

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département GENIE CIVIL

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : GENIE CIVIL

Spécialité : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

Réaliser Par : - FREDJ AMMAR

- MAZIT RABEH

Sujet

COMPORTEMENT MECANIQUE DES BETONS A BASE DES DIFFERENTS GRANULATS

Soutenu publiquement, le : 02 /07 / 2023 , devant le jury composé de :

Mme	Tabet souad	MAA	Univ-BBA	Président
Mr	Ziani houciné	MCA	Univ-BBA	Examinateur
Mr	Loumachi lazhar	MAA	Univ-BBA	Encadreur

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَاطِئَ
وَالَّذِي يُنَزِّلُ الْمَطَرَ
وَالَّذِي يُغِيثُ النَّاسَ
وَالَّذِي يُغِيثُ النَّاسَ
وَالَّذِي يُغِيثُ النَّاسَ

REMERCIEMENTS

Nous remercions d'abord notre bon DIEU le tout puissant de nos avoir donné la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce travail Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail Notre remerciements vont à :

Mon Directeur de mémoire, Mr loumachi lazhar, pour ces guide, conseil et encouragement, ainsi que sa bonne volonté, sa patience et ses précieux conseils, qu'il nos a prodigués tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier vivement, monsieur achour yacine , pour ses encouragements.

*Nous voudrions également adresser nos plus sincères remerciements à Messieurs, noui ammar, guelmine layachi, messaoudene ibrahim, belkadi raouf, kessal oussama et logzit nacer d'avoirs sacrifiés de leur temps, pour nous donner tous les renseignements nécessaires en cours d'années universitaire
2022/2023*

Nous avons beaucoup appris de votre part, merci beaucoup.

Nous remerciements s'adressent aussi au membres de laboratoires pour leur aide de l'université Mohamed El-BachirEl-Ibrahimi

Dédicaces

*A mon père et mes deux mères qui m'ont toujours soutenu et m'ont
Permis d'arriver là où je suis aujourd'hui. Aucun mot
N'est assez fort pour vous témoigner toute ma
Reconnaissance, alors simplement merci pour
tous, mais je suis sûr qu'au fond de vos cœurs vous
Savez combien je vous aime.*

*A mes frères,
Merci pour l'ensemble
Des moments que nous passons ensemble.*

*A mes amis
Merci pour votre amitié précieuse.
A tous mes proches, qui m'ont
Toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce
mémoire*

Résumé

La forme la rugosité de surface et la distribution granulométrique affectent l'ouvrabilité d'un béton à l'état frais et ont une influence sur les propriétés élastiques et la durabilité du béton durci. La majeure partie d'un béton est composé de gros granulats (gravier et sable). Ceci indique que les propriétés globales doivent avoir un effet significatif sur les propriétés du béton dans les états frais et durci. L'utilisation d'un mélange avec une distribution optimisée des granulats peut mener à une augmentation de l'ouvrabilité, et de la qualité globale (en termes de propriétés élastiques et durabilité).

Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats. L'Algérie a pu offrir des coûts d'infrastructure et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché.

Dans la présente étude expérimentale, nous révélons l'effet de la proportion des différents granulats recyclés, roulés et concassés sans et avec l'ajout de laitier de haut fourneau dans un mélange sur les propriétés mécaniques du béton.

Mots clés:

Agrégats, béton, propriétés mécanique, l'ouvrabilité, durabilité, déformabilité.

Abstract

The shape, surface roughness and particle size distribution affect the workability of fresh concrete and influence the elastic properties and durability of hardened concrete. Most concrete is made up of large aggregates (gravel and sand). This indicates that the bulk properties must have a significant effect on the properties of concrete in the fresh and hardened states. Using a mix with an optimized distribution of aggregates can lead to an increase in workability, and overall quality (in terms of elastic properties and durability).

Thanks to the accessibility of its aggregate resources. Algeria was able to offer affordable infrastructure and housing costs. Judicious management of aggregate resources and the right balance of interests in these resources will ensure a continuous supply close to market.

In the present experimental study, we reveal the effect of the proportion of different aggregates recycled, rolled and crushed without and with the addition of blast furnace slag in a mixture on the mechanical properties of concrete.

Key words:

Aggregates, concrete, mechanical properties, workability, durability, deformability.

ملخص

يؤثر الشكل وخشونة السطح وتوزيع حجم الحبيبات على قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة ويؤثر على خصائص المرونة ومتانة الخرسانة المتصلدة. تتكون معظم الخرسانة من الركام الكبير (الحصى والرمل). يشير هذا إلى أن خصائص الكتلة يجب أن يكون لها تأثير كبير على خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة والمتصلبة. يمكن أن يؤدي استخدام المزيج مع التوزيع الأمثل للركام إلى زيادة قابلية التشغيل والجودة الشاملة (من حيث الخصائص المرنة والمتانة).

بفضل إمكانية الوصول إلى مواردها الإجمالية. كانت الجزائر قادرة على توفير البنية التحتية وتكاليف الإسكان بأسعار معقولة. تتضمن الإدارة الحكيمة للموارد الإجمالية والتوازن الصحيح للمصالح في هذه الموارد استمرار التوريد بالقرب من السوق.

في الدراسة التجريبية الحالية، نكشف عن تأثير نسبة الركام المختلف المعاد تدويره، والملفوف والمكسر بدون إضافة خبث الفرن العالي في الخليط على الخواص الميكانيكية للخرسانة.

الكلمات المفتاحية:

الركام والخرسانة والخصائص الميكانيكية وقابلية التشغيل والمتانة والتشوه.

Table des matières

Table des matières.....

Table des matières

TITRE	
Résumé II	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	
CHAPITRE I :(revue de littérature)	
I.1 Généralité sur le béton	9
I.1.1 Introduction	9
I.1.2 les composants du béton	9
I.1.2.1 Le ciment	9
I.1.2.2 Les granulats	10
I.1.2.2.1. Granulats naturels	10
a) les granulats roulés	10
b) les granulats concassée	11
c) les granulats recyclée	11
1.2.2.2. Classification des granulats selon la grosseur	11
1.2.2.3. Origine minéralogique	11
a) Les granulats de roches meubles	11
b) Les granulats de roches massives	12
I.1.2.2.4. Caractéristiques des granulats	12
I.1.2.2.4.1. Caractéristiques géométriques	12
1) Désignation des granulats	12
2) Analyse granulométrique d'un granulat Granulométrie	12
4) Classes granulaires	13
5) Module de finesse	13
6) Forme des granulats	14
1) Coefficient d'aplatissement	14
I.1.2.3 L'eau de gâchage	14
a) Importance du rapport eau/ciment (E/C)	14
I.1.2.4 : Les adjuvants:	15
a) Les principaux adjuvants	15
I.1.2.5 : Les additions	15
I.1. 2.6 Le laitier de haut fourneau	15

Table des matières.....

I.1.2.6.1 Historique sur la valorisation des laitiers	16
I.1.2.6.2 Production et utilisation du laitier	16
I.1.2.6. 3. Utilisation du laitier comme granulats	17
I.1.2.6.4. Composition chimique de laitier	18
I.1.2.6.5. REACTIVITE DU LAITIER	18
 I.1.2.6.6 Valorisation des laitiers issus de haut Fournaux dans le béton	18
I.1.3 Propriétés du béton	19
I.1 .3 .1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES:	19
 1.3.1.1 L'Ouvrabilité	19
 1.3.1.2 La compacité et la porosité	20
 1.3.1.3 Poids volumique	20
 1.3.1.4 Imperméabilité	20
 1.3.1.5 Résistance aux agents agressifs	20
 1.3.1.6 Teneur au feu	21
 1.3.1.7 Durabilité	21
I.1.3 .2 PROPRIETES MÉCANIQUES	21
 a) Résistance à la compression	21
 b) Résistance à la traction	21
I.1 .3 .3 Propriétés rhéologiques :	21
 a) le Retrait	22
 b) le Fluage	22
I.1.3 .4 Affaissement au cône d'abrams	22
I.1. 4 Conclusion	23
CHAPITRE II	
Matériaux et procédures expérimentales	
II.1 introduction	24
II.2 matériel utilisée	24
 II.2.1 ciment	24
 II.2.1.1 les caractéristiques chimiques et physiques	25
 II.2.2 les granulats	25
 a) gravier recyclée	25
 b) gravier concassée	26
 c) gravier roulée	27
 c.1 infiltration et capillarite	27
 II.2.2.2 classe granulaire	28
 II.2.2.3 résistance a la compression de la roche d'origine	28
 II.2.2.4 caractéristiques physiques de gravier utilisée	28
 II.2.2.5 masse volumique apparente	28

Table des matières.....

a)mode opératoire	28
II.2.2.6 masse volumique absolue	30
a)mode opératoire	30
II.2.2.7 porosité, compacité et indices des vides	31
II.2.2.8 analyses granulométriques	32
II.2.2.8.1 analyses granulométriques du gravier	32
II.2.2.9 degré d'absorption d'eau	40
II.2.3 caractéristiques de sable	41
II.2.3.1 analyses granulométriques de sable	41
a)but d'essai	41
b) principe d'essai	41
c) mode opératoire	42
II.2.3.2 module de finesse	43
a)but d'essai	43
b) mode opératoire	43
II.2.3.3 masse volumique	45
a) masse volumique absolue	45
b) masse volumique apparente	45
-principe d'essai	45
-mode opératoire	45
II.2.4 les ajouts minéraux	45
II.2.4.1 les caractéristiques chimiques	46
II.2.4.2 les caractéristiques physiques	46
II.2.5 l'eau de gâchage	47
a)les caractéristiques physico-chimiques	47
II.2.6 formulation des bétons étudiés	47
II.2.6.1 choix d'une méthode de formulation	48
II.2.6.2 processus du choix d'une formulation	49
II.2.6.3 facteur de base à prendre en compte lors du choix d'une formulation	49
II.2.6.4 facteur régissent la formulation d'un béton	50
II.2.6.5 méthode de Dreux-gorisse	52
a) détermination de dosage du ciment	52
b) détermination de dosage en eau	53
c) détermination de dosage en granulats	54
II.2.6.6 formulation des mélanges	55
II.2.6.7 calcul de la composition du béton	55
II.2.6.7.1 matériels et essais	56
II.2.7 béton a l'état frais	56

Table des matières.....

II.2.7.1 le malaxage	56
II.2.7.2 affaissement au cône d'abrams ;(slump test)	57
II.2.7.3 vibration	58
II.2.8 béton a l'état durci	58
II.2.8.1 mode de conservation de durcissement	58
II.2.8.2 la résistance à la compression (essai d'écrasement a la presse	58
Hydraulique	58
II.2.9 conclusion	60
CHAPITRE III	
Matériaux et procédures expérimentales	
III.1 Introduction	61
III.2 Représentation et analyse des résultats	61
III.3. Béton à l'état frais	62
III.3.1. L'affaissement	62
III.3.2. La masse volumique à l'état frais des mélanges	63
III.3.3. Le rapport E/L	64
III.4. Béton a l'état durci	65
III.4.1. La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton	65
III.4.2: Résistance à la compression de différents mélanges	66
III.4.3 La résistance mécanique à la traction par flexion	68
III.4.4 La résistance mécanique à la traction par fendage	70
III.5 Conclusion	72

LISTES DES TABLEAUX

TITRE	P
Tableau I.1 : classification de granulats selon la grosseur	11
Tableau I.2 : valeur de G coefficient granulaire	13
Tableau I.3 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams	23
Tableau II.1 : caractéristiques technique du ciment	25
Tableau II.2 : masse volumique apparente du gravier concassée (8/15 et 15/25	29
Tableau II.3 : masse volumique apparente du gravier roulée (8/15 et 15/25)	29
Tableau II.4 : masse volumique apparente du gravier recyclée (8/15 et 15/25)	29
Tableau II.5 : masse volumique absolue du gravier concassée (8/15 et 15/25)	30
Tableau II.6 : masse volumique absolue du gravier roulée (8/15 et 15/25)	30
Tableau II.7 : masse volumique absolue du gravier recyclée (8/15 et 15/25)	30
Tableau II.8 : porosité, compacité et indices de vides des agrégats concassés (8/15 et 15/25)	31
Tableau II.9 : porosité, compacité et indices de vides des agrégats roulés (8/15 et 15/25)	32
Tableau II.10 : porosité, compacité et indices de vides des agrégats recyclés (8/15 et 15/25)	32
Tableau II.11 : analyse granulométrique du gravier concassée (8/15)	32
Tableau II.12 : analyse granulométrique du gravier concassée (15/25)	34
Tableau II.13 : analyse granulométrique du gravier roulée (8/15)	35
Tableau II.14 : analyse granulométrique du gravier roulée (15/25)	37
Tableau II.15 : analyse granulométrique du gravier recyclée (8/15)	38
Tableau II.16 : analyse granulométrique du gravier recyclée (15/25)	39
Tableau II.17 : degré d'absorption d'eau des agrégats concassée (8/15 et 15/25)	40
Tableau II.18 : degré d'absorption d'eau des agrégats roulée (8/15 et 15/25)	41
Tableau II.19 : degré d'absorption d'eau des agrégats recyclée (8/15 et 15/25)	41
Tableau II.20 : analyse granulométrique du sable	41

Table des matières.....

Tableau II.21 : module de finesse	43
Tableau II.22 : essais équivalent de sable	45
Tableau II.23 : la masse volumique absolue de sable	45
Tableau II.24 : la masse volumique apparente de sable	46
Tableau II.25 : présente la variation de la teneur des oxydes majeurs et mineurs dans le laitier suivant ses types	46
Tableau II.26 : les caractéristiques physiques de laitier	47
Tableau II.27 : les analyses physico-chimiques	47
Tableau II.28 : valeurs du terme correcteur (K)	54
Tableau II.29 : données de base pour la formulation	54
Tableau II.30 : Les constituants des différents bétons en masse (Kg/m³)	56
Tableau III.1 : les types de bétons	61
Tableau III.2 : variation de l'affaissement en fonction de types de bétons	62
Tableau III.3 : la masse volumique a l'état frais des mélanges	63
Tableau III.4 : le rapport E/L	64
Tableau III.5 : la masse volumique a l'état durci des mélanges	65
Tableau III.6 : la résistance à la compression des différents bétons étudié (sans ajout)	67
Tableau III.7 : la résistance a la compression des différents bétons étudié (avec ajout)	67
Tableau III.8 : la résistance de traction par flexion des différents bétons étudié (sans ajout)	68
Tableau III.9 : la résistance de traction par flexion des différents bétons étudié (avec ajout)	69
Tableau III.10 : la résistance par fendage des différents bétons étudié (avec ajout)	70
Tableau III.11 : la résistance par fendage des différents bétons étudié (avec ajout)	70

Listes des figures

TITRE	P
Figure I.1: Laitier granulé de haut fourneau vu au microscope	16
Figure I.2:haut fourneau	17
Figure I.3: Le laitier granulé	19
Figure II.1 : granulats recyclée (8/15 et 15/25)	26
Figure II.2 : granulats concassée (15/25 et 8/15)	27
Figure II.3: Granulats roulée (8/15 et 15/25)	28
Figure II.4 : Courbe granulométrique du gravier concassé (08/15)	33
Figure II.5 : Courbe granulométrique du gravier concassé (15/25)	35
Figure II.6 : Courbe granulométrique du gravier roulée (08/15)	36
Figure II.7 : Courbe granulométrique du gravier roulée (15/25)	38
Figure II.8 : la granulométrie de granulats recyclée (8/15)	39
Figure II.9 : la granulométrie de granulats recyclée (15/25)	40
Figure II.10: Courbe granulométrique de sable	42
Figure II.11: Essai équivalent de sable	44
Figure II.12: Processus du choix d'une formulation	50
Figure II.13: Dosage en ciment	53
Figure II.14 : Mesure de l'affaissement	57
Figure II.15 : Malaxeurutilisé	58
Figure II.16:Presse hydraulique	59
Figure II.17 : Variation des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes	59
Figure III.1 : Variation de l'affaissement pour chaque béton	62
Figure III.2 : La variation de la masse volumique apparente à l'état frais Pour les différents types des bétons	63
Figure III.3 : La variation du rapport E/L apparente à l'état frais en fonction pour les différents types des bétons	64
Figure III.4 : masse volumique à l'état durci des mélanges	66
Figure III.5 : La résistance à la compression des differentsmelanges a 7,28et 56 jours	68
Figure III.6 : La résistance a la traction par flexion des differentsmelanges a 7,28et 56 jours	69
Figure III.7 : La résistance par fendage des differentsmelanges a 7,28 et 56 jours	70

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est l'un des matériaux les plus consommés dans le monde. C'est aussi le matériau le plus utilisé dans le domaine de génie civil.

Le béton est obtenu par mélange d'un liant d'une grande finesse (le ciment), de granulats de nature, de formes et de dimensions variées, d'eau (de gâchage) et d'adjuvants. Les méthodes de fabrication du béton sont adaptées à la nature du chantier et aux types d'ouvrage à réaliser.

Il y a beaucoup de recherches basées sur le béton, en effet, les chercheurs s'intéressent depuis longtemps à la relation entre la formation du béton et Propriétés physiques et mécaniques du béton. Ainsi, Les structures en béton sont bien plus qu'un mélange de sable, gravier, ciment et eau, durcies dans un moule. Une attention particulière et une connaissance approfondie sont nécessaires pour produire un béton de qualité. Nous choisissons soigneusement la formulation du béton, afin d'obtenir un béton durable et compacte.

Les granulats comme la grande majorité des matériaux de construction doivent être conformes à certaines règles. Ainsi, dans cette étude, nous avons examiné le comportement mécanique de béton des différents granulats.

