

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaia



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté de sciences et de la technologie
قسم الري والهندسة المدنية
Département d'hydraulique et Génie Civil
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures

Thème

Le comportement physico-mécanique du Béton à base des granulats recyclés des déchets de démolition.

Par :
KOUL Lakhdar
ABDELHADI Abderrazak

Soutenue publiquement le 21/06/2023
Devant le jury composé de :

Mme AZZOUZ F	M.A.A	Univ. Ghardaia	Président
M DAHEUR E	M.C.A	Univ. Ghardaia	Examineur
M.CHERIF M	Magister		Directeur de mémoire

Année universitaire : 2022/ 2023

Remerciement :

Par-dessus tout, nous remercions le Dieu Tout-Puissant qui nous a guidés dans tout ce que nous avons pris sur nous-mêmes.

Nous tenons à remercier notre formateur, M. CHERIF Miloud, pour ses précieux conseils, son aide, sa disponibilité, ses observations pertinentes et ses encouragements tout au long de ce travail. Nous aimerions également remercier les membres du jury d'avoir accepté de siéger au jury, J'aimerais remercier l'équipe du Laboratoire du Travaux Publique du Sud (LTPS), en particulier M. GEGHAOUA C et M. BOUGUERRA H.

Nous remercions nos parents et nos frères et sœurs pour leur affection, leurs conseils et leurs encouragements. Nous tenons également à remercier nos amis d'être là pour ce travail.

Enfin, merci à toutes les personnes qui nous ont aidés de près et de loin et qui n'ont pas mentionné leurs noms.

DEDICACE

Le fruit de l'effort et du succès, par sa grâce, je le dédie à mes honorables parents,

que Dieu

les préserve, les protège et leur donne une longue vie.

À la mémoire de mes chers parents

*Aucune dédicace ne serait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que
j'ai*

toujours eu pour vous.

À mes frères.

À toute la généreuse famille qui m'a soutenue et continue à me soutenir.

à l'âme de mon oncle ben Salah

*Pour le Département De génie civil et mes collègues :bachir, salah, ben chakal,
bensaha, bouhaicha, .*

*À mes amis proches qui ont partagé ces moments avec moi, que Dieu les bénisse et
leur*

accorde le succès : khaled , bouhafs,

Lakhdar

DEDICACE

A mes très chers parents, source de vie et d'amour

A ma sœur et mes frères, source de joie et de bonheur

A toute ma famille, source d'espoir

A mon cher binôme «lakhdar Koul »

À vous cher lecteur

Abdelhadi

Résumé

À l'heure actuelle, les granulats ont été exploités de façon déraisonnable dans l'industrie de la construction. La demande de granulats augmente, Répondre aux exigences des grands projets de construction, Le gouvernement algérien a appelé à la restriction de l'utilisation des matériaux alluviaux et a adopté des lois (article 1 de la loi d'août 2005)

Dans ce travail, nous avons traité de l'effet du remplacement des granulats naturels (gravier) par des granulats recyclés pour fabriquer du béton recyclé. (50%, 75%, 100%).

Chaque type de béton, le rapport E/C a été installé. Les essais effectués ont permis de déterminer les caractéristiques de rendement du béton fait de granulats recyclés et l'impact de cet agrégat sur les propriétés physiques et mécaniques du béton.

Mots-clés : déchets, Béton recyclé, Agrégat recyclé, Propriétés physiques et mécaniques.

Abstract

At present, gravel has been unreasonably exploited in the construction industry. Demand for aggregates is increasing.

Meeting the requirements of major construction projects. The Algerian Government called for the restriction of the use of alluvial material and enacted laws (article of the Act of August 2005). In this work, we dealt with the effect of replacing natural aggregate (gravel) with recycled aggregate to manufacture new recycled concrete. Replacement ratios (50%, 75%, 100%).

Each type of concrete, the E/C ratio was installed. The tests performed allowed the determination of the performance characteristics of concrete made of recycled aggregate and the determination of the impact of this aggregate on the physical and mechanical properties of concrete.

Keywords: waste, recycled concrete, recycled aggregate, strength, physical and mechanical properties.

ملخص

في الوقت الحاضر، تم استغلال الحصى بشكل غير منطقي في صناعة البناء. الطلب على المجاميع أخذ في

الازدياد

تلبية احتياجات مشاريع التشييد الرئيسية. دعت الحكومة الجزائرية الى تقيد استخدام المواد الغرينية ووضعت قوانين (المادة من قانون آب/أغسطس 2005). في هذا العمل، تعاملنا مع تأثير استبدال الركام الطبيعي (الحصى) بالركام المعاد تدويره لتصنيع خرسانة جديدة معاد تدويرها. بنسب استبدال (50٪، 75٪، 100٪).

كل نوع من الخرسانة، تم تثبيت نسبة $E \setminus C$ أتاحت الاختبارات التي تم إجراؤها تحديد خصائص أداء الخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره وتحديد تأثير هذه الركام على خصائص الفيزيائية والميكانيكية الخرسانة. **الكلمات المفتاحية:** النفايات، الخرسانة المعاد تدويرها، الركام المعاد تدويره، القوة، الخصائص الفيزيائية والميكانيكية.

Table des matières

Remerciement :	I
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
ملخص.....	V
Table des matières	VI
List des figure	IX
List des Tableaux	XI
Liste des Notations :	XII
Introduction Générale	1

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction	4
II. Les composants du béton	4
II.1. Le ciment :	4
II.2. Les Granulats	5
II.2.1 Caractéristique des granulats	7
II.3. L'eau de gâchage :	13
II.4. Les adjuvants :	13
III. La formulation du béton :	13
IV. Les différents types du béton :	14
V. Propriétés du béton :	16
V.1. A' L'état Frais :	16
V.2. A' L'état Durci :	16
V.3. Propriétés de Durabilité :	18
VI. Conclusion	19

CHAPITRE 2: LES GRANULATS DE BETON RECYCLE

I. Introduction.....	21
----------------------	----

I.1 Les déchets de chantier :	21
I.2 Lois algériennes concernant les déchets :	21
I.3 Les types de déchets de chantier	22
I.4 La gestion des déchets	23
I.5. Le Traitement.....	23
II. Granulat Recyclé.....	24
II.1. Définition :	24
II.2 Utilisation Des Granulat Recyclés :	24
II.3 Les Avantages de l'emploi des granulats recyclés :	25
II.4 Préparation Des Granulats Recyclés	25
II.5. Le recyclage des granulats.....	26
II.5.1. Préparation avant concassage:	26
II.5.2. Concassage primaire	26
II.5.3. Concassage Secondaire :	26
II.6. Les classes principales des granulats recyclés.....	27
II.7. Norme de granulats recyclés	29
II.8. Propriétés des granulats de béton recyclé :	29
II.9. Caractéristiques physiques :	31
II.9.1. L'état Frais :	31
II.9.2. L'État Durci :	32
III. Conclusion	34

CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX UTILISENT

I. Introduction :	36
II. Matériaux utilisés :	36
III. Caractéristiques des matériaux :	36
III.1. Ciment :	36
A. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé :	36
B. Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :	37

III.2. Caractéristiques du Gravier :	37
III.2.1. Analyse granulométrique par tamisage:	37
III.2.2. La Masse Volumique	42
III.2.3. Caractéristique physiques du sable :	45
III.3. L'eau :	51
IV. Composition du béton:.....	51
IV.1. Méthode de calcul de la composition du béton:.....	52
IV.2. Formulation d'un béton référence :.....	52
IV.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse	52
V. Conclusion	56
CHAPITRE 4: RESULTATS ET INTERPRETATION	
I. Introduction :	58
II. Méthodologie adaptée pour les manipulations.....	58
II.1. Mode de préparation :	59
III. Essais à l'État Frais.....	61
III.1. Affaissement au cône d'Abram.....	61
IV. Essais à l'état durci.....	65
IV.1. Les essais non destructifs.....	65
IV.1.1. Essai ultrasonique :	65
IV.2. Les essais destructifs.....	69
IV.2.1. Essai de Résistance à la compression.....	69
IV.2.2. Essai de Résistance à la traction par fendage.....	70
IV.2.3. Résistance à la flexion.....	72
V. Conclusion :	73
Conclusion Générale.....	75
Référence Bibliographique	77
ANNEXES.....	79

List des figure

Figure 1 exemple de gravies	7
Figure 2 Exemple de courbes granulométriques de sable et gravillon	9
Figure 3 Exemple de béton ordinaire.....	16
Figure 4 les types des déchets.....	23
Figure 5 Granulats de débris de béton	27
Figure 6 Granulats de débris de maçonnerie	28
Figure 7 Granulats de débris hydrocarbonés	28
Figure 8 Granulats de débris mixtes	29
Figure 9 tamisage du gravies	38
Figure 10 Courbe granulométrique de graviers Naturel (3/8)	39
Figure 11 Courbe granulométrique de Graviers Naturel (8/15)	40
Figure 12 les étapes du recyclage du gravies.....	40
Figure 13 Courbe granulométrique de graviers Recyclés (3/8).....	41
Figure 14 Courbe granulométrique de Graviers Recyclés (8/15).....	42
Figure 15 la masse volumique apparent	44
Figure 16 équivalent de sable	47
Figure 17 photo de Tamisage du sable	49
Figure 18 courbe analyse granulométrique du sable	50
Figure 19 dosage en ciment	53
Figure 20 Analyse granulométrique par méthode de dreux-gorisse	55
Figure 21 Gravier recyclé trempé dans l'eau.....	59
Figure 22 les étapes de traitements des éprouvettes	59
Figure 23 gravies recyclé 8/15.....	60
Figure 24 gravies naturel 8/15	60
Figure 25 photo de Malaxeur de béton	61
Figure 26 photo de cône d'Abram	61
Figure 27 Graphe montre l'absorption d'eau	62
Figure 28 Affaissement du béton.....	63
Figure 29 Affaissement du cône d'Abram.....	63
Figure 30 photo de table vibration.....	64
Figure 31 photo des échantillons du béton	64
Figure 32 chambre d'humidité	65

Figure 33 photo d'Appareil ULTRA-SON	67
Figure 34 vitesses de propagation d'ondes (Km/S).....	68
Figure 35photo de Machine de compression de béton	69
Figure 36 Résistance à la compression des bétons à 7 jours et 28j	70
Figure 37 photo de Machine de traction par fendage	71
Figure 38Résistance à la traction par fendage	71
Figure 39 photo d'éprouvette après traction par fendage	72

List des Tableaux

Tableau 1 Classification des types du ciment [4].	4
Tableau 2 Les classes des granulats.	6
Tableau 3 Dimensions des tamis pour la spécification des classes granulaires.	8
Tableau 4 Classes granulaires usuelle	9
Tableau 5 Teneur en fines ($\leq 0,250\text{mm}$) recommandée en fonction de la dimension maximale des granulats pour le béton apparent.	10
Tableau 6 Classification des granulats en fonction de leur masse volumique.	12
Tableau 7 Caractéristiques chimiques du ciment utilisé.	36
Tableau 8 Caractéristiques physiques du ciment utilisé	37
Tableau 9 Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé	37
Tableau 10 Analyse Granulométrique Du Granulats Naturel (3-8) M=1000	38
Tableau 11 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (8/15) M=3000g	39
Tableau 12 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (3/8) M=3000g	41
Tableau 13 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (8/15) M=6000g	42
Tableau 14 La masse volumique apparente (ρ_{app}) du gravier naturel (3/8), (8/15)	44
Tableau 15 La masse volumique apparente (ρ_{app}) du graviers recyclés (3/8), (8/15)	44
Tableau 16 La masse volumique absolue (ρ_{abs}) du gravier naturel (3/8), (8/15)	45
Tableau 17 La masse volumique absolue (ρ_{abs}) du gravier recyclé (3/8), (8/15)	45
Tableau 18 Nature et qualité de sable	48
Tableau 19 Résultats d'essais d'équivalent de sable naturel 0/5	48
Tableau 20 Analyse granulométrique du Sable utilisé 0/5m= 500g	49
Tableau 21 Module de finesse du sable	50
Tableau 22 la masse volumique apparent du sable	51
Tableau 23 analyse chimique du sable 0/5	51
Tableau 24 qualité des granulats selon leur dimension	53
Tableau 25 valeur du terme correcteur K	54
Tableau 26 coefficient de compacité	56
Tableau 27 Composition du béton (kg/m^3)	58
Tableau 28 Absorbation d'eau et l'affaissement du béton	62
Tableau 29 vitesses de propagation d'ondes (Km/S)	67
Tableau 30 Résultats de corrélation de la résistance à la compression R_c (Mpa)	68
Tableau 31 Résistance à la compression des bétons à 7 jours et 28j	69

Tableau 32 Résistance a la traction par fendage.....	71
Tableau 33 Résistance de flexion	72

Liste des Notations :

Gravier : G

Sable : S

Le temps : T

Rapport eau sur ciment : E/C

Granulat recycle : GR

Granulat béton recycle : GBR

Module de finesse : MF

Masse volumique apparente : ρ_a

Masse volumique absolue : ρ_s

Coefficient Los Angeles : CLA

Dosage en ciment : C

Dimension maximale des granulats : D

Dimension Minimale des granulats : d

Résistance à la compression : R_c

La vitesse de propagation : V

Introduction Générale

Introduction Générale

Le génie civil est une branche du génie qui se spécialise dans la conception, la construction et l'entretien des bâtiments et des infrastructures municipales. L'infrastructure comprend les routes, les ponts, les voies ferrées, les centrales électriques, les systèmes d'eau et d'égouts, les barrages, les réservoirs, etc. Ces ouvrages de génie civil ont une durée de vie limitée, ce qui a conduit à la présence de déchets de démolition issus de la démolition de bâtiments et d'installations. Ils comprennent le béton, la brique, la pierre, le verre, le métal, le bois, le plastique, l'isolation, etc.

Les déchets de démolition sont l'un des plus grands problèmes environnementaux au monde, car ils polluent l'environnement et détruisent les zones naturelles et agricoles.

Les quantités de déchets de démolition varient selon le type et la taille de l'usine démolie et le type de matériaux utilisés dans la construction. Ces déchets sont généralement collectés dans une zone spécifique, répartis par type et traités de manière différente selon le type de matériau.

Les méthodes de traitement des déchets de démolition comprennent le recyclage, la réutilisation et l'élimination par des moyens tels que l'élimination sûre par stockage dans des sites spéciaux de déchets non dangereux, ainsi que l'utilisation de matériaux de construction. L'une des solutions disponibles pour la valorisation des déchets et le développement et l'innovation de nouveaux types de béton est le recyclage des gravats issus des déchets de démolition, qui présente de nombreux avantages environnementaux et économiques.

- Premièrement, il réduit l'accumulation de déchets de démolition dans les décharges.
- Il réduit également le besoin d'extraire les matières premières dans les carrières, ce qui préserve l'environnement naturel.
- Le gravier recyclé peut atteindre les mêmes qualités et performances que le gravier naturel selon les caractéristiques des déchets utilisés.

Il peut être utilisé dans de multiples applications telles que l'aménagement paysager pour les projets de génie civil, les routes et les trottoirs.

- Cela réduit souvent considérablement les coûts du projet par rapport à l'utilisation de gravier naturel.

Introduction Générale

- Enfin, il fournit des emplois dans le secteur du recyclage.

En Algérie, la demande de granulats augmente de plus en plus pour répondre aux besoins des grands projets mis en œuvre, l'interdiction d'extraction des matériaux placés (depuis le 4 juillet 2007 en Algérie (loi n° : 05/12/2005 du 04. / 08/2005) [10] , Et l'épuisement de Certains gisements naturels de granulats et les difficultés de mise en place de nouvelles exploitations de carrières rendent nécessaire la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en granulats. Des solutions qui s'offrent à nous qui nous paraissent les plus sages ; Nous avons choisi de recycler les décombres. Et la récupération des déchets est l'option d'aujourd'hui et est considérée comme une solution pour l'avenir Notre étude utilise des granulats grossiers recyclés (gravier) pour remplacer les granulats naturels avec différents taux de remplacement pour préparer le béton recyclé, et étudie systématiquement l'effet du taux de remplacement des granulats recyclés sur les propriétés physiques et mécaniques du béton.

Cette étude est divisée en deux parties. La première partie est une recherche bibliographique et une revue de la littérature de deux semestres permettant l'acquisition d'une connaissance approfondie des différents éléments de l'étude.

La deuxième partie est expérimentale, divisée en deux chapitres, et présente les objectifs, les matériaux utilisés, la méthodologie et les résultats.

- Une introduction présentant la problématique et les objectifs.
- Le premier chapitre présente une compilation bibliographique du béton et de ses composants.
- Le deuxième chapitre passe en revue la littérature sur le béton recyclé.
- Le troisième chapitre présente les matériaux utilisés et une étude expérimentale des propriétés des granulats recyclés et de l'effet de leur mélange sur les propriétés du béton frais et durci.
- Le chapitre 4 analyse les résultats et compare le béton recyclé total au béton de référence
- La conclusion générale clôt l'étude.

Cette étude vise à acquérir des connaissances sur le béton recyclé et à évaluer empiriquement ses performances.

CHAPITRE I :
Étude Bibliographique

I. Introduction

Le béton est un matériau de construction très utilisé, formé d'un mélange de ciment, de granulats et d'eau qui durcit par une réaction chimique d'hydratation. Sa résistance et sa durabilité dépendent de la quantité et de la qualité de ses constituants ainsi que des conditions de cure.

II. Les composants du béton

Le béton se compose généralement des matériaux suivants :

1. Le ciment est un liant hydraulique qui durcit avec l'action d'eau.
2. Les agrégats sont composés de gravier, de sable de mer et de sable concassé.
3. Eau de gâchage pour le Malaxage.
4. Les adjuvants.

