4	50,28	49,22
	3,15	1994,3	72,02	27,98
Masse totale sèche	2	2438,1	88,04	11,96
	1	2599,8	93,88	6,12
	0,63	2630,5	94,99	5,01

Annexes

$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 2769,04$	0,5	2639,2	95,31	4,19
	0,25	2655,9	95,91	4,09
	0,125	2668,6	96,37	3,63
	0,063	2682,4	96,87	3,13

Gravillons 8/15 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{R_i}{M_s} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{R_i}{M_s} \times 100$
Masse humide M _{1h} =4171,1	31,5			
	25			
Masse sèche M _{1s} =4124,8	20	0	0	100
	16	116,6	2,64	97,36
Echantillon pour analyse	12,5	1354,3	30,70	69,30
	10	3006,8	68,17	31,83
Masse humide M _h =4460,1	8	3921,7	88,91	11,09
	6,3	4203,2	95,29	4,71
Masse sèche M _{s1} =4286	4	4220,4	95,68	4,32
	3,15	4220,8	95,69	4,31
Masse totale sèche $M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ M _s = 4410,59	2	4222,5	95,73	4,27
	1	4224,6	95,78	4,22
	0,63	4226,2	95,81	4,19
	0,5	4227,5	95,84	4,16
	0,25	4235	96,01	3,99
	0,125	4250,9	96,37	3,63
	0,063	4280	97,03	2,97

Gravillons 15/25 :

Echantillonnage	Analyse granulométrique			
Echantillon pour séchage	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés : Ri (g)	% Refus cumulés $\frac{R_i}{M_s} \times 100$	% Tamisât cumulés $100 - \frac{R_i}{M_s} \times 100$
Masse humide M _{1h} =6833,7	31,5	0	0	100
	25	96,1	1,72	98,28
Masse sèche M _{1s} =6791,7	20	3184,7	57,01	42,99
	16	5271,9	94,38	5,62
Echantillon pour analyse	12,5	5530,6	99,01	0,99
	10	5537,3	99,13	0,87
Masse humide M _h =5620	8	5540,1	99,18	0,82
	6,3	5540,9	99,20	0,80
Masse sèche M _{s1} =5557,1	4	5542,5	99,23	0,77
	3,15	5543,1	99,24	0,76
Masse totale sèche $M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$	2	5544,1	99,25	0,75
	1	5545,4	99,28	0,72
	0,63	5546	99,293	0,707
	0,5	5546,2	99,297	0,703

Annexes

Ms= 5585,45	0,25	5547,8	99,32	0,68
	0,125	5549,9	99,36	0,64
	0,063	5554	99,43	0,57

Annexe 08 : Coefficient d'aplatissement des granulats Carrière (A)

Gravillons 3/8 :

Gravillons 3/8				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	$\frac{Me}{Mg} \times 100$
8 / 10	130,4	5	16,6	12,73
6,3 / 8	880,5	4	120,3	13,66
5 / 6,3	1722,5	3,15	201,6	11,70
4 / 5	1071,8	2,5	109,8	10,24
M= \sum Mg= 3805,2 g		\sum Me= 448,3 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 11,78 \%$				

Gravillons 8/15 :

Gravillons 8/15				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	$\frac{Me}{Mg} \times 100$
16 / 20	340,3	10	33,3	9,78
12,5 / 16	2006	8	108,5	5,40
10 / 12,5	1732,6	6,3	99,8	5,76
8 / 10	924,7	5	52,9	5,72
6,3 / 8	295,3	4	17,8	6,02
5 / 6,3	27,1	3,15	1,8	6,64
4 / 5	2,8	2,5	0	0
M= $\sum Mg$ = 5328,8 g		$\sum Me$ = 314,1 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 5,89 \%$				

Annexes

Gravillons 15/25 :

Gravillons 15/25				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	$\frac{Me}{Mg} \times 100$
25 / 31,5	57,1	16	0	0
20 / 25	3006,1	12,5	86,9	2,89
16 / 20	2878,6	10	76,3	2,65
12,5 / 16	199,5	8	8,7	4,36
10 / 12,5	1	6,3	0	0
8 / 10	0	5	0	0
6,3 / 8	1,4	4	0,3	21,42
5 / 6,3	0,4	3,15	0,1	25
4 / 5	1	2,5	0,2	20
M= $\sum Mg$ = 6145,1 g		$\sum Me$ = 172,5 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 2,80 \%$				

Annexe 09 : Coefficient d'aplatissement des granulats Carrière (B)

Gravillons 3/8 :

Gravillons 3/8				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
10 / 12,5	34,7	6,3	0	0
8 / 10	518,3	5	52,6	10,15
6,3 / 8	1107,7	4	167,2	15,09
5 / 6,3	619,7	3,15	119,0	19,20
4 / 5	189,5	2,5	33,8	17,83
M= ∑ Mg= 2469,9 g		∑ Me= 372,6 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 15,08 \%$				

Annexes

Gravillons 8/15 :