Objectifs

L'observation des changements amenés par l'incorporation des ajouts minéraux dans le béton peut être faite par, la mesure de la rhéologie du béton frais, la mesure de la variation des résistances mécaniques du béton durci, etc. ..., et cela en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en ajouts minéraux, en eau, en granulats,...).

L'objectif de ce travail est d'évaluer expérimentalement l'effet des ajouts minéraux sur les propriétés du béton frais et durci (rhéologie, résistances mécaniques, durabilité). Dans ce contexte trois granulats différents est un ajout minéral utilisés : un ajout hydraulique latent, un ajout pouzzolanique, à savoir, du laitier de haut fourneau granulé broyé,.L'introduction des ajouts minéraux dans les mélanges de béton, est faite lors du malaxage des constituants du béton, c'est-à-dire sans passer par l'étape ciment.

Organisation du mémoire :

Le présent mémoire se divise en 3 chapitres.

- CHAPITRE I:

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique, généralité sur le béton et ses composants.

Dans ce chapitre on étudie les différents matériaux qui réagissent pour former le béton et l'influence de celle-ci sur le béton.

La qualité du béton est intimement liée à celle de ses constituants et particulièrement les granulats puisqu'ils occupent les trois quarts de son volume, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils peuvent affecter la durabilité et les performances structurales du béton.

- CHAPITRE II:

Dans ce chapitre on présente les caractéristiques des matériaux utilisés.

Présente les données expérimentales sur les matériaux utilisés dans le cadre de ce travail, le programme des essais réalisés, les méthodes de formulation et explique brièvement les essais sur béton frais et béton durci.

- CHAPITRE III:

Dans ce chapitre nous avons basé sur la présentation graphique et une interprétation de l'ensemble des résultats obtenus et la discussion des essais effectués sur les bétons avec et sans ajout minéraux..

Chapitre I :
revue de littérature

I-1 Généralité sur le béton

I.1.1 Introduction

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, ciment, sable, gravier et l'eau. Ces composants sont déterminés par 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 phonique et thermique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ». La structure du béton est composée de deux principaux constituants (les agrégats et la matrice)

Les agrégats 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. [1]

I.1.2 les composants des bétons :

I.1.2.1 Le ciment :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450 °C. Broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables.

Les principaux composés du ciment portland sont :

Les silicates tricalciques (alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C3S]

Les silicates bi calciques (belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C2S]

Les aluminates tricalciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C3A]

Les alumino ferrite tétracalciques : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [C4AF]

Autres : (sulfates, alcalins, impuretés, . . .).

Les silicates de calcium C3S et C2S représentent à peu près 75% de la masse du ciment.

Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm^2/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge [2].

Le ciment peut être classé comme suit :

Selon sa composition : le teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme européenne NF EN 197-1 donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq types principaux à savoir :

.CEM I Ciment Portland Artificiel

. CEM II Ciment Portland compose

. CEM III Ciment de haut fourneau

- . CEM IV Ciment pouzzolanique
- . CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres.

Selon ses résistances à la compression : La norme NF EN 197-1, classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance.

Selon le type d'environnement : Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux [3].

I.1.2.2 Les granulats :

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm. Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'oppose à la propagation des microfissures. Ils améliorent ainsi la résistance du béton. Le choix d'un granulats est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité. La granulométrie est l'étude de la taille des grains qui forment le granulats. Elle consiste à tamiser le granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. La norme XP P 18540 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions :

– Fillers : $D < 2$ mm

– Sables: $1 < D < 6,3$ mm

– Gravillons : $1 \text{ mm} < D < 125$ mm

– Ballast: $d > 25$ mm; $D 50$ mm De nombreuses caractéristiques des granulats sont testées : la masse volumique, la propreté, la forme et la composition... [4]

Classification des granulats selon la provenance :

I.2.2.1. Granulats naturels :

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton. Ils proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les graines, les porphyres. [5]

a) Granulats roulés:

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau ou le gel. Ainsi, ils se sont forment des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes. Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature.

- ✓ Les granulats de rivière (d'oued).
- ✓ Les granulats de mer

✓ Les granulats de dunes.

Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.

b) Granulats concassés (de carrières) :

Ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux avec arrêtes.

I Granulats artificiels :

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut Fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

C) Granulats Recyclé :

Il obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments ou des structures de chaussé.

I.2.2.2. Classification des granulats selon la grosseur :

Selon leurs dimensions, on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. La classification la plus courante est donnée ci-dessous.

Tableau I.1 : Classification des granulats selon la grosseur

Sable	0.08 mm à 3 mm
Gravier	3 mm à 25 mm
Cailloux	25mm à 80 mm
Galets et moellons	> 80mm

Galets : pierre roulées / moellon : pierre concassée

I.2.2.3. Origine minéralogique :

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres. Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

a) Les granulats de roches meubles :

Ils sont roulés, et ont une forme acquise par l'érosion, ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses. Nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine,

Les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico- calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau. [6]

b) Les granulats de roches massives :

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

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

I.2.2.4 Caractéristiques des granulats :

I.2.2.4.1. Caractéristiques géométriques :

1) Désignation des granulats

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et de leur plus grande dimension comme suit : Granulats d/D d'où : sable ou gravier.

d : dimension minimale des grains D: dimension maximale des grains

2) Analyse granulométrique d'un granulat :

Elle consiste à séparer les grains composant un granulat en classes selon leurs dimensions à l'aide d'une série de tamis, puis déterminer les pourcentages en poids des différentes Classes dans le granulat. Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat.

▶ Série principale européenne (NF EN 933-1) : 0.063 -0.125 -0.25 -0.5 -1 -2 -4 -8 16 -31.5...

▶ Série française principale (P 18 -560): 0.08 -0.16 -0.315 -0.63 -1.25 -2 -5 -10 -20...

On considère un échantillon de Poids P d'un granulat. L'échantillon est mis dans le tamis supérieur d'une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles (du plus grand en haut au plus petit en bas). Après vibration de la série de tamis, les grains de L'échantillon se trouvent séparés selon leurs dimensions et chaque tamis retient une Partie dite Refus partiel du tamis. Le refus cumulé (total) d'un tamis est la somme de tous les refus partiels des tamis qui se trouvent au-dessus. La proportion (en %) du refus cumulé d'un tamis rapportée au poids total s'exprime :

$$\% \text{Refus} = (\text{Poids refus cumulé} \div \text{Poids échantillon}) \times 100$$

Le complément à 100% du refus cumulé est le Tamisât du tamis en considération

$$\% \text{Tamisât} = \%100 - \% \text{Refus}$$

Tableau I. 2 Valeurs de G coefficient granulaire [6]

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	FINS	MOYENS	GROS
	D . 12.5	20 .D . 31.5	D . 40
EXCELLENTE	0.55	0.60	0.65
BONNE .COURANTE	0 .45	0.50	0.55
PASSABLE	0.35	0.40	0.45

3) Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.

Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions D'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm.

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

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique [NF P 18-560] [7].

4) Classes granulaires :

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

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

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

5) Module de finesse :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il ya trop des grains fins, il sera nécessaire D'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité,

pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons [7].

6) Forme des granulats :

- ✓ La forme d'un granulats est définie par trois grandeurs géométriques :
- ✓ La longueur L, distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulats.
- ✓ L'épaisseur E, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulats.
- ✓ La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulats [8]

14) Coefficient d'aplatissement :

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulats à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série des tamis à mailles carrée utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles, le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58. La norme [NF P 18-561] définit les modalités de sa mesure [8].

I.1.2.3 L'eau de gâchage :

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton par ce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches ,efflorescences),la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton).Ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment ,des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables.[9]

a. Importance du rapport eau/ciment (E/C) :

Les dosages de l'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet, l'ouvrabilité et la résistance sont grandement affectées par ces deux paramètres. Plus le rapport eau/ciment est grand, plus l'ouvrabilité sera grande. En effet, plus il y a d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport des masses E/C « moyen » est normalement fixé à 0,55. C'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance Le phénomène de ressuage est dû à un rapport eau sur ciment trop élevé. Il se manifeste par l'apparition d'une flaque au-dessus du béton frais. Au niveau des granulats, on observe la présence d'eau à l'interface entre les granulats et la pâte de

ciment. La résistance en est réduite, car l'eau s'évapore et il y a des vides entre le granulat et la pâte. [10]

I.1.2.4 les adjuvants:

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés en faibles quantités au béton frais afin d'en améliorer certaines propriétés. Ils représentent entre 1 et 3 % du poids du ciment. Leur rôle et leur efficacité dépendent de la nature du produit chimique et de l'homogénéité de leur répartition dans la masse du béton frais.

a) Les principaux adjuvants :

les plastifiants et fluidifiants réducteurs d'eau, qui remplissent deux fonctions :

Ils permettent, d'une part, d'obtenir des bétons frais à consistance fluide et même liquide ; à maniabilité donnée, ils offrent, d'autre part, la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton frais. Ce sont des résines mélamines ou des naphthalènes sulfonates. Leur action s'exerce par défloculation et dispersion par répulsion électrostatique des grains de ciment en solution dans l'eau, et leur durée d'activité n'excède pas 1 ou 2 heures.

- les retardateurs de prise du ciment, qui prolongent la durée pratique d'utilisation du béton frais. Ce sont généralement des sucres ou des lignosulfonates. Ils sont utiles pour le transport du béton sur de grandes distances ou pour sa mise en place par pompage, particulièrement par temps chaud.

- les accélérateurs de prise et de durcissement, qui permettent, pour les premiers, la réalisation de scellements ou d'étanchements et, pour les seconds, une acquisition plus rapide de résistance du béton durci.

- les entraîneurs d'air, qui confèrent au béton durci la capacité de résister aux effets de gels et de dégels successifs en favorisant la formation de microbulles d'air réparties de façon homogène. L'influence des adjuvants peut varier sensiblement en fonction de la nature et de la composition du ciment ; des problèmes de compatibilité peuvent apparaître entre adjuvants et ciments [11].

I.1.2.5 : Les additions :

Sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Ils sont à prendre en compte dans la composition volumétrique [12]

I.1.2.6 Le laitier de haut fourneau :

Le laitier des hauts fourneaux est un sous-produit de la production de la fonte dans les hauts fourneaux obtenue à partir du minerai et du coke métallurgiques.

Une importante production de laitier est enregistrée annuellement. Le stockage de ce laitier sous forme de collines artificielles, a posé de graves problèmes écologiques notamment la stérilisation des terres agricoles riches et la défiguration des sites.

Il est de ce fait urgent de valoriser ce sous-produit en l'utilisant judicieusement dans le Génie Civil.

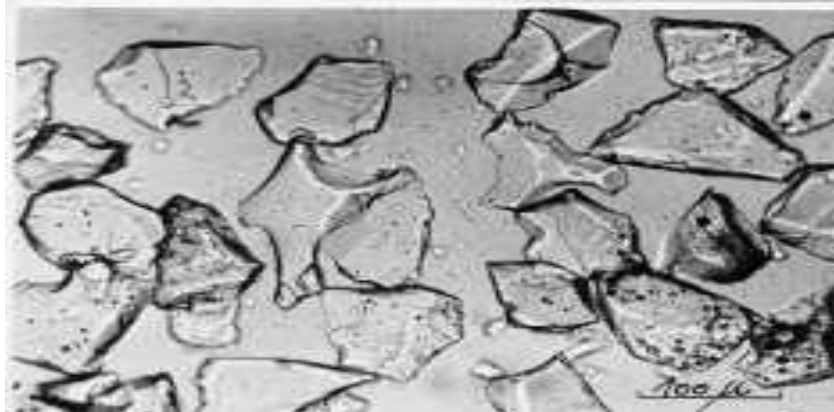


Figure I.1 : Laitier granulé de haut fourneau vu au microscope[6]

I.1.2.6.1 Historique sur la valorisation des laitiers :

Dussar rapporte que, Belidor et Svab recommandaient dès le XVIII^e siècle, le laitier broyé comme masse d'addition au mortier de chaux. Au XIX^e siècle, Vicat avait entrevu les propriétés hydrauliques de ce produit, et ce n'est qu'en 1862 que Hangen a pu confirmer ces propriétés par des essais effectués en Allemagne.

Au début du XX^e siècle une première utilisation du ciment au laitier a été entreprise En Allemagne, puis en France. Mais ce n'est qu'après la première guerre mondiale, suite à un usage massif en travaux maritimes, que le ciment au laitier a été utilisé en grande quantité.

L'utilisation du laitier granulé dans le béton a commencé à la fin de 1950 dans plusieurs pays (Australie, Japon, Canada, etc...), tandis que son utilisation dans les constructions routières n'a commencé qu'en 1960 en France.

I.1.2.6.2 Production et utilisation du laitier

Le laitier de haut fourneau résulte de la réduction du minerai de fer dans le processus de fabrication de la fonte.

La figure suivante montre de façon schématique le procédé d'Obtention du laitier

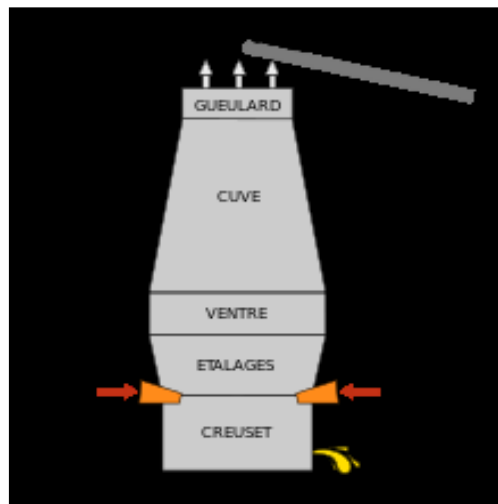


Figure I.2:haut fourneau[6]

A la partie inférieure du haut fourneau, et suite à la différence de leur masse volumique, le laitier flotte à la surface de la fonte en fusion. Les deux produits sont par la suite périodiquement coulés à une température de 1500 °C. En ouvrant l'orifice inférieur ou supérieur du four on obtient respectivement le coulage de la fonte ou du laitier.

Suivant le mode de refroidissement on distingue trois catégories de laitier :

a) Le laitier coulé en fosse ou cristallisé

Ce laitier est refroidi lentement à l'air libre jusqu'à durcissement. Après extraction et concassage, il sera utilisé comme granulats. Ce laitier ne possède aucune propriété hydraulique et ne peut être employé en cimenterie comme adjuvant actif.

b) Le laitier vitrifié

Le refroidissement brusque par un courant d'eau froide transforme le laitier liquide en un granulats fin d'où le nom de laitier granulé, qui sera utilisé comme ajout au liant ou comme liant hydraulique.

c) le laitier boulette

Une autre forme de production a été développée et consiste en un bouletage du laitier, qui donne d'une part un granulats léger et d'autre part sable 0-3 mm pouvant être utilisé dans la fabrication des liants hydraulique.

I.1.2.6. 3. Utilisation du laitier comme granulats

Le laitier rocheux, après concassage peut être utilisé comme granulats dans les bétons. Le laitier bouleté entre dans la composition des bétons légers, alors que le laitier granulé peut être utilisé comme sable.

I.1.2.6.4. Composition chimique de laitier

Les caractéristiques chimiques des laitiers peuvent être élucidées en considérant le diagramme de fusion du système ternaire Ca-Al₂O₃-SiO₂ (C-A-S), appelé diagramme de Rankin et Wright.

La composition chimique du laitier varie suivant le rapport pondéral de chargement du haut fourneau en minerai, coke et fondant en général. On distingue deux sortes de laitier : le laitier basique et le laitier acide. [13]

I.1.2.6.5. REACTIVITE DU LAITIER

La granulation du laitier du haut fourneau procure aux laitiers une activité complémentaire, l'état vitreux est une caractéristique essentielle liée aux propriétés hydrauliques du liant, ce qui traduit l'utilisation du laitier granulé finement broyé comme un ajout cimentaire.

La relation entre la composition chimique, la structure et l'activité hydraulique du laitier, fait l'objet de plusieurs études. Ces études ont montré que l'activité du laitier dépend essentiellement de sa structure, qui dépend elle aussi de la composition chimique et du traitement thermique effectué. [13]

I.1.2.6.6 Valorisation des laitiers issus de haut Fournaux dans le béton

La valorisation des résidus en Génie Civil, permet de résoudre les problèmes qui se posent sur le plan écologique et la pollution de l'environnement. Elle offre une solution économique en évitant l'extraction de la matière première donc préservation des sites.

L'activité économique, notamment la construction, a connu, en Algérie, ces dernières décennies, un développement exceptionnel. Cependant cette expansion connaît hélas d'énormes difficultés en termes de disponibilités de matériaux particulièrement les agrégats.

La valorisation des déchets et sous-produits industriels dans le Génie Civil ne peut que donner des résultats encourageants aussi bien en termes d'économie, d'écologie, que de comportement.

On peut définir un sous-produit comme étant un résidu obtenu au cours de la production d'un produit principal, par exemple, le laitier des hauts Fournaux est un sous-produit de la production de la fonte.

Dans les pays industrialisés, les résidus valorisés dans le domaine du Génie Civil sont les suivants :

- Le laitier des hauts Fournaux, qui est utilisé en cimenterie, en construction routières, et comme granulats (sable et gravier).
- Les cendres volantes, qui sont des sous-produits des centrales thermiques ou bien des déchets

de combustion du charbon, qui sont utilisées dans les cimenteries.

- Les déchets de l'industrie de papier, utilisés dans les constructions de bâtiments (briques).
- Les sulfates résiduels valorisés dans les constructions routières.
- Le soufre, qui est un résidu provenant de la sulfuration des gaz naturels, est utilisé dans les mélanges au bitume et liants pour béton ou mortier.