II.1. Le ciment :

Le ciment est une poudre minérale et un liant hydraulique similaire à la chaux qui se transforme dans une pâte lorsqu'il est exposé à l'eau. Le ciment constitue une partie importante du béton, représentant entre 7 et 15 % du mélange, et contribue à ses diverses propriétés, y compris sa résistance.

La fabrication du ciment se déroule en quatre étapes distinctes :

- a. Extraction et concassage des matériaux.
- b. La matière première doit être mélangée & transformée en farine.
- c. La transformation de la farine en clinker par cuisson.
- d. Combiner le gypse et les ajouts au clinker.

Les types de ciments courants et leur composition selon les normes : La norme NBN EN classe les ciments en 5 catégories principales (CEM I à CEM V) :[4]

Tableau 1 Classification des types du ciment [4].

Le CEM I	ou ciment Portland, contient au moins 95 % de clinker (K) et au plus 5% de constituants secondaires. Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint, là où une résistance élevée est recherchée ainsi qu'un décoffrage rapide.
Le CEM II/A	ou B ou ciment Portland composé, contient au moins 65% de clinker (K) et au plus 35 % d'autres constituants secondaires : laitier de haut-fourneau (S), fumée de silice (D) (entre 6 et 10 %, pouzzolane

	naturelle (P), cendres volantes siliceuses (V), schiste calciné (T) et calcaire (L ou LL).
Les CEM II	sont adaptés pour le béton armé en général, coulé sur place ou préfabriqué, ainsi que pour des travaux massifs exigeant une élévation de température modérée ou encore pour des travaux exigeant des résistances initiales élevées (classe R).
Le CEM III/A	, B ou C ou ciment de haut-fourneau, contient entre 36 et 80 % de laitier de haut-fourneau (S) et 20 à 64 % de clinker (K).
Le CEM III/C	(également dit ciment de haut-fourneau) contient au moins 81 % de laitier de haut fourneau (S) et 5 à 19 % de clinker (K).
Le CEMIV/A	ou B est un ciment pouzzolanique.
Le CEM V/A	ou B ou ciment pouzzolanique au laitier contient de 20 à 64 % de clinker (K), de 18 à 49 % de laitier de haut fourneau (S) et de 18 à 49 % de cendres volantes siliceuses (V).
Les CEM III, CEM V	qui comportent du laitier de haut-fourneau sont bien adaptés aux travaux hydrauliques souterrains, aux fondations, aux travaux en milieu agressif, aux travaux à la mer, aux bétons de masse et généralement à tout travail nécessitant une faible chaleur d'hydratation. Leur utilisation permet de réduire les émissions de CO ₂ grâce à la substitution du clinker par d'autres constituants.

II.2. Les Granulats : [15]

On distingue les granulats laminés qui sont fabriqués à partir de ballasts naturels ou de rivières, tandis que les granulats concassés qui sont fabriqués à partir de roche concassée exploitée en carrière. Les granulats sont classés en fonction des dimensions des grains qui les composent, et la distribution en pourcentage des masses de matières passant dans les tamis aux dimensions normalisées est représentée par la courbe granulométrique

Les granulats occupent environ 70 % du volume du béton frais et remplissent l'espace. De plus, du fait de leur porosité ouverte, ils peuvent absorber une certaine quantité d'eau (effet

mouillant). Dans le béton durci, les agrégats apparaissent comme des inclusions dures.

Ils ont un impact significatif sur la résistance mécanique et la consistance du béton selon :

- Leur capacité mécanique ;
- Leur capacité d'adhérence avec la pâte liante ;
- Leur forme (roulés ou concassés) ;
- Leur diamètre maximal...

Il existe trois types de granulats différents : le sable (qui est rond ou concassé), le gravillon (parfois appelé gravier lorsqu'il est d'origine alluvionnaire (ces gravillons sont généralement arrondis) et la grave (également connue sous le nom de "mélange de gravillons et de sables").

Le terme filler est également couramment utilisé. Il désigne un granulat dont la plupart des grains passent au tamis de 0,063 mm et qui peut être ajouté aux matériaux de construction pour leur conférer certaines propriétés.

Tableau 2 Les classes des granulats [15]

Désignation	Définition	Exemples
Sable (rond ou concassé)	$D \leq 4 \text{ mm}$ et $d = 0$	0/1 0/2 0/4
Gravillon (gravier ou gravillon concassé)	$D \geq 4 \text{ mm}$ et $d \geq 2 \text{ mm}$	2/8 8/16 16/32 4/32
Grave (mélange de gravillon et sables)	$D \leq 45 \text{ mm}$ et $d = 0$	0/32



Figure 1 exemple de gravies

II.2.1 Caractéristique des granulats : [15]

Les exigences concernant les caractéristiques des granulats pour béton sont spécifiées dans la NBN EN 12620 "Granulats pour béton" et le PTV 411 "Codification des granulats".

Les caractéristiques principales des granulats pour béton sont les suivantes :

- caractéristiques géométriques telles que la granularité, la teneur en fines, la forme, la propreté du sable et la teneur en coquillages.
- caractéristiques physiques (Los Angeles, Micro-Deval, masse volumique et absorption d'eau, résistance au polissage)
- caractéristiques chimiques (pétrographie, classification des recyclés, soufre, sulfates solubles, chlorures, constituants influençant le durcissement du béton)
- caractéristiques de durabilité telles que la stabilité volumique, la réactivité alcali-silice et la résistance au gel-dégel.

A) Caractéristiques géométriques

- Granularité ou courbe granulométrique

La porosité du squelette granulaire, qui détermine la densité et la résistance du béton, est influencée par la granularité. Elle a également une influence considérable sur la demande en

eau et sur l'ouvrabilité du béton.

La granularité se définit par la répartition dimensionnelle des grains, exprimée en pourcentage de masse passant à travers un ensemble de tamis spécifiés. En utilisant une série de tamis normalisés pour tamiser le granulat, on peut obtenir un refus pour chaque tamis, ce qui permet de caractériser la dimension inférieure (d) et supérieure (D) des granulats, exprimée en d/D . Comme les classes granulaires d'un granulat ont généralement une masse volumique similaire, il est suffisant de spécifier la granularité en pourcentage de masse. Des exemples de courbes granulométriques sont présentés à la page suivante.

Le tableau (tab 3) montre les tamis qui séparent les classes granulaires (série de base et séries complémentaires). En Belgique, on utilise généralement l'expression "série de base + série 2".

En général, les granulats sont livrés et utilisés dans des classes granulaires bien définies (tab 4).

Lorsqu'une classe granulaire est absente partiellement ou totalement dans la composition d'un mélange de béton, on parle de granularité "discontinue". À l'endroit où la classe granulaire est manquante, la courbe granulométrique présente un palier horizontal ou légèrement incliné pour caractériser la granularité.

En général, une courbe continue est recherchée, ce que favorise une bonne ouvrabilité des bétons.

Tableau 3 Dimensions des tamis pour la spécification des classes granulaires

Série de base (mm)	Série de base + série 1 (mm)	Série de base + série 2 (mm)
0	0	0
1	1	1
2	2	2
5	5	5
-	5.6(5)	-
-	-	6.3(6)
8	8	8
-	-	10
-	11.2(11)	-
-	-	12.5(12)
-	-	14

16	16	16
-	-	20
-	22.4(22)	-
31.5(32)	31.5(32)	31.5(32)
-	-	40
-	45	-
-	-	56
63	63	63

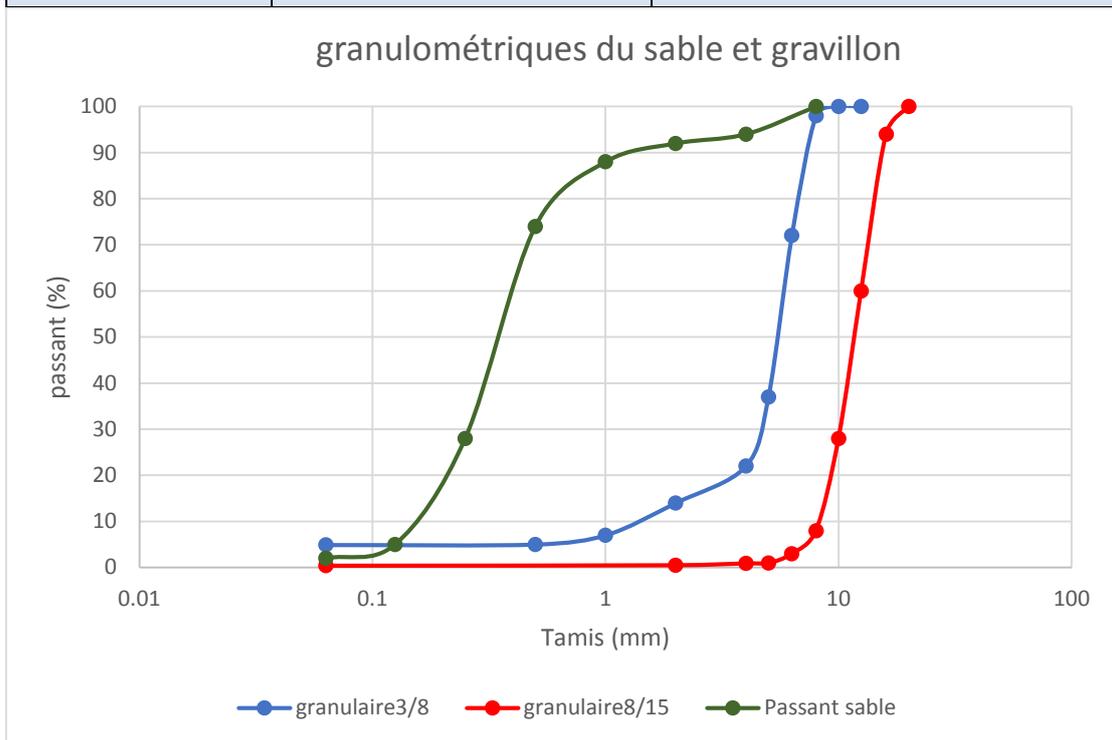


Figure 2 Exemple de courbes granulométriques de sable et gravillon

Tableau 4 Classes granulaires usuelle

Exemples de classes granulaires	Désignation selon NBN EN 12620
≤ 0.063 mm	Fines (filtre)
Classes granulaires	
0 – 5 mm	Sable
5 – 8 mm	Gravillon
8 – 16 mm	Gravillon
16 – 32 mm	Gravillon
≥ 32 mm	Gravillon

- Influence du sable et de la teneur en fines: [15]

La fraction de granulats de 0-5 mm a une influence primordiale sur la qualité globale du mélange de granulats. Sa porosité et la forme de ses granulats jouent un rôle important dans la demande en eau. Pour obtenir un bon mélange de sable à béton, environ un tiers des grains doivent se situer entre 0,250 et 0,500 mm. Par conséquent, il peut être nécessaire de reconstituer la fraction de 0-4 mm en utilisant du sable rond lavé (de mer et/ou de rivière), du sable concassé lavé et/ou du sable concassé sec (pour les bétons maigres).

Les fines (granulats de taille $\leq 0,250$ mm) jouent également un rôle déterminant dans la qualité du mélange. Des expériences ont montré que la teneur totale en fines (ciment, additions et la part des granulats de dimensions $\leq 0,250$ mm) doit être proche des valeurs indiquées dans le tableau 5.

Cette quantité de fines permet notamment :

- un pompage facile du béton
- une bonne qualité de parement
- une stabilité (absence de ressuage et de ségrégation) du béton. Il faut cependant veiller à ce que les fines soient propres.

Tableau 5 Teneur en fines ($\leq 0,250$ mm) recommandée en fonction de la dimension maximale des granulats pour le béton apparent.

Diamètre maximal des granulats (mm)	8	16	22.4	32
Teneur en fines (Kg/m³ de béton)	575	500	465	425

- Forme des grains:

La porosité, la forme, l'état de surface et la distribution dimensionnelle des grains ont une influence considérable sur le besoin en eau, l'ouvrabilité et la stabilité (ressuage) du béton, comme indiqué dans le tableau 6.

Des expériences ont montré qu'un mélange de béton contenant exclusivement des

classes granulaires de gravillons concassés peut être utilisé avec succès. Les granulats concassés améliorent la résistance mécanique du béton (traction, compression, abrasion), mais peuvent avoir un impact négatif sur l'ouvrabilité. La limitation des gravières exploitables conduit à un épuisement progressif des gisements de sables et de graviers roulés. C'est pourquoi l'utilisation de granulats concassés et recyclés sera de plus en plus courante à l'avenir. Cette pratique ne pose aucun problème, à condition que le volume de pâte de ciment soit ajusté en conséquence.

➤ Propreté des granulats :

La qualité du béton est affectée par une propreté insuffisante des granulats. Il en résulte, par exemple, une diminution de la prise et de la résistance au gel. Pour cette raison, de nombreux granulats doivent être lavés (fig 1.2), afin d'être exempts de matières organiques, dangereuses pour l'hydratation des ciments, et de particules argileuses, dont la nocivité sera appréciée par des essais tels qu'équivalent de sable et bleu de méthylène.

➤ Masse volumique et absorption d'eau:

La masse volumique des granulats est déterminée par leur origine minéralogique et leur porosité.

La masse volumique en vrac, calculée conformément à la NBN EN 1097-3, est la masse du matériau en vrac par unité de volume. Il est utilisé pour estimer un stock.

La masse volumique réelle (mesurée conformément à la norme NBN EN 1097-6) correspond à la masse de matériau séché à l'étuve par rapport à son volume dans l'eau, y compris le volume des pores fermés ou accessibles à l'eau. Elle est utilisée comme donnée d'entrée pour la formulation des bétons. Le taux d'humidité des granulats comprend l'eau à la surface des grains ainsi que celle absorbée par les grains.

Généralement, l'humidité des sables se situe entre 4 et 10% de la masse, tandis que celle des granulats plus gros ne dépasse pas 5%. Le taux d'humidité des granulats doit être pris en compte pour le calcul des volumes de granulats et de l'eau de gâchage.

L'eau absorbée par les granulats n'est pas disponible pour l'hydratation et la fluidité du béton. L'eau absorbée par les gravillons peut être néfaste pour la résistance au gel.

Los Angeles : Le coefficient Los Angeles détermine la résistance à la fragmentation d'un gravillon. Un faible coefficient LA signifie une bonne résistance à la fragmentation.

Autres caractéristiques éventuelles : Pour certaines applications (ex : béton pour revêtement routier), il est parfois nécessaire de spécifier certaines caractéristiques

supplémentaires : résistance à l'usure (via l'essai Micro-Deval MDE), résistance au polissage (via l'essai PSV anciennement CPA).

Tableau 6 Classification des granulats en fonction de leur masse volumique.

Granulats	Masse volumique réelle (Kg/m ³)	Nature des granulats	Utilisation
Granulats courants	2550 - 2800	Dépôts fluviaux, granulats concassés	Béton armé, produits enciment
Granulats lourds	≥ 3000	Barytine, minéral de fer, hématite, granulats en acier	Béton de protection contre les radiations
Granulats légers	≤ 2000	Agrile, schiste ou verre expansé, pierre ponce	Béton léger, béton isolant, béton de pente

B) Caractéristiques chimiques:

- Chlorure:

Il est important de connaître la teneur en ions chlorures solubles dans l'eau pour évaluer la quantité de chlorures présents dans le béton. La quantité de chlorures dans le béton doit être contrôlée pour limiter les risques de corrosion des armatures. Certains chlorures peuvent également accélérer la prise et le durcissement du béton. Ils se trouvent principalement dans les granulats marins peu ou pas lavés..

- Soufre et sulfates solubles:

Les teneurs en soufre total et en sulfates sont des caractéristiques régionales essentielles pour évaluer l'impact d'une source de granulat sur la durabilité des bétons par rapport à d'éventuelles réactions ettringétiques secondaires.

C) Caractéristiques de durabilité :

- Gélivité (Résistance au gel-dégel)

Si l'on veut que le béton résiste au gel, il est important de s'assurer que les gravillons utilisés ont une bonne résistance au gel-dégel. Les gravillons qui ont une absorption d'eau

inférieure ou égale à 1% et/ou un LA (Los Angeles) inférieur ou égal à 25 sont considérés comme non-gélifs, sans nécessité de tests supplémentaires. Cependant, certains granulats avec un coefficient d'absorption d'eau supérieur à 2% peuvent tout de même offrir une résistance adéquate au gel-dégel. Pour tester la gélivité des granulats, ils sont immergés dans l'eau, puis soumis à des cycles de gel-dégel, et leur perte de masse est mesurée par tamisage.

II.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage joue un double rôle dans la technologie du béton. D'une part, elle permet l'hydratation du ciment et, d'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et un bon compactage du béton.

La qualité de l'eau a une influence sur les caractéristiques du béton. Les eaux utilisées ne doivent contenir ni composés susceptibles d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension pouvant modifier ses propriétés d'origine. Il est donc important de faire preuve de diligence lors de l'utilisation d'eau de rejet ou de lavage.

II.4. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques ajoutés en petites quantités au béton frais pour améliorer certaines de ses propriétés. Leur efficacité dépend de l'homogénéité de leur distribution dans le béton. Les principaux adjuvants [7,8] sont :

- Les fluidifiants (ou réducteur d'eau).
- Les retardateurs de prise du ciment.
- Les accélérateurs de prise du ciment.
- Les entraîneurs d'air.

III. La formulation du béton :

Le choix des proportions de chaque composant du béton afin d'obtenir les propriétés souhaitées et le traitement souhaité s'appelle une formulation. La grande variété de bétons utilisés actuellement, avec des propriétés extrêmement variables, rend impossible l'élaboration d'un principe de formulation commun. En général, la formulation sera orientée vers les propriétés principales recherchées du matériau et adaptée en fonction des propriétés secondaires souhaitées.