Gravillons 8/15				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
16 / 20	172,7	10	19,7	11,40
12,5 / 16	957,4	8	118,1	12,33
10 / 12,5	1277,4	6,3	237	18,55
8 / 10	592,9	5	131,5	22,17
6,3 / 8	136,6	4	25,9	18,96
5 / 6,3	23,7	3,15	2,7	11,39
4 / 5	7,1	2,5	1,2	16,90
M= ∑ Mg= 3167,8 g		∑ Me= 536,1 g		
<div>A= $\frac{\sum Me}{M} \times 100$</div> <div>A= 16,92 %</div>				

Gravillons 15/25 :

Gravillons 15/25				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
25 / 31,5	270,9	16	21,7	8,01
20 / 25	2001,4	12,5	129	6,44
16 / 20	1549,1	10	96,4	6,22
12,5 / 16	502,6	8	50,2	9,98
10 / 12,5	52	6,3	7,8	15
8 / 10	9,8	5	1,3	13,26
6,3 / 8	1,8	4	0	0
5 / 6,3	2,1	3,15	0,5	23,80
4 / 5	0,9	2,5	0,1	11,11
M= \sum Mg= 4390,6 g		\sum Me= 307 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 6,99 \%$				

Annexes

Annexe 10 : Coefficient d'aplatissement des granulats Carrière (C)

Gravillons 3/8 :

Gravillons 3/8				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
8 / 10	16,5	5	1,6	9,69
6,3 / 8	69,1	4	6,3	9,12
5 / 6,3	582,1	3,15	59,0	10,13
4 / 5	640,8	2,5	63,2	9,86
M= ∑ Mg= 1308,5 g		∑ Me= 130,1 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 9,94 \%$				

Gravillons 8/15 :

Gravillons 8/15				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
16 / 20	82,3	10	16,9	20,53
12,5 / 16	1426,5	8	159,3	11,17
10 / 12,5	1545,6	6,3	104,4	6,75
8 / 10	747,3	5	51,1	6,84
6,3 / 8	221,4	4	8,7	3,93
5 / 6,3	13,4	3,15	0,4	3,0
4 / 5	0	2,5	0	0
M= \sum Mg= 4036,5 g		\sum Me= 340,8 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 8,44 \%$				

Annexes

Gravillons 15/25 :

Gravillons 15/25				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Me (g)	(Me/ Mg)*100
25 / 31,5	0	16	0	0
20 / 25	2099,2	12,5	89,4	4,26
16 / 20	2870,7	10	137,8	4,80
12,5 / 16	207,6	8	32,2	15,51
10 / 12,5	11,1	6,3	1,9	17,11
8 / 10	3,1	5	0	0
6,3 / 8	0	4	0	0
5 / 6,3	0,8	3,15	0	0
4 / 5	0,1	2,5	0,1	100
M= ∑ Mg= 5192,6 g		∑ Me= 261,4 g		
$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$ $A = 5,03 \%$				

Annexes

Annexe 11 : Résultats de la propreté superficielle des granulats Carrière (A)

Granulats 3/8 :

Classe granulaire	Granulats 3/8	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 4671,7 \text{ g}$	$M_h = 4160,4 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 4667,4 \text{ g}$	$m' = 4067 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 4156,57 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 89,57 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 2,15 \%$	

Granulats 8/15 :

Classe granulaire	Granulats 8/15	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 4954,10 \text{ g}$	$M_h = 5379,70 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 4950,70 \text{ g}$	$m' = 5341,90 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 5376 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 34,10 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 0,63\%$	

Annexes

Granulats 15/25 :

Classe granulaire	Granulats 15/25	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 6365,20 \text{ g}$	$M_h = 6198,30 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 6359,60 \text{ g}$	$m' = 6162,9 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 6192,84 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 29,94 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 0,48\%$	

Annexes

Annexe 12 : Résultats de la propreté superficielle des granulats Carrière (B)

Granulats 3/8 :

Classe granulaire	Granulats 3/8	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 2396,9 \text{ g}$	$M_h = 3983,3 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 2355,6 \text{ g}$	$m' = 3870,8 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 3914,66 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 43,86 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 1,12 \%$	

Granulats 8/15 :

Classe granulaire	Granulats 8/15	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 4112,9 \text{ g}$	$M_h = 3276,9 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 4052,7 \text{ g}$	$m' = 3195,8 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 3228,93 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 33,13 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 1,02 \%$	

Annexes

Granulats 15/25 :

Classe granulaire	Granulats 15/25	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 4570 \text{ g}$	$M_h = 4473,3 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 4518,5 \text{ g}$	$m' = 4399 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 4422,88 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 23,88 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 0,53 \%$	

Annexes

Annexe 13 : Résultats de la propreté superficielle des granulats Carrière (C)

Granulats 3/8 :

Classe granulaire	Granulats 3/8	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 2521,3 \text{ g}$	$M_h = 2684,5 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 2460,3 \text{ g}$	$m' = 2504,9 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 2619,55 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 114,65 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 4,37 \%$	

Granulats 8/15:

Classe granulaire	Granulats 8/15	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 4171,10 \text{ g}$	$M_h = 4263,80 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 4124,80 \text{ g}$	$m' = 4051,90 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 4216,47 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 164,57 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 3,90 \%$	

Annexes

Granulats 15/25 :

Classe granulaire	Granulats 15/25	
Etat de l'échantillon	Desséché	Lavé sur le tamis 0,5 mm
Masse humide de l'échantillon	$M_{1h} = 6833,70 \text{ g}$	$M_h = 6833,10 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon	$M_{1s} = 6791,70 \text{ g}$	$m' = 6745,80 \text{ g}$
Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai	$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_h$ $M_s = 6791,10 \text{ g}$	
Masse sèche des éléments < 0,5 mm	$m = M_s - m'$ $m = 45,30 \text{ g}$	
Propreté superficielle	$P = \frac{m}{M_s} \times 100$ $P = 0,66 \%$	

Annexes

Annexe 14 : Caractéristiques intrinsèques des granulats (LA et MDE)

LA	MDE	Qualité
LA < 15	MDE < 13	Très bon
$15 \leq \text{LA} < 20$	$13 \leq \text{MDE} < 20$	Bon à moyen
$20 \leq \text{LA} < 30$	$20 \leq \text{MDE} < 25$	Moyen à faible
LA ≤ 30	MDE ≥ 25	Médiocre

Annexe 15 : Analyse granulométrique des sables (0/3) de la carrière (A)

Masse sèche totale M1=597,25		Masse sèche des fines retirées par lavage	
Masse sèche après lavage M2=		M1-M2=	
Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	1	0,2	99,8
4	58	9,8	90,2
3,15	118	20	80
2,5	194	32,9	67,1
2	246	41,8	58,2
1,25	352	59,8	40,2
1	379	64,3	35,7
0,63	438	74,4	25,6
0,5	464	78,8	21,2
0,315	496	84,2	15,8
0,25	505	85,7	14,3
0,125	534	90,7	9,3
0,08	544	92,4	7,6
0,063	547	92,9	7,1
Fond de tamis	547	92,9	7,1
Module de finesse $M_f=3,71$			

Annexes

Annexe 16 : Analyse granulométrique des sables (0/3) de la carrière (B)

Masse sèche totale M1=585,42		Masse sèche des fines retirées par lavage	
Masse sèche après lavage M2=		M1-M2=	
Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	7	0,2	99,8
4	41	7	93
3,15	68	11,5	88,5
2,5	115	19,5	80,5
2	156	26,5	73,5
1,25	246	41,8	58,2
1	276	46,9	53,1
0,63	342	58,1	41,9
0,5	369	62,6	37,4
0,315	417	70,8	29,2
0,25	437	74,2	25,8
0,125	495	86	16
0,08	523	88,8	11,2
0,063	536	91	9
Fond de tamis	537	91,2	8,8
Module de finesse Mf=3,01			

Annexes

Annexe 17 : Analyse granulométrique des sables (0/3) de la carrière (C)

Masse sèche totale M1=572,24 Masse sèche après lavage M2=		Masse sèche des fines retirées par lavage M1-M2=	
Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	1	0,2	99,8
4	2	0,3	99,7
3,15	3	0,5	99,5
2,5	38	6,5	93,5
2	99	16,8	83,2
1,25	253	43	57
1	297	50,1	49,6
0,63	388	66,9	34,1
0,5	420	72,3	28,7
0,315	456	77,9	22,1
0,25	473	80,3	19,7
0,125	511	86,8	13,2
0,08	528	89,6	10,4
0,063	535	90,8	9,2
Fond de tamis	535	90,8	9,2
Module de finesse Mf=3,06			

Annexes

Annexe 18 : Références pour déterminer la signification d'Esp.

Es à piston	Nature et qualité du sable
$Esp < 60$	Sable argileux – risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
$60 < Esp < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante
$70 < Esp < 80$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$Esp \geq 80$	Sable très propre – l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton.

Résumé

Les granulats destinés aux travaux de construction et de bâtiments, doivent répondre à des exigences de qualité et à des caractéristiques intrinsèques de propreté. Les caractéristiques physiques et mécaniques des 03 types de granulats (gravillons et sables) ont été déterminées à travers de différents essais. Les différents résultats obtenus des essais sur les trois types de granulats ne sont pas tous conformes aux normes, d'où les résistances différentes des bétons obtenus. La propreté joue un rôle essentiel, et elle a une influence sur la valeur de la résistance du béton. Les agrégats de la carrière (A) ont offert les meilleures caractéristiques, qui ont permis d'obtenir le meilleur béton (A) de la formulation DREUX GORISSE.

Mots clés :

Granulats – caractérisation – propreté – béton – résistance

Abstract

Aggregates for construction and buildings must meet quality requirements and intrinsic cleanliness characteristics. The physical and mechanical characteristics of the 03 types of aggregates (chippings and sands) were determined through different tests. The different results obtained from the tests on the three types of aggregates are not all in accordance with the standards, hence the different strengths of the concretes obtained. Cleanliness plays a vital role and has an influence on the value of concrete strength. The aggregates of the career (A) offered the best characteristics, which allowed to obtain the best concrete (A) of that formulation DREUX GORISSE.

Keywords :

Aggregates - characterization - cleanliness - concrete - resistance