L'Algérie dispose d'une quantité énorme de déchets et sous-produits industriels. A titre d'exemple, on peut citer le laitier, les scories, et le phospho-gypse, dont la valorisation est loin d'être satisfaisante.

L'utilisation des produits de laitier en Algérie est limitée à quelques rares applications malgré sa production progressant (500.000 tonnes/an). [13]



Figure I.3 : Le laitier granulé[6]

I.1.3 Propriétés du béton

I.1 .3 .1 propriétés physiques :

On distingue, un peu arbitrairement, les propriétés physiques des propriétés mécaniques des bétons. Elles procèdent toutes, en fait, de leur degré de porosité.

I.1.3.1.1 L'Ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton , elle peut se définir commela facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrillage : une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquence fâcheuses. Une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale. L'ouvrabilité dépend, en effet, la plupart des qualités de l'ouvrage , compacité et résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité. C'est pourquoi l'ouvrabilité doit être considérée par le laboratoire chargé de l'étude d'un béton, comme une qualité aussi importante que la résistance.

Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abrams [norme NF P 18-451], l'essai d'étalement à la table à secousses et maniabilimètre L.C.P.C. Mais les essais vébé et indice de serrage ne s'appliquent qu'à des bétons très fermes [14].

1.1.3.1.2 La compacité et la porosité :

Sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telles que sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité.

Plus la porosité diminue, plus la compacité augmente, plus la perméabilité diminue, et plus les propriétés mécaniques augmentent.

La porosité du béton est constituée de plusieurs familles de vide, qu'on peut classer en fonction de leurs dimensions, leurs géométries et de leur rôle dans le transport de matière : Les dimensions sont comprises entre quelques mm et quelques dizaines d'Armstrong. Les plus petits vides du béton sont donc 1 million de fois plus petits que les plus gros. Par ordre décroissant de diamètre on retrouve :

- ✓ **Les vides d'air ou pores** (diamètre > 1 mm), ces vides ne sont généralement pas remplis d'eau.
- ✓ **Les bulles d'air entraînées** ($10\mu < \text{diamètre} < 1\text{mm}$).
- ✓ **Les pores capillaires** ($0.01\mu\text{m} < \text{diamètre} < 5\mu\text{m}$), si le béton est constamment conservé à l'humidité, on peut considérer que les pores capillaires sont pratiquement remplis d'eau. Par contre, si le béton est soumis au séchage, les pores capillaires commencent à se vider graduellement en commençant par les plus gros.
- ✓ **Les pores des gels** (diamètre < 40 Å), contiennent de l'eau qui est en partie adsorbée à la surface des feuillettes de C-S-H. cette eau est relativement stable est difficile de l'extraire par séchage [15].

1.3.1.3 Poids volumique : il varie entre 23 et 24 kN/m³ pour les bétons ordinaires atteint 25kN/m³ pour les BHP. La présence d'armatures dans le béton armé ou précontraint conduit à prendre en compte dans les calculs un poids volumique de 25 kN/m³ (2.500 kg/m³) pour les bétons courants.

1.3.1.4 Imperméabilité : le béton est d'autant plus imperméable que la porosité est plus faible. Les bétons dont le rapport E/C est inférieur à 0,40 sont pratiquement imperméables à l'eau : leur perméabilité ne peut plus être mesurée.

1.3.1.5 Résistance aux agents agressifs : les bétons compacts et à porosité réduite offrent une grande résistance aux effets corrosifs de divers agents agressifs. Ils présentent, en particulier, une excellente tenue vis-à-vis des effets corrosifs de l'eau de mer.

1.3.1.6 Teneur au feu : la résistance du béton aux incendies est excellente.

1.3.1.7 Durabilité : les diverses propriétés physiques des bétons lui confèrent une grande durabilité. Réalisées correctement, selon les règles de l'art, les structures en béton conservent donc leur aptitude au service pendant toute leur durée de vie prévue, sans nécessiter de coûteuses réparations. [11]

I.1.3 .2 propriétés mécaniques:

On ne considère ici que les propriétés prises en compte par l'ingénieur de génie civil. De ce point de vue, un béton est défini par les caractères suivants :

a) Résistance à la compression : un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . En France, par convention, la résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les bétons courants ont une résistance de 20 à 30 MPa , ceux de qualité atteignent 40 à 50 MPa , et les bétons à hautes performances peuvent dépasser 100 MPa. Le diagramme représentatif de la loi de comportement du béton montre que la contrainte maximale de compression f_c est atteinte pour une déformation de l'ordre de 2×10^{-3} . La ruine de l'éprouvette se produit pour une déformation de l'ordre de $3,5 \times 10^{-3}$. La pente de la partie linéaire du diagramme définit le module d'élasticité instantané E_i (module de Young). Sa valeur peut être évaluée par des relations empiriques telles que celle donnée par les règles françaises : $E_i = 11.000 f_c^{1/3}$ (MPa). Un béton de 40 MPa de résistance a donc un module de formation longitudinale instantanée de l'ordre de 38 GPa.

B) Résistance à la traction : la résistance à la traction est environ égale au 1/10 de la résistance à la compression.

- Coefficient de dilatation : la valeur du coefficient de dilatation linéaire est généralement prise égale à 1×10^{-5} . En fait, cette valeur s'étend de $0,8 \times 10^{-5}$ (béton à granulats calcaires) à $1,2 \times 10^{-5}$ (béton à granulats siliceux). [11]

I.1 .3 .3 Propriétés rhéologiques :

Tous les matériaux, et, entre autres, le béton, sont, à des degrés divers, viscoélastiques. Le facteur temps intervient donc dans leur comportement et dans la formulation de leurs déformations. Il faut donc distinguer les déformations instantanées des déformations différées qui se produisent au cours du temps. Ceci est particulièrement vrai pour le béton, dont la

résistance s'accroît asymptotiquement avec le temps, au fur et à mesure que se complète l'hydratation du ciment.

a) le Retrait :

Le béton est l'objet de retrait, c'est-à-dire d'une réduction dimensionnelle, en l'absence de chargement, due essentiellement à l'évaporation de l'eau excédentaire interne. Pour l'ingénieur, le retrait est une déformation différée se produisant en l'absence de charge. Il croît avec le temps, pour tendre après quelques années vers une limite qui dépend notamment de la composition du béton, des dosages en ciment et en eau, de l'épaisseur des pièces et de l'humidité relative de l'atmosphère environnante. Dans les conditions climatiques françaises, le retrait unitaire total est de l'ordre de $2 \text{ à } 3 \cdot 10^{-4}$. C'est entre autres l'existence du retrait qui justifie la création de joints dans les structures.

b) le Fluage :

le fluage du béton est le processus continu de déformation d'un élément sur lequel s'exerce une charge constante ou variable. Il est fonction notamment des caractéristiques et de l'âge du béton lors du chargement, de l'épaisseur de l'élément, de l'hygrométrie environnante et du temps. Le fluage est un phénomène complexe, constaté mais non encore bien compris. Il serait lié à des effets de migration d'eau dans les pores et les capillaires de la matrice, ainsi qu'à un processus de réaménagement de la structure des cristaux hydratés du liant. La déformation d'un élément en béton soumis à un chargement de longue durée est donc la somme de la déformation différée, due au fluage, et de la déformation dite instantanée. [11]

I.1.3 .4 Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être exécuté par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. Cet essai a fait l'objet de la norme NFP 18-451, et nous n'en rappelons ci-dessous que les principes essentiels : on remplit de béton un moule en tôle tronconique ($D = 20 \text{ cm}$, $d = 10 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$); le remplissage s'exécute en trois couches tassées avec une tige d'acier de 16 mm de diamètre dont l'extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche; on soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement.

Les mesures sont évidemment quelque peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau. (I.3)

Il est à noter que le classement de l'ouvrabilité des bétons, c'est-à-dire de leur consistance, est basé sur cet essai, d'une part dans les spécifications du fascicule 65 A, d'autre part dans la définition des bétons fournis par les centrales de BPE, telle qu'elle résulte de la norme XP P 18-305. 22-05 ENG . [16]

Tableau I. 3 Appréciation de la consistance en fonctions de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	±1 cm
PLASTIQUE P	5 à 9	±2 cm
TRES PLASTIQUE TP	10 à 15	±3 cm
FLUIDE FL	>16	

I.1.4 Conclusion :

Au terme de ce chapitre, on peut prétendre à une meilleure connaissance du matériau béton. En effet, connaître les constituants du béton, leurs mécanismes d'action et leurs propriétés, permet de dégager une problématique importante concernant la compatibilité entre les différents constituants du béton dans les mélanges hydrauliques.

Ainsi l'évolutivité et la complexité des constituants tels que les granulats, et plus particulièrement, ne permettent pas d'avoir une approche solide sur l'action de tous les sables dans les matériaux cimentaires. De plus, la différence des méthodes d'exploitation, ainsi que des sources minéralogiques assombrissent la contribution de ces derniers dans les bétons hydrauliques.

Chapitre II :
Matériaux et procédures
expérimentales

II.1. Introduction :

L'objet de ce chapitre est la présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats recyclés, roulée et concassée (8/15, 15/25) et laitier haut fourneau entrant dans la composition des bétons. En effet, notre recherche a pour objet l'étude des bétons ordinaires à base de granulats recyclés, roulée et concasse en substitution volumique de laitier haut fourneau, avec des taux de substitution de (10%), pour confectionner les bétons, et d'analyser les comportements mécaniques des bétons obtenus à l'état frais et durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires avec ajout (béton témoin).

Les mélanges de béton ont été préparés en utilisant la méthode de formulation du béton de Dreux-Gorisse (Dreux et al. 1998), en prenant un dosage constant pour tous les mélanges préparés

II.2. Matériaux utilisés :

Nous avons utilisé les matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de Mohamed EL Bachir el Ibrahimy de Bordj Bou Arreridj.

Six mélanges de béton ont été préparés. Contenait des granulats recyclés, roulés et concassée (8/15 et 15/25) (béton témoin), alors que les six autres contenaient des différents granulats avec l'ajout laitier haut fourneau. Ces mélanges sont principalement constitués de granulats, sable, ciment, eau de gâchage qui doit avoir des propriétés spécifiques, Ils sont vérifiés à partir des essais réalisés au niveau de laboratoire selon les normes.

II.2.1 Ciment :

Le ciment employé lors de l'étude est le ciment portland NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3 de la cimenterie SPA LAFARGE ALGERIE, hammam al dhalaa, dont les spécifications physico-chimiques ainsi que mécaniques sont étudiées conformément à la norme algérienne NA 442 édition 2013 et la norme européenne EN 197-1.

Les caractéristiques physico – mécaniques ainsi que la composition chimique du ciment employé sont données sur le tableau suivant et d'après la fiche technique du ciment.

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques du ciment (Fiche technique)

Analyses chimiques	VALEUR
Perte au feu(%)(NA5042)	0,5 à 3
Teneur en sulfates (SO ₃)%	1,8 à 3
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)%	1,2 à 3
Teneur en chlorures%	0,01 à 0,05
Composition Potentielle du Clinker (%)	VALEUR
C ₃ A	<3.0%
Propriétés physiques%	VALEUR
Consistance normale (%)	25 à 28
Expansion à chaud (mm)	≤ 2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g)(NA231)	3200 à 3800
Temps de prise (min)	VALEUR
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400
Résistance à la compression	VALEUR
2 jours (MPa)	≥ 10
28 jours (MPa)	≥ 42.5

II.2.2. Granulats :

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé trois types de granulats, concassée, roulée et recycles

II.2.2.1 Gravier

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

a) Granulats recyclés

Les granulats recyclés sont le résultat de concassage des éprouvettes de béton subi des tests destructifs, déchets de démolition et déchets de production de l'industrie du béton à l'aide d'un marteau (concassage manuel). Après concassage, les granulats ont été criblés afin d'avoir les classes granulaires suivantes :

- ✓ Gravier recyclé de classe granulaire (8/15).
- ✓ Gravier recyclé de classe granulaire (15/25).



Figure II.1 : GRANULAT RECYCLE (8/15 et 15/25)

En général, les granulats recyclés se caractérisent par un fuseau granulaire homogène et continu, mais les sables recyclés sont sensiblement plus grossiers que les sables naturels utilisés dans les bétons ordinaires [7] Un autre aspect important de la granulométrie est la teneur en fines. Les fines présentes dans les granulats recyclés sont essentiellement constituées de ciment ancien et peuvent influencer aussi bien les caractéristiques des bétons frais (demande en eau, maniabilité, délais de la prise), que celles des bétons durcis (adhérence nouvelle pâte de ciment-granulat)

La propreté des sables caractérise la teneur en fines argileuses dans le pourcentage global en fines, car les fines argileuses peuvent rendre la mise en place du béton plus difficile et peuvent altérer l'adhérence des grains à la pâte de ciment.

[6]. Réalisent l'essai de la granulométrie par tamisage sur chacun des matériaux granulaires-sources, pour cinq MR retenus pour leur étude , Les analyses granulométriques des cinq échantillons ont été réalisées conformément à la norme NQ2560-040. Il en ressort que toutes les courbes granulaires des matériaux recyclés de classe MR demeurent à l'intérieur du fuseau prescrit par le NQ 2560-600.

b) Gravier concassé

Origine de gravier

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



Figure II.2 : granulats concassée (15/25 et 8/15)

c) graviers roulés

Le gravier roulé est un matériau naturel de 5 à 30 millimètres de diamètre. Il provient d'une carrière ou du lit d'un cours d'eau et peut ainsi être constitué de silex, de calcaire, de quartz poli ou de débris transportés par l'eau courante. Le gravillon roulé a une forme arrondie et assez esthétique.

c.1 Infiltration et capillarité

Le gravier roulé ne peut pratiquement pas être compacté, ce qui garantit l'écoulement de l'eau.

C'est pourquoi il ne convient pas pour les sols circulés. *Gravier roule jaune*. Si un effet de rupture capillaire est nécessaire, il faut vérifier au cas par cas si le gravier roulé empêche ou ne permet pas la remontée de l'eau.

Si le gravier roulé est utilisé comme couche de drainage, il est souvent recommandé de le combiner avec une couche de gravillons ou de moellons comme couche de finition : Gravier roule lave. Il convient de demander conseil à un professionnel, surtout en cas d'utilisation dans une fosse de drainage devant les murs de la cave d'un bâtiment.

De nombreux graviers de rivière lavés correspondent à des graviers roulés, sans être explicitement désignés comme tels (**Gravier roule rivière**).



Figure II.3 : Granulats roulée (8/15 et 15/25)

II.2.2.2. Classes granulaires

Les fractions du gravier sont :

- ✓ Fraction 8/15 C
- ✓ Fraction 15/25 R

II.2.2.3 Résistance à la compression de la roche d'origine

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

II.2.2.4 Caractéristiques physiques du gravier utilisé

II.2.2.5 Masse volumique apparente

Mode opératoire :

- ✓ Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- ✓ Peser le récipient à l'état vide (M₁).
- ✓ Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10 cm.
- ✓ Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M₂ ce poids.
- ✓ La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

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

Où :

- ✓ V: Volume du récipient.
- ✓ M₁: Le poids du récipient à l'état vide.
- ✓ M₂: Le poids du récipient plein de gravier.

Tableau II.2 : Masse volumique apparente du gravier concassée (8/15 et 15/25)

Gravier	M2 (kg)	M1 (kg)	V (l)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
(08/15)	1.5	0.065	1	1.43	1.48
	1.55			1.49	
	1.59			1.53	
(15/25)	1.42	0.065	1	1.35	1.35
	1.41			1.35	
	1.41			1.35	

Tableau II.3 : La masse volumique apparente (γ) des graviers roulée (08/15), (15/25)

Gravier	M2 (kg)	M1 (kg)	V (l)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
(08/15)	1.56	0.065	1	1.50	1.54
	1.63			1.56	
	1.62			1.55	
(15/25)	1.59	0.065	1	1.53	1.55
	1.61			1.55	
	1.63			1.57	

Tableau II.4 : La masse volumique apparente (γ) des graviers recyclée (08/15), (15/25)

Gravier	M2 (kg)	M1 (kg)	V (l)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
(08/15)	1.58	0.065	1	1.52	1.55
	1.65			1.57	
	1.61			1.55	
(15/25)	1.60	0.065	1	1.54	1.55
	1.62			1.56	
	1.61			1.55	

II.2.2.6. Masse volumique absolue

Mode opératoire :

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

Tableau II.5 : La masse volumique absolue des graviers concassés (08/15), (15/25).

Gravier	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
(08/15)	300	400	513	2.65	2.69
			510	2.72	
			511	2.72	
(15/25)	300	400	513	2.65	2.68
			512	2.67	
			511	2.72	

Tableau II.6 : La masse volumique absolue des graviers roulée (08/15), (15/25).

Gravier	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
(08/15)	300	400	518	2.54	2.58
			514	2.63	
			516	2.58	
(15/25)	300	400	512	2.67	2.51
			514	2.63	
			519	2.59	

Tableau II.7 : La masse volumique absolue des graviers recyclée (08/15), (15/25).

Gravier	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
(08/15)	300	400	516	2.58	2.42
			519	2.52	
			512	2.68	
(15/25)	300	400	513	2.65	2.35
			515	2.61	
			518	2.54	

II.2.2.7. Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-554

La porosité d'un matériau est le rapport du volume des vides au volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

Cette propriété ou notion de porosité est importante car elle influe sur certain Caractéristique fondamentale tel que :

- ✓ Résistance mécanique élevée, donc P faible.
- ✓ Capacité d'absorption d'eau (w) ; Prélevée donc (w) grand.