Parmi les méthodes utilisées pour la formulation des bétons :

- Méthode de Bolomey.
- Méthode de Faury.
- Méthode de Valette.
- Méthode Dreux-Gorisse.
- Méthode de JOISEL.
- Méthode de VALETTE.

IV. Les différents types du béton :

Il existe une grande variété de bétons permettant de réaliser un projet de maçonnerie, on constate :

- **Le béton léger** : Le béton léger est très malléable et léger, efficace pour les travaux de rénovation, résistant aux chocs et bon isolant thermique. Il est souvent utilisé pour les murs porteurs et les dalles.
- **Le béton lourd** : Le béton lourd, quant à lui, utilise des granulats très lourds pour répondre à des besoins spécifiques, tels que les ouvrages dans les centrales nucléaires, où il est important de ne laisser passer aucune trace de radiation et de répondre à des normes de sécurité très strictes.
- **Le béton armé** : Le béton armé reprend les codes du béton pour fondation traditionnelle, mais auquel il est rajouté un nouveau matériau : l'acier. En posant des armatures de cette matière, la solidité d'une fondation en béton est renforcée. En effet, l'acier est un matériau très résistant aussi bien lorsqu'il est tracté ou comprimé.

Le principal objectif de ce béton est de compenser les principales faiblesses d'un béton plus conventionnel, à savoir sa résistance globale, et les risques de fissuration sur le plus long terme.

- **Le béton auto plaçant** : Le béton auto plaçant est un béton extrêmement fluide, facilitant sa mise en œuvre sur chantier sans vibration, ce qui permet un gain de temps considérable. Sa qualité une fois solidifié reste la même qu'un béton traditionnel.
- **Le béton fibré** : Le béton fibré, quant à lui, utilise des fibres pour renforcer la solidité générale de la fondation, limiter les risques de fissuration et améliorer sa résistance à long terme. Sa facilité de mise en œuvre sur chantier permet également un gain de temps.

- **Le béton prêt à l'emploi** : Les bétons prêts à l'emploi sont des bétons directement conçus par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la pompe à béton, soit par la goulotte.
- **Le béton précontraint** : Le béton précontraint est un béton qui reste dans un état de compression optimal grâce à des câbles de précontrainte en acier intégrés directement dans le béton, de la même manière que les armatures en acier dans le béton armé. Cet état de compression favorise une meilleure finition et permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions.

La précontrainte peut être appliquée avant le coulage du béton (pré-tension) ou après le durcissement du béton (post-tension) sur le chantier. La précontrainte par post-tension est généralement plus efficace mais plus difficile à mettre en œuvre que la précontrainte par pré-tension.

- **Le béton de ciment alumineux** : Le béton de ciment alumineux est composé de ciment alumineux, qui est un type de ciment à base d'aluminate de calcium. Ce type de ciment apporte différents avantages au béton : une prise plus rapide et une résistance plus importante sur le long terme, ainsi qu'une résistance accrue aux fortes chaleurs.
- **Le béton à haute performance** : Les bétons de haute-performance possèdent des caractéristiques beaucoup plus intéressantes que les bétons conventionnels. Ils sont à la fois plus résistants à la compression, et beaucoup plus fluides. Il s'agit également d'un béton moins poreux, protégeant ainsi plus efficacement les armatures préalablement déposées.
- **Le béton projeté** : est un béton projeté sur une surface solide à l'aide d'un projecteur d'air comprimé, ce qui permet de limiter l'affaissement et le coulage ultérieur du béton. En termes de composition, le béton projeté dispose de caractéristiques similaires à celles du béton utilisé pour les fondations plus traditionnelles.



Figure 3 Exemple de béton ordinaire

V. Propriétés du béton :

V.1. A' L'état Frais :

Maniabilité (ouvrabilité) : L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage, Pour étudier la maniabilité il faut étudier la fluidité.

Fluidités : La fluidité est évaluée par la capacité du béton de couler sous l'action de poids propres ou d'une vibration. Il existe plusieurs essais et testes divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. -affaissement ou cône d'abrams « slump-test » EN 18-451. -étalement à la table à secousses « flow-test » EN 12-358.

Ressuage : C'est la remontée éventuelle d'eau à la surface d'un béton avant prise. Cette remontée est liée au tassement sous l'effet de leur poids des éléments solides (ciment granulats) qui composent le matériau.

Ségrégation : C'est la séparation des petits et des gros grains dans le béton lors de différentes manutentions et en particulier de transport, la ségrégation conduit à l'hétérogénéité du béton et par conséquent à l'abaissement de la résistance.

V.2. A' L'état Durci :

Fluage et Retrait : Le retrait du béton est indépendant de tout chargement du matériau. Ce phénomène se produit dès la mise en œuvre du béton, pendant sa prise et son durcissement

et se développe au cours du temps. Le retrait du béton est une contraction dimensionnelle du béton due à des phénomènes chimiques et physiques. Le joint de retrait longitudinal et transversal, réalisé par traits de scie ou par mise en place d'un joint profilé PVC avant coulage de la dalle, permet le libre retrait du béton.

Le fluage propre du béton est conventionnellement la part de déformation différée d'un béton chargé sous une contrainte constante et protégé de la dessiccation. On l'obtient en laboratoire en protégeant le béton de la dessiccation et en mesurant en parallèle la composante de retrait endogène (hors dessiccation).

Porosité: La structure poreuse des bétons est constituée de pores capillaires et de pores d'hydrates. Les pores capillaires, les plus gros, influencent fortement les propriétés de transfert des bétons surtout lorsqu'ils sont interconnectés. Pour diminuer la porosité capillaire et son interconnexion il faut réduire le rapport E/C et soigner la cure. La peau du béton est en outre particulièrement sensible au séchage précoce ce qui peut conduire lorsque la cure est insuffisante à un arrêt de l'hydratation très préjudiciable à l'obtention d'un béton de qualité. La perméation et la diffusion ionique des bétons sont étudiées et les grandeurs associées (perméabilité et coefficient de diffusion effectif) sont définies. La mesure de ces grandeurs est délicate car le domaine de validité des lois qui les définissent est limité. Dans la pratique cela conduit à utiliser des protocoles de mesure bien précis.

Perméabilité : La perméabilité du béton représente la capacité du matériau poreux à être traversé par un fluide sous un gradient de pression. Elle dépend fortement du réseau poreux, de sa fissuration et de la teneur en eau du matériau. La perméabilité est également un paramètre pouvant influencer directement la durabilité des structures en béton en contrôlant la vitesse de pénétration d'agents agressifs. Elle influence directement la capacité de confinement d'une structure lorsqu'elle joue un rôle d'étanchéité.

La Résistance à la Compression : La résistance à la compression est la caractéristique la plus importante recherchée pour le béton durci. C'est sur elle que se basent le calcul et le dimensionnement d'une structure en béton. Elle dépend notamment de la quantité de ciment, du type de ciment et de la quantité d'eau. Conventionnellement, on classe le béton en fonction de sa résistance mécanique en compression mesurée à 28 jours. Elle est exprimée en mégapascals (MPa).

$$R_c = F/S$$

La Résistance à la Traction : Il existe trois méthodes utilisées pour déterminer la résistance à la traction.

1-Traction direct : Réalisée sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques ,et

consiste à appliquer à chacune des extrémités de l'éprouvette un effort de traction parfaitement centré afin d'être l'apparition d'un moment de flexion parasite .Il nécessite après sciage des extrémités de l'éprouvette sur un ou deux centimètres pour éliminer le béton dont la qualité est toujours perturbée ,le coulages des têtes de traction au moyen d'une colle dont la résistance est supérieure à celle du béton (Aral dite ou résine Epoxy) . Le dispositif comporte des tiges de traction centrées et articulées par rotules La résistance à la traction R_t , est donnée par la formule classique de la résistance des matériaux : $R_t = N/S$

2-Traction par fendage : Il consiste à rompre un cylindre entre les plateaux d'une presse de compression suivant deux génératrices opposées. Le contact des plateaux de la presse avec l'éprouvette est réalisé par l'intermédiaire de réglettes de contre –plaqué de 5 mm d'épaisseur et de largeur égale au 1/10 du diamètre du cylindre . La résistance à la traction par fendage R_{fd} d'une éprouvette cubique de cote ' ' a ' ' soumise à un effort de rupture N est donnée par la formule suivante :

$$R_{fd} = 2NK/(\pi a^2)$$

K : est un coefficient qui prend les valeurs 1,3 et 1,1 respectivement pour les bétons légers et les bétons lourds.

3-Traction par flexion : Il est le plus connu et le plus utilisé des trois essais il permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent dans les ouvrages La résistance à la traction par flexion d'une éprouvette prismatique en béton de section carrée de côté ' ' a ' ' soumise à un effort de rupture N serait alors :

$$R_{fl} = 1.8N/a^2$$

V.3. Propriétés de Durabilité :

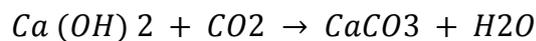
Un béton durable est un béton capable de résister à un degré satisfait aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration. Il conserve sa forme originale et sa qualité quand il est exposé à son environnement.

Attaque des bétons par les Acides et les Sulfates :

L'attaque sulfurique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé.

Résistance au gel-dégel : Les mécanismes de dégradation du béton sont liés à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordres est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations.

Carbonatation : La Carbonatation du béton due à l'action de l'acide carbonique CO_2 qui se trouve dans l'atmosphère (en faible quantité environ 0.5%) sur la chaux libérée par l'hydratation des carbonates de calcium $CaCO_3$. [35]



VI. Conclusion

Le béton aujourd'hui est présent dans notre environnement. Des milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde, ce qui en fait l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction. Il est possible de construire une variété d'édifices, tels que des bâtiments, des immeubles résidentiels, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, ainsi que des plateformes de forage pour le pétrole, grâce à son caractère polyvalent. De plus, il permet la fabrication de produits préfabriqués tels que des cloisons, des escaliers, des pavés, des planchers, des poutres, des tuyaux et des blocs. La durabilité et la résistance du béton varient en fonction de ses composants.

Le béton peut être moulé facilement et peut prendre une variété de formes, Les granulats et la matrice sont les deux principaux composants de sa construction.

Les granulats sont disponibles sous forme de sable, de gravier ou de caillou et représentent en moyenne 70 à 80 % du volume du béton. Ils sont traités comme des inclusions et considérés comme un renfort mécanique. Des granulats sont fabriqués à partir de carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires ou bien d'autres sources artificielles telles que des laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils affectent la compacité et les caractéristiques mécaniques du matériau.

Les granulats sont enrobés et liés entre eux par la matrice liante. Une structure complexe et poreuse facilite les échanges internes et externes. Il existe diverses variétés de matrices, telles que la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Selon une analyse plus approfondie, la structure du béton est hétérogène dans un domaine de dimensions très large.

Chapitre II

Les granulats de béton Recyclé

I. Introduction

Le travail que nous effectuons dans ce chapitre commence par la définition des déchets de construction et leur gestion conformément aux lois algériennes. Ensuite, il souligne les avantages économiques et écologiques du recyclage du béton par l'utilisation d'agrégats recyclés. Le texte présente en détail les agrégats recyclés, leur utilisation dans les travaux de construction pour remplacer les agrégats naturels dans la plupart des utilisations classiques.

I.1 Les déchets de chantier :

Les déchets structurels sont définis comme les matériaux et les résidus produits lors de la construction et de la remise à neuf des bâtiments et des structures, et comprennent généralement les pierres, les briques, le ciment, le béton, le bois, les métaux, le verre, le plastique, les isolants et de nombreux autres matériaux. Les déchets de construction sont l'un des types de déchets les plus fréquents dans de nombreuses villes et zones urbaines du monde. Les déchets de construction causent plusieurs problèmes d'environnement et de santé, car ils s'accumulent dans les espaces publics et vident les terres de façon indésirable, ce qui entraîne une pollution de l'environnement et des répercussions négatives sur la santé publique et les quartiers. Par conséquent, de nombreux gouvernements, institutions et organisations concernées sont désireux de promouvoir le recyclage des déchets de construction et leur utilisation dans d'autres processus de construction et de construction, contribuant à réduire le volume des déchets accumulés et à améliorer l'environnement et la santé publique.

I.2 Lois algériennes concernant les déchets :

- Loi n°01-19 du 12/12/2001 : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur génération à leur élimination ;
- Loi n°03-10 de la 19/07/2003 : relative à la protection de l'environnement et au développement durable, consacre les principes généraux d'une gestion écologique rationnelle ;
- Loi n°04-20 du 25 décembre 2004 : relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, définit clairement les responsabilités de chacun des acteurs impliqués dans le domaine de la prévention au niveau des zones et des pôles industriels.

I.3 Les types de déchets de chantier

Il existe de nombreux types de déchets de construction, dont les plus importants sont:

1. Béton et briques : 55% Ces déchets comprennent les débris résultant des opérations de construction et de démolition et sont assemblés sur leurs propres sites pour être réutilisés dans d'autres opérations de construction.

2. Bois : 20% Ce type de déchets se compose de vieux meubles et de bois utilisés dans la construction et la construction, et est recueilli et converti en matériaux de recyclage tels que le papier et le carton.

3. Verre et plastique : 5% Ces déchets comprennent le verre brisé et le plastique utilisé dans la construction, et sont collectés et recyclés pour produire de nouveaux produits.

4. Métaux : 15% Ces déchets comprennent les métaux utilisés dans la construction, comme l'acier, l'aluminium, le cuivre et le fer, et sont recueillis et convertis en matériaux de recyclage pour produire différents produits.

5. Matériaux isolants : 5% Ces déchets comprennent les matériaux isolants utilisés dans la construction, tels que la fibre de verre et le polystyrène, et sont collectés, démontés et recyclés.

Nous devons tous coopérer pour réduire le volume des déchets de construction et les transformer en matériaux de recyclage, contribuant ainsi à réduire leurs impacts négatifs sur l'environnement et la santé publique.

Le recyclage des déchets de destruction pourrait être amélioré au moyen d'une déconstruction sélective.

Tandis que 97% des déchets du bâtiment sont des déchets inertes réutilisables dans des remblais ou. À l'heure actuelle, seulement 66 % sont sous-classes. La généralisation de la déconstruction, le recyclage sélectif pourrait faire progresser les choses.

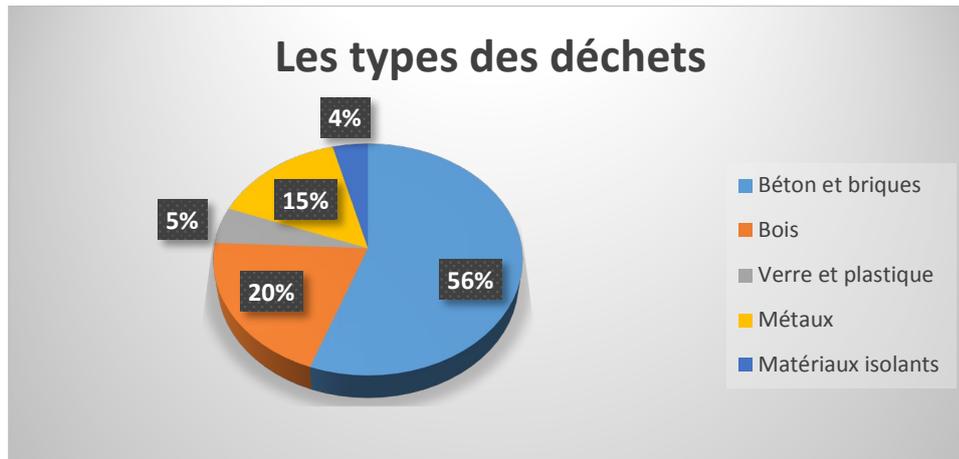


Figure 4 les types des déchets

I.4 La gestion des déchets

La gestion des déchets est un enjeu important pour la protection de l'environnement et de la santé publique. Elle vise à minimiser les impacts négatifs des déchets sur l'environnement, la santé et la qualité de vie des populations.

La gestion des déchets commence par la collecte des déchets, qui peut être effectuée par des collectivités locales, des entreprises privées ou des organisations communautaires. Les déchets sont ensuite transportés vers des installations de traitement appropriées, qui peuvent inclure des centres de tri, des décharges, des incinérateurs, des installations de compostage ou des usines de recyclage.

L'objectif de la gestion des déchets est de minimiser la quantité de déchets produits et d'optimiser leur valorisation. Cette approche implique la mise en place de politiques de prévention des déchets, telles que la réduction à la source, le réemploi, le recyclage et la valorisation énergétique. Elle implique également la sensibilisation et l'éducation des citoyens aux bonnes pratiques de gestion des déchets.

I.5. Le Traitement (Recyclage)

Le recyclage des matériaux de construction et de démolition peuvent contribuer à la réduction des déchets et à la préservation des ressources naturelles. Les matériaux de déconstruction peuvent être collectés sur les chantiers de démolition et transportés vers des centres de recyclage, où ils seront triés, nettoyés et transformés en nouveaux matériaux.

Le recyclage des matériaux de construction et de démolition s'inscrit dans la stratégie dite des "trois RV" : Réduire, Réutiliser, Recycler et valoriser. Cette stratégie vise à minimiser la quantité de déchets produits, à promouvoir la réutilisation des matériaux et à encourager le recyclage des matériaux qui ne peuvent pas être réutilisés.

La valorisation des déchets de démolition et de réhabilitation aux granulats est une forme de valorisation énergétique qui consiste en la transformation des déchets en granulats pour leur réutilisation dans la construction de routes, de trottoirs et d'autres infrastructures. Cette méthode permet de réduire la quantité de déchets envoyée en décharge et de préserver les ressources naturelles en utilisant des matériaux recyclés.

Il est important de noter que la qualité des matériaux recyclés peut varier en fonction des procédés de tri, de nettoyage et de transformation utilisés. Il est donc important de mettre en place des normes et des réglementations strictes pour garantir la qualité des matériaux recyclés et leur sécurité pour les utilisateurs finaux.