La porosité est donnée par la relation suivante :

P (%) = [1-(γ/ρ)].100%

- a) à l'état lâche : $P_L = [1-(\gamma_L/\rho_s)].100\%$
- b) à l'état compact : $P_c = [1-(\gamma_c/\rho_c)].100\%$

► **La compacité : EN 1097-6**

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau : $C = 1 - P$

- a) à l'état lâche : $P_L = 1 - P_L$
- b) à l'état compact : $P_c = 1 - P_c$.

► **L'indice des vides : EN 1097-6**

C'est le rapport de volume de vide sur le volume de solide : $e (\%) = \frac{v_v}{v_s}$ aussi : $e (\%) = \frac{1-C}{C}$

- a) à l'état lâche : $E_L = P_L / (1-P_L)$
- b) à l'état compact : $E_c = P_c / (1-P_c)$.

Tableau II.8 : Porosité, compacité et indice des vides des agrégats concassés (08/15), (15/25).

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	Indice des vides e (%)
(08/15)	44.98	55.02	81.75
(15/25)	49.62	50.38	98.49

Tableau II.9 : Porosité, compacité et indice des vides des agrégats roulés (08/15), (15/25).

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	Indice des vides e (%)
(08/15)	40.31	59.69	67.53
(15/25)	38.24	61.76	61.91

Tableau II.10 : Porosité, compacité et indice des vides des agrégats recyclés (08/15), (15/25).

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	Indice des vides e (%)
(08/15)	50.46	49.54	50,33
(15/25)	51.23	48.77	52,36

II.2.2.8. Analyse granulométrique

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

II.2.2.8.1 Analyse granulométrique du gravier

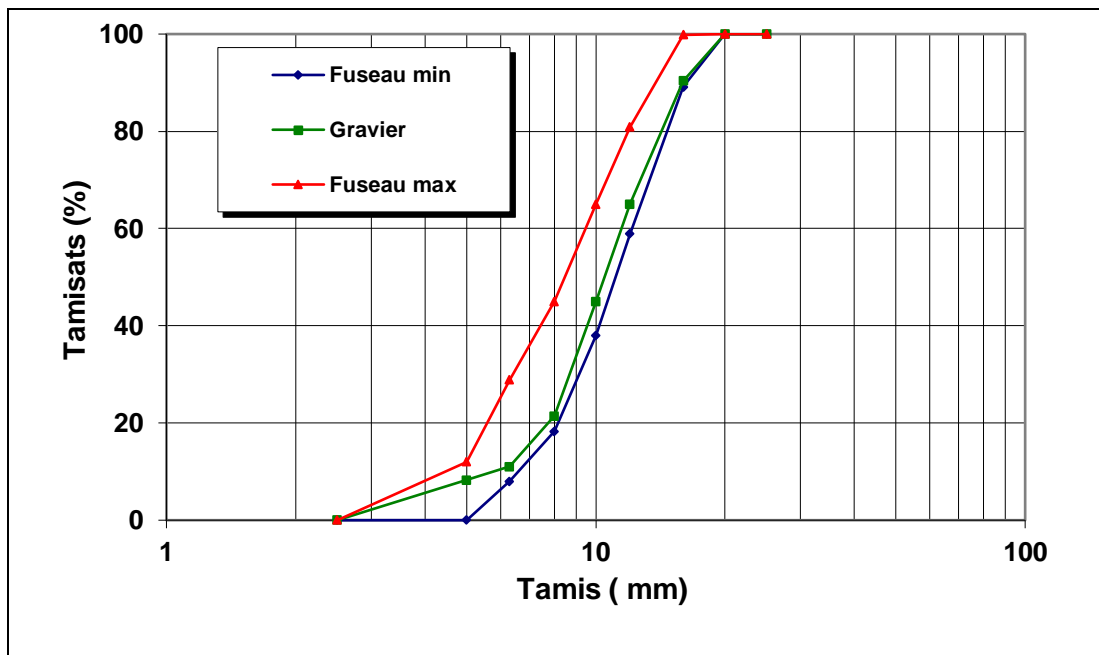
A) - Fraction 8/15 R (3 Kg)

Tableau II.11 : Analyse granulométrique du gravier concasse 8/15.

Fraction et masse	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus partiel (g) (moyen)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
(08/15) 3000 g	16	296	288	288	9.6	90.4
		248				
		320				
	12.5	844	951.33	1239.33	41.31	58.69
		1010				
		1000				
	10	803	750.66	1989.99	66.34	33.66
		734				
		715				
			707			

8	662	667.66	2657.66	88.59	11.41
	634				
	6.3	319	309	2966.66	98.89
308					
300					
5	25	17	2983.66	99.45	0.55
	9				
	17				
fond	18	16	2999.66	99.98	0.01
	10				
	20				

Figure II.4 : Courbe granulométrique du gravier concassé (08/15).



II.2.2.8.1. Analyse granulométrique du gravier

A) - Fraction 15/25 R (5 Kg)

Tableau II.12 : Analyse granulométrique du gravier concassé 15/25.

Fraction et masse	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus partiel (g) (moyen)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
(15/25) 5000 g	25	464	512	512	10.24	89.76
		376				
		696				
	20	2755	2781.66	3293.66	65.87	34.13
		2971				
		2619				
	16	1203	1218.33	4511.99	90.23	9.77
		1177				
		1275				
	12.5	500	420.33	4932.32	98.64	1.36
		399				
		362				
	10	31	33.36	4965.68	99.31	0.69
		38				
		32				
	8	40	27	4992.68	99.85	0.15
		29				
		12				
	fond	6	7.33	5000	100	0
		13				
		3				

Figure II.5 : Courbe granulométrique du gravier concassé (15/25).

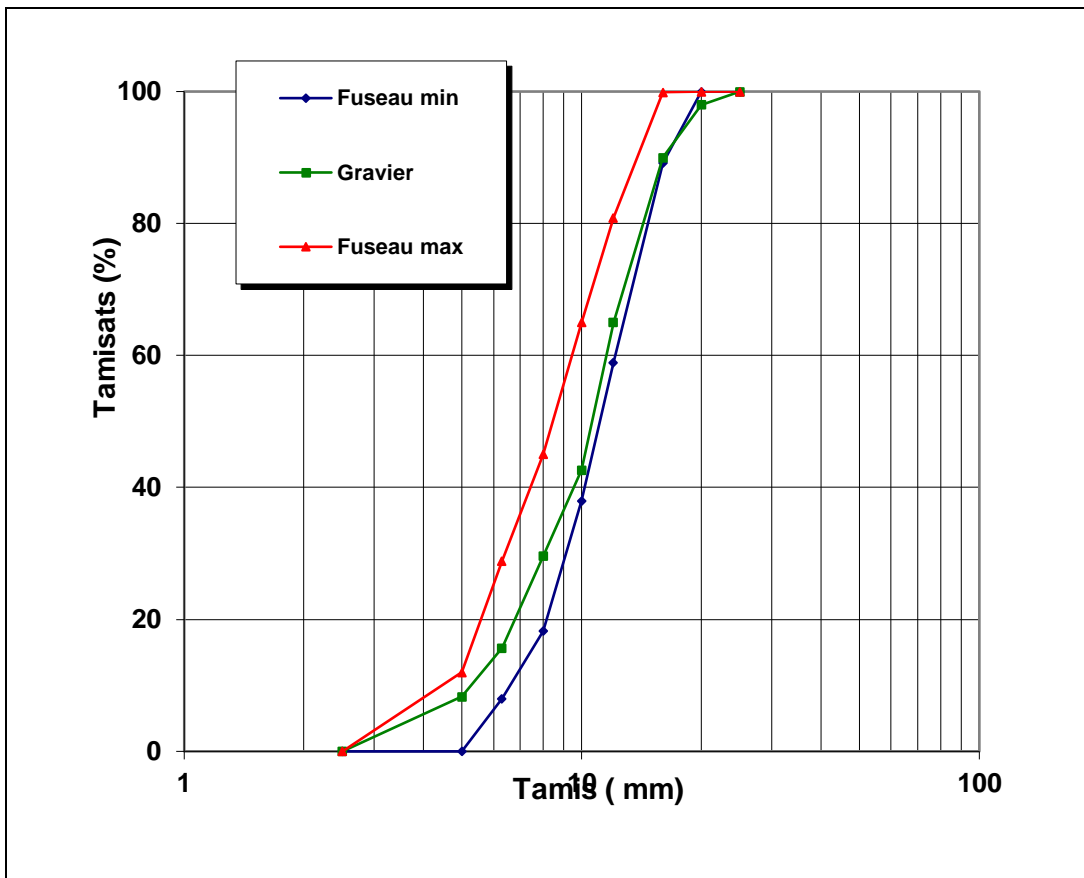


Tableau II.13 : L'analyse granulométrique du gravier roulé (08/15)

Fraction et masse	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus partiel (g) (moyen)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
16	16	216	147	147	4.9	95.1
		112				
		113				
12.5	12.5	2000	1946.66	2093.66	69.78	30.22
		1937				
		1903				
10	10	565	673.66	2767.32	92.24	7.76
		710				
		746				

(08/15) 3000 g	8	151	196.33	2963.65	98.78	1.22
		221				
		217				
	6.3	2	8.66	2972.31	99.07	0.93
		11				
		13				
	5	23	23.33	2995.64	99.85	0.15
		24				
		23				
	fond	4	4.33	2999.97	99.99	0.01
		4				
		5				

Figure II.6 : Courbe granulométrique du gravier roulée (08/15).

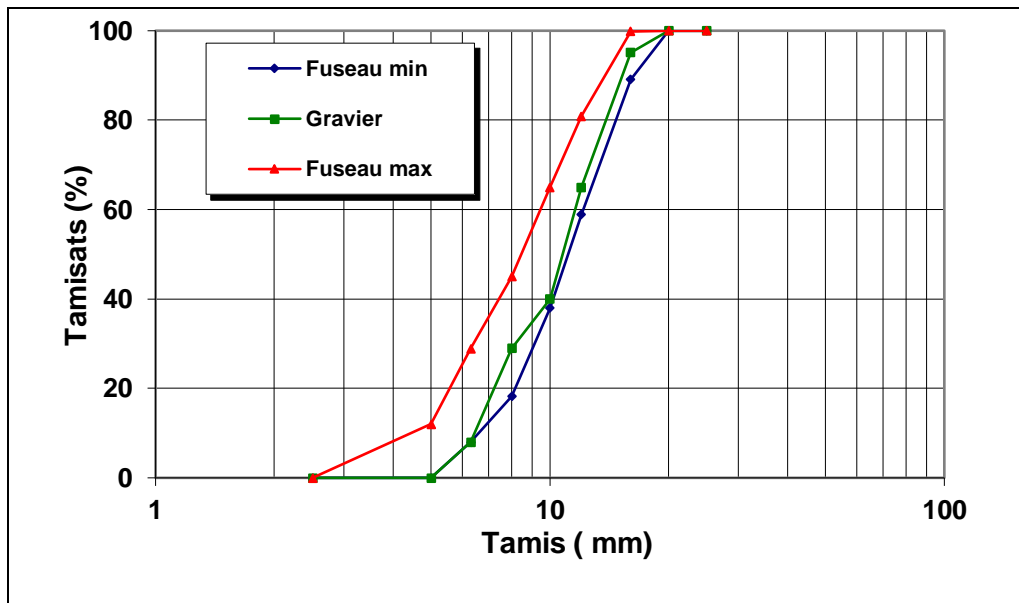


Tableau II.14 : L'analyse granulométrique du gravier roulée (15/25).

Fraction et masse	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus partiel (g) (moyen)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
(15/25) 5000 g	25	11	93.66	93.66	1.87	98.13
		113				
		157				
	20	1124	1155	1248.66	24.97	75.03
		1280				
		1061				
	16	2047	2150.66	3399.32	67.98	32.02
		2300				
		2105				
	12.5	1423	1226.33	4625.65	92.51	7.49
		1059				
		1197				
	10	298	287.33	4912.98	98.25	1.75
		209				
		355				
	8	78	71.33	4984.31	99.68	0.32
		31				
		105				
	fond	16	13.66	4997.97	99.95	0.05
		7				
		18				

Figure II.7 : Courbe granulométrique du gravier roulée (15/25)

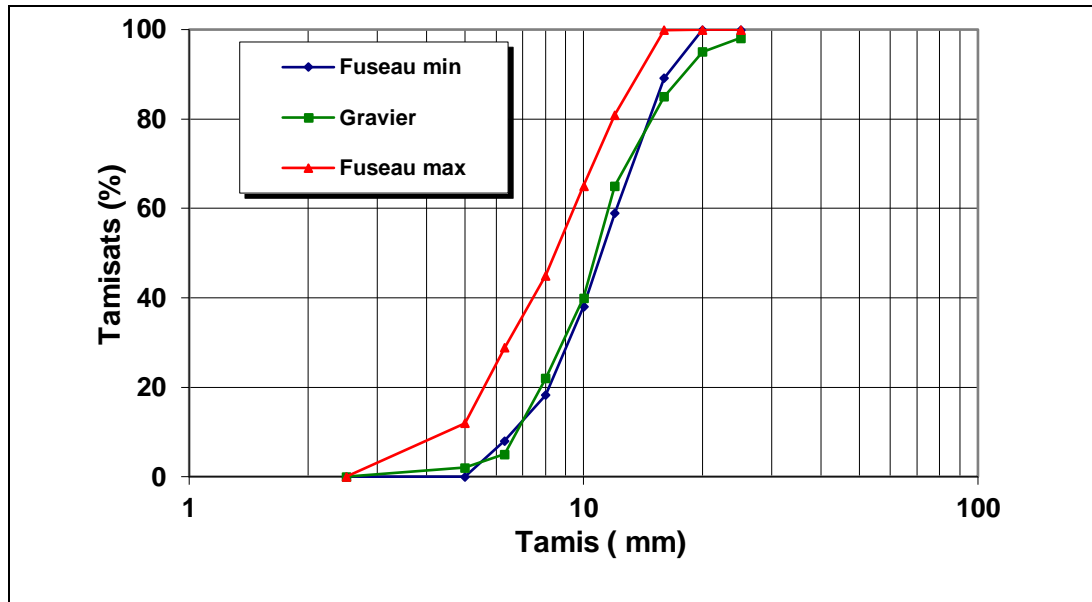


Tableau II.15 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (8/15) M=3000 g.

Tamis (mm)	REFUS (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
20	0	0	0	0
16	10.5	10.5	0.35	99.65
12.5	1007.1	1017.6	33.92	66.08
10	1310.7	2328.3	77.61	22.39
6.30	636.6	2964.9	98.83	1.17
FOND	35.1	3000	100	0

Tableau II.16 : L'analyse granulométrique de graviers recyclés (15/25) M=5000 g.

fraction	Tamis (mm)	Refus partiel	Refus partiel moyen	Refus cumule(g)	Refus cumule (%)	Tamisat cumule (%)
(15/25) 5000 g	25	11	93.66	93.66	1.87	98.13
		113				
		157				
	20	1124	1155	1248.66	24.97	75.03
		1280				
		1061				
	16	2047	2150.66	3399.32	67.98	32.02
		2300				
		2105				
	12.5	1423	1226.33	4625.65	92.51	7.49
		1059				
		1197				
	10	298	287.33	4912.98	98.25	1.75
		209				
		355				
	8	78	71.33	4984.31	99.68	0.32
		31				
		105				
fond	16	13.66	4997.97	99.95	0.05	
	7					
	18					

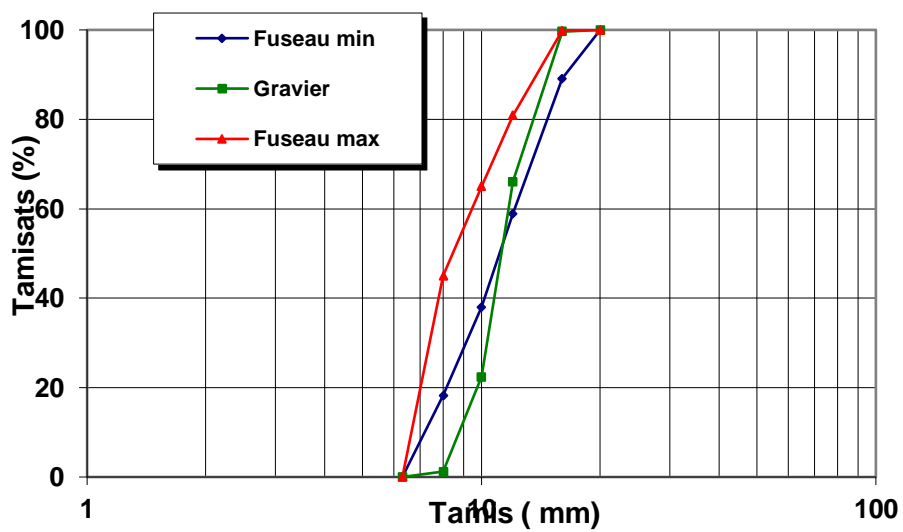


Figure III.8 LA GRANULOMETRIE DE GRANULATS RECYCLEE 8/15

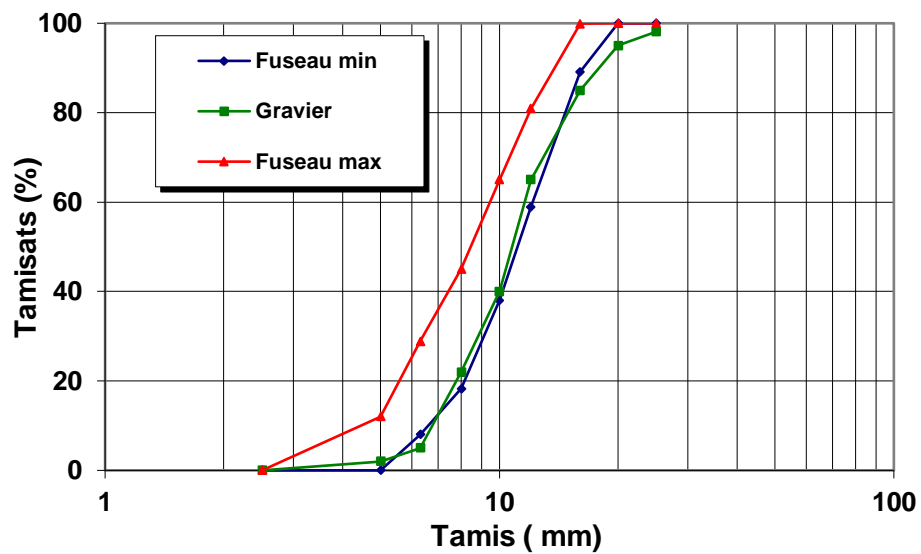


FIGURE II.9 : LA GRANULOMETRIE DE GRANULATS RECYLEE (15/25)

II. 2.2.9 Degré d'absorption d'eau [NA EN 1097-6]

Le coefficient A mesure la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant, on en tient compte dans la formulation, Elle est exprimée en (%) et définit par la formule.

$$A (\%) = [(M_H - M_S)/M_S].100$$

M_H : La masse du matériau saturé d'eau en (g).

M_S : La masse du matériau sec en (g).

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivant :

Tableau II.17 : Degré d'absorption d'eau des agrégats concassés (08/15), (15/25).

Fraction	M_H (g)	M_S (g)	A (%)
(08/15)	1000	961.5	4
(15/25)	1000	977.5	2.3

Tableau II.18 : Degré d'absorption d'eau des agrégats roulée (08/15), (15/25).

Fraction	M _H (g)	M _S (g)	A (%)
(08/15)	1000	972	2.88
(15/25)	1000	994	0.6

Tableau II.19 : Degré d'absorption d'eau des agrégats recyclée (08/15), (15/25).

Fraction	M _H (g)	M _S (g)	A (%)
(08/15)	1000	974	5.5
(15/25)	1000	993	5.7

II.2.3 Caractéristique du sable :

Les sables utilisés sont un sable concassé de la central a béton et le sable de ces sables naturel (Oued souf) provenant d'une carrière. (1.2.3)

Dans une ce projet, on a jugé important d'utiliser : Pour les sables concassés

- Sables concassé de la carrière de El-euch.....SC1.

II.2.3.1 Analyse granulométrique [NA EN 933-1]

- But de l'essai :

Permettre la détermination de la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- Principe de l'essai :

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grande plus petit, et faire peser le refus dans chaque tamis.

- Mode opératoire :

L'opération du tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse ou on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage.

La vibration se fait 03 fois durant 03 minutes à chaque fois

Tableau II.20 : Analyse granulométrique du sable

Fraction et masse	Diamètre des Tamis (mm)	Refus élémentaire (g)	Refus élémentaire (g) (moyen)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
	5	0	0	0	0	100
		0				
		0				

Sable (0/5) 2000 g	2.5	30	33	33	1.65	98.35
		34				
		35				
	1.25	146	155	188	9.4	90.6
		146				
		170				
	0.63	787	735	923	46.15	53.85
		686				
		732				
	0.315	743	736.66	1659.66	82.98	10.02
		777				
		690				
	0.16	241	275.33	1935	96.75	3.25
		287				
		298				
	0.08	53	55.33	1990.33	99.51	0.41
		56				
		57				
	Fond	4	7	1997.33	99.86	0.14
		9				
		8				

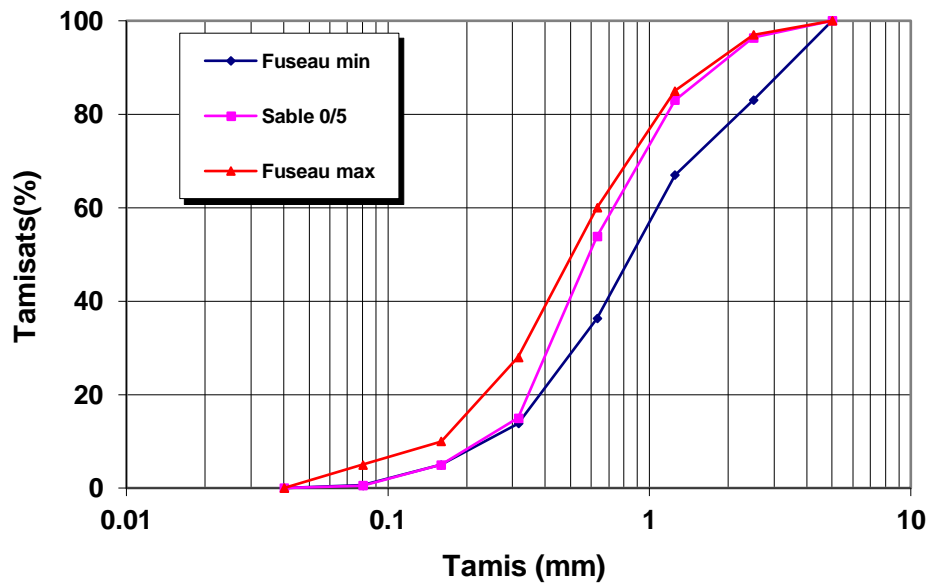


Figure II.10 : Courbe granulométrique de sable

Tableau II.21 : Module de finesse du sable [20]

Quantité du sable	Module de finesse
GROS	>2.5
MOYEN	2 à 2.5
FIN	1.5 à 2
TRES FIN	1 à 1.5

II.2.3.2 MODULE DE FINESSE DU SABLE

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5 mm.

$MF = 1/100$ (refus cumulés en pourcentage des tamis {0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5}).

$$MF = 1/100 \sum (0 + 1.65 + 9.4 + 46.15 + 82.98 + 96.75)$$

MF=2.36

$MF = \sum R_i / 100$

$MF = (1/100) \sum$ (refus cumulés en %des tamis {0.08-0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-3.15 })

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est

égal à : **$MF = 3.18, 1.009 < MF > 2.5$ (C'est un sable gros).**

$MF = 3.83, 3.771 < MF > 2.5$ (C'est un sable gros).

$MF = 3.50, 3.178 < MF > 2.5$ (C'est un sable gros).

II.3.2.3 Equivalent de sable : [NA EN 933-8]

II.3.2.3 Equivalent de sable : [NA EN 933-8]

✓ **But de l'essai :**

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'élément fins (argile, limons, impuretés) contenus dans sable par rapport à la quantité d'élément sableux.

✓ **Mode opératoire :**

✓ Remplir l'éprouvette d'une solution la vente jusqu'au premier repère.

✓ A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de $120 \pm 1g$ dans l'éprouvettes taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main a fin de libéré les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.

✓ Laisser reposer pendant 10 min.

✓ Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontal en 30s à l'aide de l'agitateur mécanique.

- ✓ Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec solution la vente au- dessus l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'indexent faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un l ère piquage.
- ✓ Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de niveau supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- ✓ Mesuré également avec la règle la hauteur h_2 compris entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$E_{sv} = (h_2/h_1) 100\%$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2 : hauteur du sable.

Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

$$E_{sp} = (h'_2/h_1) \times 100\%$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2 : hauteur du sable.

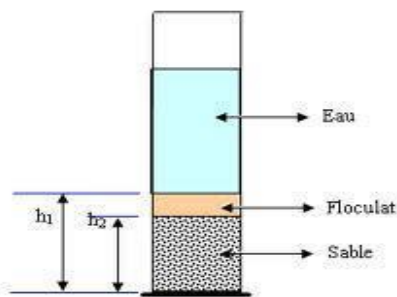


Figure II.11 : Essai équivalent de sable

Tableau II.22 : Résultat d'essais d'équivalent de sable

Hauteur (mm)	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	E _{vs} (%)	E _{vsmoy} (%)	h' ₂ (cm)	E _{sp} (%)	E _{spmoy} (%)
(1)	9.3	8.5	91.39	90.88	8.4	90.32	89.98
(2)	9.4	8.7	92.55		8.7	92.55	
(3)	9.3	8.25	88.70		8.1	87.09	

II.2.3.3 Masse volumique : [NF P18-555]

a) Masse volumique absolue :

Le mode opératoire et le même que celui utilisé pour le gravier décrit précédemment. La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho_{\text{abs}} = M / (V_2 - V_1)$$

Tableau II.23: Les résultats de la masse volumique absolu du sable naturel

N° d'essais	M (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ_{abs} (g/cm ³)	$\rho_{\text{abs moy}}$ (g/cm ³)
1	300	300	418	2.54	2.56
2	300	300	417	2.56	
3	300	300	416	2.58	

b) Masses volumiques apparentes :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées

Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

Mode opératoire :

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

La Masse volumique apparente est donnée par formule suivant :

$$\rho_{\text{app}} = M_2 - M_1 / V$$

Tableau II.24 : Masse volumique apparente du sable

Essai	M2 (kg)	M1 (kg)	V (l)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
1	1.692	0.064	1	1.628	1.642
2	1.714			1.65	
3	1.713			1.649	

II.2.4 Les ajouts minéraux

Les ajouts utilisés dans notre programme expérimental sont les suivants :

- ✓ Le laitier

II.2.4.1 Les caractéristiques chimiques

Cette composition chimique est susceptible de se changer au cours des années selon le type du minéral, avec l'épuisement des sources.

Le tableau II.25 Les caractéristiques chimiques et minéralogique de laitier (fiche technique).

Composition	Constituée	Pourcentage
Chimique	SiO ₂	30.13 %
	Al ₂ O ₃	9.91 %
	Fe ₂ O ₃	0.09 %
	CaO	31.73 %
	MgO	1.36 %
	SO ₃	1.12 %
	K ₂ O	1.08 %
	Cl	0.016 %
	Paf	24.55 %
Minéralogique	LSF	33.01
	AF	106.8
	MS	3.01

II.2.4.2 Les caractéristiques physiques :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.26 : Les caractéristiques physiques de laitier .

Les ajouts	Masse volumique apparente (g/cm3)	Masse volumique absolue (g/cm3)	Surface spécifique de Blaine (cm2/g)
Laitier	0.94	2.91	3520

II.2.5 L'eau de gâchage : [NA EN 1008]

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Bordj Bou Arreridj.

Le tableau II.27 les résultats obtenus concernant les analyses physico-chimiques :

PARAMETRE	QUANTITE	COMMENTAIRE
Ph	8.18	Acceptable pour le gâchage.
conductivités	1250 µs/cm	-
Taux de (Cl ⁻)	0.24mg/l	0.05 à 0.50
Taux de (NO ₂ ⁻)	0,15 mg/l	>à la concentration max (0.1)
Taux de (NO ₃ ⁻)	1,8 mg/l	<à la concentration max (50)
Turbidité	1,44NTU	-
Dureté total	6,72 °F	15-50
Résidu sec	100 mg/l	-

FORMULATION DES BETONS : METHODE DE DREUX-GORISSE

II.2.6 Formulations des bétons étudiés :

Calcul de la composition du béton :

Méthodes de calcul de la composition du béton :

L'Objectifs d'une formulation est d'avoir les performances requises pour un béton :

- Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams, noté h .

- les qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours ; notée fcm28 (résistance moyenne) .

-des qualités de durabilité qui conduisent à imposer une résistance caractéristique minimum, un dosage minimum en liant équivalent (C+ kA) et un rapport maximum E/(C+ kA)

- formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences au moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible tout en vérifiant que le dosage minimal est atteint.

-Des logiciels permettent de traiter toute la partie non expérimentale du travail formulation. Même avec de tels outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres influent sur les qualités du béton, car ces paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris n compte dans toute leur complexité (sans compter que des produits comme les adjuvants sont en constante évolution). C'est l'objet des paragraphes qui suivent de présenter ces paramètres de manière à rendre d'autant plus efficaces les outils de calcul (et les essais qui demeurent incontournables) pour celui qui cherche à résoudre un problème de formulation de béton. [17]

Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).

□ Méthode de FAURY.

- ✓ Méthode de JOISEL.
- ✓ Méthode de VALETTE.
- ✓ Méthode de DREUX GORISSE.
- ✓ Méthode des volumes absolus.
- ✓ Méthode générale du CES (centre d'essai des structures).

II.2.6.1 Choix d'une méthode de formulation :

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement une certaine résistance à la compression.

- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.

- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.

- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- Minimum de vides internes déterminant une résistance élevée.

- Bonne étanchéité améliorant la durabilité.

- Résistance chimique.

- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [18]

II.2.6.2 Processus du choix d'une formulation :

La formulation du béton correspond au processus de sélection des constituants et de leurs proportions pour fabriquer un matériau aussi économique que possible et possédant certaines propriétés minimales précises, notamment en ce qui concerne la résistance, la durabilité et la maniabilité.

Les facteurs de base que l'on doit en considération pour déterminer une formulation et l'ordre des décisions pour chacune des constituants d'une gâché sont donnés dans la figure suivante :

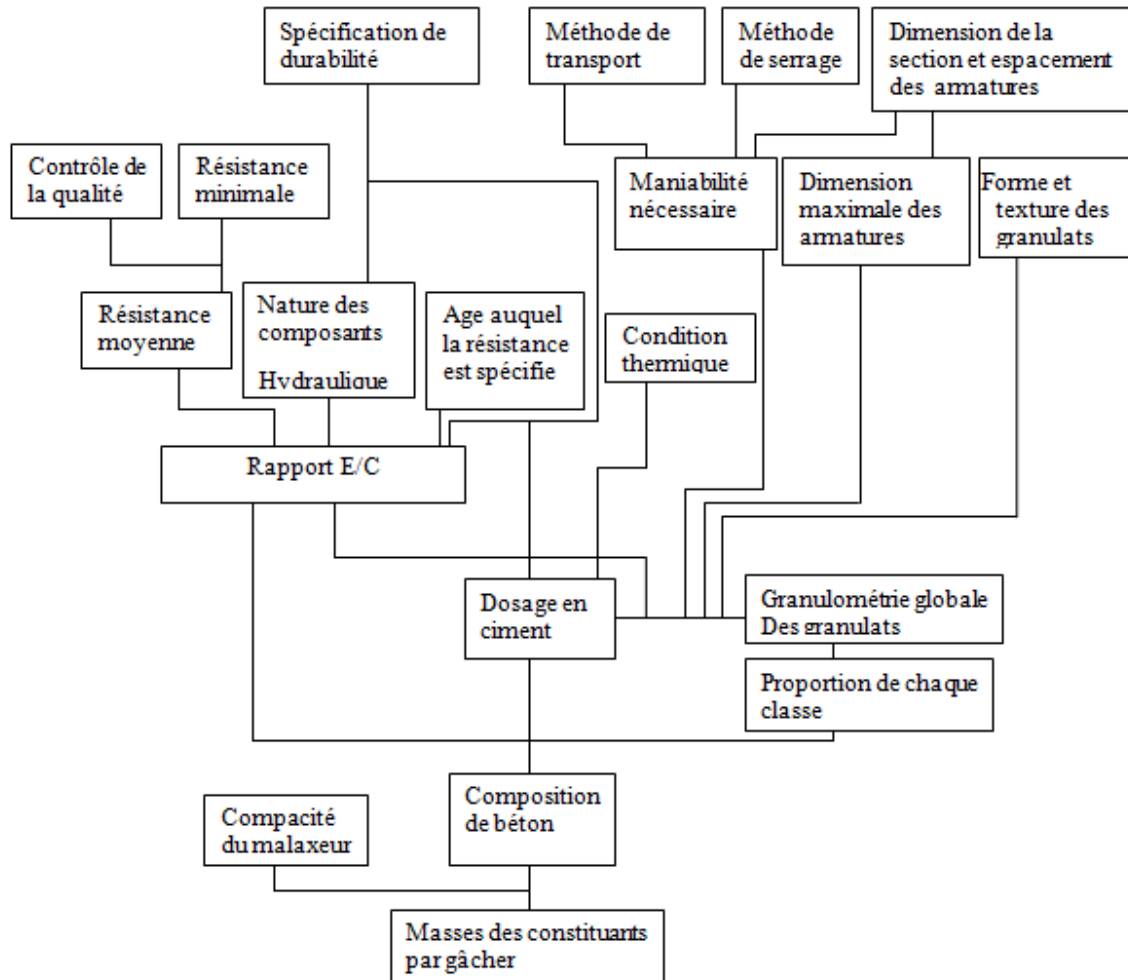


Figure. II.12 : Processus du choix d'une formulation [19]

II.2.6.3 Facteur de base à prendre en compte lors du choix d'une formulation :

Pour obtenir un béton satisfaisant, il faut, non seulement calculer ou estimer les proportions des matériaux disponibles, mais aussi réaliser des gâchés d'essai. On peut ainsi vérifier les proportions et apporter les corrections nécessaires jusqu'à ce que l'on obtienne une formulation donnant entièrement satisfaction.

II.2.6.4 facteurs régissent la formulation d'un béton

L'objectif de la formulation est de confectionner le béton le plus économique et donnant satisfaction tant à l'état frais qu'à l'état durci. Pour atteindre cet objectif, on peut considérer les différents facteurs de la figure précédente et suivre les étapes de décisions jusqu'au choix final des proportions du béton.

a) le rapport eau/ciment et résistance à la compression

La présence de 5 % de vides dans le béton peut réduire la résistance de plus de 30 % et même un pourcentage de 2 % peut produire une perte de plus de 10 %. Les vides à l'intérieur du béton sont soit des bulles d'air piégé lors du malaxage soit des espaces laissés lorsque l'excédent d'eau contenu dans le béton s'évapore. Dans ce qui suit, on ne considérera que le cas de bétons complètement compactés ceci induit que, lors de la détermination de la composition du béton, le béton durci ne contient qu'environ 1% d'air piégé.