II. Granulat Recyclé

II.1. Définition :

Dans cette revue de littérature, il est primordial de définir clairement le terme "granulat recyclé". Il fait référence à un granulat obtenu à partir du recyclage de débris de démolition, en opposition aux "granulats naturels" extraits de carrières ou de sablières. Le terme "granulat recyclé" peut également désigner un granulat issu du recyclage du béton. Cependant, peu d'informations sont disponibles à ce sujet dans la littérature. Pour cette étude, les granulats recyclés dont il est question sont des granulats recyclés de démolition. Le terme "granulats" est utilisé pour décrire la fraction grossière (5 mm à 20 mm) des granulats incorporés dans les mélanges de béton, car cette étude se concentre sur cette fraction. Les matériaux granulaires ciblés par cette étude répondent aux normes MR-1 et MR-2 de la norme BNQ 2590-600/2002, qui présente la classification et les caractéristiques des matériaux recyclés. Ces granulats sont composés majoritairement de résidus provenant du concassage du béton de ciment et peuvent contenir une faible teneur en enrobé bitumineux.

II.2 Utilisation Des Granulat Recyclés :

Les granulats recyclés sont utilisés dans divers domaines tels que la confection de nouveaux bétons de bâtiment, les travaux de routes, la fabrication de ciment, etc. Cependant, ces applications doivent respecter certaines normes.

L'étude bibliographique réalisée montre que les granulats de bétons concassés recyclés ont une absorption d'eau plus élevée, une masse volumique plus faible et une homogénéité moindre par rapport aux granulats naturels. Ces différences ont pour conséquence une perte d'ouvrabilité du béton frais, une résistance mécanique plus faible et une vitesse de carbonatation

plus élevée des bétons durcis constitués de granulats de bétons recyclés.

En présence d'une fraction sable de bétons concassés (0/4 mm), ces phénomènes sont encore plus prononcés. Cependant, ces inconvénients peuvent être compensés en ajoutant 10 à 15 % de ciment supplémentaire et un fluidifiant.

Il est également important de noter que les granulats recyclés dont la granulométrie est comprise entre 20 et 63 mm sont principalement utilisés pour les terrassements ou les chaussées. Pour la stabilisation de plates-formes et la consolidation des sols, il est recommandé d'utiliser des matériaux recyclés ayant une granularité de 20/60 et 30/80.

II.3 Les Avantages de l'emploi des granulats recyclés :

La valorisation des matériaux de construction, comme le ciment, présente de nombreux atouts en termes de préservation des ressources naturelles. En effet, la valorisation d'une tonne de ciment peut permettre d'économiser jusqu'à 1360 galles d'eau et 900 kg de CO₂, tout en réduisant le besoin d'extraction de nouvelles matières premières.

De plus, la valorisation des matériaux de construction peut diminuer la pollution liée au transport des déchets vers les décharges, tout en réduisant les coûts de transport des matériaux et des déchets. Cela peut également permettre de libérer de l'espace dans les décharges, dont les volumes et l'utilisation sont voués à se restreindre.

La valorisation des matériaux de construction peut répondre à une large palette d'applications, allant des simples remblais aux assises de chaussées supportant un trafic lourd, en utilisant des matériaux "locaux" nécessitant moins de transport. En somme, la valorisation des matériaux de construction peut apporter des avantages économiques, environnementaux et sociétaux significatifs.

II.4 Préparation Des Granulats Recyclés

Un tri est indispensable pour séparer les bétons des autres matériaux (plâtre, PVC, armatures, ...), lors de la déconstruction de bâtiments ou d'infrastructures, puis lors du traitement des déchets sur les plateformes de tri et de regroupement. Une fois les déchets triés et séparés, le béton est concassé, déferrait puis passé au crible. Des traitements complémentaires peuvent avoir lieu si l'on souhaite rendre la matière finale encore plus pure. Après ces opérations, le béton se retrouve sous forme de gravillons ou de gravats. Il subit un contrôle en laboratoire pour vérifier la composition du produit fini et écarter tout risque de pollution.

II.5. Le recyclage des granulats

Afin d'obtenir des niveaux de qualité proches de ceux des granulats naturels qu'ils peuvent remplacer, les matériaux issus de la déconstruction doivent être traités dans des centres de recyclage.

Les installations de traitement peuvent être fixes ou mobiles, ces dernières permettant d'intervenir ponctuellement sur des chantiers de déconstruction ou dans des zones de recyclage et comporter selon les cas :

II.5.1. Préparation avant concassage:

Elle est consisté à :

- Réduire les plus gros éléments à l'aide d'une brise roche hydraulique
- Couper les éléments au moyen d'une cisaille
- Éliminer les plus grosses impuretés

II.5.2. Concassage primaire (le pré criblage) :

Le concassage se fait à l'aide d'un concasseur à percussion ou à mâchoires, suivi d'un ferrailage électromagnétique, Selon les installations :

- Un criblage préalable peut être effectué pour éliminer les matériaux à faibles caractéristiques.
- Un tri manuel consécutif permet d'enlever les impuretés résiduelles (bois, papier, plastique).

Dans les installations primaires, le concassage se fait en une seule étape.

II.5.3. Concassage Secondaire :

- Concerne la fraction supérieure issue du concassage primaire.
- Nécessite au moins deux étages de concassage.
- Peut inclure un séparateur magnétique et des tables de lavage et densimétriques.

Les centres de recyclage proposent une technologie variable :

- Du simple concasseur à mâchoires sans criblage ni épuration
- Aux installations industrielles sophistiquées disposant de 2 à 3 étages de concassage,

criblage et épuration.

Les installations peuvent être fixes ou mobiles :

- Les installations fixes sont les plus élaborées.
- Elles permettent de produire une plus grande variété de matériaux.

II.6. Les classes principales des granulats recyclés

D'une manière générale, il y a quatre classes des granulats recyclés.

- 1- Granulats de débris de béton proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil (bétons ou béton armé)

Les granulats issus des débris de béton sont des matériaux granulaires produits par le broyage et le concassage des débris de béton provenant de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures en béton ou béton armé. Ils peuvent être réemployés pour la fabrication de nouveaux bétons, de remblais et d'autres applications de construction, ce qui permet de diminuer les coûts de production et la quantité de déchets de construction envoyés en décharge. Il est cependant crucial de s'assurer que les granulats issus des débris de béton utilisés répondent aux normes en vigueur.



Figure 5 Granulats de débris de béton

- 2- Granulats de débris de maçonnerie proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments

Les granulats issus de débris de béton, de maçonnerie et d'origines mixtes peuvent être réemployés pour la fabrication de nouveaux matériaux de construction, pour remblayer et dans d'autres applications similaires. La réutilisation de ces granulats peut diminuer les coûts de production en utilisant des matériaux recyclés plutôt que des matériaux neufs, et réduire la quantité de déchets de construction envoyés aux décharges.



Figure 6 Granulats de débris de maçonnerie

- 3- Granulats de débris hydrocarbonés proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes...) de la démolition de parkings

Les granulats issus de débris hydrocarbonés constituent un matériau granuleux formé de fragments de plastique, de résidus pétroliers et d'autres déchets hydrocarbonés, produits couramment lors du nettoyage de déversements d'hydrocarbures dans l'environnement. Ils peuvent servir de combustible dans les installations industrielles mais doivent être manipulés avec précaution pour prévenir tout effet nocif sur l'environnement et la santé publique.



Figure 7 Granulats de débris hydrocarbonés

- 4- Granulats de débris mixtes proviennent de la construction/ rénovation démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles....)

Les granulats issus de débris divers constituent des matériaux granuleux provenant des travaux de construction, de rénovation et de démolition de bâtiments. Ils sont produits par le broyage et le concassage de débris variés de matériaux de construction tels que briques, blocs, tuiles, béton, mortier et pierre.



Figure 8 Granulats de débris mixtes

II.7. Norme de granulats recyclés : (article NA.5.1.3 Granulats).

La norme NF EN 206/CN autorise l'utilisation de granulats recyclés issus du démantèlement pour formulation du béton précisant les conditions et limites d'emploi (article NA.5.1.3 rassemblement). Les granulats recyclés doivent être obtenus par transformation de matières minérales précédemment utilisées dans la construction et conforme aux Normes sur les Granulats (NF EN 12620+A1 et NF P 18-545) ; qui déterminent les propriétés et les propriétés des agrégats recyclés.

II.8. Propriétés des granulats de béton recyclé :

La principale particularité des granulats issus du recyclage du béton est l'existence d'une gangue de ciment ancien attachée aux granulats naturels primaires. Elle a une influence importante sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés, car elle détermine, en grande partie, les caractéristiques géométriques (forme, état de surface), physiques (porosité et absorption d'eau). Mécaniques (friabilité, résistance aux chocs et à l'usure) et physico-chimiques de ces granulats (ils ne peuvent pas être considérés comme inertes).

Lorsque les granulats issus du recyclage proviennent de démolition, une particularité apparaît : la présence de diverses impuretés indésirables.

On trouve ainsi des impuretés minérales comme le gypse, le verre, les chlorures ou les briques, mais aussi des impuretés organiques comme le papier, le bois ou les plastiques.

Cette présence d'impuretés introduit une importante hétérogénéité des granulats recyclés, ce qui pose des problèmes liés à l'échantillonnage et la représentativité des résultats lors de leur caractérisation, mais aussi des problèmes liés à la durabilité des bétons incorporant ces granulats.

- Influence de l'ancien mortier colle au granulat de béton recycle :

Une des tares du granulat issu de la démolition, est l'ancien mortier collé au granulat et qui ne peut être éliminé facilement. Sa quantité est aléatoire et dépend de la qualité d'adhérence granulat-pâte de ciment et ainsi que de la puissance de concassage lors de la fabrication des recyclés. Cette quantité de mortier attaché aux granulats recyclés porte atteinte à la résistance du béton à long terme.

Démonstré que si le rapport E/C du béton d'origine est faible, l'effet de la pâte cimentaire n'influe pas beaucoup la résistance à long terme. Néanmoins, la quantité du mortier attaché aux granulats recyclés influe la résistance à la flexion et l'énergie de rupture, elles diminuent avec l'augmentation de la quantité du mortier.

- Influence de la forme et la texture de surface des granulats :

La forme et la texture des granulats influent grandement sur la résistance des bétons. Cette dernière dépend en grande partie des propriétés du gros granulat : elle est plus faible avec des granulats à surface lisse par rapport à ceux à surface rugueuse et à forme anguleuse, obtenus par concassage. La résistance à la compression des bétons à base de granulats lisses est inférieure de 10% à celle des bétons à base de granulats rugueux.

- Impact Du Remplacement Du Granulat Naturel :

Plusieurs propriétés du béton et du mortier sont modifiées par le remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé. L'impact sur les propriétés du béton de cette substitution peut être complexe à évaluer car il dépend de nombreux facteurs.

En effet, les études sur les propriétés des bétons recyclés varient beaucoup au niveau des variables évaluées, des formulations, des types de liants utilisés et des types de granulats recyclés. Les facteurs qui influent sur les propriétés du béton recyclé sont notamment : les types de liants, la source des granulats recyclés, le taux de substitution, le rapport eau/ciment et la teneur en eau des granulats.

II.9. Caractéristiques physiques :**II.9.1. L'état Frais :****a) Ouvrabilité :**

L'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication du béton peut avoir un effet sur l'affaissement du béton par rapport à un béton de granulats naturels, pour un même rapport E/C (eau/ciment). En effet, l'utilisation de granulats recyclés peut entraîner une réduction de l'affaissement du béton, en raison de la grande absorption et de l'angularité des granulats recyclés.

Cependant, cela peut également entraîner une augmentation de la demande en eau du béton, ce qui peut augmenter la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un affaissement donné. En effet, les granulats recyclés ont tendance à avoir une surface plus rugueuse et une forme plus anguleuse, ce qui crée plus de friction interne dans le béton.

En somme, l'utilisation de granulats recyclés peut avoir un effet sur l'affaissement et la demande en eau du béton, ce qui nécessite une adaptation du rapport E/C pour obtenir les caractéristiques souhaitées du béton. Cependant, l'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication du béton peut également contribuer à la préservation des ressources naturelles et à la réduction des déchets de construction.

b) La Granulométrie et le module de finesse :

De manière générale, les granulats recyclés se caractérisent par une courbe granulométrique homogène et continue, mais les sables recyclés sont sensiblement plus grossiers que les sables naturels utilisés dans les bétons ordinaires.

Les fines présentes dans les granulats recyclés sont essentiellement composées de ciment ancien et peuvent influencer aussi bien les caractéristiques des bétons à l'état frais (quantité d'eau requise, maniabilité, temps de prise) que celles des bétons durcis.

c) Masses volumiques :

En raison de la faible densité de la gangue de ciment, de la porosité plus élevée et des impuretés plus légères présentes dans les granulats recyclés, leur masse volumique est plus faible que celle des granulats naturels silico-calcaires couramment utilisés dans les bétons.

d) L'absorption d'eau par les granulats recyclés :

Au moins deux effets principaux de l'absorption d'eau par les granulats recyclés sont à considérer :

- Sur la plasticité et l'ouvrabilité du béton à l'état frais

Cette absorption d'eau influe sur la demande en eau du mélange et donc sur la maniabilité du béton frais.

- Sur la structure poreuse du béton et, partant, les propriétés mécaniques et la durabilité du béton durci.

L'eau absorbée par les granulats peut entraver la formation d'une pâte de ciment homogène et dense, affectant les propriétés du béton durci.

La porosité capillaire plus élevée de la pâte de ciment au sein du granulats recyclé apparaît plus jaunâtre en lumière UV que celle de la pâte de ciment environnante plus dense.

Les granulats recyclés présentent une absorption d'eau plus élevée que les granulats naturels en raison de leur porosité accrue.

La porosité des granulats recyclés est bien supérieure à celle des granulats naturels habituellement utilisés.

La porosité totale du sable recyclé a été évaluée à 13%.

II.9.2. L'État Durci :

a) Fluage et Retrait :

L'utilisation d'agrégats recyclés dans le béton entraîne une contraction due à la forte absorption de ces agrégats. Certaines études montrent qu'à l'âge de 90 jours, le retrait du béton à base de granulats recyclés peut atteindre 0,55 à 0,8 mm/m, contre seulement environ 0,30 mm/m pour un béton à base de granulats naturels.

Cependant, les résultats des essais de fluage en conditions de laboratoire normales ne sont pas aussi évidents, certaines études ayant montré une tendance inverse, à savoir un fluage après 1 an d'environ 20 % inférieur à celui du béton avec des granulats naturels.

Bien que davantage de recherches soient nécessaires dans ce domaine, il semble que le comportement global des bétons à base de granulats recyclés et de granulats naturels puisse être comparable quand on considère l'effet combiné du retrait et du fluage.

b) Porosité:

Les essais de porosité par injection de mercure montrent d'une part un volume important de gros pores dans les bétons de granulats recyclés.

La porosité des bétons de granulats recyclés est généralement corrélée à leur capacité

d'absorption élevée.

Cette forte capacité d'absorption des bétons de granulats recyclés est liée à une forte porosité de ce matériau.

Le taux de ciment dans le béton parent influe également sur la Porosité des bétons de granulat recyclé. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pâte de ciment.

c) Perméabilité :

Selon, lorsque le rapport E/C est supérieur à 0,55 la présence de granulats de recyclage ne modifie pas cette propriété. Par contre pour des faibles valeurs du rapport E/C, la perméabilité des bétons recyclés est supérieure à celles des bétons conventionnels. [7]

d) Résistance à la traction et à la flexion:

Les résultats concernant la résistance à la traction des bétons recyclés diffèrent quelque peu Toutes les études montrent une perte de résistance pour le béton recyclé par rapport au béton classique, mais certaines rapportent une réduction de 15 à 20% pour un taux de substitution de 100% tandis que d'autres indiquent une perte de moins de 10% pour des essais effectués à 28 jours.

e) La Résistance à la compression :

Étant donné que les granulats recyclés ont une densité inférieure à celle des granulats naturels du fait de la présence de mortier adhérent, la résistance à la compression des bétons de granulats recyclés est généralement plus faible.

Cependant, la résistance du béton ne dépend pas uniquement de la résistance mécanique des granulats, mais également, dans une certaine mesure, de leurs propriétés d'absorption et d'adhérence.

f) Module d'élasticité :

Le module d'élasticité, représenté par la pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation, est influencé principalement par :

- La teneur en mortier résiduel
- Le rapport E/C
- La teneur en air du béton.

Le module d'élasticité d'un béton de granulats recyclés fabriqué à partir de graves et de sables est d'environ 25% à 40% inférieur à celui d'un béton ordinaire.

Pour un béton fait de graves seules, le module est inférieur de 10% à 33%, variant selon le rapport E/C et le taux de substitution des granulats.

Cette diminution du module d'élasticité semble principalement liée à la forte porosité des bétons recyclés.

L'importance du recyclage des déchets de chantiers, en particulier du béton, pour des raisons économiques et écologiques. Le secteur du bâtiment et des travaux publics génère des millions de tonnes de déchets chaque année qui n'est pas valorisés. Les granulats recyclés, leur définition, leurs sources, leurs classifications et leur développement, ainsi que les propriétés du béton à base de granulats recyclés à l'état frais et durci.

Les multiples utilisations des granulats recyclés dans les travaux de construction, notamment en sous-fondation, voirie, fondation de bâtiments industriels et de parkings, ainsi que dans la construction de béton maigre.