La résistance d'un béton bien compacté est inversement proportionnelle au rapport Eau/ciment. Cette relation est présentée par Duff Abrams en 1919. Selon cet auteur, la résistance est égale :

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{e/c}}$$

Où E/C : représente le rapport eau/ciment du béton (rapport volumique) et K1 et K2 sont des constantes empiriques.

En pratique, le rapport eau/ciment est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton complètement compacté. La meilleure citation en ce sujet est probablement celle de Gilkey : « pour un ciment donné et de granulats acceptables la résistance qui peut se développer dans un béton maniable confectionné dans des conditions identiques de malaxage, de mise en oeuvre, de conservation et d'essai est influencé par

- (a) le rapport massique entre ciment et l'eau de gâchage.
- (b) Le rapport massique entre le ciment et les granulats
- (c) La granulométrie, la texture, la forme, la résistance et la dureté des granulats
- (d) La dimension maximale des granulats.

On peut ajouter que les facteurs (b), (c) et (d) ont une importance moindre que le facteur (a) lorsque l'on utilise des granulats courants, dont la dimension maximale est de 40 mm.

La résistance du béton est due à :

- la résistance du mortier.
- L'adhérence entre le mortier et le gros granulat

II.2.6.5 Méthode Dreux-Gorisse :

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats (D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats. [18]

a) Détermination du dosage en ciment:

Le choix du dosage en ciment est fait d'après l'expérience ou au moyen de tableaux et graphiques élaborés à partir de résultats de laboratoire. Ces tableaux ne sont guère qu'un guide pour établir les proportions nécessaires, car elles ne tiennent en compte que des granulats utilisés lors de ces essais. [19]

On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = G \cdot R_c (E/C - 0.5)$$

Où :

R_b: Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars.

G: Coefficient granulaire

R_c: Classe vraie du ciment à 28 jours, en bars.

Connaissant le rapport C/E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque **Figure II.13**

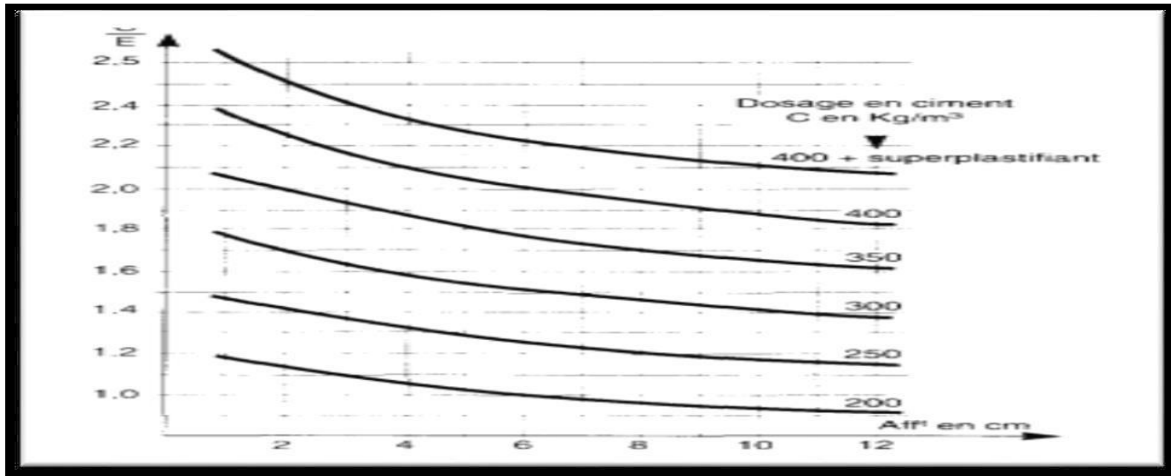


Figure II.13: Dosage en ciment

b) Détermination du dosage en eau

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par le

formule: $E = \frac{c}{E/c}$

c) Détermination du dosage en granulat :

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulaire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, ci-dessous courbe OAB. La courbe OAB, où **B** à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• **En abscisse :**

Si D = 20mm l'abscisse est D/2.

Si D = 20mm l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspond à (D max).

• **En ordonnée :** Y donnée par la formule suivant

$$Y = 50 - \sqrt{D} - K + K_s$$

K_s, ajustement de la granularité du sable

- Pour FM > 2.8 \longrightarrow K_s = 5.4 FM - 15

- Pour FM est varié de 2 à 3 \longrightarrow K_s = 6 MF - 15

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le Tableau II.28

Tableau II.28 valeurs du terme correcteur K

vibration	faible		normale		Puissante	
	Roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	Concassé
400+fluidifiants	-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

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g1, g2, g3 par exemple. Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est: $c=C/\dots$

..c = : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est:

$$V = (1000 \times \gamma) - c.$$

Où : Coefficient de compacité qui est donné par le table

II.2.6.6 Formulation des mélanges

Données de base

Tableau II. 29 donnés de bases pour la formulation

Données de base	Description (valeur)
Béton normal de classe	C25/30
Consistance	Béton plastique
Dimension maximale de granulats	D=16 mm (...=4 mm
Forme des granulats	Granulats concassés
Qualité des granulats	Bonne (courante)
Serrage	Vibration normale (courante)
Dosage en ciment	C=350 kg/m³
Classe vrais du ciment (bars)	425 bars

Module de finesse MF	2.65
Coefficient granulaire G	0.45

a) Dosage des granulats

La granularité du mélange obtenu peut être représentée et approchée par deux segments de droite. Cette courbe simplifiée une modélisation de la courbe réelle.

Cette modélisation est intéressante car cette courbe théorique est suffisamment proche de la courbe réelle pour être significative et elle peut être entièrement déterminée ç partir de seulement trois points appelés respectivement O origine, A point de brisure, B extrémité.

Pour les granulats à béton, il apparait que les points O, A et B, sont invariable quel que soit les proportions du mélange.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisât sur le plus petit tamis (0.08 mm). Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0.08 ;0] de même, le d'extrémité, B se situe le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisât. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100].

Pour le point de brisure A, il apparait que le tamis sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange. En observant de plus après, il apparait que ce tamis se situe à D/2, si $D \leq 20$ mm, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$ il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange.Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquence sur sarésistance. La meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode dite **DREUX-GORISSE**.

II.2.6.7 Calcule de la composition du béton :

Dans notre travail on va déterminer la composition du mélange avec l'utilisation du trois(3) types du gravier (roulée, recyclée et concassée).

Les donnees sont :

- Dimension maximale des granulats $D = 25$ mm.
- Courbe de référence : $x=12,5$, $y=48$.
- Composition du mélange en granulats
- Pierres concassées $16/25 = 37$ %, $8/16 = 19$ % et $3/8 = 10$ %
- Sable $0/3 = 34$ %.

Deux mélanges de béton sont préparés :

1er mélange : béton ordinaire à base de granulats naturels.

2eme mélange : béton ordinaire à base de granulats de laitier cristallisé.

Les abréviations suivantes :

(B.O.G.N) : béton ordinaire à base de granulats naturels.

(B.O.G.L) : béton ordinaire à base de granulats de laitier.

Tableau II.30: Les constituants des différents bétons en masse (Kg/m³).

béton constituant	B.O.G.N	B.O.G.L
Ciment CEM I	350	350
LAITIER	-	35
GRANULATS		
8/15	657	632
15/25	332	325
SABLE	590	590
EAU	188 L	188 L
MASSE VOLUMIQUE THEORIQUE (kg/m³)	2296	2265
Rapport E/C	0.53	0.53

II.2.6.7.1 Matériels et essais:

Nous allons exposer la méthodologie des expériences menées sur les différents échantillons confectionnés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur.

II.2.7 Béton à l'état frais :

II.2.7.1 Le malaxage : [NA EN12390-2]

La réaction ente les différents composants, est d'autant plus complète que le mélange est homogène.



Figure II.14 : Malaxeur utilisé.

- Introduire : gravier (15/25) et (8/15), ciment, sable.
- Malaxer pendant 1 min et 30secs.
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois avec le cône d'Abrams jusqu'à obtenir la consistance voulue[20].

II.2.7.2 Affaissement au cône d'Abrams : SLUMP test EN 12350-2

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche, Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.



Figure II.15 : Mesure de l'affaissement

Dans notre étude l'affaissement visé est entre 8 et 10cm c'est le cas d'un béton plastique.

II.2.7.3 Vibration :

Le béton frais est un mélange de ciment, d'eau, de sable, de gravillons, d'adjuvants et de ... bulles d'air. En raison des forces capillaires et des forces de frottement entre les granulats, le béton ne peut, sans effet mécanique, occuper la place des vides d'air. Cela peut être obtenu par le compactage mais principalement par la « VIBRATION ».La vibration met artificiellement en mouvement les éléments du béton (granulats, ciment, eau). Elle assure le bon remplissage des coffrages et des moules, le serrage du béton et sa désaération en favorisant l'imbrication des granulats et en expulsant les bulles d'air[21].

II.2.8 Béton à l'état durci :

II.2.8.1 Mode de conservation et durcissement:

Nous avons conservé les éprouvettes dans leurs moules pendant les premières 24 heures dans une ambiance à $20^{\circ}\text{C} \pm 2$. Le degré d'humide du milieu de conservation a une influence importante sur la résistance du béton [21]

Après démoulage, elles sont conservées dans un bac de conservation jusqu'au moment de l'essai. Ces derniers sont réalisés à 7, 28 et 60 jours.

II.2.8.2 La résistance à la compression (essai d'écrasement): [NA EN12390-3]

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubiques normalisée (10*10*10cm).

➤ **La presse hydraulique : [NA EN12390-3]**

La machine d'essai est une presse de force de classe « B »

et d'une capacité maximale de 3000 KN.

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression.

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante

Jusqu'à la rupture.

Figure II.16: Presse hydraulique.



➤ **La conduite de l'essai est la suivante :**

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de ± 0.2 MPa. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. [21].

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette [22].

$$R_c = F/S$$

- R_c : résistance à la compression (MPa).
- F : la charge de rupture (N).
- S : section de l'éprouvette (mm^2).

Remarque :

La résistance sur cylindre est plus faible de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes [22].

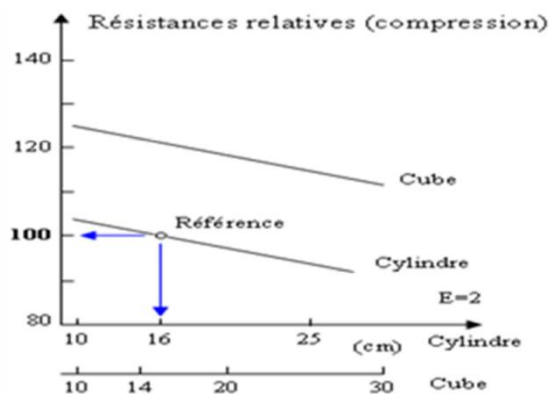


Figure II.17 : Variation des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.

II.2.9 Conclusion :

Dans ce chapitre on à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisées dans notre travail par les essais qui sont effectuée dans laboratoire.

Ensuite, tous ses matériaux apporté ont une bonne ou bien une moyenne qualité qui à permis de justifier l'emploie de ces derniers dans cette recherche.

Enfin, en peut conclure que ces matériaux ont répondu aux exigences demandé car ils ont déterminé clairement les quantités essentielles pour confectionner un mélange du béton.

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1 Introduction:

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

- ✓ **Les essais de contrôle de béton à l'état durci.**
- ✓ **Les essais mécaniques destructifs.**

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

III.2. Représentation et analyse des résultats

Les résultats à l'état frais et durci (la masse volumique à l'état frais, la masse volumique à l'état durci, la résistance à la compression et la traction par flexion.) sont présentés dans les tableaux ci-après.

Les mélanges testés sont présentés sous les appellations suivantes

Dans ce travaille on a formulé 06 gâcher avec différents pourcentages de granulat (Roulé, recyclée et concassée), et un pourcentages de laitier haut fourneau E/L fixés, les différents mélange sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1 LES TYPES DE BETONS

TYPE DES BETONS	MELANGE DES BETONS
BT1	Témoin (sans laitier et avec Gr 8/15 et 15/25 concassée)
BT2	Témoin (sans laitier et avec Gr 8/15 et 15/25 roulée)
BT3	Témoin (sans laitier et avec Gr 8/15 et 15/25 recyclée)
BT4	Témoin (avec laitier 10% et avec Gr 8/15 et 15/25 concassée)
BT5	Témoin (avec laitier 10% et avec Gr 8/15 et 15/25 roulée)
BT6	Témoin (avec laitier 10% et avec Gr 8/15 et 15/25 recyclée)

III.3. Béton à l'état frais

III.3.1. L'affaissement

Pour une consistance normale. Entre 15.3 et 07 cm au cône d'Abrams , nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :(Tableau III.34)

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

Type de béton	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	BT6
Affaissement (cm)	9.5	10	9.8	10.6	10.4	10.7

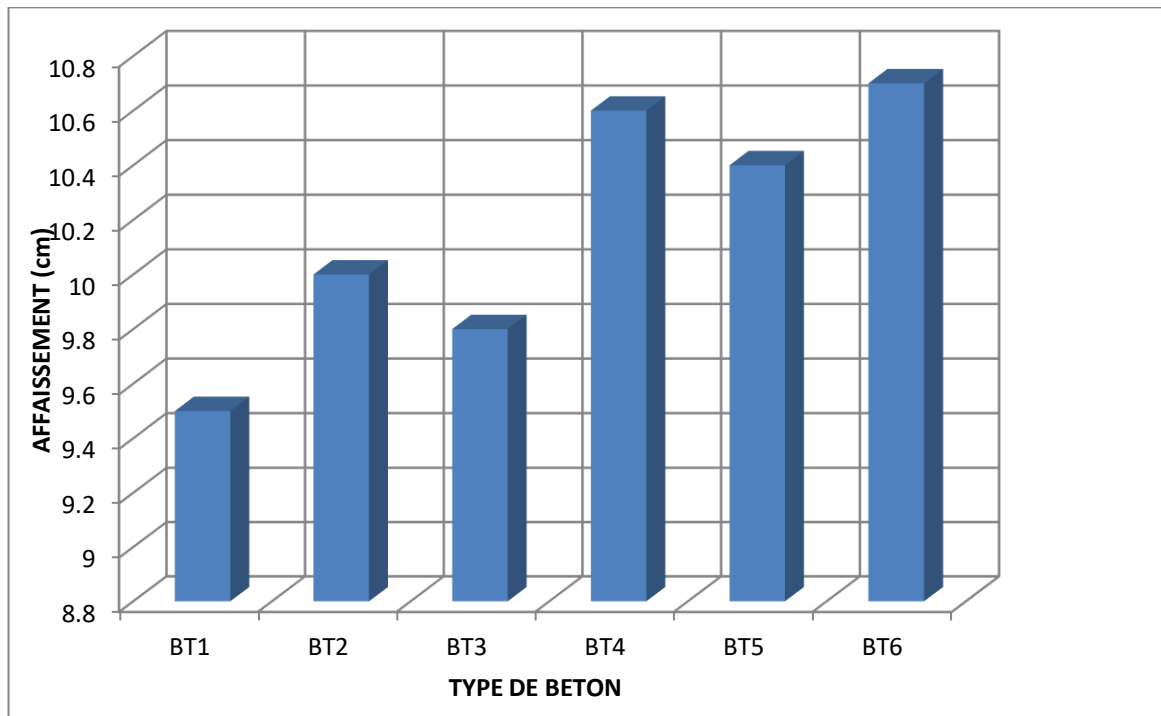


Figure III.1 : Variation de l'affaissement pour chaque béton.

A la fin de malaxage, on mesure l'affaissement du béton à l'aide du cône d'Abrams, Cet figure (figure III.1) représenté la variation de l'affaissement en fonction de chaque type du béton (témoin), on remarque une diminution de l'affaissement dans chaque béton en fonction du pourcentage de granulats en deux fraction (roulé , concassé et recycler) et en fonction du pourcentage de filler (laitier).

D'après les résultats de l'affaissement de béton témoin Aff =9.5 cm, et l'affaissement

avec filler on remarque un croisement de l'affaissement en fonction de pourcentage de filler et granulats en deux fraction jusqu'à un affaissement optimal de 10.7 cm

III.3.2. La masse volumique à l'état frais des mélanges

Pour voir l'effet des granulats mixte et le pourcentage de laitier sur la variation de la masse volumique apparente à l'état frais, des pesés des éprouvettes à l'état frais ont été effectués, l'ensemble des résultats obtenue sont présentés dans le tableau ci-dessous.

(Tableau IV.3)

Tableau III.3: La masse volumique à l'état frais des mélanges

Type de béton	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	BT6
M_v (g/cm ³)	2.58	2.58	2.69	2.51	2.51	2.68

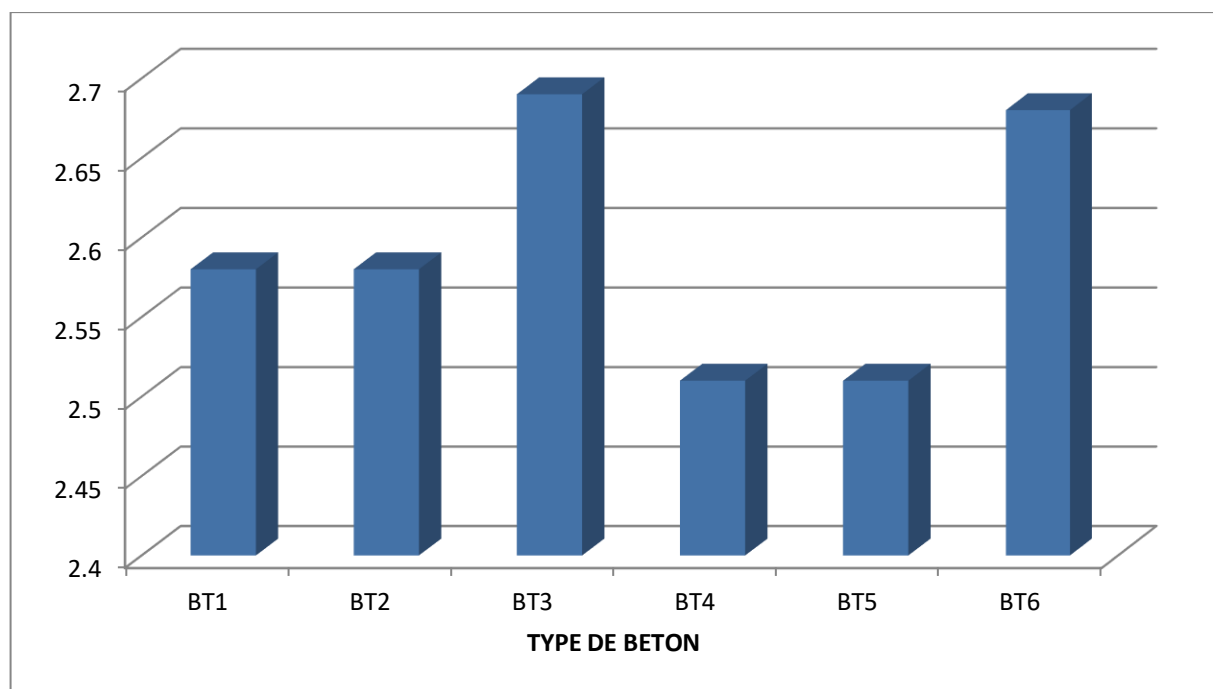


Figure III.2 : La variation de la masse volumique apparente à l'état frais Pour les différents types des bétons.

Après le gâchage, on a mesuré la masse volumique apparente à l'état frais de chaque type de béton pour voir l'influence du pourcentage de laitier et du pourcentage de granulats en deux fraction sur la masse volumique à l'état frais.

On remarque que la masse volumique de tous les bétons est relativement proche par rapport au béton témoin, les meilleures masses volumiques sont présentes dans BT1, BT2, BT3.

On peut expliquer cette variation par la différence de pourcentage de granulats en deux fraction (40% (15/25) et 60%(8/15)) et la différence de dosage en laitier 10 %.

III.3.3. Le rapport E/L

Ce tableau représente l'effet de variation de pourcentage de granulat mixte et pourcentage de laitier sur le rapport E/L les résultats sont résumé au tableau suivant (Tableau III.4).

Tableau III.4: Le rapport E/L et E/C

Type de béton	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	BT6
liant	-	-	-	10%	10%	10%
E/L et E/C	0.42	0.42	0.42	0.35	0.35	0.35

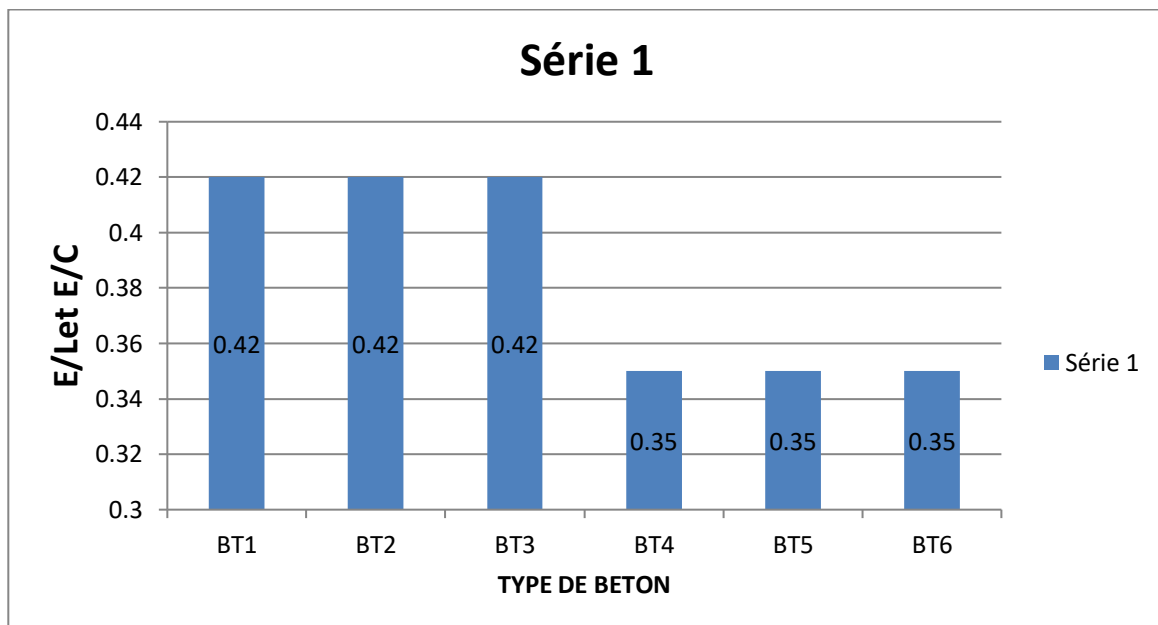


Figure III.3 : La variation du rapport E/L apparente à l'état frais en fonction pour les différents types des bétons

La figure (III.3) représente la variation du rapport E/L en fonction des différents types de béton, d'après la figure on observe que les bétons sans filler ont un rapport E/L relativement élevée par rapport aux bétons avec filler, on explique ça par la différence de l'absorption de l'eau entre les granulats roulé, concassé et recycler, ces derniers présentent une absorption supérieure à celle des granulats roulée, le dosage de filler joue aussi un rôle très important dans la demande en eau, L'augmentation de dosage en filler conduit à une diminution de E/L.

III.4. Béton a l'état durci

III.4.1. La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton :

Pour voir l'effet des granulats en deux fraction et le filler sur la variation de la masse volumique apparente à l'état durci des pesés des éprouvettes à l'état durci en été effectués à 28 jours, L'ensemble des résultats obtenue son présenté dans le tableau ci-dessous. (Tableau III.5)

Tableau III.5 : La masse volumique à l'état durci des mélanges

TYPE DE BETON	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	B5T6
CUBIQUE	2.46	2.48	2.50	2.47	2.49	2.47
PRISMATIQUE	2.58	2.60	2.57	2.58	2.60	2.57
SYLINDRIQUE	2.64	2.63	2.65	2.61	2.64	2.67

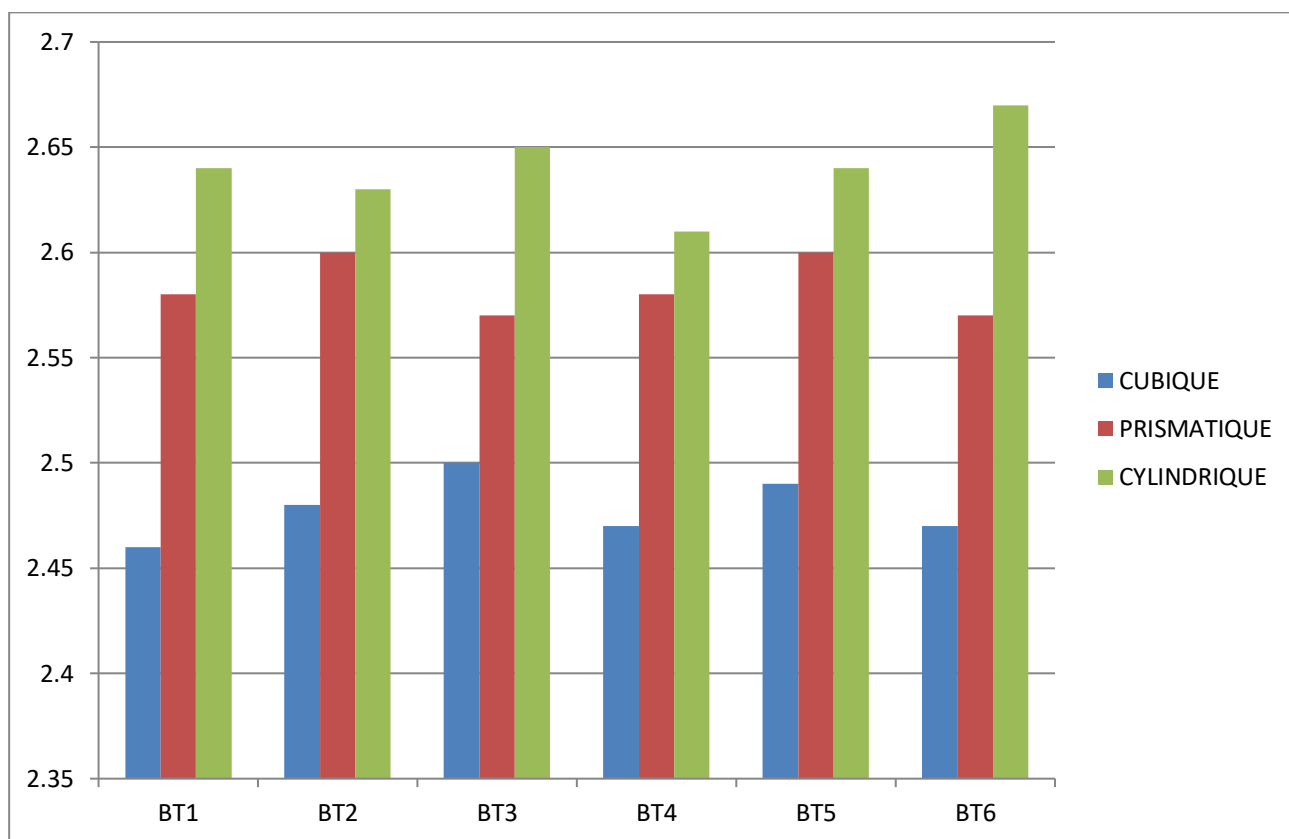


FIGURE III.4 : masse volumique à l'état durci des mélanges

Après le durcissement en eau à 28 jours on a mesuré la masse volumique apparente à l'état durci de chaque type du béton.

On remarque que la masse volumique de tous les bétons est relativement proche par rapport au béton témoin.

On peut expliquer cette variation par la différence de pourcentage de granulats en deux fractions (40% (15/25) et 60% (8/15)), pour le différent type de béton avec 10 % laitier on remarque une diminution en la masse volumique, ce pourcentage de laitier à demander plus d'eau de gâchage par rapport à d'autre pourcentage laitier 10% (témoin)

III.4.2: Résistance à la compression de différents mélanges

La résistance mécanique à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété, elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydratée, elle est estimée soit à jeune âge, court terme ou à long terme.

Dans ce paragraphe, on examine le développement de la résistance (taux d'augmentation) des trois bétons étudiés, en fonction du type des granulats utilisés.

**Tableau III.6 : La résistance à la compression a l'état durci des différents bétons étudiés
éprouvette cubique (10×10×10) (Sans laitier) à 7,28 et 56 jours**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	23.79	16.39	15.37
28 JOURS	38.66	30.67	26.77
56 JOURS	39.83	36.44	34.52

**Tableau III.7 : La résistance à la compression l'état durci des différents bétons étudiés
éprouvette cubique (10×10×10) (Avec laitier) à 7,28 et 56 jours.**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	33.95	26.22	28.29
28 JOURS	37.09	35.06	36.50
56 JOURS	42.23	38.74	34.59

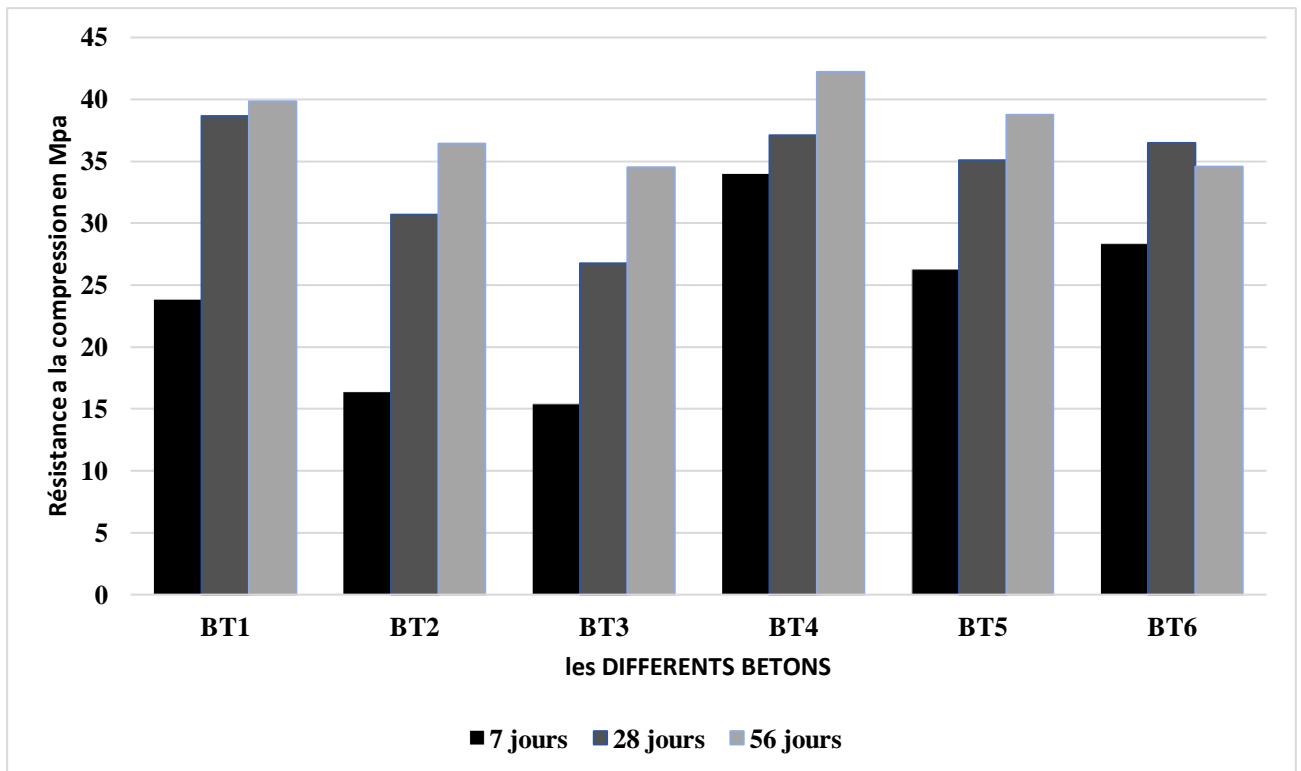


FIGURE III .5 résistance a la compression des différents mélanges a 7,28 et 56 jours

La figure précédente représente l'évolution de résistance a la compression en fonction du temps on observe que le meilleur résultat est obtenu dans le dosage de laitier de 10% . cette action de laitier c'est positif se manifeste qu'à long terme, cela se traduit par l'activité de la pouzzolane qui réagit avec la portlandite libéré par l'hydratation de ciment pour former des hydrates (C-S-H), qui contribue à l'augmentation de la résistance.

III.4.3 La résistance mécanique à la traction par flexion

Cet essai consiste à rompre une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$ par application d'un moment de flexion vont $F.L/4$ (flexion à 3 points).

Lorsque l'on augmente progressivement la charge, on constate que la rupture se produit dans la zone du moment max, suivant un plan normal à l'axe longitudinal de ce prisme.