III. Conclusion

Notre travail dans ce chapitre commence par la définition des déchets de chantiers et leur gestion en conformité avec les lois algériennes. Ensuite, il met en avant les avantages économiques et écologiques du recyclage du béton à travers l'utilisation des granulats recyclés. Le texte présente en détail les granulats recyclés, leur utilisation dans les travaux de construction en remplacement des granulats naturels dans la plupart des utilisations traditionnelles. Enfin, le chapitre décrit les propriétés du béton à base de granulats recyclés à l'état frais et durci, ce qui permet de mieux comprendre les avantages de son utilisation dans les travaux de construction.

CHAPITRE III

Caractéristique Des Matériaux Utilisent

I. Introduction :

Ce chapitre aborde les matériaux étudiés en présentant leurs caractéristiques, ainsi que les calculs de formulation du béton. En outre, les modes opératoires des essais non destructifs (ultrasons) et destructifs (compression, traction) sont décrits.

II. Matériaux utilisés :

Nous avons utilisé des matériaux locaux et étudié empiriquement leurs propriétés. D'autres travaux dans le cadre de ce projet ont fait l'objet d'essais que nous avons menés au Laboratoire des Travaux Publics Sud (LTPS).

III. Caractéristiques des matériaux :**III.1. Ciment :**

Le ciment utilisé est un ciment portland artificiel de type « CPA-42,5 », avec une proportion de gypse et d'aluminates inférieure à celle d'un ciment portland composé

A. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé :

Tableau 7 Caractéristiques chimiques du ciment utilisé

Paramètre	Valeur
Pert au feu	7.5 – 12
Résidus insoluble	0.7 – 2
Teneur en sulfates so ₃	2 - 2.7
Teneur en oxyde de magnésium	1 - 2.2
Teneur en chlorures	0.01 - 0.05
Teneur équivalent en alcalis	0.3 - 0.75

B. Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :*Tableau 8 Caractéristiques physiques du ciment utilisé*

Caractéristique	Valeurs	Unité
S.S. Blaine (NA 231)	4150 – 5250	Cm ² /g
Consistance normale	25 – 28.5	%
Début de prise (NA 230)	140 – 195	Min
Fin de prise (NA 230)	195 – 290	Min
Retrait à 28 jours	<1000	µm/m
Expansion	0.3 – 2.5	Mm

Tableau 9 Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé

Age	2 jours	28 jours
résistance à la compression	Différent \geq 10Mpa	\geq 42.5Mpa

III.2. Caractéristiques du Gravier :

Le gravier utilisé pour la confection du béton est le gravier de Carrière robot obtenue après concassage de la roche. Les fractions utilisées sont : (3/8), (8/15).

III.2.1. Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-1] :**A. Gravier Naturel :**

Principe de l'essai : L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique.

Domaine d'application :

L'essai appliqué aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilise dans le domaine du génie civil.

Préparation de l'échantillon pour l'essai : L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5).

La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à 0,2 D, avec M exprimé en grammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres.

L'opération du tamisage du gravier 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 pendant 07 minutes



Figure 9 tamisage du gravies

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants

Tableau 10 Analyse Granulométrique Du Granulats Naturel (3-8) M=1000

Tamis(mm)	Refus (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé(%)	Tamisât(%)
12.5	0	0	0	100
10	3	3	0.3	100
8	17.2	20.2	2	98
6.3	261	281.2	27.9	72
5	353.3	634.5	62.9	37
4	148.2	782.7	77.6	22
2	87.5	870.2	86.3	14
1	65.1	935.3	92.8	7
0.5	20	955.3	94.7	5
0.063	2	957.3	94.9	4.9

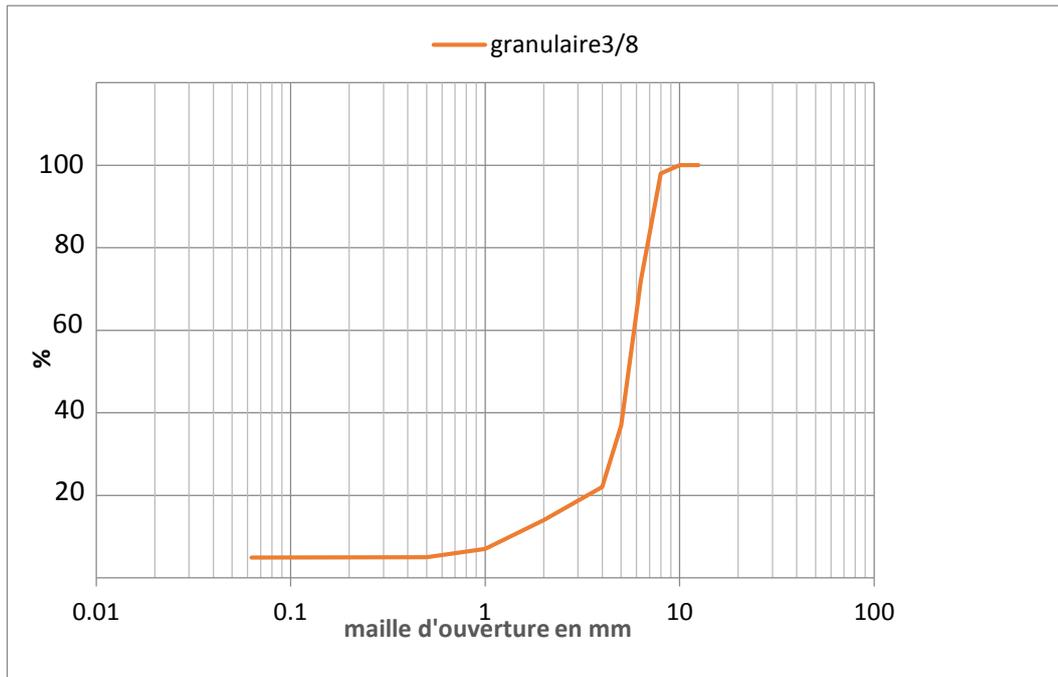


Figure 10 Courbe granulométrique de graviers Naturel (3/8)

Tableau 11 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (8/15) M=3000g

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
20	0	0	0	100
16	173	173	6.1	94
12.5	969.5	1142.5	40.3	60
10	883.2	2025.7	71.5	28
8	569	2594.7	91.6	8
6.3	162.3	2757	97.4	3
5	33	2790	98.5	1
4	16	2806	99.1	0.9
2	10	2816	99.5	0.5
0.063	3	2819	99.6	0.4

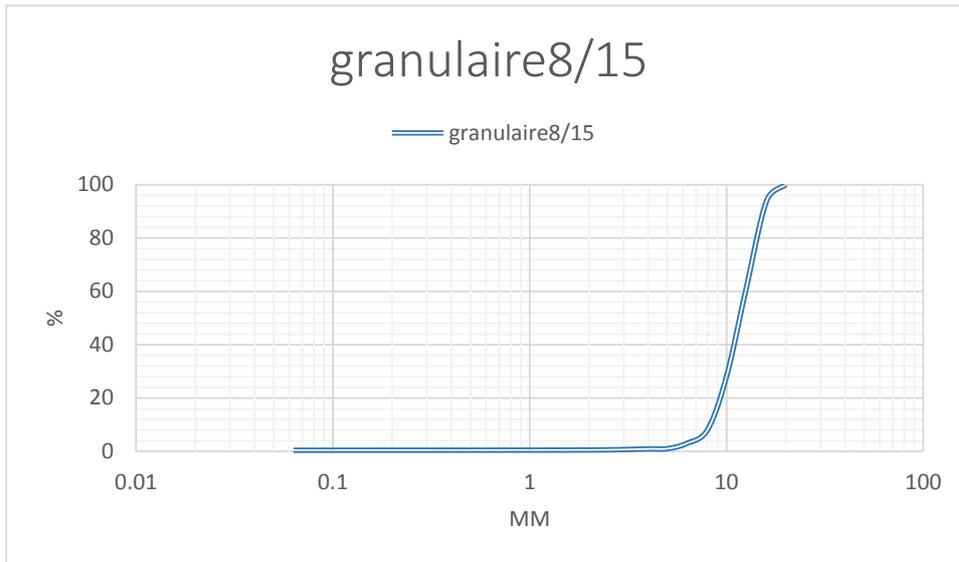


Figure 11 Courbe granulométrique de Gravier Naturel (8/15)

B. Gravier Recyclé :

Ces graviers sont obtenus par concassage, recyclage et tamisage des déchets de démolition

Procédure de préparation des granulats recyclés :



Figure 12 les étapes du recyclage du gravies

L'analyse granulométrique de granulat recyclé qui sont représentés sur le tableau suivant

Graviers Recyclés (3/8)

Tableau 12 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (3/8) M=3000g

Tamis	refus partiel	refus cumulé	refus cummulé (%)	Tamis (%)
10	0	0	0	100
8	940	940	31.33	68.67
6.3	1110	2050	68.33	31.67
5	779	2829	94.3	5.7
4	145	2974	99.1	0.9
2	11	2985	99.5	0.5
1	7	2992	99.7	0.3
0.5	5	2997	99.9	0.1
0.063	2	2999	99.9	0.1

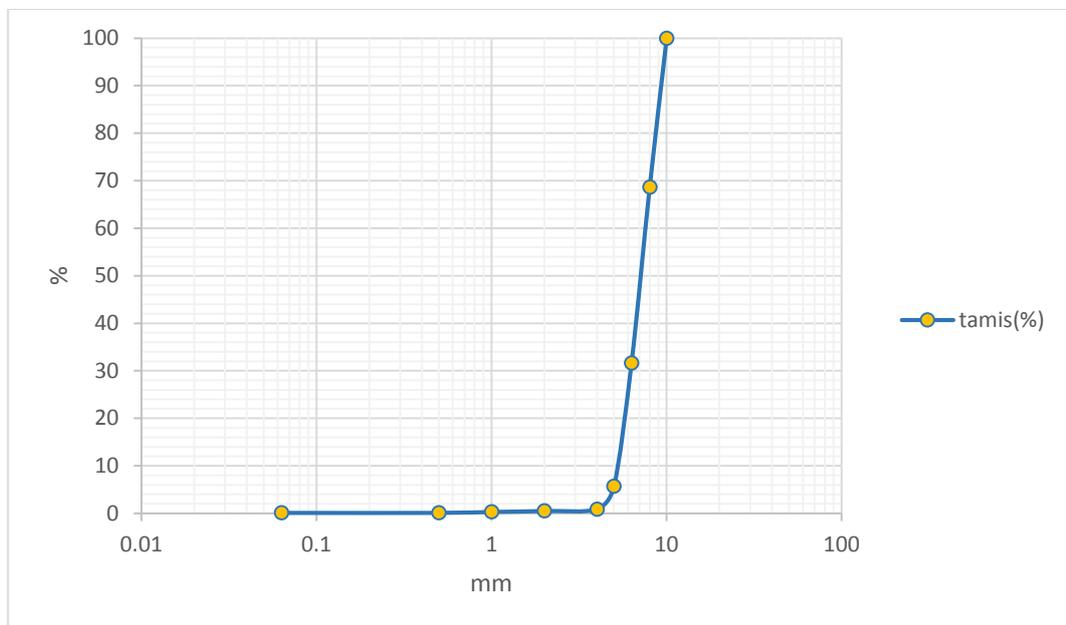


Figure 13 Courbe granulométrique de graviers Recyclés (3/8)

Graviers Recyclés (8/15):

Tableau 13 L'analyse granulométrique de graviers recyclés (8/15) M=6000g

Tamis	refus partiel	refus cumulé	refus cumulé (%)	Tamis (%)
20	150.9	150.9	2.51	97.49
16	2490.9	2641.8	44.03	55.97
12.5	2600.6	5242.4	87.37	12.63
10	475.5	5717.9	95.29	4.71
8	233.6	5951.5	99.19	0.81
6.3	45.1	5996.6	99.94	0.06
5	3.4	6000	100	0

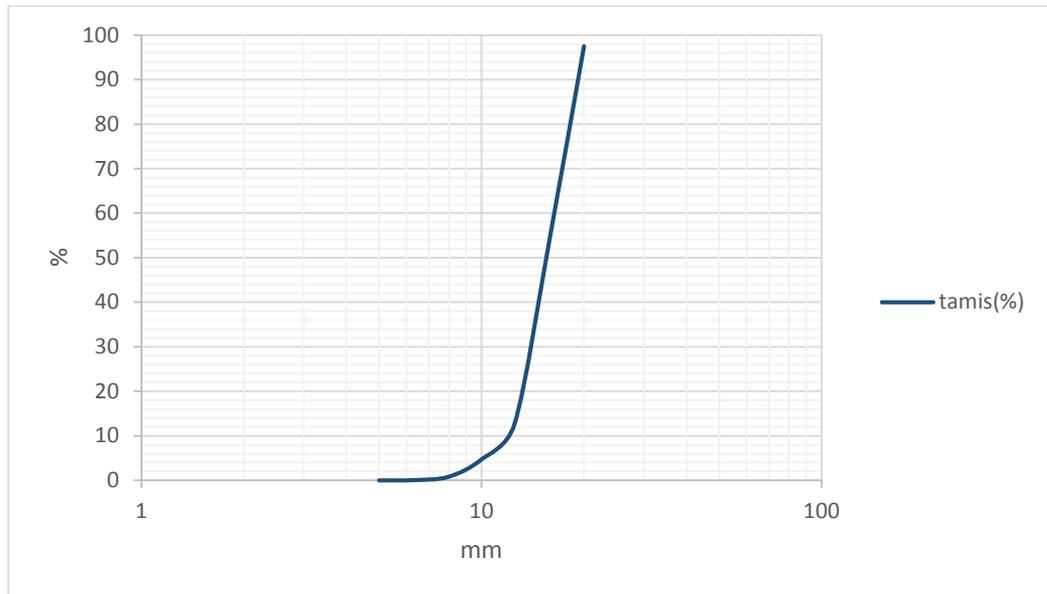


Figure 14 Courbe granulométrique de Graviers Recyclés (8/15)

III.2.2. La Masse Volumique : [NF P 18-555]

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps. il existe deux volumes ;le volume apparent et le volume absolu.

A. La masse volumique apparente (ρ_{abs}) : [NF P 18-555]

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et

les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm³; Kg/l; t/m³).

➤ Principe :

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible.

➤ Mode opératoire :

- Peser le récipient à vide et noter M1
- Prendre le matériau avec les 2 mains en formant un entonnoir,

Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement, Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,

- Araser à la règle,
- Peser le contenu et noter M2

Il résulte que :

$$\rho_{app} = (M2 - M1)/V$$

M1 : masse du récipient vide.

M2 : masse du récipient et gravier.

V : Volume de récipient



Figure 15 la masse volumique apparent

Tableau 14 La masse volumique apparente (ρ_{app}) du gravier naturel (3/8), (8/15)

Matériaux	M ₁	V(cm ³)	M ₂ (g)	$\rho_{app}(g/ cm^3)$
Gravier : 3/8	3800	5000	10253	1.29
Gravier :8/15	3800	5000	9962	1.23

Tableau 15 La masse volumique apparente (ρ_{app}) des graviers recyclés (3/8), (8/15)

Matériaux	M ₁	V(cm ³)	M ₂ (g)	$\rho_{app}(g/ cm^3)$
Gravier : 3/8	1808.5	2000	4208	1.19
Gravier :8/15	3797.4	5000	10052.7	1.25

B. La masse volumique absolue (ρ_{abs}) : [NF P 18-555]

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte des vides et des pores).

Elle est exprimée en (t/m³, kg/l , g/cm³).

- Principe :

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier.

Dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée.

- Mode opératoire :
 - Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V (400 ml).
 - Peser une masse M du corps (300 g) et l'introduire dans un tube gradué.
 - Bien éliminer les bulles d'air,
 - Lire les nouveaux volumes 7
 - Le volume absolu ou réel est :

$$\rho_{abs} = M / (V2 - V1)$$

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau 16 La masse volumique absolue (ρ_{abs}) du gravier naturel (3/8), (8/15)

Matériaux	M1(g)	V1(cm3)	V2(cm3)	$\rho_{abs}(g/ cm3)$
Gravier : 3/8	310	300	420	2.58
Gravier:8/15	454	300	410	2.6

Tableau 17 La masse volumique absolue (ρ_{abs}) du gravier recyclé (3/8), (8/15)

Matériaux	M1(g)	V1(cm3)	V2(cm3)	$\rho_{abs}(g/ cm3)$
Gravier:3/8	500.1	300	504.7	2.44
Gravier 8/15	500.1	300	500.5	2.49

III.2.3. Caractéristique physiques du sable :

Le sable que nous avons utilisé est le sable d'Oued Mezi Laghouat

A. Équivalent de sable : [NF-18-598]

Selon la norme NF-18-598 décrite de mode opératoire concernant cet essai.

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses

contenues dans le sable et le pourcentage de poussière nuisible et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et provoque des gonflements et des retraits.

- Mode opératoire :

- tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g)

- prendre une pesée de 120g

- Remplir le tube gradué d'une solution lavant jusqu'au premier repère.

- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de 120g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main a fin de libéré les bulles d'air qui favorise le mouillage de l'échantillon.

- Laisser reposer pendant 10 min fermé l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm horizontal en 30s à la main à l'aide de l'agitateur mécanique.

- Retirer le bouchon, le rincer avec solution lavant au-dessus l'éprouvette et rincer ensuite les parois. Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant

- Tourner lentement le tube et l'éprouvette en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire montrer les éléments fins et argileux.

Effectuer Cette opération jusqu'à ce que la solution lavant au 2eme repère, laisser ensuite reposer pendant 20 minutes

- Équivalent de sable visuel (E.S.V)

Après 20 min de dépôt de sable, on lit la hauteur **h1** du niveau supérieur de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette .on mesure également avec la règlette : la hauteur **h2** comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$Esv = \left(\frac{h2}{h1} \right) 100\%$$

Avec :

h1 : hauteur du sable+ flocculat.

h2 : hauteur du sable.

- Équivalent de sable piston (E.S.P)

Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. À cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire la réglette dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit $h'2$ la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$Esp = \left(\frac{h'2}{h1}\right) 100\%$$

Avec :

$h1$: hauteur du sable+ flocculat.

$h'2$: hauteur du sable.

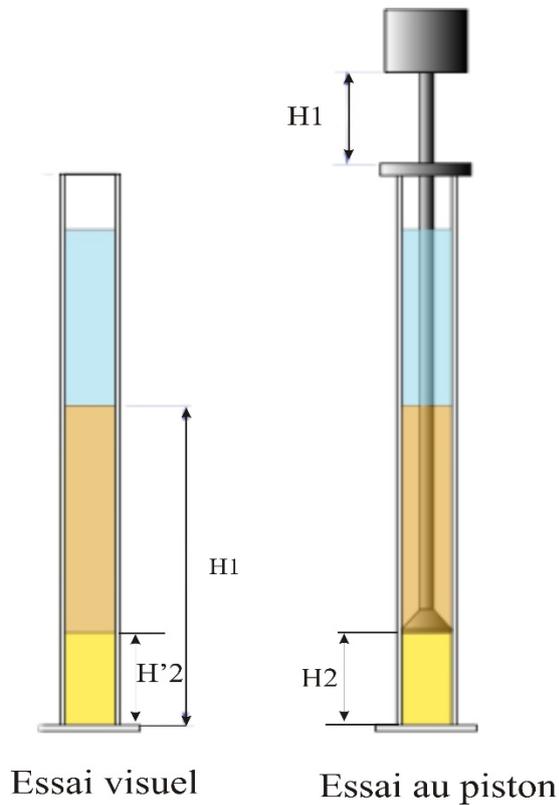


Figure 16 équivalent de sable

Tableau 18 Nature et qualité de sable

Nature et qualité de sable	Esp	Esv
Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.	$Es < 60$	$Es < 65$
Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de particulièrement le retrait.	$65 < Es < 80$	$65 < Es < 75$
Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.	$70 \leq Es \leq 80$	$75 \leq Es \leq 85$
Sable très propre ; l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.	$Es > 85$	$Es \geq 85$

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous (Tab 19) :

Tableau 19 Résultats d'essais d'équivalent de sable naturel 0/5

Paramètre	Unité	Équivalent de sable visuel	Équivalent de sable par piston
H1	Cm	11	10.9
H2	Cm	8.8	8.9
ES	%	80	81.65
ES moyenne	%	80.83	

Le sable utilisé dans notre travail est du sable propre avec un faible pourcentage de farine d'argile idéale pour le béton de haute qualité.

B. Analyse granulométrique [NA EN 933-1] :



Figure 17 photo de Tamisage du sable

Tableau 20 Analyse granulométrique du Sable utilisé 0/5m= 500g

Tamis	refus partiel	refus cumule	refus cumule %	Tamis %
8	0	0	0	100
4	30	30	6	94
2	10	40	8	92
1	20	60	12	88
0.5	70	130	26	74
0.25	230	360	72	28
0.125	115	475	95	5
0.063	15	490	98	2
Module de fins	3.17			

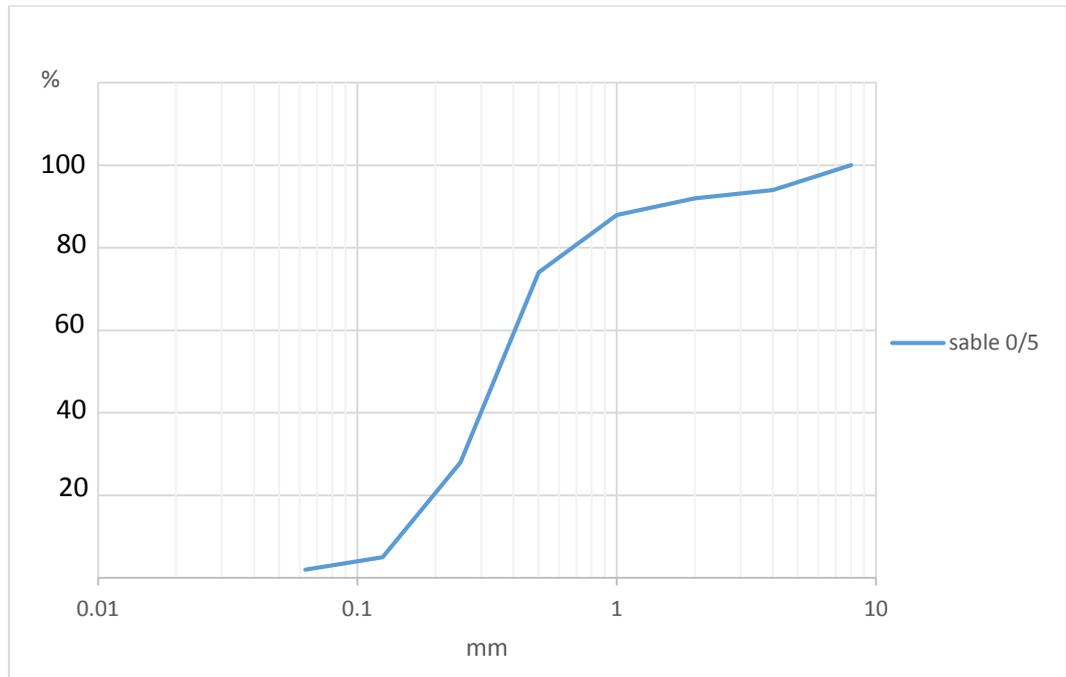


Figure 18 courbe analyse granulométrique du sable

C. Modules de finesse [NF P18-540] :

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis.

Tableau 21 Module de finesse du sable

Quantité du Sable	Module de Finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2
Très Fin	1 à 1.5

$$MF = \sum Ri/100$$

$$MF = Ri/100 \sum (\text{refus cumules de\% des tamis } [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5])$$

C'est un sable gros

D. La Masse volumique :

- Masse volumique apparente [NF P 18-555] :

Tableau 22 la masse volumique apparent du sable

N d'essai	M (g)	Papp (g/cm3)	Papp (g/cm3)
Essai 1	3037	1.519	1.517
Essai 2	3033	1.517	
Essai 3	3029	1.515	
Essai 4	3032	1.516	

➤ volumique absolue [NF P18-555 Masse]

Tout d’abord, nous prélevons un échantillon de sable sec le pesons, puis nous pesons le récipient rempli d’eau

Poids de sable sec **P1=352g**

Poids du récipient plain d’eau **P2=21846g**

$$P3 = P1+P2=2536.6g$$

Poids récipient + sable +eau

$$P4=2484.3g$$

Volume du sable

$$V=P3+P4=129.6$$

Masse volumique absolue :

$$Papp= m/v (g/cm3)=2.72 g/cm3$$

Analyse chimique du sable utilisé :

Tableau 23 analyse chimique du sable 0/5

Échantillon	Sable
Insolubles %	92.6
Carbonate CaCO ₃ %	4

III.3. L’eau :

L’eau utilisée pour les différentes gâchées de béton est issue du robinet de laboratoire. Aucune analyse n’a été effectuée, l’eau est supposée potable et ne contenir aucune impureté nuisible (matières organiques).

IV. Composition du béton:

IV.1. Méthode de calcul de la composition du béton:

Le calcul de la composition du béton à pour le but de déterminer le dosage de ciment, granulats et de l'eau pour un dosage de 1 m³ de béton frais afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique voulue.

Il existe plusieurs méthodes de détermination de la composition de béton proposé et appliquées dans les différents pays du monde parmi ces méthodes on peut citer:

Méthode de DREUXGORISSE

Méthode de BOLOMEY

Méthode d'ABRAMS

Méthode de FAURY

Méthode d'OISEL Méthode de VALETTE

Méthode des VOLUMES ABSOLUS

Méthode GENERALE DU CENTRE D'ESSAIS DES STRUCTURES

IV.2. Formulation d'un béton référence :

Les méthodes de composition ne conduisent pas toutes au même résultat, car chacune d'elle doit simplifier et s'appuyer sur quelques hypothèses qui ne sont pas toujours les mêmes. Pour la formulation de notre béton de référence, il a été retenu d'utiliser la méthode de Dreux-Gorisse.

IV.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse [Dreux et Festa, 1998] :

Le choix de la méthode de formulation s'est fait en fonction des critères suivants:

- Une méthode assez simple et facile à utiliser.
- C'est une méthode appliquée au niveau des laboratoires de l'est algérien comme ceux du C.T.C et autres laboratoires privés.

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

$$R_b = G R_c - C (E C - 0.5)$$

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

G: Coefficient granulaire donné parle, en fonction de la qualité et de la dimension maximale (*D_{maS}*) du gravier.

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, Valeurs de G coefficient granulaire

Tableau 24 qualité des granulats selon leur dimension

Qualité des granulats	Dimension des granulats D(mm)		
	Fins	Moyens	Gros
	$D \leq 12.5$	$20 \leq D \leq 31.5$	$D \leq 40$
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

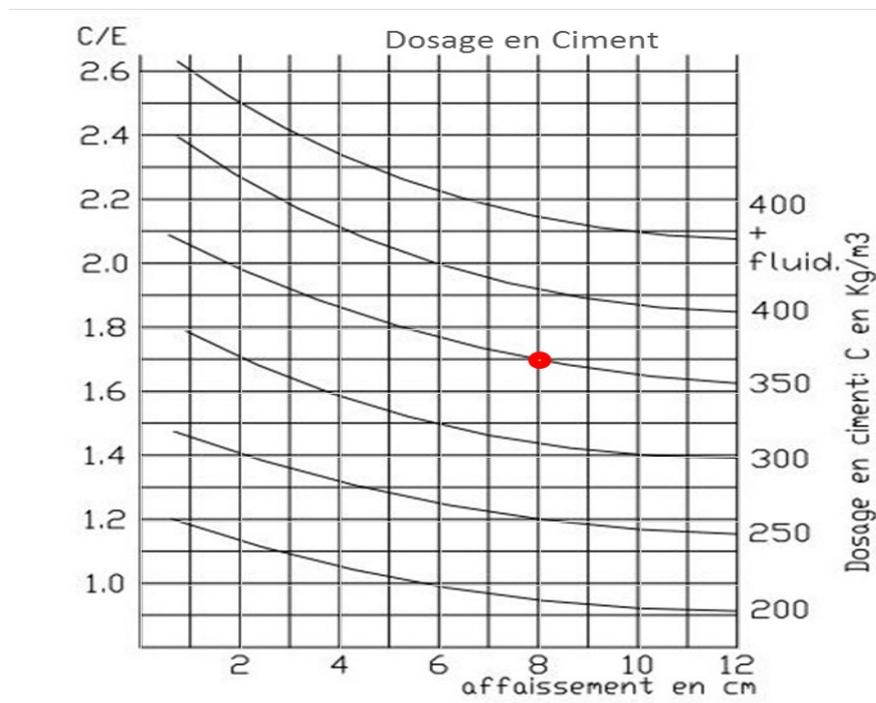


Figure 19 dosage en ciment

A. Détermination du dosage en eau:

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

$$E = C E / C$$

B. Détermination du dosage en granulat :

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulair de référence

construite par l'une des méthodes de composition de béton, (Figure 19) 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 $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$.

Si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspond à ($DmaS$).

- En ordonnée:

Y donnée par la formule suivante:

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

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 valeur du terme correcteur K

Tableau 25 valeur du terme correcteur K

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400 + fluide fiant	-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 granulat 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.

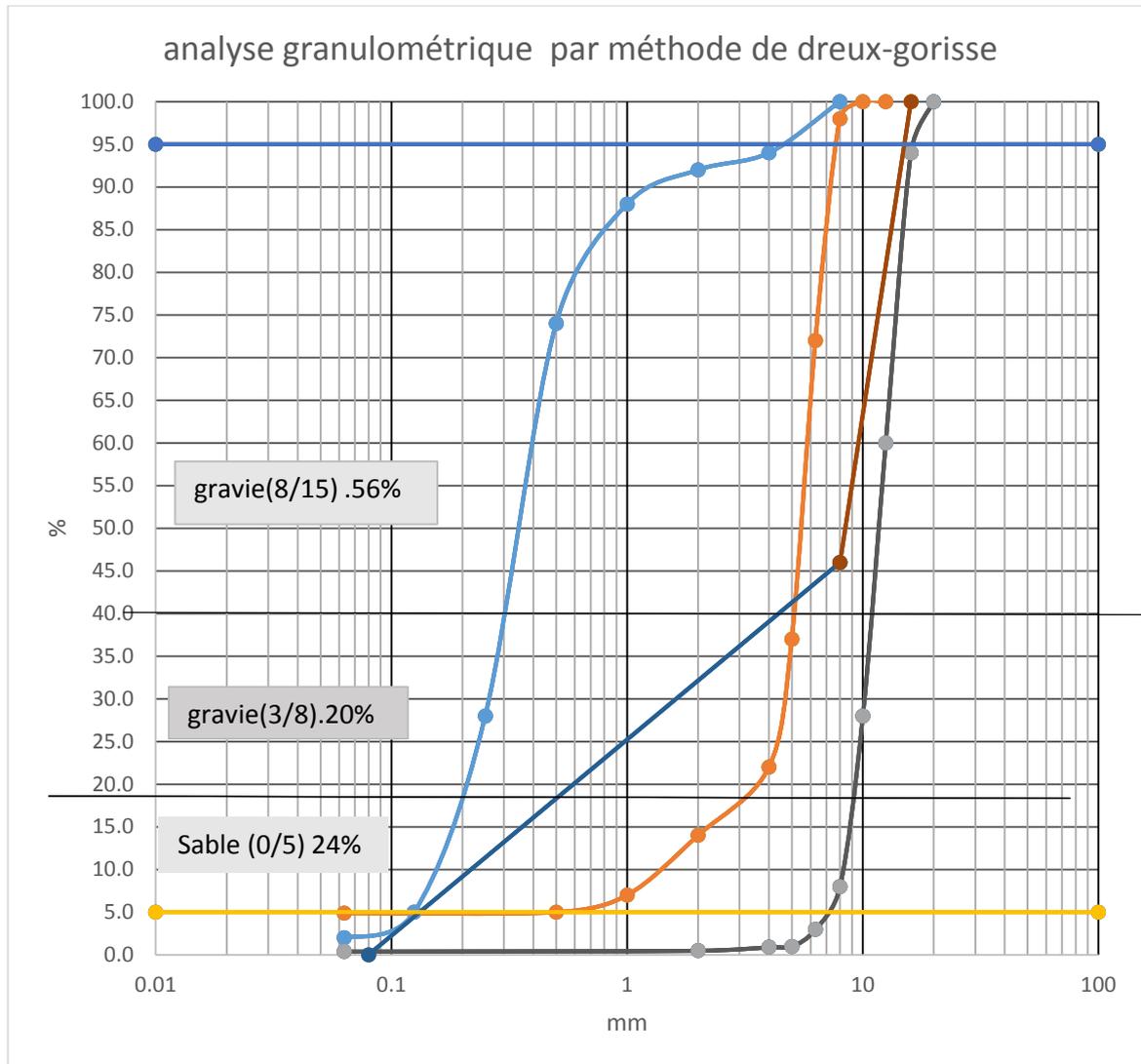


Figure 20 Analyse granulométrique par méthode de dreux-gorisse

C'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est:

$$C = \frac{c}{\rho_c}$$

ρ_c : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment Le volume absolu de l'ensemble des granulats est:

$$V = 1000\gamma - c$$

Ou: γ : coefficient de compacité qui est donné par le (Tableau 26).

Coefficient de compacité

Tableau 26 coefficient de compacité

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

V. Conclusion

Ce chapitre visait à atteindre les objectifs de cette étude. Les étapes expérimentales ont été minutieusement décrites, y compris la caractérisation des matériaux utilisés et la formulation des bétons de granulats recyclés. Tous les tests effectués ainsi que la méthode de calcul des formulations ont été présentés de manière détaillée.



CHAPITRE IV

Résultat Et Interprétation

I. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus du programme d'essais suivi par une analyse et une interprétation de ces résultats dans ce travail une étude de corrélation pour la prédiction de la résistance à l'écrasement (R_c) est considérée (les essais non destructifs « vitesse de propagation ultrason »), pour un béton recyclé comparé par à un béton ordinaire.

II. Méthodologie adaptée pour les manipulations

Dans notre travail, nous sommes appuyés sur la fixation E/C pour étudier l'évolution des propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci avec l'évolution de la proportion de granulats recyclés (gravillons).

L'étude a porté sur 3 mélanges de béton recyclé avec des pourcentages compris entre (50, 75 et 100%).

Nous avons calculé les composants du béton par Dreux-Gorisse pour l'état normal du mélange de référence, M1, et l'avons généralisé au reste des autres mélanges de béton, M2, M3 et M4.

En complément du mélange de référence à base de granulats naturels

Nous préparons des lots pour réaliser 12 (15*30) éprouvettes cylindriques et 8 éprouvettes prismatiques 14*14*56.

- 1 Mt(1) : formulation du béton témoin : Mélange à base des agrégats naturels
- 2 M2 : Formulation du béton (50% granulats naturels + 50% granulats recyclés)
- 3 M3 : Formulation du béton (25 % de granulats naturels + 75 % de granulats recyclés)
- 4 M4 : Formulation du béton (granulat 100% recyclé)

Tableau 27 Composition du béton (kg/m³)

Ciment	Gravier 8\15	Gravier 3\8	Sable 0\5	Eau (L/m ³)	E/C
350	1037.45	364.86	461.59	213.79	0.61

Le gravier recyclé a été pré-trempé dans l'eau pendant une journée complète de 24h afin d'obtenir ses meilleures propriétés. Puis séchez-le avant de mélanger

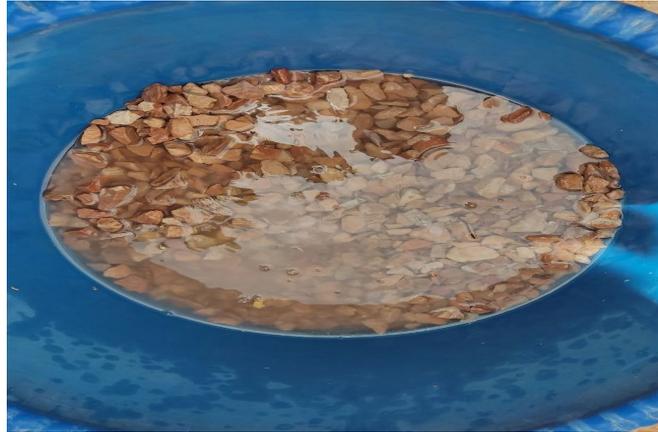


Figure 21 Gravier recyclé trempé dans l'eau

II.1. Mode de préparation :

La norme (NF 18-404) distingue les essais d'étude, d'ajustement et de contrôle, L'étude est menée sur des bétons produits au Laboratoire des Travaux Publics du Sud. Pour nos tests, nous avons utilisé des moules cylindriques de dimensions (15 x 30) cm² et des moules prismatiques de dimensions (14 x 14 x 56) cm³. Ces moules sont en métal (acier), ce matériau est étanche, non absorbant et lubrifiant.

Le béton a été mélangé à l'aide d'une bétonnière à arbre vertical et à mouvement planétaire. Le béton ordinaire a été fabriqué selon la norme

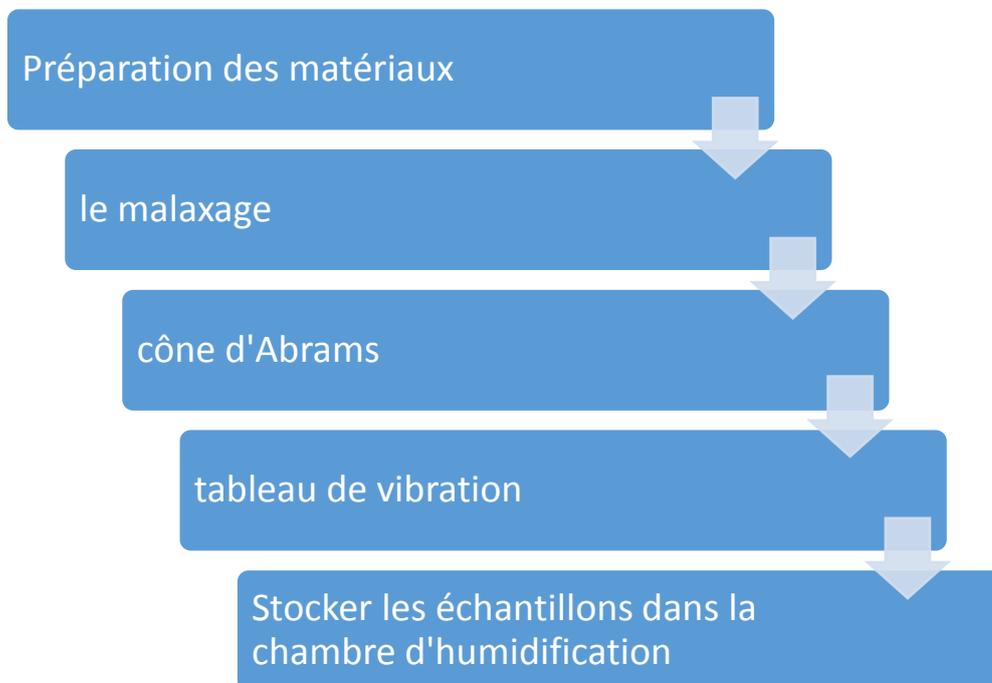


Figure 22 les étapes de traitements des éprouvettes

- Mouillage du malaxeur pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois du malaxeur ou nettoyage de celui-ci s'il a été utilisé auparavant.
 - Mettre les constituants solides en commençant par les plus grossiers au plus fin (graviers, sable, et le ciment).
 - Malaxage à sec pendant 1 minute.
 - Verser l'eau et malaxer pendant 3 minutes.
 - Vidange de malaxeur.
- Préparation des matériaux



Figure 23 gravies recyclé 8/15



Figure 24 gravies naturel 8/15

- le malaxage



Figure 25 photo de Malaxeur de béton

III. Essais à l'État Frais

III.1. Affaissement au cône d'Abram

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est simple à mettre en œuvre, il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40mm, il est réalisé à l'ordre suivant :

Introduire le béton dans le cône d'Abrams légèrement humidifié et huilé en trois couches égales.

Piquer chaque couche 5 coups avec une tige de $\phi=16\text{mm}$.

Démouler le cône et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et arrondir au centimètre.



Figure 26 photo de cône d'Abram

Tableau 28 Absorption d'eau et l'affaissement du béton

type de béton	Absorption d'eau graviar 3/8 %	Absorption D'eau graviar 8/15 %	Affaissement du béton (cm)
Mt(1)	4.01	3.21	6
M2	7.4	6.8	5
M3	7.9	6.9	2.3
M4	7.4	6.7	2

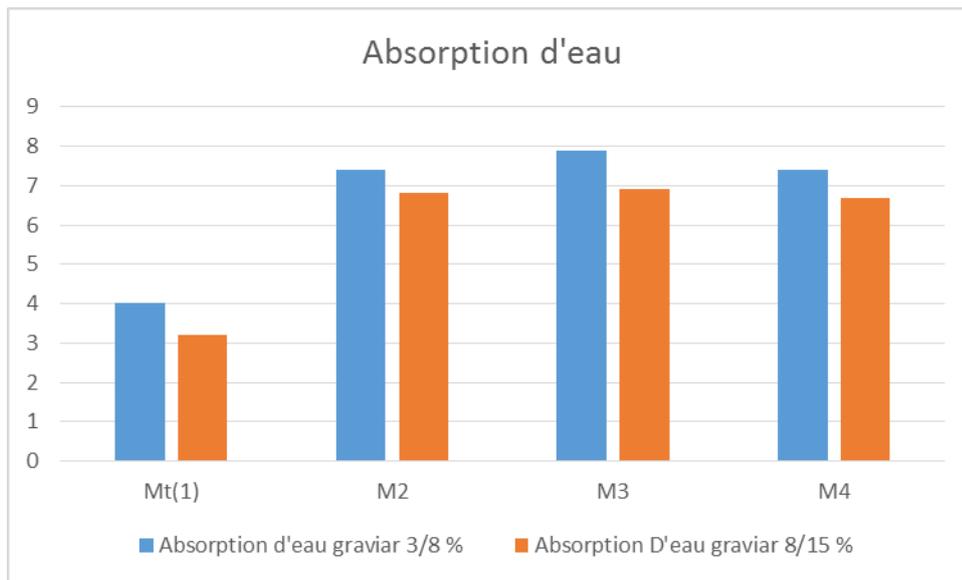


Figure 27 Graphe montre l'absorption d'eau

Commentaire

Les résultats ont montré que le taux d'absorption du gravier recyclé 3/8 est supérieur au taux d'absorption du gravier recyclé 8/15, Il y a une raison pour cela :

La fraction de grain 3/8 est plus petite et a une suspension plus collante, ce qui lui permet d'absorber plus d'eau. Et la quantité d'eau absorbée par le gravier recyclé après 24 heures d'immersion est plus élevée.

Ainsi, le gravier recyclé 3/8 absorbe plus d'eau en raison de sa taille plus petite et d'une boue plus collante qui agit comme une éponge.

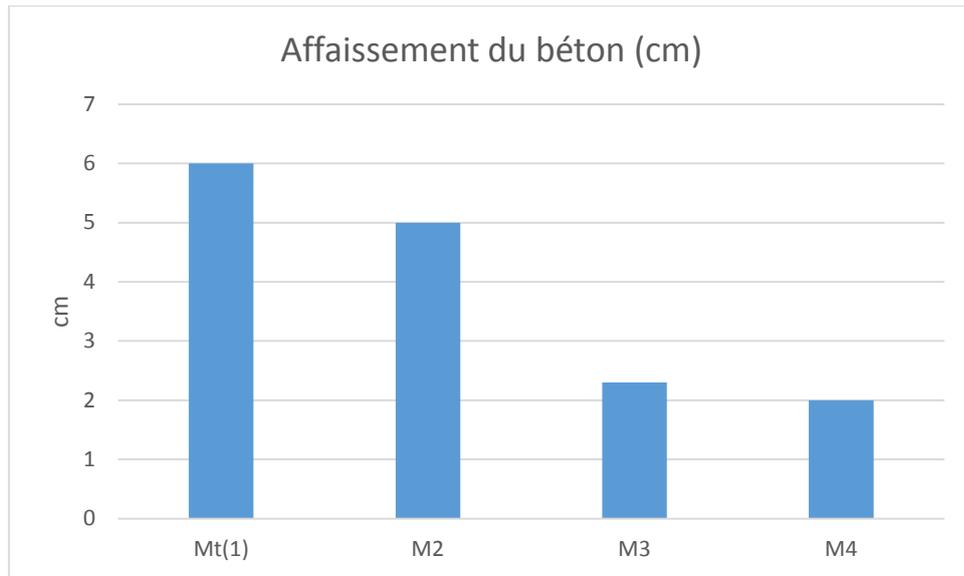


Figure 28 Affaissement du béton



Figure 29 Affaissement du cône d'Abram

Commentaire

La pente du béton M2 est proche de celle du béton témoin.

Des études montrent que le béton fabriqué à partir de granulats recyclés nécessite environ 40% plus d'eau pour le même affaissement que le béton ordinaire.

L'augmentation du taux de granulats recyclés de M4 et M3 influe sur la maniabilité du béton durci.

Cela s'explique par la forte capacité d'absorption des granulats recyclés, d'où la nécessité de les pré-saturer par immersion dans l'eau pour la fabrication de bétons à base de granulats recyclés.

Le remplacement des granulats naturels (gravier) par des granulats recyclés augmente

les besoins en eau, en fonction du taux de remplacement.

➤ **Vibration**

La vibration est la méthode de compactage la plus courante, et le degré auquel le béton frais est compacté par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude de la vibration, ainsi que de la durée de la vibration.

Remplissage de moules cylindriques et prismatiques à trois couches

- Chaque couche a été secouée sur une table vibrante pendant 10 secondes par couche.

Laisser les échantillons à l'extérieur pendant 24 heures

Les échantillons sont conservés à l'extérieur du laboratoire pendant 24 heures, puis décapés, enduits de peinture et stockés dans une chambre humide.



Figure 30 photo de table vibration



Figure 31 photo des échantillons du béton

Pour 15 * 30 échantillon cylindrique avec des dimensions personnalisées pour les tests échographiques en 7D et 28D, test de pression (RC) en 7j et 28j, essais de traction par fendage Éprouvettes prismatiques Avec des dimensions de 14 x 14 x 56 pour une courbure (Rf) à 28j et 7 j.

➤ **chambre d’humidité**

Les échantillons de béton sont ensuite conservés dans la chambre d’humidité



Figure 32 chambre d'humidité

La chambre d'humidification maintient les échantillons de béton en leur fournissant un environnement humide et relativement stable. Cela est nécessaire pour assurer la continuité des taux de réaction et de croissance normaux des échantillons de béton, car une déshydratation rapide affecte négativement les résultats des tests. La chambre d'humidification maintient l'humidité des échantillons de béton à un taux constant d'environ 90 % à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 28 jours. Ce mode de conservation assure l'hydratation du béton et évite toute fissuration due au séchage. Il aide également à maintenir le béton saturé.

IV. Essais à l'état durci

IV.1. Les essais non destructifs

IV.1.1. Essai ultrasonique :

➤ **But de l'essai :**

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un

prélèvement d'éprouvette par carottage.

➤ Principe d'essai :

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc a priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores.

➤ Équipement :

L'appareil comprend les accessoires suivants

- Un générateur d'impulsions électriques, Paire de transducteurs,
- Un amplificateur,
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur émetteur et son arrivée au transducteur récepteur,
- Un barreau de calibrage est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse.

➤ Préparation de l'éprouvette :

Appliquer une mince couche d'huile sur le fond du plateau de surfacage

Disposition du transducteur :

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes «

Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = L/T \text{ Ou :}$$

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s ;

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur,



Figure 33 photo d'Appareil ULTRA-SON

Tableau 29 vitesses de propagation d'ondes (Km/S)

Type de béton	m1	m2	m3	m4
vitesse (km/s)7j	4.25	3.97	3.75	3.83
vitesse(km/s)28j	4.27	4.01	3.84	3.85

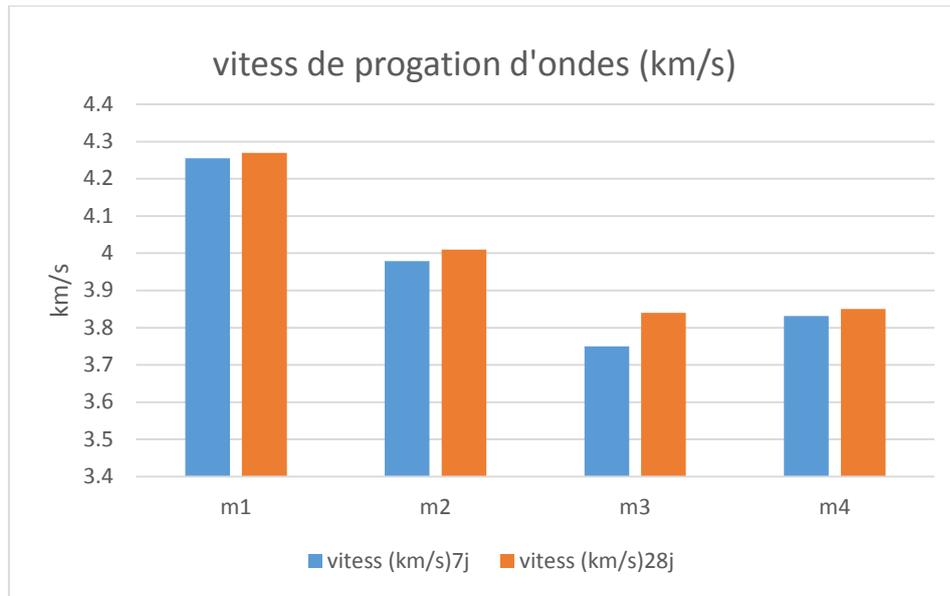


Figure 34 vitesses de propagation d'ondes (Km/S)

Commentaire :

Nous avons observé une augmentation du module d'élasticité de tous les bétons avec le vieillissement des échantillons.

Les résultats ont montré que les vitesses des ultrasons diminuent proportionnellement à l'augmentation du taux de substitution par des granulats recyclés.

En d'autres termes, plus le taux de granulats recyclés est élevé, plus la vitesse de propagation des ondes ultrasonores est réduite. Cela suggère une baisse du module d'élasticité avec l'augmentation du taux de substitution.

En effet, les granulats recyclés présentent généralement une absorption d'eau plus élevée ainsi qu'une porosité plus importante par rapport aux granulats naturels. Ces propriétés affectent négativement le module d'élasticité du béton résultant.

De manière générale, on peut conclure que le remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés tend à diminuer la vitesse de propagation des ultrasons.

Tableau 30 Résultats de corrélation de la résistance à la compression Rc (Mpa)

Résistance a la compression	M1	M2	M3	M4
7j	16	18.41	16.57	14.5
28j	18.28	19.38	14.52	14.26

Commentaire :

Les tableaux montrent que la résistance augmente au fur et à mesure que la vitesse des sondes augmente, que ce soit à 7 jours ou à 28 jours, pour tous les types de bétons testés (recyclés ou conventionnels).

IV.2. Les essais destructifs

IV.2.1. Essai de Résistance à la compression

Pour évaluer la qualité de béton Les éprouvettes sont écrasées dans la presse de compression.

La résistance de béton à la compression est déterminée par la relation :

$$R_c = F/S$$

R_c : la résistance à la compression (Mpa).

F : la charge à la rupture (N).

S : la section de l'éprouvette (mm).



Figure 35 photo de Machine de compression de béton

Tableau 31 Résistance à la compression des bétons à 7 jours et 28j

Type de Béton	compression 7j	compression 28j
M1	21	26
M2	21.5	25
M3	19.7	23.1
M4	20	23.35

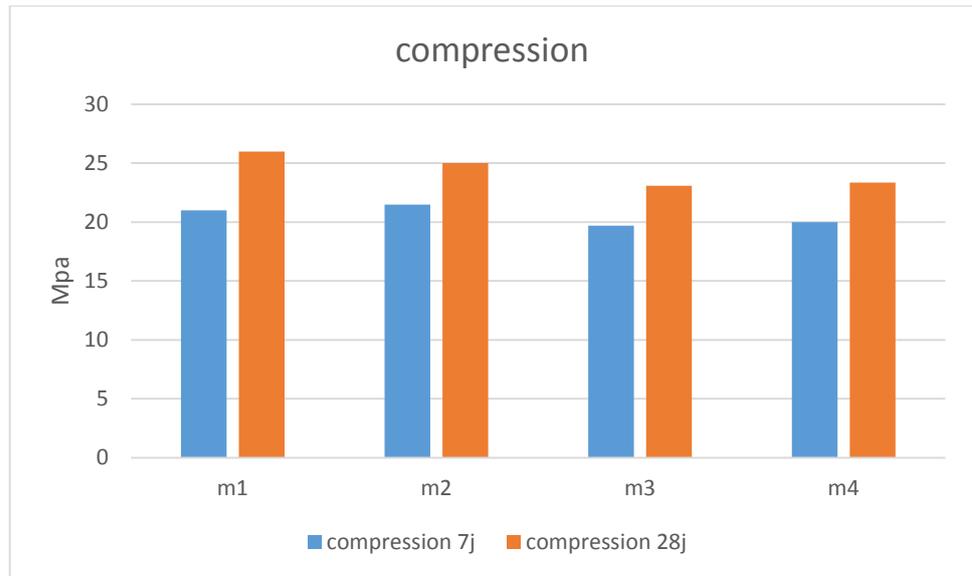


Figure 36 Résistance à la compression des bétons à 7 jours et 28j

Commentaire :

Les résultats obtenus ont montré, pour tous les types de béton, une augmentation progressive de la résistance à la compression avec le vieillissement du béton et aucune chute.

Le tableau montre les résistances de tous les échantillons. Nous avons constaté qu'après un taux de remplacement de 50 %, la résistance à la compression diminue significativement et cette réduction peut dépasser 50 %.

La résistance du béton M2 (50 % de granulats recyclés et 50 % de granulats naturels) est proche de celle du béton ordinaire, indiquant une forte adhérence entre granulats naturels, granulats recyclés et pâte de ciment.

1/ Le rapport entre la résistance à la compression et le taux de substitution diminue.

2/ Le taux de remplacement et le degré d'absorption d'eau affectent la résistance à la pression.

IV.2.2. Essai de Résistance à la traction par fendage

La résistance à la traction par fendage R_{fd} d'une éprouvette cubique de cote "a" soumise à un effort de rupture N est donnée par la formule suivante :

$$R_{fd} = 2NK/(\pi a^2)$$

K : est un coefficient qui prend les valeurs 1,3 et 1,1 respectivement pour les bétons légers et les bétons lourds.



Figure 37 photo de Machine de traction par fendage

Tableau 32 Résistance à la traction par fendage

Type de Béton	traction par fendage 7j	Traction par fendage 28j
M1	2.1	2.6
M2	1.8	2.4
M3	1.81	2.23
M4	1.72	2.18

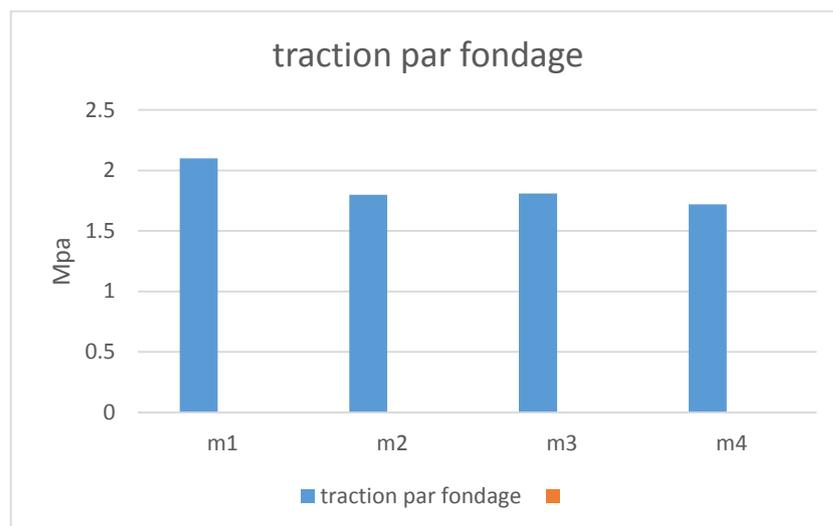


Figure 38 Résistance à la traction par fendage



Figure 39 photo d'éprouvette après traction par fendage

Commentaire

On a observé que la valeur de traction augmentait dans les échantillons avec le temps.

Le béton composé à 50 % de granulats recyclés M2 indique la meilleure résistance à la traction et se rapproche le plus du contrôle du béton Mt.

- Une faible résistance à la traction est obtenue dans le béton M4, M3 respectivement en raison de sa composition en GR à haut débit

V.2.3. Résistance à la flexion

Répétez la même procédure pour les autres échantillons.

Appliquez la formule ci-dessous pour calculer la résistance à la flexion :

$$Rf = 3PL/2b^3$$

La résistance à la flexion a été réalisée sur des échantillons prismatiques de béton mesurant 14 x 14 x 56 cm Conforme à la norme NF EN 12390-5 (NF EN 12390-5, 1999).

Ce test est réalisé avec Piston CBR universel d'une capacité de 50 kN et d'une vitesse de 1,27 mm/min, équipé d'un segment dynamomètre, comparateur et support spécialement conçus pour le pliage (pliage 3points).

Le test se déroule comme suit :

Placez l'échantillon 14x14x56 entre les supports de support. Face latérale de

L'échantillon doit être en contact avec le support

Tableau 33 Résistance de flexion

Type de béton	flexion 7j (Mpa)	flexion 28j (Mpa)
M1	5.26	6.5
M2	4.83	6

M3	4.54	5.6
M4	4.32	5.47

Commentaire

Les résultats de nos expériences montrent une augmentation constante de la valeur de la résistance à la flexion.

Pour l'échantillon de béton M2, la valeur de résistance à la flexion est très proche de celle de l'échantillon de référence, et cela est dû à sa composition équilibrée de 50 % de granulats naturels et 50 % de granulats recyclés.

En ce qui concerne les échantillons de béton M3 et M4, la valeur de résistance à la flexion est légèrement augmentée, et cela est dû au taux élevé de gravier recyclé supérieur à 75 %, ce qui affecte négativement la résistance à la flexion.

En résumé, les meilleurs résultats en termes de résistance à la flexion ont été obtenus pour l'échantillon M2 dont le taux était modéré. Des taux plus élevés, supérieurs à 75 %, ont entraîné une diminution significative de la force, bien qu'elle ait légèrement augmenté par rapport à la ligne de base.

V. Conclusion :

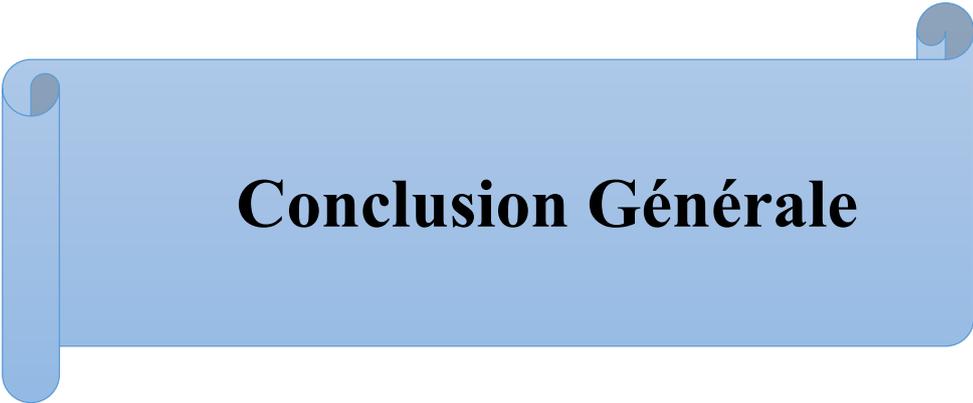
D'après les résultats des essais effectués dans ce chapitre, les granulats recyclés confèrent plus de propriétés au béton, tant à l'état frais qu'à l'état durci.

Le béton contenant des granulats recyclés a un affaissement plus faible que le béton normal avec le même rapport E/C, et cette diminution de la stagnation est due à l'absorption et à la valeur de remplacement des granulats recyclés.

Les granulats recyclés ont une capacité d'absorption élevée en raison de leur taille de pores plus importante que les granulats naturels et de la nature poreuse du mortier adhérent au béton d'origine.

La résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance à la flexion sont des facteurs essentiels pour évaluer la qualité du béton car le granulat recyclé présent au fond et la présence de mortier adhésif confère au granulat recyclé une résistance à la compression plus élevée. Cela se traduit également par une résistance à la traction plus élevée.

En général, la résistance mécanique de l'agrégat, son taux de remplacement, ses propriétés d'adhérence et son absorption d'eau affectent le béton.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le béton est un matériau solide dont les propriétés dépendent de sa composition et de son procédé de fabrication. La résistance mécanique du béton dépend de la granulométrie du gravier, du rapport sable/gravier, du rapport ciment et de la vitesse de durcissement. Les propriétés physiques, telles que la densité, sont également affectées par les ingrédients et les mesures prises lors du mélange. Nous soutenons la technologie et la science modernes pour préserver l'environnement en recyclant les déchets et en développant de nouveaux types de béton, y compris le béton fabriqué à partir de granulats recyclés.

L'une des raisons de la diminution de la résistance est que les granulats recyclés ont tendance à diminuer en volume, à augmenter la porosité et à avoir une texture grossière. Cette porosité accrue est principalement due à la présence de coulis adhérent aux granulats ainsi qu'à une diminution de la résistance des granulats recyclés.

Il est clair que ces raisons se recoupent pour fragiliser les granulats recyclés.

Les granulats recyclés contiennent du lisier qui est un matériau poreux. L'utilisation de déchets au lieu d'agrégats dans le béton a amélioré l'impact environnemental et réduit les déchets solides et la consommation de ressources naturelles. Nous avons pu en extraire plusieurs choses

L'incorporation de granulats recyclés dans le béton réduit sa densité aussi bien à l'état solide qu'à l'état frais Et absorption d'eau élevée par rapport au béton naturel

Nous avons remarqué que lorsque le mélange de béton était composé de 50 % de granulats naturels + 50 % de granulats recyclés, la valeur de résistance était élevée et proche du mélange de référence, alors que cette valeur était réduite dans une moindre mesure dans le cas du mélange de béton à 75 % et Agrégat 100% recyclé. L'absorption d'eau augmente à mesure que la densité de l'agrégat recyclé diminue.

. Pour éviter la perte d'ouvrabilité du béton frais, il est recommandé de sur doser (le mélanger avec de l'eau) ou de pré-humidifier le granulats recyclés lors de la fabrication du béton. Ce résultat peut également être dû au fait que les granulés ont tendance à absorber l'eau libre destinée au liquide.

Les bétons contenant des granulats recyclés ont une densité plus faible, probablement en raison de la plus grande porosité de ces granulats. La période de pré-saturation plus longue du granulats, estimée à 24 heures, se traduit par une augmentation de la résistance à la compression et à la traction du béton. Bien que les granulats recyclés présentent certains inconvénients liés à leurs propriétés physiques et à leur qualité variable, ils constituent une

alternative intéressante aux granulats naturels pour la fabrication de béton économique et durable du béton résistance varie de 20 à 30 MPa. Leur utilisation généralisée favorise le développement durable dans l'industrie de la construction.

Référence Bibliographique

- [1] AHMED. B, “Influence Du Granulat (classe Granulaire .4/22.4) Sur Les Caractéristiques Des Granulats Et Sur Les Propriétés Des Bétons Ordinaires,” 2012. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE 2011
- [2] Ait Mohamed Amer. A, “Valorisation Des Matériaux De Démolition Dans La Construction,” *thèse doctorat, université Hassiba Ben Bouali à Chalef*, Feb. 2017.
- [3] Ajdukiewicz. A, “Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/I-WC. Cement Concrete Composites,” 2002.
- [4] BELLOUATI. Y, and H. N. BERKANI , “Étude Du Béton À Base De Déchets De Démolition,” *Université -Ain-Temouchent,2021*.
- [5] BELOUADAH. M, “Étude de l’influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l’état frais et à l’état durci et soumis aux hautes températures ,” *Thèse de doctorat de l’Université M’sila, Algérie 2018*.
- [6] BERREDJEM. L, “Le Recyclage Des Bétons De démolition, Solution Pour Le Développement Durable, Formulation Et Comportement Physique Et Mécanique Des Bétons a Base De Ces Recyclés,” *Université de Annaba, 2009*.
- [7] Braymand. S, “Influence de l’utilisation de granulats recyclés sur les propriétés rhéologiques et physiques des bétons,” *Nanet, 2010*.
- [8] “Classes de résistance du béton,” *Tout sur le béton*, Jun. 26, 2019. <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/classes-de-resistance-du-beton/> (accessed Jun. 08, 2023).
- [9] Dapena. N, and P. Alaejos, “Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes.” *properties of mortars, Constr. Build. Mater.*, 81, 179-186. (accessed 2011).
- [10] Journal.O : 30 rajab 1426. 4 septembre (2005).
- [11] Neville. A. M, “Propriétés Des Bétons,” *Edition Eyrolles, 2000*.
- [12] Pepe and Springerlink (Online Service, *A Conceptual Model for Designing Recycled Aggregate Concrete for Structural Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [13] “Publications • Aperçu des séries de publications • Buildwise,” *Buildwise*, 2018. https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=publ&doc=utilisation_de (accessed Jun. 08, 2023).
- [14] REDJEL. B, and YAHIAOUI. M, “La Mesure de la Résistance du béton a la Traction,

Université de Annaba.”

[15] REZEG. S, “Contribution à la valorisation des granulats recyclés (gravier et sable) dans la composition du béton,” 2022. Mémoire de Master, Université Mohamed khider –Biskra

[16] Torrenti. J, Le Roy. R, and R. Le, “Analyse et modélisation du fluage propre du béton,” 2015. Accessed: Jun. 08, 2023. [Online] . Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01167661/document>

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: U.GHARDAIA

N° Dossier interne:

Classe granulaire:

Prise d'essai:

Équipements utilisés: balance/Etuve

Lieu de travail: SERVICE MATERIAUX

Date:

Opérateur:

N° D'inventaire : L21.51.15/ L49-01-15

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20	150.9	150.9	2,51	97,49	
16	2490.9	2642.8	44,03	55,97	
12.5	2600.6	5242.4	87,37	12,63	
10	475.5	5727.9	95,29	4,72	
8	233.6	5951.5	99,19	0,82	
6.3	45.1	5996.6	99,94	0,06	
5					
4					
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25					
1					
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080					

L'opérateurVisa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: U.GHARDAIA

N° Dossier interne:

Classe granulaire:

Prise d'essai:

Équipements utilisés: balance/Etuve

Lieu de travail: SERVICE MATERIAUX

Date:

Opérateur:

N° D'inventaire : L21.51.15/ L49-01-15

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8	940g	940	31,33	68,67	
6.3	1110g	2050	68,33	31,67	
5	779	2829	94,3	5,7	
4	245	2974	99,4	0,9	
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25					
1	26	3000	100%	0	
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080					

L'opérateurVisa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DES SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE
MODE OPÉRATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LANCHON
BTS.DUT

Structure : UNITE GHARDAIA
 N° Dossier interne: 03/EF/2023
 Échantillon : 3/8
 Équipements utilisés: balance

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX
 Date : 07/02/2023
 Opérateur : BEDDIAF CH
 N° D'inventaire: L21.51.15

Masse volumique apparente :

Volume du récipient V= 5000

Poids P= 3800

$P_1+T = 10243$	$P_1 = 6443$
$P_2+T = 10260$	$P_2 = 6460$
$P_3+T = 10252$	$P_3 = 6452$
$P_4+T = 10257$	$P_4 = 6457$

Poids moyen $M = (P_1+P_2+P_3+P_4)/4 = 6453$

Masse volumique apparente $P/V = 1,29 \text{ g/cm}^3$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1 = 310$

Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 2184,6$

$P_3 = P_1+P_2 = 2494,8$

Poids récipient + agrégats + eau =

$P_4 = 2374,5$

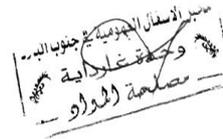
Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 120$

Masse volumique absolue $P_1/V = 2,58 \text{ g/cm}^3$

L'Opérateur



Visa du responsable



F-5-Si.02

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : Unité Ghardaïa

N° Dossier interne : **KOUL**

Équipements utilisés : Balance- Etuve-Four.

Lieu de travail : Service chimie

Date : **08/05/2023**

Échantillon :

Opérateur: **BOUCHRIA-M**

N° D'inventaire : L 21.05.15 – L03.15.S.002 –L53.02.86

ÉCHANTILLON		SABLE																			
INSOLUBLES NFP 15-461	Creuset+précipité	30.894																			
	Creuset vide	29.968																			
	Poids du résidu	0.926																			
	% Insolubles	92.6																			
SULFATES BS 1377	Creuset+précipité																				
	Creuset vide	20.145																			
	Poids du résidu																				
	% SO ₃ ²⁻																				
CARBONATES NFP 15-461	V NaOH																				
	% CaCO ₃	04																			
CHLORURES Méthode de Mohr	PH _i (initial)	8.22																			
	PH _i (titrage)	6.75																			
	V _{AgNO3}	Test 1	Test 2																		
		0.3	0.3																		
	V _m (moyen)	0.2																			
	%Cl ⁻	0.003																			
	% NaCl	0.006																			
MATIERE ORGANIQUE NFP 94-055	% Matière organique	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
		V _m =																			
AUTRES ESSAIS																					

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-5ca.03

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU
NF P 18-554 Décembre 1990

Structure : UNITE GHARDAIA
N° Dossier interne : 03/EF/2023
Échantillon : 8/15
Équipements utilisés : Balance/Etuve

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX
Date : 16/03/2023
Opérateur : B,LARBI
N° D'inventaire : L21/51-15-L49/01/15

Masse sèche du refus au tamis 4 mm : M_s	$M_s =$	791,8	g
Masse d'échantillon imbibé dans l'air : M_a	$M_a =$	817,2	g
$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$	$Ab =$	3,21	g

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-5ac.03

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU
NF P 18-554 Décembre 1990

Structure : UNITE GHARDAIA
N° Dossier interne : 03/EF/2023
Échantillon : 3/8
Équipements utilisés : Balance/Etuve

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX
Date : 16/03/2023
Opérateur : B,LARBI
N° D'inventaire : L21/51-15-L49/01/15

Masse sèche du refus au tamis 4 mm : M_s	$M_s =$	617,7	g
Masse d'échantillon imbibé dans l'air : M_a	$M_a =$	642,5	g
$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$	$Ab =$	4,01	g

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-5ac.1