**Tableau III.8 : La résistance de traction par flexion a l'état durci des différents bétons
étudié éprouvette prismatique (10×10×40)
(Sans laitier) à 7,28 et 56 jours.**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	4.64	5.21	4.33
28 JOURS	6.02	6.42	4.99
56 JOURS	7.03	7.02	6.75

**Tableau III.9 : La résistance de traction par flexion l'état durci des différents bétons étudié
éprouvette prismatique (10×10×40)
(Avec laitier) à 7,28 et 56 jours.**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	6.19	5.40	4.41
28 JOURS	6.23	6.21	5.05
90 JOURS	7.11	7.08	6.99

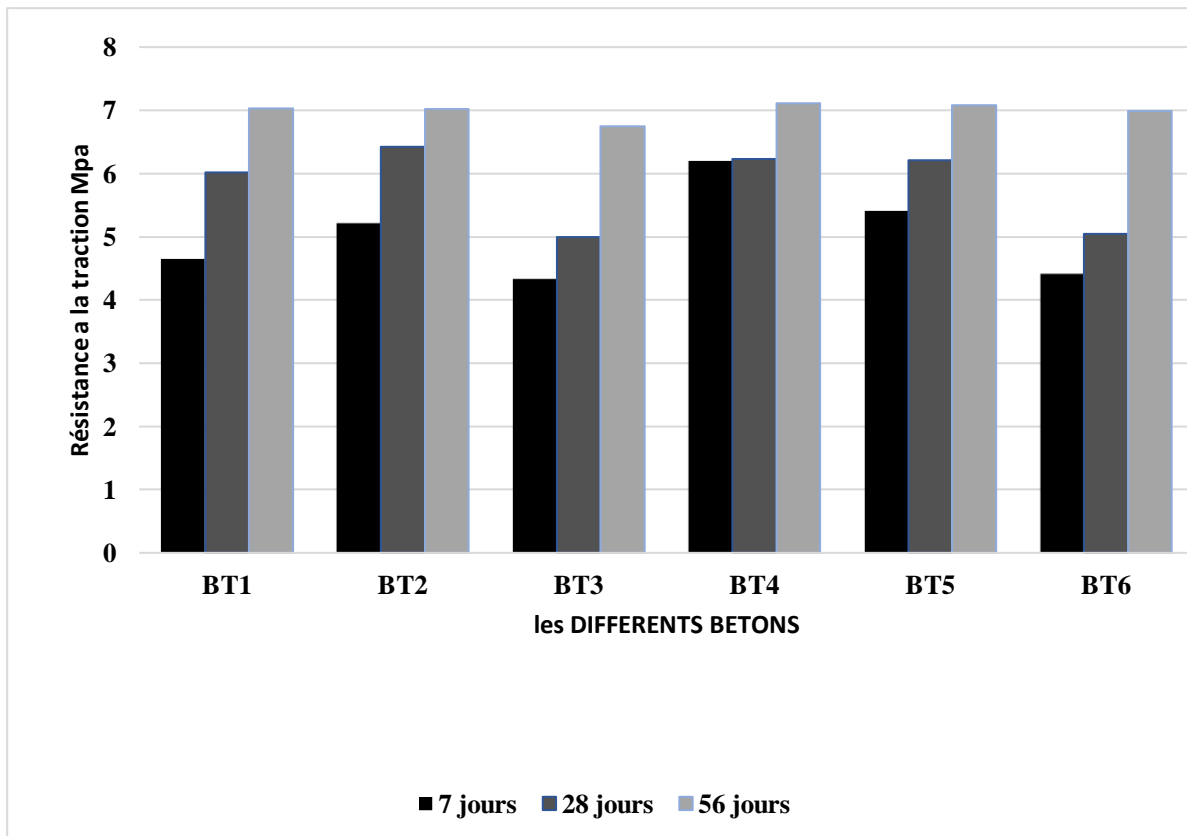


FIGURE III.6 résistance de traction par flexion des différents mélanges 7,28 et 56 jours

A partir de la figure précédente on remarque que les résultats sont relativement proche et acceptable par rapport au béton témoin, en constate que l'effet positive des laitier sur la résistance à la traction avec un pourcentage de 10 %, au delà de ce pourcentage la résistance augmente .

III.4.4 La résistance mécanique à la traction par fendage

Cet essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse, l'éprouvette se rompt suivant un plan diamétral sous l'influence des contraintes de traction qui se développent normalement à la direction de compression.

La résistance à la traction par fendage est calculée après 7, 28 et 56 jours de durcissement

**Tableau III.10 : La résistance par fendage l'état durci des différents bétons étudiés
éprouvette cylindrique (16×32)
(Sans laitier) à 7,28 et 56 jours.**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	2.38	2.18	2.07
28 JOURS	2.96	2.71	2.34
56 JOURS	3.39	2.93	2.51

**Tableau III.11 : La résistance par fendage l'état durci des différents bétons étudiés
éprouvette cylindrique (16×32)
(Avec laitier) à 7,28 et 56 jours.**

Type de béton Les jours	BT4 CONCASSEE	BT5 ROULEE	BT6 RECYCLEE
7 JOURS	2.57	2.39	2.19
28 JOURS	3.19	2.97	2.72
56 JOURS	3.87	3.13	2.97

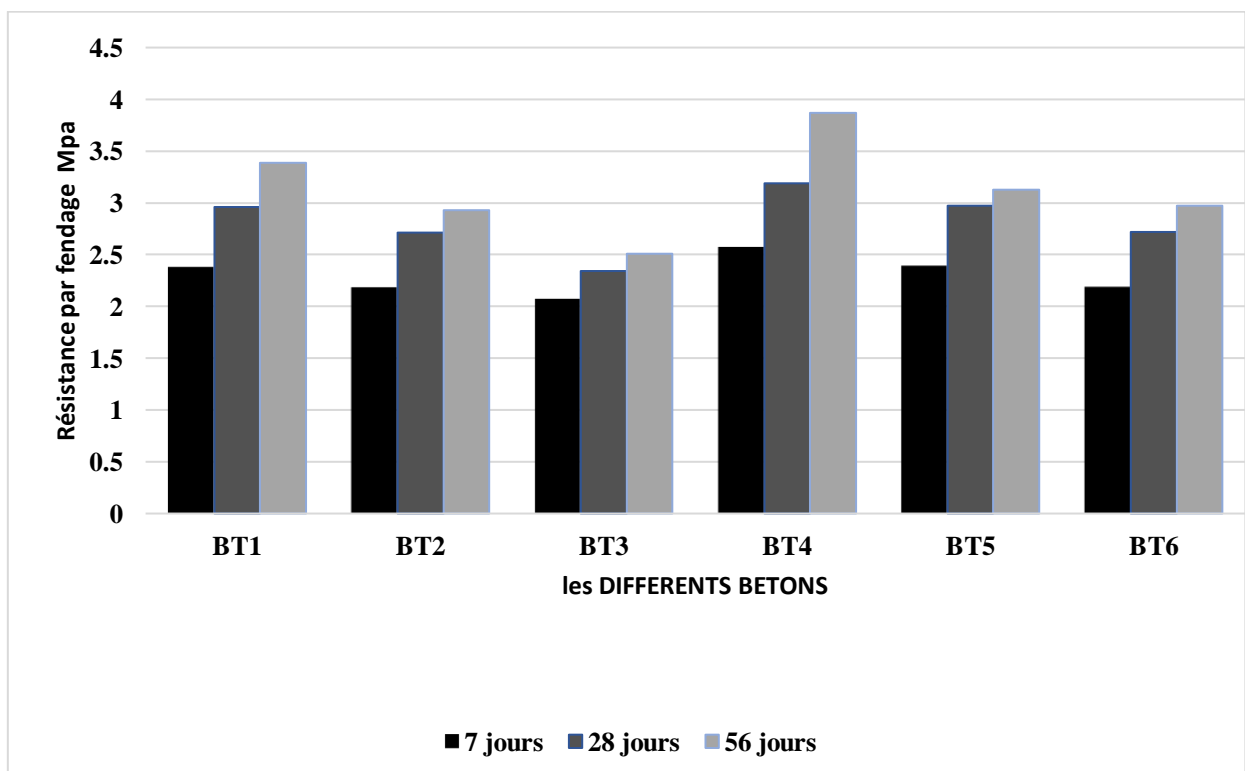


FIGURE III.7 résistance par fendage des différents mélanges 7,28 et 56 jours

L'évolution de résistance a la compression en fonction du temps on observe que le meilleur résultat est obtenu dans le dosage de laitier de 10% et le pourcentage de granulats (40% 15/25 et 60% 8/15).

La figure III.7 représente l'évolution de la résistance a la compression en fonction du dosage en laitier et du pourcentage de granulats, on observe que le meilleur résultat est obtenus pour le dosage de laitier de 10% et le pourcentage de granulats (40% 15/25 et 60% 8/15).

D'après les figures présentant l'évolution des résistances mécaniques des bétons testés, on remarque une amélioration considérable sur la résistance à la traction des bétons confectionné avec 40% de granulats roulée et 10% de laitier .

III.5 Conclusion

D'après notre étude expérimentale en conclue qu'à l'état frais l'augmentation du dosage en laitier démunie l'affaissement et augmente la demande en eau en parallèle, la nature et le pourcentage des granulats influe sur la fluidité du béton, la masse volumique varie en fonction de dosage en laitier et de granulats roulée Gr 8/15.

Pour le rapport E/L les bétons sans laitier ont un rapport E/L relativement élevée par rapport aux bétons avec laitier, on expliquée ca par la déférence de l'absorption de l'eau entre les granulats roulée, concasse et recyclée, ces dernier présentent une absorption supérieur à celle des granulats roulée, aussi le dosage de laitier jeu un rôle très importants dans la demande en eau, L'augmentation de dosage en laitier conduit à une diminution de E/L.

A l'états durci, les propriétés mécaniques sont influencé par le dosage et la nature de granulats utilisés, l'utilisation de laitier augment la résistance à la compression et améliore la résistance à la traction.

A travers notre étude expérimentale on peut conclure que le pourcentage de laitier de 10% améliore sensiblement la résistance à la compression et la résistance à la traction.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était d'évaluer expérimentalement l'effet des ajouts minéraux et sur les propriétés du béton frais et durci (rhéologie, résistances mécaniques, durabilité)

L'introduction des ajouts minéraux dans les mélanges de béton, a été faite lors du malaxage des constituants du béton.

L'introduction des ajouts minéraux dans le béton :

- ❖ Provoque une certaine amélioration dans la consistance (l'affaissement au cône d'Abrams) pour un dosage donné d'ajout minéral. Cela dépend du type, finesse et quantité d'ajout, la méthode et les paramètres de formulation.
- ❖ Ou la diminution directe de l'affaissement, donnant un béton de consistance plus ferme. Cela est attribué à la forte proportion d'éléments fins (ciment + ajout) dans les mélanges de béton, qui provoque un manque en eau pour la lubrification.
- ❖ Permet l'obtention de résistances supérieures à celles des bétons avec ciment seul, et même supérieures à celles des bétons avec de plus grands dosages en ciment, et cela avec un coût relativement moindre.
- ❖ Bien que la résistance à la compression au jeune âge de béton est réduite par l'incorporation de laitier, elle s'améliore en fonction du temps et atteint son optimum à long terme (28j au delà). Ceci peut être attribué à l'activité pouzzolanique qui est lente au jeune âge et se développe à long terme.
- ❖ Pour cela on ajoute des ajouts, qui peuvent apporter une meilleure réponse au problème de la fragilité du béton et minimiser le risque de fissuration, ce qui permet d'améliorer sa durabilité et sa résistance. Il existe actuellement une grande variété d'ajout. Parmi les plus utilisées, la pouzzolane, laitier, calcaire ...etc.

Perspectives et recommandations :

Pour limiter les paramètres variables dans les formulations de bétons avec ajouts minéraux et permettre de mettre plus clairement en évidence l'effet de leur incorporation sur les propriétés rhéologiques et mécaniques, et leur incidence sur le côté économique, il sera intéressant de choisir le remplacement par des ajouts minéraux :

- Soit du ciment.
- Soit du sable.
- Soit du sable + gravier.

Avec des pourcentages allant de 0 à 100%, et un pas de 10.

Par la suite, la consistance du béton témoin pourra être maintenue par l'introduction d'une quantité adéquate d'adjuvant fluidifiant afin de permettre de mettre en évidence son effet sur les résistances mécaniques par rapport aux bétons avec et sans ajouts minéraux.

- ✓ Etudier un seul ajout minéral avec des finesses variables, ou plusieurs ajouts avec une même finesse, ou une combinaison des deux.
- ✓ Etudier les propriétés de ces bétons pour différentes températures de mûrissement.
- ✓ Etudier les propriétés de ces bétons face aux agressions chimiques.
- ✓ Etudier des matériaux disponibles localement, susceptibles d'être utilisés comme ajouts minéraux.

Références & bibliographie

Références & bibliographie

- [1] -**Blizak, A.**(2016). Influence de sable mixte sur les propriétés du micro béton au ciment blanc. (master dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila)
- [2] Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE.la contribution a l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat
- [3] Granulats- Définitions, conformité, spécifications, indice de classement P 18-540.
- [4] fiches techniques : CIMbéton, construire avec les produits préfabriqués en béton : école française du béton, CERIB, Fédération de l'industrie du béton.
- [5] Chanvillard.G et Laplante.P. « Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication : les bétons bases et donnés pour leur formulation ». 1997.
- [6] Neville.A.M : propriété des bétons traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, 1998
- [7] DESCANTES, Y, GUDON, J, S, DUPONT, P, Granulats. Origines et caractéristiques, Ed. Technique Ingénieur, 2007, p.2-13.
- [8] **MARTAUD, T.** Evaluation environnementale de la production de granulats naturels en exploitation de carrière : indicateurs, modèles et outils, Thèse de doctorat de l'université D'ORLEANS, spécialité : sciences de l'univers, 2008.
- [9] **J .BARON, et J.P.OLIVIER:**« Les bétons bases et données pour leur formulation». Édition Eyrolles.1999
- [10] **JLAABOUS.** Les ciments. Les Bâtiments et Travaux Publics -BTP-. 18 May 2014
- [11] **Pliskin, L.** (1992). Le béton. Culture technique.
- [12] **G.CHANVILLARD** :« le matériau béton: connaissance générales». Édition Aléas 1999
- [13] **BEHIM,M .**(2003) :«Réactivité du laitier granulé de hauts fourneaux d'EL HADJAR (Algérie)»
- [14] **Dreux. G, Festa. J** « Nouveaux guide du béton et de ces constituants », Ed. Eyrolles, 1998.
- [15] **Messoudene.I** : cours (durabilité du béton), université de Bordj Bou Arreridj année 2014.
- [16]**FESTA. J et DREUX. G:** "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles 1998.p162
- [17] « **R.DUPAIN;J.C.saint-arroman**»GRANULATS.SOLS.CIMENTS ET BÉTONS
- [18]: **Safi B.** « les méthodes composition de béton », SL, pp1-5. 2011.
- [19] : **Adam M., Neville,** Propriété des bétons Edition eyrolles, septembre 2000
- [20] Daupin R, Saint-Arroman J-C. Granulats, sols, ciments et bétons .édition, 2009.

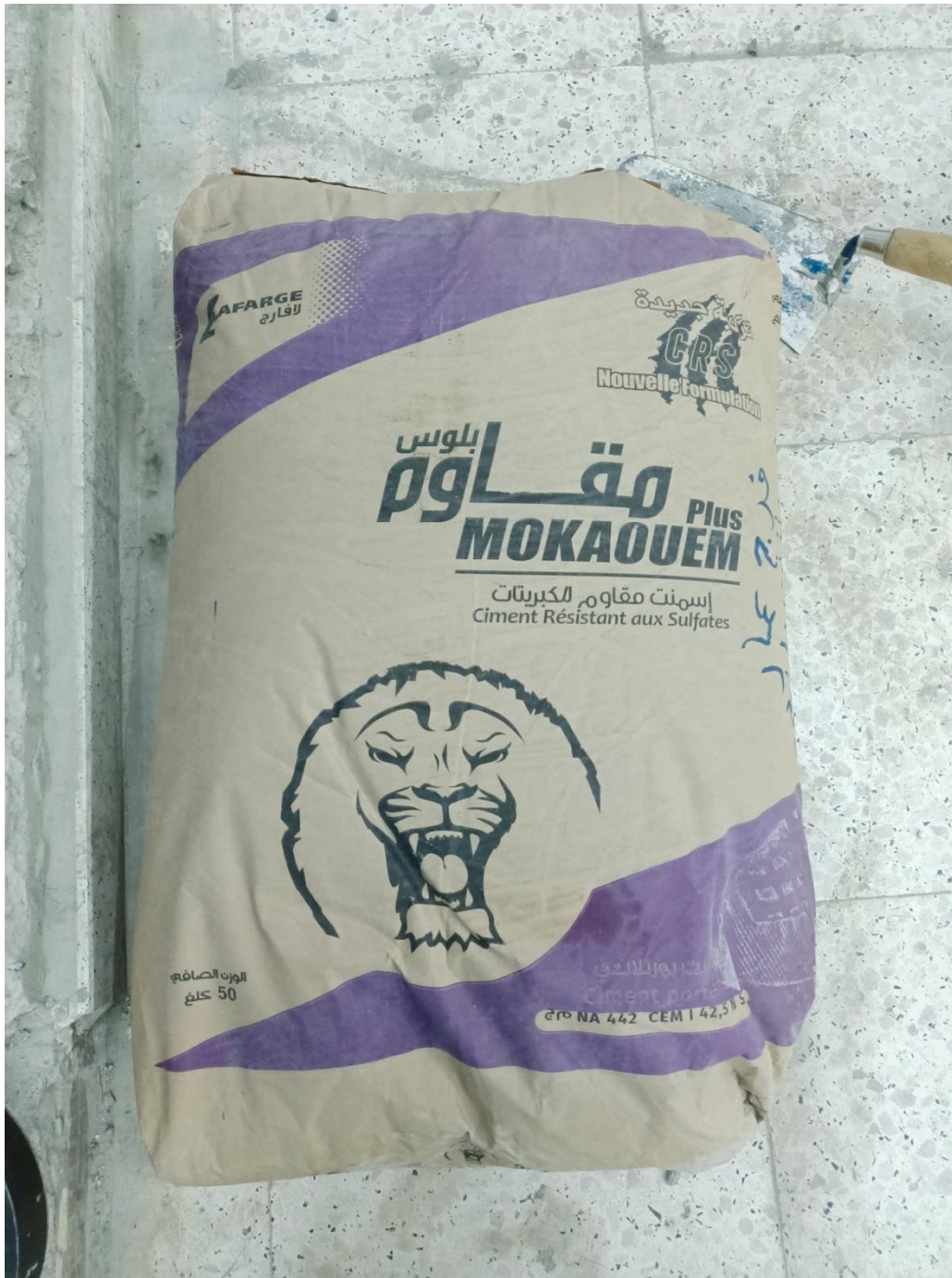
Références & bibliographie

[21] **NA EN-12390-3**: Essais pour béton durci, Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes ,2009.

[22] Dreux G, Festa J. Nouveau guide du béton et de ses constituants, huitième édition. Paris, Eyrolles, 1998

Les annexes

Les annexes





Mokaouem
مقاوم بلوس **Plus**

ALGÉRIE



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT











- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment  50kg	Sable (sec)  0/5	Gravillons (sec)  8/15mm / 15/25mm		Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire*

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

• Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues