

République algérienne démocratique et populaire Ministère de
l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université -Ain-Temouchent- Belhadj
Bouchaib Faculté des Sciences et de la
Technologie Département Génie Civil et
travaux publics



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA
TECHNOLOGIE
Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : STRUCTURE
Thème

Etude du béton à base de déchets de démolition

Présenté Par :

- 1) Melle BELLOUATI YAMINA
- 2) Melle BERKANI HADJAR NOUR ELHOUDA

Devant le jury composé de :

Dr DERBAL.A

Président

M C B UAT.B.B (Ain Temouchent)

Dr KAMECHE Z.

Examineur

M C B UAT.B.B (Ain Temouchent)

Dr. ABDESSALAM R.

Encadrant

M A A UAT.B.B (Ain Temouchent)

Dr. MAROUF H.

Co-Encadrant

M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)

Année universitaire 2020/2021

DEDICACE :

*A l'aide de dieu tout puissant, qui trace le chemin de ma vie j'ai pu
Arriver à réaliser ce modeste travail que Je dédie Au mes chers
parents pour leur soutien, leur patience, leur encouragement durant
mon parcours scolaire.*

A mes chères sœurs, et A mes chers frères

A mon amis qui m'a apporté son précieux aide à réaliser ce travaille

Remerciements à toute la promotion GC 2021

A mon Fidèle binôme : BERKANI HADJAR

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 ami, source de motivation

A mon cher binôme «BELLOUATI YAMINA»

A vous cher lecteur

•B.HADJAR•

Remerciement :

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la vie, la santé et d'avoir fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui. C'est grâce à lui que ce présent travail a vu le jour.

Nous aimerons commencer par remercier, Mme. ABDSLAM.R et Mme. MAROUF.H qui nous a encadrés tout au long de la réalisation de ce projet, nous les remercions pour leurs précieux conseils et leurs encouragements continus.

Nos remerciements s'adressent à Mr ADEL, Mlle KAOUTAR et Mme NADJET pour leur aide pratique et leur soutien moral et leurs encouragements.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et leur grande patience.

Résumé :

L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement. La solution d'avenir pour répondre au déficit entre production et consommation est de recycler et valoriser des déchets.

Ce mémoire cherche à mettre en évidence la possibilité d'utiliser les déchets de démolition et le cassé de verre comme granulats pour le béton, avec des taux de substitution (0%, 25%, 50%, 75% et 100%).

Mots clés : Granulats, Recyclage, Valorisation, Environnement, démolition, cassie de verre, Caractérisation, Bétons, Essais.

ملخص:

إن استنفاد الرواسب الطبيعية للركام والصعوبات في فتح محاجر جديدة تجعل من الضروري البحث عن مصادر جديدة للإمداد. الحل للمستقبل لسد العجز بين الإنتاج والاستهلاك هو إعادة تدوير النفايات واستعادتها

تسعى هذه المذكرة إلى تسليط الضوء على إمكانية استخدام مخلفات الهدم و الزجاج المكسور كحصى للخرسانة بمعدلات (0% ، 25% ، 50% ، 75% و 100%)

الكلمات الرئيسية: حبيبات, إعادة التدوير, تقييم, البيئة, هدم, الزجاج, توصيف, الخرسانة, الاختبارات.

Abstract:

The exhaustion of natural aggregate reserves and the difficulty of developing new quarries require finding new sources of supply.

The future solution to the gap between production and consumption is recycling waste.

The purpose of this study is to explore the use of waste stone and broken glass as concrete aggregate, the replacement rate is 0%, 25%, 50%, 75% and 100% respectively.

Key words: Aggregates, Recycling, Valorization, Environment, Marble, Characterization, Concretes, Tests.

Sommaire

DEDICACE :.....	I
DEDICACE :.....	II
Remerciement :.....	III
Résumé :.....	IV
:ملخص.....	V
Abstract:.....	VI
Sommaire	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des figures	IX
Notation et abréviation.....	X
INTRODUCTION GENERALE	XI
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES BETONS	1
I.1. Introduction :	1
I.2. Définition du béton :	1
I.3. Les composants du béton :	1
I.3.1. Le ciment :.....	2
I.3.2. Les granulats :.....	3
I.3.3. L'eau de gâchage :	5
I.3.4. Les adjuvants :	5
I.4. La formulation du béton [12]:	5
I.5. Les différents types du béton [1]:	6
I.6. Les propriétés du béton [13]:	7
I.6.1. à l'état frais :	7
I.6.2. à l'état durci :	8
I.7. Conclusion :	9
CHAPITRE II : UTILISATION DES DECHETS DANS LE G.C	10
II.1. Introduction :	10
II.2. Définition du déchet [4]:	10
II.3. Lois algériennes concernant les déchets [5]:	11
II.4. Différents types de déchets :	11
II.4.1. Déchets ultimes :	11

II.4.2.	Déchets inertes :	11
II.4.3.	Déchets assimilés :	11
II.4.4.	Déchets verts :	11
II.4.5.	Déchets organiques :	11
II.4.6.	Déchets industriels banals (DIB) :	12
II.4.7.	Déchets dangereux :	12
II.4.7.1.	Déchets industriels spéciaux (DIS) :	12
II.4.7.2.	Déchets ménagers spéciaux (DMS) :	12
II.5.	Déchets utilisés comme granulats du béton:	12
II.5.1.	Laitiers de haut fourneau :	12
II.5.2.	Sous-produits provenant des centrales thermiques [15]:	12
II.5.3.	Déchets de construction et de démolition :	12
II.6.	Impact de recyclage des déchets :	13
II.7.	Déchet de démolition :	14
II.8.	Déchet de verre :	15
II.9.	Avantage de recyclage :	16
II.10.	Conclusion :	17
CHAPITRE III: MATERIAUX UTILISES ET ESSAIS		18
III.1.	Introduction :	18
III.2.	Matériaux utilisés :	18
III.2.1.	Ciment :	18
III.2.2.	Granulats :	19
III.2.3.	Eau de gâchage :	20
III.2.4.	Les déchets de démolition :	20
III.2.5.	Le cassé de verre :	21
III.3.	Les essais effectués sur les matériaux :	21
III.3.1.	Analyse granulométrique (NF EN 933-1):	21
III.3.2.	Essai Los Angeles (NF EN 1097-2) :	22
III.3.3.	Masse volumique (NF EN 1097-6):	23
III.4.	Les essais effectués sur le béton frais :	24
III.4.1.	L'essai de cône d'Abrams :	24
III.4.2.	L'essai de table à choc (EN 18-358) :	25
III.5.	Les essais effectués sur le béton durci :	26
III.5.1.	L'essai de compression(EN-12390-3):	26

III.5.2.	Les essais non destructifs :	27
III.5.2.1.	L'essai de Scléromètre :	27
III.5.2.2.	L'essai d'Ultrason :	28
III.5.3.	L'essai d'absorption d'eau par capillarité (EN 13057):	29
III.6.	Conclusion :	30
CHAPITRE IV : RESULTATS D'ESSAIS ET INTERPRETATION		30
IV..1.	Introduction :	30
IV..2.	Méthode de composition du béton :	30
IV.2.1.	La méthode de « Dreux-Gorisse » :	30
IV.2.2.	La composition du béton :	30
IV..3.	Résultats des essais :	31
IV.3.1.	Les essais sur les matériaux :	31
IV.3.1.1	Analyse granulométrique :	31
IV.3.1.2	Essai Los-Angeles :	34
IV.3.1.3	Masse volumique :	35
IV.3.2.	Les essais sur le béton frais :	38
IV.3.2.1	L'essai de cône d'Abrams :	38
IV.3.2.2	L'essai de table à choc :	38
IV.3.3.	Les essais sur le béton durci :	38
IV..4.	Conclusion	44
Conclusion générale :		46

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Généralités sur le béton

Tableau I. 1: Classification des types du ciment

Tableau I. 2: Les classes des granulats

CHAPITRE III : Matériaux utilisés et essais

Tableau III. 1: Composition chimique du ciment

Tableau III. 2: Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Tableau III. 3: Les classes d'affaissement au cône d'Abrams

Tableau III. 4: Les classes d'étalement

CHAPITRE IV : Résultats d'essais et interprétation

Tableau IV. 1 Le taux de cassé de verre en substitution

Tableau IV. 2 Le taux de déchets de démolition en substitution

Tableau IV. 3 Analyse granulométrique par tamisage du Gravier 8/16

Tableau IV. 4 Analyse granulométrique par tamisage du sable 0/1

Tableau IV. 5 Analyse granulométrique par tamisage du sable 0/3

Tableau IV. 6 Analyse granulométrique par tamisage du verre 0/3

Tableau IV. 7 La masse volumique apparente du Gravier 8/16

Tableau IV. 8 La masse volumique apparente du déchet de démolition 8/16

Tableau IV. 9 La masse volumique apparente du Gravier 15/25

Tableau IV. 10 La masse volumique apparente du sable 0/3

Tableau IV. 11 La masse volumique apparente du verre 0/3

Tableau IV. 12 La masse volumique apparente Sable 0/1

Tableau IV. 13 L'essai d'étalement au cône d'Abrams

Tableau IV. 14 L'essai d'étalement à table à choc

Tableau IV. 15 La résistance à la compression

Tableau IV. 16 L'essai de scléromètre

Tableau IV. 17 L'essai d'Ultrason

Tableau IV. 18 L'essai d'absorption d'eau pour B0

Tableau IV. 19 L'essai d'absorption d'eau pour B25

Tableau IV. 20 L'essai d'absorption d'eau pour B50

Tableau IV. 21 L'essai d'absorption d'eau pour B75

Tableau IV. 22 L'essai d'absorption d'eau pour B100

Tableau IV. 23 Les coefficients de sportivité

Liste des figures

CHAPITRE I : Généralités sur le béton

Figure I. 1 : Béton ordinaire

Figure I. 2 : Constituants du béton

CHAPITRE III : Matériaux utilisés et essais

Figure III. 1 Le sac de Ciment utilisé

Figure III. 2: Le déchet de démolition avant et après le concassage manuelle

Figure III. 3: Différentes fractions granulaires récupérées

Figure III. 4: Le verre broyé avant et après le concassage

Figure III. 5: La machine à tamiser

Figure III. 6: Machine Los Angeles et les boules utilisés

Figure III. 7: Echantillon après passage à l'appareil LOS-Angeles et rinçage.

Figure III. 8: Essai d'affaissement cône d'abrâms

Tableau III. 4: Les classes d'étalement Figure III. 9 : Le matériel d'essai table à choc

Figure III. 10 Appareil d'écrasement des éprouvettes.

Figure III. 11: La surface de mesure

Figure III. 12: Mesures en transparence (directe)

CHAPITRE IV : Résultats d'essais et interprétation

Figure IV. 1 Courbe granulométrique du gravier 8/16

Figure IV. 2 Courbe granulométrique du sable 0/1

Figure IV. 3 Courbe granulométrique du Sable 0/3

Figure IV. 4 Courbe granulométrique du verre 0/3

Figure IV. 5 La résistance à la compression du béton

Figure IV. 6 L'essai de scléromètre

Figure IV. 7 L'essai d'ultrason

Figure IV. 8 L'essai d'absorption d'eau du B0

Figure IV. 9 L'essai d'absorption d'eau du B25

Figure IV. 10 L'essai d'absorption d'eau du B50

Figure IV. 11 L'essai d'absorption d'eau du B75

Figure IV. 12 L'essai d'absorption d'eau du B100

Figure IV. 13 La courbe des coefficients de sportivité

Notation et abréviation

Module de finesse : MF

Masse volumique apparente : ρ_d

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

Contrainte de compression: σ_c

Ciment portland artificielle : CPA-CEM

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Au fil des ans, les ressources traditionnelles totales ont été épuisées, surtout dans les régions sahariennes. De plus, les structures urbaines et les routes vieillissent très vite, nécessitant des travaux de réparation ou de démolition. Cependant, ce travail produit beaucoup de résidus. Le coût de stockage de ces matériaux ainsi produits est de plus en plus élevé, les sites de stockage se raréfient, sans compter que les normes environnementales ont fortement restreint l'ouverture d'autres sites de stockage. Par conséquent, nous devons trouver des moyens appropriés pour réutiliser ces types de matériaux.

Pour ce qui est des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ainsi que des ouvrages de travaux publics tels que les blocs de béton et de maçonnerie qui nécessitent des stations de traitement et de concassage ce qui exige plus de transformations et par conséquent un coût élevé relativement à la fabrication des granulats naturels, mais devant les besoins prépondérants des granulats d'une part et les exigences environnementales d'autre part, le recyclage de ces matériaux reste la solution meilleure et efficace .

L'intérêt de réduire la consommation abusive des granulats naturels non renouvelables et la nécessité d'éliminer les gravats de démolition en quantités croissantes, constitue un des objectifs vis-à-vis des exigences soulevées par la prise en compte du développement durable dans le bâti. La solution passe par un remplacement même partiel des granulats naturels par des recyclés issus des matériaux de la déconstruction. Le recyclage se pose comme concept environnemental et économique à la fois.

L'utilisation des matériaux de démolition en tant que granulats de substitution posent parfois des problèmes de faisabilité contraignant une mise en œuvre correcte. Ils sont considérés comme "granulats hors normes". On les suspecte d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

L'objet de cette étude consiste à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats recyclés provenant des déchets de démolition sur les caractéristiques physico - mécaniques, et la durabilité des bétons à base de ces agrégats .

Notre mémoire est divisé en quatre chapitres. Après une introduction générale, la première partie qui est destinée à la recherche bibliographique, se divise en deux chapitres :

Le premier chapitre porte des généralités sur les bétons et le deuxième chapitre expose le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

La seconde partie consiste à présenter un vaste programme expérimental où on présente les matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la

méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale et les caractéristiques des granulats recyclés (déchet de démolition et poudre de verre) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons. On a utilisé les déchets de démolition comme granulats 8/16 et la poudre de verre comme sable 0/3 dans le béton en substitution d'une fraction volumique du gravier et de sable, avec des taux de substitution de (0%, 25%, 50%, 75% et 100%).

L'ensemble des essais a été réalisé au niveau de :

- Laboratoire de Génie Civil (L'université de Belhadj Bouchaib Ain Temouchent)
- Laboratoire de béton (Ain Temouchent)

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LES BETONS

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES BETONS

I.1. Introduction :

Le béton est un mélange de plusieurs composants différents dont les uns sont actifs et les autres sont inertes. Ce matériau présente des caractéristiques qui sont fonction de celles de ces composants. Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. Environ cinq milliards de mètres cube de béton sont utilisés tous les ans par le monde pour la construction d'ouvrages de toute nature, notamment de bâtiments, d'immeubles, de ponts, de routes, de tunnels, de barrages, de centrales thermiques et nucléaires. Le béton est donc formulé en fonction de l'usage auquel il est destiné.

I.2. Définition du béton :

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier, celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide appelé le béton. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci [1].

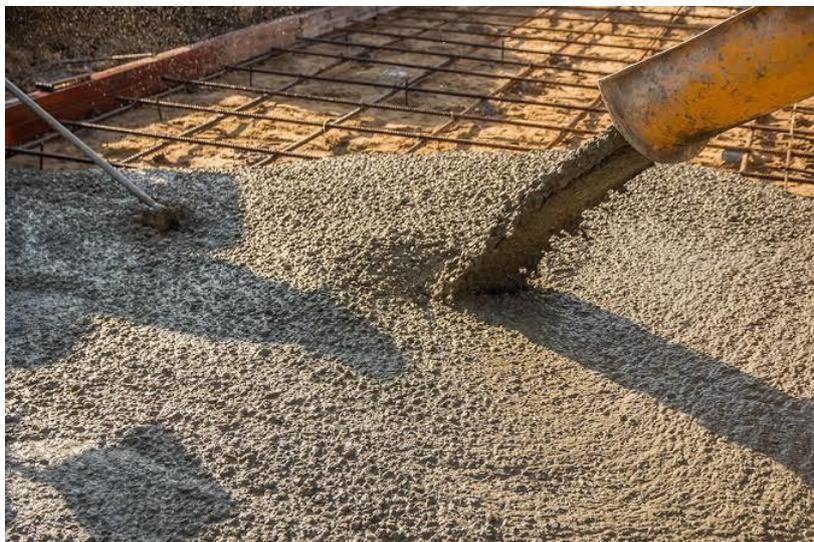


Figure I. 1: Béton ordinaire

I.3. Les composants du béton :

Le béton se compose en général des matériaux suivants :

1. Le ciment: un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau),
2. Les Agrégats (Gravier, Sable de Mer /concassé).

3. Eau de gâchage :(l'eau pour Malaxage).
4. Les adjuvants.
5. Les additions et les ajouts.

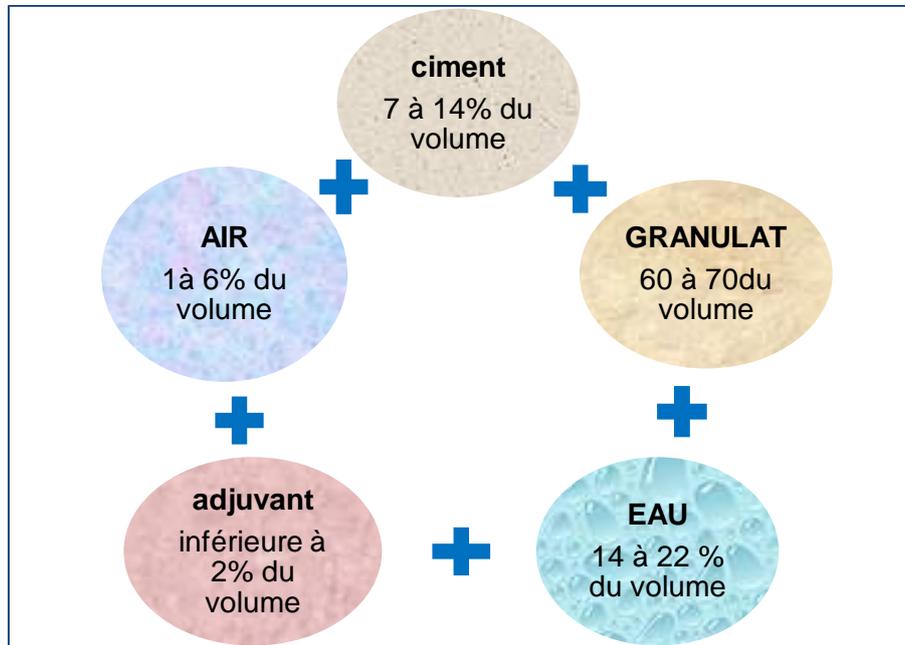


Figure I. 2: Constituants du béton

I.3.1. Le ciment :

Définition :

Le ciment est une poudre minérale, et liant hydraulique comme la chaux, qui forme une pâte, fait prise et durcit lorsqu'il est mis au contact de l'eau. Le ciment est un constituant important du béton - entre 7 et 15 % du mélange - auquel il confère un certain nombre de propriétés, notamment sa résistance [14].

Fabrication :

On peut distinguer quatre étapes dans la fabrication du ciment :

- a. Extraction et concassage des matières premières.
- b. Mélange et réduction en farine de la matière première.
- c. Transformation par cuisson de la farine en clinker.
- d. Mouture du clinker avec le gypse et les ajouts.

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) :

Le CEM I	<p>ou ciment Portland, contient au moins 95 % de clinker (K) et au plus 5% de constituants secondaires.</p> <p>Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint, là où une résistance élevée est recherchée ainsi qu'un décoffrage rapide.</p>
-----------------	---

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 CEM IV/A	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 CO2 grâce à la substitution du clinker par d'autres constituants.

Tableau I. 1: Classification des types du ciment

I.3.2. Les granulats :

On distingue les granulats laminés extraits de ballasts naturels ou de rivières et les granulats concassés obtenus à partir de roche concassée exploitée en carrière. Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les composent, et la courbe granulométrique représente la

répartition en pourcentage des masses de matières passant dans les tamis aux dimensions normalisées [14].

Dans le béton frais, les granulats remplissent l'espace (ils occupent environ 70 % du volume). 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 jouent un rôle important dans la résistance mécanique et la consistance du béton selon :

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

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

Tableau I. 2: Les classes des granulats

Les types des granulats:

Granulats naturels :

- Roches éruptives (basaltes...etc.)
- granulats de carrière (concassés), ils ont une forme angulaire.
- Roches métamorphiques (quartzites...etc.)
- Roches sédimentaires (silice, calcaire...etc.)
- granulats alluvionnaires (roulés), la forme acquise par érosion.

Granulats artificiels Légers :

- Laitier expansé.
- argile expansée.

- schiste expansé.

I.3.3. L'eau de gâchage :

L'eau 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 ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. Il convient donc d'y apporter une grande attention surtout lors de l'emploi d'eau de rejet ou de lavage [6].

I.3.4. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques, incorporés au béton frais en faibles quantités, permettant d'améliorer certaines de ses propriétés. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leur répartition 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.

I.4. La formulation du béton [12]:

Le choix des proportions de chaque composant du béton afin d'obtenir les propriétés souhaitées et le traitement souhaité s'appelle une formulation. La variété des bétons actuellement utilisés, aux propriétés extrêmement variables, ne permet pas d'imaginer un principe de formulation commun. Généralement, la formule sera orientée vers les propriétés majeures recherchées du matériau et adaptée en fonction des propriétés secondaires recherchées.

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.

I.5. Les différents types du béton [1]:

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

Le béton léger :

Le béton léger est un béton très malléable et très léger. Il est efficace pour tous les travaux de rénovation. Il résiste aux chocs et remplit très bien sa mission d'isolant thermique. Le béton léger s'emploie particulièrement pour les murs porteurs et les dalles.

Le béton lourd :

Le béton lourd dispose de granulats très lourds, ce qui permet de répondre à des besoins très précis tels que les ouvrages des centrales nucléaires. L'emploi de ce béton permet de ne laisser passer aucune trace de radiation et de répondre à des normes très strictes de sécurité.

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 compressé.

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 autoplaçant :

Le béton autoplaçant est un béton extrêmement fluide, facilitant grandement son utilisation. Avec ce béton, le but est de gagner un temps considérable lors du coulage sur chantier, car la mise en œuvre se fait sans vibration, contrairement aux bétons plus conventionnels.

Pour autant, une fois le béton solidifié, sa qualité reste la même que sur un béton traditionnel.

Le béton fibré :

Le béton fibré a le même objectif que le béton armé : renforcer la solidité générale de la fondation réalisée. La fibre a le même principe actif que l'armature utilisée sur le béton armé, elle limite les risques de fissuration du béton et améliore sa résistance sur le long terme.

L'avantage de la fibre, c'est également sa grande facilité de mise en œuvre sur chantier, assurant un gain de temps certain lors du coulage.

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 ayant la particularité de rester dans un état de compression optimal. Cet état de compression permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions, ce qui favorise une meilleure finition.

Cet état de pression est construit à partir de câbles de précontrainte en acier, intégrés directement dans le béton comme cela est le cas avec les armatures en acier dans le béton armé. Sur un chantier, il est possible d'appliquer la précontrainte au béton avant le coulage du béton (pré-tension), ou bien après le coulage lorsque le béton durcit (post-tension).

Il est important de préciser que la précontrainte par post-tension est généralement plus efficace mais aussi plus difficile à mettre en œuvre que la précontrainte par pré-tension.

Le béton de ciment alumineux :

Le béton de ciment alumineux, se compose comme son nom l'indique de ciment alumineux. Ce type de ciment, à base d'aluminate de calcium, apporte différents avantages au béton : la prise est plus rapide, et la résistance est plus importante sur le long terme et également vis-à-vis des 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 :

Il s'agit d'un béton qui porte bien son nom, car il est volontairement projeté sur une surface solide par le biais d'un projecteur d'air comprimé. Le but est de limiter l'affaissement et le coulage ultérieur du béton. En terme de composition, le béton projeté dispose de caractéristiques similaires au béton pour les fondations plus traditionnelles.

I.6. Les propriétés du béton [13]:

I.6.1. à l'état frais :

La principale propriété du béton à cet état est son ouvrabilité. En effet, le béton offre une facilité de remplissage du coffrage et du ferrailage lors de la mise en œuvre. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés.

Cette ouvrabilité est influencée par le dosage et la qualité des composants, la forme, la granulométrie et le type de granulats, le volume d'air mais surtout par la quantité d'eau

insérée dans le béton cependant, il faut faire très attention car au-delà d'une certaine quantité, on observera :

- Un ressuage qui est un phénomène de remontée d'une partie de l'eau de gâchage à la surface du béton frais.
- L'augmentation de la porosité et du retrait (phénomène de raccourcissement accompagnant la prise du ciment suite à une baisse de température).
- Une diminution de la résistance et un risque de ségrégation des constituants (les granulats descendent tandis que les liants remontent à la surface).

I.6.2. à l'état durci :

➤ La porosité

La porosité est une caractéristique extrêmement importante pour un béton. La réduction des vides est essentielle, notamment dans le but de faire face aux agents agressifs extérieurs et de lutter contre les risques de corrosion des armatures dans le cas d'un béton armé.

Le choix du type de ciment à mettre en œuvre et l'augmentation du dosage permettent la réduction des vides et contribuent donc fortement à la durabilité de l'ouvrage.

➤ Les résistances mécaniques :

La résistance varie en grande partie en fonction :

- Du dosage et du type de ciment employé
- Du volume d'air subsistant dans le béton ou la porosité
- Du dosage en eau

La résistance en compression du béton ordinaire à 28 jours d'âge est comprise entre 30 à 45 MPa.

La résistance en traction du béton est comprise entre 8 et 12% de la résistance en compression. Par contre, la résistance en cisaillement du béton est d'environ 5% de la résistance en compression.

➤ La résistance au cycle gel-dégel et écaillage :

La résistance au cycle gel-dégel du béton dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- Le rapport eau-liant
- Le volume d'air entraîné
- La durée de la période de séchage avant l'exposition au cycle

Pour y faire face, il est indispensable d'augmenter le volume d'air avec des adjuvants tels que les entraîneurs d'air. Leur teneur en air varie de 4 à 8% selon les conditions d'exposition. Ils ont une bonne capacité de résistance. Cette résistance est accrue pour les bétons à hautes performances.

➤ **La perméabilité du béton :**

Plus un béton est imperméable, plus il a une grande durabilité dans la mesure où les agents agressifs ne peuvent pas agir. Elle est donc liée à la porosité. L'imperméabilité du béton ordinaire est bonne.

➤ **Les retraits :**

Un retrait hydraulique est observé avant et en cours de prise. Il peut être causé soit par évaporation, soit par absorption. Avant et en cours de prise, il peut atteindre un litre d'eau par mètre carré de surface de béton en seulement une heure. Même après le durcissement, il y a encore des retraits observés.

Le retrait thermique est dû à la réduction rapide de la température. Ce retrait est de l'ordre de 200 à 300 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Le retrait diminue considérablement quand le durcissement se fait sous l'eau. C'est la raison pour laquelle on essaye toujours de rendre les pièces humides durant cette phase de durcissement en les arrosant.

➤ **Module d'élasticité :**

Sous l'action de charges instantanées, le béton a un comportement élastique. Plus la résistance du béton est élevée, plus le module d'élasticité est grand.

Le module d'élasticité instantané est compris entre 30000 et 35000 MPa.

I.7. Conclusion :

De nos jours le béton fait partie de notre cadre de vie, des milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde ce qui fait de ce dernier l'un des matériaux de construction le plus utilisé. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière, il permet également la réalisation des produits de préfabrication d'éléments de structures et autres tels que tuyaux, blocs, poutrelles, pavés, planchers, cloisons, et les escaliers. Cependant, l'évolution de ce matériau ne cesse d'être demandée.

CHAPITRE II :

UTILISATION DES DECHETS DANS LE GENIE CIVIL

CHAPITRE II : UTILISATION DES DECHETS DANS LE G.C

II.1. Introduction :

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics. Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération.

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- économiques : les produits ont une durée de vie limitée ;
- écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- accidentelles: les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

II.2. Définition du déchet [4]:

Le mot «*déchet*» désigne tous Matériaux rejetés comme n'ayant pas une valeur immédiate ou laissés comme résidus d'un processus ou d'une opération. (On nomme "déchets industriels" ceux qui ne peuvent ni être admis en décharge ni être ramassés avec les ordures ménagères en raison de leur quantité ou de leur toxicité).

Selon la loi cadre du 15 juillet 1975, est appelé déchets tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

II.3. Lois algériennes concernant les déchets [5]:

- 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.

II.4. Différents types de déchets :

II.4.1. Déchets ultimes :

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

II.4.2. Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumineux.

II.4.3. Déchets assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants)

II.4.4. Déchets verts :

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

II.4.5. Déchets organiques :

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio-déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

II.4.6. Déchets industriels banals (DIB) :

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

II.4.7. Déchets dangereux :

II.4.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc...

II.4.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersée.

II.5. Déchets utilisés comme granulats du béton:

II.5.1. Laitiers de haut fourneau :

Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de murs non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers.

II.5.2. Sous-produits provenant des centrales thermiques [15]:

a. Les cendres volantes :

Les exigences relatives aux cendres volantes pour bétons sont régies par la norme NBN EN 450-1. Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulés légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Les bétons qui contiennent de tels granulés ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40 MN/m² et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger.

b. Mâchefer :

Le mâchefer est le résidu de l'incinération du charbon ou des déchets dans les usines, étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé.

II.5.3. Déchets de construction et de démolition :

L'utilisation des granulats de béton recyclé issus de la démolition d'anciens ouvrages pour construire de nouveaux ouvrages est une solution intéressante pour préserver

l'environnement. Elle permet de minimiser l'emploi des matériaux naturels et d'éviter la mise en décharge des déchets. De nombreux pays ont réalisé des études sur le sujet et ont fait évoluer leur réglementation en la matière [16].

Les déchets de construction et démolition sont principalement :

Béton, brique, bois, plastique, métaux... etc.

II.6. Impact de recyclage des déchets :

a. Impacts du recyclage sur l'environnement :

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières:

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

b. Impact du recyclage dans l'industrie :

b.1. Source d'approvisionnement alternative :

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

b.2. Création d'activités :

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

b.3. Coût de main-d'œuvre :

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri.

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

c. Gestion des déchets :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

II.7. Déchet de démolition :

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne.

Depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme constituants de nouveau béton. Ces déchets peuvent être de béton démolé (déchets des éprouvettes écrasées dans le laboratoire, déchets du bâtiment, des plates-formes des aéroports en béton, chaussées des routes en béton etc.), déchets de brique du bâtiment, ou déchets des éléments de trottoir. Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits : «Granulats Recyclés », et le béton fabriqué à base de ces granulats est dits : « Béton Recyclé». Cependant, les granulats recyclés fabriqués par les déchets de démolition des constructions dont plusieurs déchets autre que le béton tels que : le plâtre, la brique, le bois, le plastique, les métaux, les papiers etc.... après la séparation et le tamisage peuvent être réutilisés dans divers domaines

a. Béton récupéré [15]:

Le béton constitue presque 75% en poids, de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées.

La résistance à la compression et le module d'élasticité du béton renfermant des granules recyclés sont inférieures à ceux du béton ne contenant que des granulats ordinaires. Les différences sont encore plus grandes à des rapports eau-ciment inférieurs. Le fait de remplacer les fines du béton recyclé par du sable n'améliore pas pour autant la résistance du béton. Le béton qui contient des fines provenant de béton récupéré doit avoir un rapport eau/ciment plus élevé étant donné qu'il contient une plus grande proportion de particules de ciment hydraté.

b. Processus de fabrication des granulats recyclés :

Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont :

1. Sélection, stockage et traitement des produits bruts ;

2. Préparation des matériaux avant concassage : cette étape consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un brise roche hydraulique (BRH) et à retirer les impuretés les plus grosses;
3. Tri manuel ;
4. Déferrage électromagnétique ;
5. Concassage et criblage : étape destinée à éliminer les matériaux de faibles caractéristiques ;
6. Concassage secondaire éventuel de la fraction supérieure issue du concassage primaire
7. Stockage ;
8. Analyses éventuelles avant utilisation.

- **Mode d'exploitation :**

Les différentes phases de récupération des produits issus du recyclage sont les suivantes :

a. Réception et tri des matériaux :

La réception se fait à l'entrée du centre de recyclage par contrôle visuel. A l'issue de ce contrôle, les camions jugés trop riches en éléments indésirables (bois, plâtre, plastique...) sont refusés, les autres sont acceptés. Les matériaux sont stockés en fonction de leur nature (béton, briques, enrobés) et du prétraitement qu'ils devront recevoir : brise roche hydraulique, pinces à ferrailles, tri manuel (des plastiques, bois, etc....).

b. Prétraitement :

Le prétraitement consiste à réduire les plus gros éléments (Brise Roche Hydraulique), et à couper les éléments les plus longs (cisaille hydraulique) notamment lorsqu'ils sont ferrillés.

c. Criblage- Scalpage :

Le criblage ou le Scalpage, consiste à éliminer la fraction fine dans laquelle le risque de présence d'argile est le plus grand.

d. Concassage :

Le concassage consiste à fragmenter et réduire les matériaux jusqu'à un diamètre préalablement défini.

e. Dé-ferraillage :

Le dé-ferraillage est avant et après le concasseur par bande électromagnétique pour enlever les ferrailles après sa libération des blocs de béton. Une ou plusieurs bandes sont disposées au long du processus de production

f. Tri aval :

Un tri manuel est effectué sur certaines installations, pour éliminer les impuretés résiduelles avant stockage.

g. Produit fini :

Après l'élimination des impuretés, le produit fini est stocké.

II.8. Déchet de verre :

Le verre peut être utilisé tant en remplacement du ciment qu'en remplacement des granulats. La source alternative de verre la plus connue est le verre bouteille post-consommation, les bouteilles en verre coloré ne sont ni triées ni recyclées. Il faut signaler aussi que dans certains pays comme le Canada, le recyclage des bouteilles en verre coloré n'est pas viable actuellement, son entreposage coûterait moins cher. Cependant, la valorisation du verre à

bouteille dans le béton pourrait constituer une alternative écologique et économique intéressante, permettant l'élimination des décharges encombrantes et polluantes et sa qualification comme une nouvelle source de matériaux de construction.

Sur le plan technique, les verres à bouteille contiennent des quantités importantes d'alcalin pouvant entraîner des effets préjudiciables sur le béton en relation avec les réactions alcali-silice ou alcali- granulat si le verre est utilisé sous forme granulaire. Par contre, de nombreux auteurs conviennent que le verre entraîne un comportement bénéfique associé à la réaction pouzzolanique s'il est utilisé sous forme de poudre.

a. verre récupéré [15]:

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%. Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m³ par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulat pour le béton.

II.9. Avantage de recyclage :

Le recyclage des granulats sur les chantiers routiers et la réutilisation des matériaux sur place dans les chantiers de démolition de bâtiments permet :

- Une économie de la ressource naturelle ;
- Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants ;
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge.

L'allongement constaté des distances de transport pèse sur le coût des matériaux et augmente l'impact sur l'environnement.

Dans un écobilan comparatif, l'avantage revient évidemment aux granulats recyclés traités en milieu semi-urbain proche du gisement et des clients. Leur utilisation évite en effet d'une part un transport de matériaux de démolition vers les décharges et d'autre part un transport d'approvisionnement du chantier en granulats depuis une carrière.

La diminution importante de ces transports représente des gains importants en émissions de CO₂

II.10. Conclusion :

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition «matière» et à ce titre la bio-physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances. Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement. L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de démolition et verre afin de les utiliser en tant que granulats pour béton.

CHAPITRE III :

MATERIAUX UTILISES ET ESSAIS

CHAPITRE III: MATERIAUX UTILISES ET ESSAIS

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons tout d'abord les matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats recyclés (déchets de démolition et poudre de verre) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons. En effet, l'objet de notre recherche est l'étude de la possibilité d'utiliser ces déchets comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du gravier et du sable, et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires (témoin 0%), selon la méthode de formulation la plus utilisée dans notre pays «Dreux-Gorisse».

III.2. Matériaux utilisés :

III.2.1. Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit.

Le ciment anhydre est constitué de clinker additionné de gypse ($\approx 5\%$), et éventuellement pour les ciments composés, d'autres constituants minéraux : laitiers, cendres volantes, fillers calcaires, ...

Le ciment dans notre études est CEM II /A 42.5 (NA 442), conditionné en sac de 50 Kg de BENI-SAF.



Figure III. 1 Le sac de Ciment utilisé

La composition chimique et les caractéristiques physico-mécaniques du ciment sont portées sur les tableaux:

Analyse-chimique	MIN	MAX
SiO ₂	22.8	32.0
Al ₂ O ₃	5.2	6.2
Fe ₂ O ₃	3.2	3.6
CaO	52.0	62.0
MgO	1.02	1.2
K ₂ O	0.35	0.45
Na ₂ O	0.40	0.50
SO ₃	1.80	2.20
PF	2.0	2.8
CL	0.03	0.45
RI	6.0	12.0
CaOI	0.4	1.54

Tableau III. 1: Composition chimique du ciment

Essais physico-mécanique	MIN	MAX	NORME
SS Blaine cm ² /g	2960	4200	-
Consistance %	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	>= 60mm
Compression 2j	12.5	23	> 10.0
Compression 7j	25	36	-
Compression 28j	43	52	>= 42.5
Expansion à	0	8.5	<= 10mm

Tableau III. 2: Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment

III.2.2. Granulats :

Pour confectionner notre béton, on a utilisé ces granulats :

- Gravier de classe 15/25 et 8/16.
- Sable de classe granulaire 0/1 et 0/3.

III.2.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permettre de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton.

III.2.4. Les déchets de démolition :

Les déchets de démolition sont des déchets provenant de la démolition de bâtiment, de routes, de pont ou d'autres structures. Les débris varient en composition, mais les principaux composants comprennent le béton, les produits en bois, les bardeaux d'asphalte, les blocs et les briques, l'acier et les cloisons sèches.

En raison de l'utilisation de ces derniers autant que agrégats (Gravier 8/16), on a écrasé des échantillons de béton en gravats, manuellement avec des marteaux, puis dans un concasseur.



Figure III. 2: Le déchet de démolition avant et après le concassage manuelle

Une fois triés, ciblés et les contaminants éliminés, le béton était prêt pour l'utilisation dans les agrégats du béton.



Figure III. 3: Différentes fractions granulaires récupérées

III.2.5. Le cassé de verre :

Tout simplement, le cassé de verre (verre moulu) est un verre broyé. Le verre est un matériau solide, non cristallin, typiquement transparent, amorphe.

L'utilisation du verre broyé en substitution partielle du sable dans le est relativement récente. La finesse de ce dernier revêt une importance capitale dans son comportement et susceptible d'influencer ses effets sur les principales propriétés du béton.



Figure III. 4: Le verre broyé avant et après le concassage

III.3. Les essais effectués sur les matériaux :

III.3.1. Analyse granulométrique (NF EN 933-1):

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm.

On appelle :

- REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

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

Matériels nécessaires :

- Une machine à tamiser
- Une série de tamis conforme à la Norme NF EN 933-1 et NF X 11-504
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât
- Des récipients en plastique
- Une main écope pour le remplissage
- Une balance de portée 16 kg, précision 1 g.



Figure III. 5: La machine à tamiser

Le module de finesse M_f :

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins à très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- Pour $1,8 < M_f < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < M_f < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < M_f < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

III.3.2. Essai Los Angeles (NF EN 1097-2) :

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulat.

Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets et aux frottements réciproques de la machine Los Angeles. Pour cela il évolue pendant l'essai.

Le coefficient Los Angeles est le rapport : $LA = \frac{5000 - m}{5000} \times 100$.



Figure III. 6: Machine Los Angeles et les boules utilisés

Mode opératoire :

- L'essai est mis en route en exécutant à la machine 500 rotations à une vitesse comprise entre 30 et 35 tr/min pour toutes les classes sauf la classe 25-50 mm où le nombre de rotation est de 1000.
- Après l'essai on emporte les granulats et on les ramasse dans le bac placé sous l'appareil pour éviter les pertes des granulats, il faut apporter l'ouverture au-dessus de ce bac.
- On blute le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm puis on lave le refus à 1,6 mm dans un autre bac et on le verse dans le bac troué. Dès que le refus est séché à l'étuve alors on détermine les poids de la pesée m et on calcule alors le coefficient Los Angeles.



Figure III. 7: Echantillon après passage à l'appareil LOS-Angeles et rinçage.

III.3.3. Masse volumique (NF EN 1097-6):

a. Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau avec tous vides inclus, exprimée en Kg/m^3 .

Principe :

La masse volumique apparente sèche ρ_d est la masse de granulats secs (M_s) occupant un volume apparent.

$$\rho_d = \frac{M_s}{V}$$

Matériel nécessaire :

- Un récipient cubique ou cylindrique de volume connu et dont la taille est adaptée aux granulats
- Une règle à araser métallique

- Une main écope pour le remplissage
- Une balance de portée 5 kg, précision 1 g
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

Mode opératoire :

- Déterminer le volume du récipient = V
- Noter la masse du récipient propre et vide = M_0
- Placer le récipient dans le bac en plastique
- Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.
- Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va et vient, le récipient étant attaqué le long d'une diagonale horizontale
- Noter la masse du récipient rempli = M_2
- Vider le granulat dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure
- Renouveler l'opération 2 fois.

b. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau (les vides exclus).

Principe :

La masse spécifique ρ_s ou masse volumique absolue est la masse de granulats secs M_s rapportée au volume absolu V_s (uniquement volume de solides).

La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats.

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Matériel nécessaire :

- Des éprouvettes graduées en plastique ;
- Un entonnoir pour le remplissage ;
- Une balance de portée 5 kg, précision 1 g ;
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

Mode opératoire :

- Placer l'éprouvette dans le bac en plastique ;
- Verser de l'eau dans l'éprouvette (demi-hauteur) et noter V_1 ;
- Préparer un échantillon de granulats secs de masse M_1
- Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide de l'entonnoir et provoquer le départ des vides (= air) en remuant le mélange avec la tige agitateur ;
- Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V_2 ;

III.4. Les essais effectués sur le béton frais :

III.4.1. L'essai de cône d'Abrams :

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Plus cet affaissement sera grand et plus sera réputé fluide.

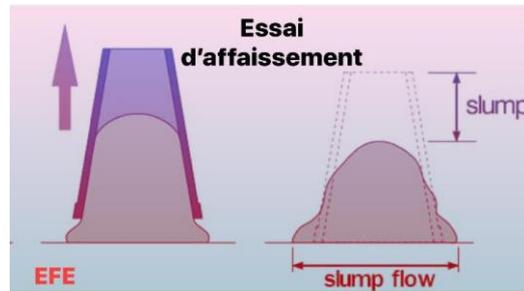


Figure III. 8: Essai d'affaissement cône d'abrâms

Matériel utilisé :

- Moule stable en forme de tronc de cône de 300 mm de haut, avec diamètre inférieur à 200 mm et diamètre supérieur de 100 mm.
- Main écope carrée ou ronde.
- Tige de piquage métallique de 600 mm de long et 16 mm de diamètre, arrondie aux extrémités.
- Surface de base rigide, plate et non absorbante (par ex. une tôle).

Mode opératoire :

- L'essai doit être réalisé sur une surface horizontale.
- L'essai complet doit être exécuté sans interruption en moins de deux minutes.
- Démouler verticalement (sans mouvement de torsion) en 5 à 10 secondes.
- Mesurer l'affaissement du béton à 10 mm près.

Affaissement	Classes	Désignation
0-4	Ferme	F (S1)
5-9	Plastique	P (S2)
10-15	Très Plastique	TP (S3)
>16	Fluide	F (S4)

Tableau III. 3: Les classes d'affaissement au cône d'Abrams

III.4.2. L'essai de table à choc (EN 18-358) :

L'essai d'étalement est généralement utilisé pour des valeurs comprises entre 350 et 620 mm (F2 à F4).

$$\text{Étalement} = \frac{d1+d2}{2} \text{arrondi à 10 mm près.}$$

Principe de l'essai :

La mesure d'étalement effectuée par un essai flow-test permet de définir la consistance d'un béton plastique ou fluide. La consistance du béton est caractérisée par la mesure de

l'étalement d'un cône de béton de forme normalisée après une série de secousses sur une table à choc normalisée.

Matériaux utilisés :

- Un plateau carré de 70 cm de côté permettant d'imprimer des secousses au béton qui sera moulé en son centre ; il est articulé sur un de ses cotés.
- un moule tronconique de 20 cm de haut, de 20 cm de diamètre à sa base et de 13 cm de diamètre à sa partie supérieure.
- un pilon en bois de section carrée $4 \times 4 \text{ cm}^2$.

Mode opératoire :

L'essai consiste à remplir avec le béton étudié le moule tronconique placé au centre du plateau carré. Le béton est mis en place en deux couches et compacté par 10 coups au moyen du pilon. après avoir arasé le béton avec une truelle, le moule est retiré verticalement. Le plateau est alors soulevé le 4cm par cote par un coté (le coté opposé étant maintenu par l'articulation) et relâché en chute libre 15 fois de suite en 30 secondes. Si le béton forme une galette approximativement circulaire et sans ségrégation, l'essai est valable.

La moyenne des mesures aux coté du plateau définit la consistance mesurée sur la table à secousse Elle est arrondie au cm le plus proche.

Table à secousses	Etalement (mm)
F1	340
F2	350 à 410
F3	420 à 480
F4	490 à 600



Tableau III. 4: Les classes d'étalement Figure III. 9 : Le matériel d'essai table à choc

III.5. Les essais effectués sur le béton durci :

III.5.1. L'essai de compression(EN-12390-3):

Dans le cadre de cette étude, un essai a été réalisé dans le but d'évaluer la résistance mécanique des bétons conventionnels, c'est l'essai de compression, l'essai a été réalisé sur cinq cylindres pour 28 jours et pour chaque mélange.

Principe de l'essai :

Le principe de l'essai est de soumettre des éprouvettes d'une géométrie définie à une force de compression jusqu'à rupture de l'éprouvette.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante : $f_c = \frac{F}{A_c}$

Où :

- f_c : Résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;
- F : Charge maximale, exprimée en Newtons ;
- A_c : L'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.



Figure III. 10 Appareil d'écrasement des éprouvettes.

III.5.2. Les essais non destructifs :

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments.

Les essais non destructifs permettent de mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- La résistance
- La durabilité

III.5.2.1. L'essai de Scléromètre :

Le scléromètre est un instrument servant à mesurer la résistance de la compression d'un matériau, comme le béton. Il mesure l'indice de rebondissement à la surface du matériau, indice qui est proportionnel à la résistance du matériau à la compression.

Mode Opératoire :

a) Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, ou de porosité élevée. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

b) Points de mesures :

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement $d = 30$ à 50 mm. Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

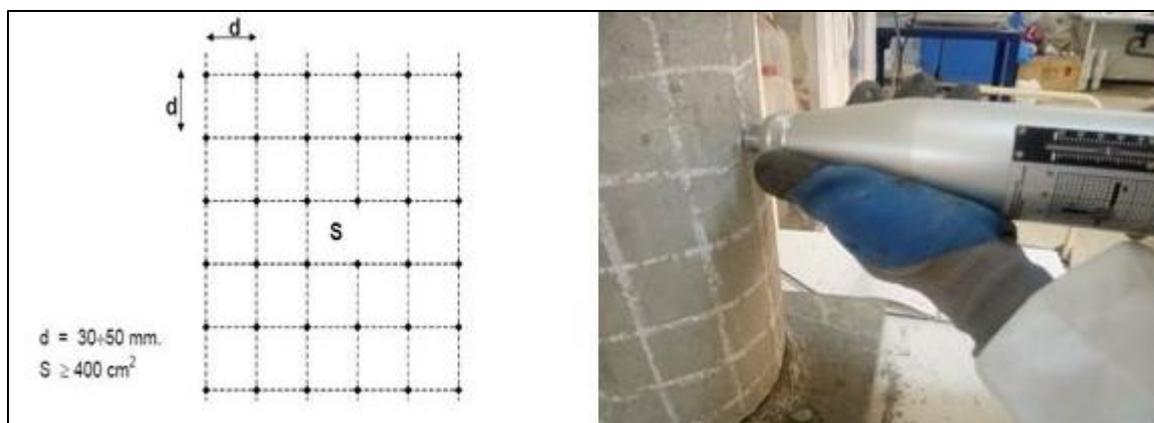


Figure III. 11: La surface de mesure

III.5.2.2. L'essai d'Ultrason :**Principe :**

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue.

La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton.

Mode Opérateur :

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé.
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

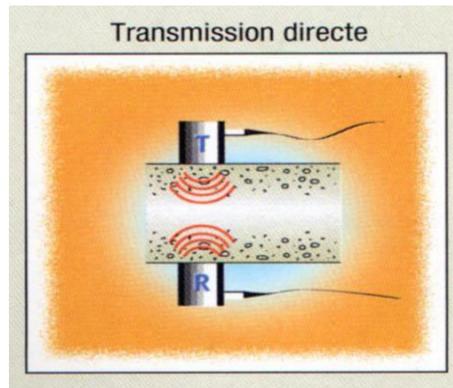


Figure III. 12: Mesures en transparence (directe)

Classements qualitatifs :

- ✓ $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
- ✓ $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- ✓ $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- ✓ $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

III.5.3. L'essai d'absorption d'eau par capillarité (EN 13057):

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité du béton à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau.

Le coefficient de sportivité (S), a été obtenu en utilisant l'expression suivante :

$$S \cdot \sqrt{t} = \frac{Q}{A}$$

Q : La quantité d'eau absorbée en (cm^3).

A : la surface du spécimen en contact avec l'eau (cm^2)

t : le temps (S)

S : le coefficient de sportivité du spécimen ($\text{cm/s}^{1/2}$).

D'où le coefficient de sportivité, Q/A a été tracé en fonction de la racine carrée du temps \sqrt{t} puis, S a été calculé à partir de la pente de la relation linéaire entre Q/A et \sqrt{t} figure

Objectif :

Evaluer l'ascension capillaire d'eau dans un matériau poreux afin de comprendre les phénomènes qui peuvent provoquer l'invasion du béton par l'eau.

Matériel :

- Balance avec une précision de 0,1 g.
- Récipient.
- Chronomètre.
- Matériel de manutention et de nettoyage.

Mode opératoire :

L'essai consiste à placer un échantillon de dimension connue au contact d'une nappe d'eau libre dont le niveau est maintenu constant et d'effectuer pour des échéances de temps données un suivi pondéral de l'échantillon de la masse initial de l'éprouvette M .

Introduction de l'échantillon des précautions doivent être prise pour la pesée des échantillons. Afin de laisser le plateau de la balance sec et d'éviter les erreurs de pesée.

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les matériaux utilisés et les méthodes d'analyse qui nous permettent de faire la caractérisation mécanique de nos matières premières.

En conclusion, de différents mélanges ont été confectionnés à base de ces matériaux afin d'apprécier les caractéristiques des granulats de déchets de démolition et la poudre de verre concassée ainsi que leur influence sur les performances du béton ordinaire.

CHAPITRE IV :

RESULTATS D'ESSAIS ET INTERPRETATION

CHAPITRE IV : RESULTATS D'ESSAIS ET INTERPRETATION

IV..1. Introduction :

On présente dans ce chapitre les résultats de recherche d'un plan expérimental, dont l'objectif de générer un ensemble d'informations pour permettre à l'utilisateur de relier les compositions des bétons avec leurs performances. Dans une première partie, on décrit la méthode « Dreux-Gorisse » adoptée pour la formulation des bétons. Dans la deuxième partie, on présente les résultats des essais sur les matériaux utilisés, sur le béton à l'état frais à savoir: l'affaissement au cône d'Abrams et L'essai d'étalement à la table à choc, ainsi que les résultats à l'état durci des bétons à savoir : la résistance à la compression des éprouvettes cylindriques, l'essai de scléromètre, l'ultrason et l'absorption d'eau des éprouvettes testées à l'âge de 28 jours.

IV..2. Méthode de composition du béton :

IV.2.1. La méthode de « Dreux-Gorisse » :

La méthode que nous avons choisie pour la composition des bétons hydrauliques dite «Dreux-Gorisse » est une méthode assez simple à utiliser. C'est une méthode qui a été non seulement élaborée suite à une synthèse d'une multitude de composition, mais elle a fait l'objet aussi de plusieurs applications dans le monde.

A partir des données de base essentielles, la méthode «Dreux-Gorisse» permet d'aboutir approximativement, mais rapidement aux compositions qui ressortent en moyenne de l'examen statistique des bétons les plus couramment utilisés actuellement dans nos chantiers. D'autant plus c'est la méthode la plus utilisée actuellement en Algérie.

IV.2.2. La composition du béton :

La formulation du béton a été calculée par la méthode de Dreux-Gorisse.

- **La formulation :**
 - ✓ ciment : 350 Kg/m³
 - ✓ Sable 0/1 : 240 Kg/m³
 - ✓ Sable 0/3 : 480 Kg/m³
 - ✓ Gravier 15/25 : 552 Kg/m³
 - ✓ Gravier 8/15 : 490 Kg/m³
 - ✓ Gravier 3/8 : 153 Kg/m³
 - ✓ Eau : 160 Kg/m³
- Pour une éprouvette de 16/32 :

On a le volume de chaque une est : $V = \pi \times r^2 \times h = 6.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

- Le dosage de chaque constituant est le suivant :

En utilisant la règle des trois et en multipliant le volume par 1.5 (Les pertes), on trouve :

- ✓ ciment : 3.375 Kg
- ✓ Sable 0/1 : 2.31 Kg
- ✓ Sable 0/3 : 4.62 Kg
- ✓ Gravier 15/25 : 5.31 Kg
- ✓ Gravier 8/15 : 4.72 Kg
- ✓ Gravier 3/8 : 1.47 Kg
- ✓ Eau : 1.35 Kg
- Le dosage des ajouts en substitution est le suivant :

Désignation du béton :	Poudre de verre (Kg) :	Sable 0/3 (Kg) :
B0	0	4.62
B25	1.155	3.465
B50	2.31	2.31
B75	3.465	1.155
B100	4.62	0

Tableau IV. 1 Le taux de cassé de verre en substitution

Désignation du béton :	D. Démolition 8/16 (kg) :	Gravier 8/16 (Kg) :
B0	0	4.72
B25	1.18	3.54
B50	2.36	2.36
B75	3.54	1.18
B100	4.72	0

Tableau IV. 2 Le taux de déchets de démolition en substitution

IV..3. Résultats des essais :

IV.3.1. Les essais sur les matériaux :

IV.3.1.1 Analyse granulométrique :

a. Gravier naturelle 8/16 :

Poids utilisé pour l'essai (g) :	Diamètre tamis (mm) :	Poids du refus cumulé (g) :	Pourcentage refus cumulé (%) :	Pourcentage Tamisât cumulé (%) :
2000 g	16	22	1.1	98.9
	10	1498	74.9	25.1
	8	1918	95.9	4.1
	Fond	2000	100	0

Tableau IV. 3 Analyse granulométrique par tamisage du Gravier 8/16

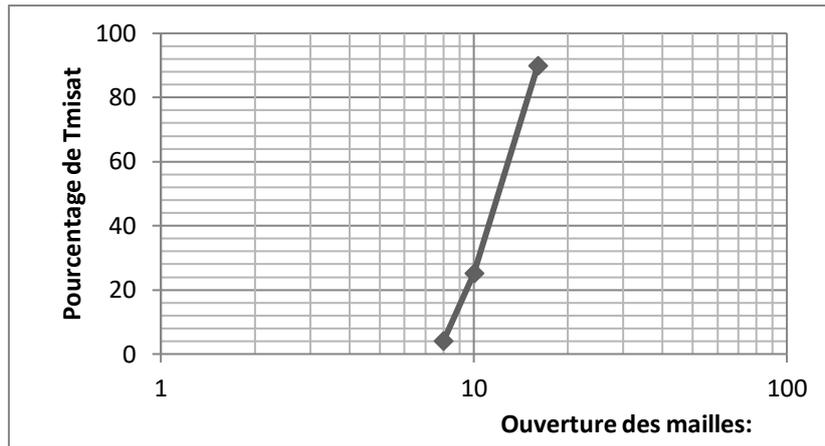


Figure IV. 1 Courbe granulométrique du gravier 8/16

- on remarque qu'on a un gravier à granulométrie continue.

b. Sable 0/1 :

Poids utilisé pour l'essai (g) :	Diamètre tamis (mm) :	Poids du refus cumulé (g) :	Pourcentage refus cumulé (%) :	Pourcentage Tamisât cumulé (%) :
1000 g	5	0	0	100
	2.5	0	0	100
	1.25	0	0	100
	0.63	8	0.08	99.92
	0.315	433	43.3	56.7
	160 μ	993	99.3	0.7
	80 μ	1001	100	0
	Fond	0	100	0

Tableau IV. 4 Analyse granulométrique par tamissage du sable 0/1

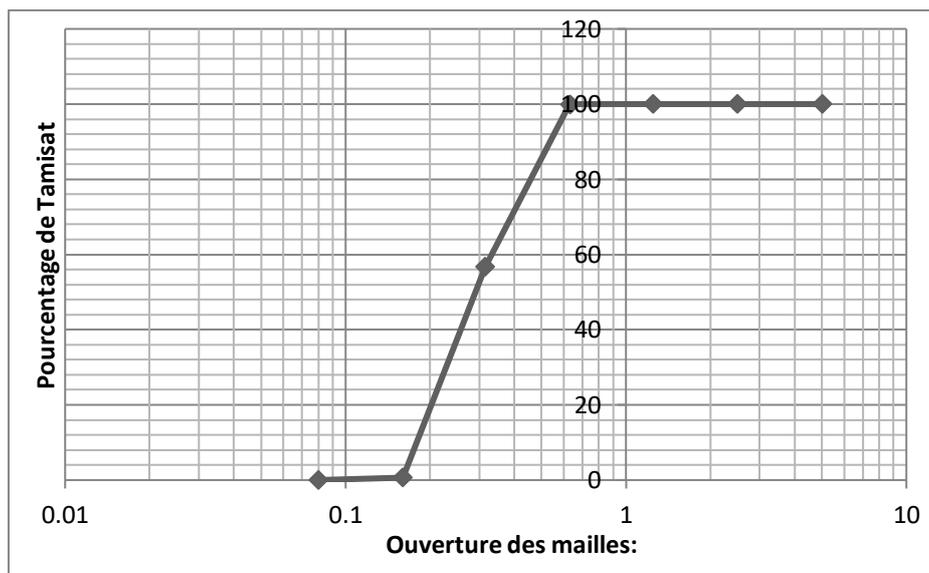


Figure IV. 2 Courbe granulométrique du sable 0/1

Module de finesse :

$$MF = 1/100 (\Sigma \text{ refus cumulé en } \%) = \frac{233.68}{100} = 2.33$$

MF ∈ [2.2-2.8] : Donc Le sable est un sable normal préférentiel, qui présente une facilité de mise en œuvre et bonne résistance du béton.

c. Sable 0/3 :

Poids utilisé pour l'essai (g) :	Diamètre tamis (mm) :	Poids du refus cumulé (g) :	Pourcentage refus cumulé (%) :	Pourcentage Tamisât cumulé (%) :
1000 g	5	38.4	3.84	96.16
	2.5	134.9	13.49	86.51
	1.25	341.1	34.11	65.89
	0.63	456.2	45.62	54.38
	0.315	621.9	62.19	37.81
	160	919.9	91.99	8.01
	80	961.6	96.16	3.84
	Fond	1000	100	0

Tableau IV. 5 Analyse granulométrique par tamisage du sable 0/3

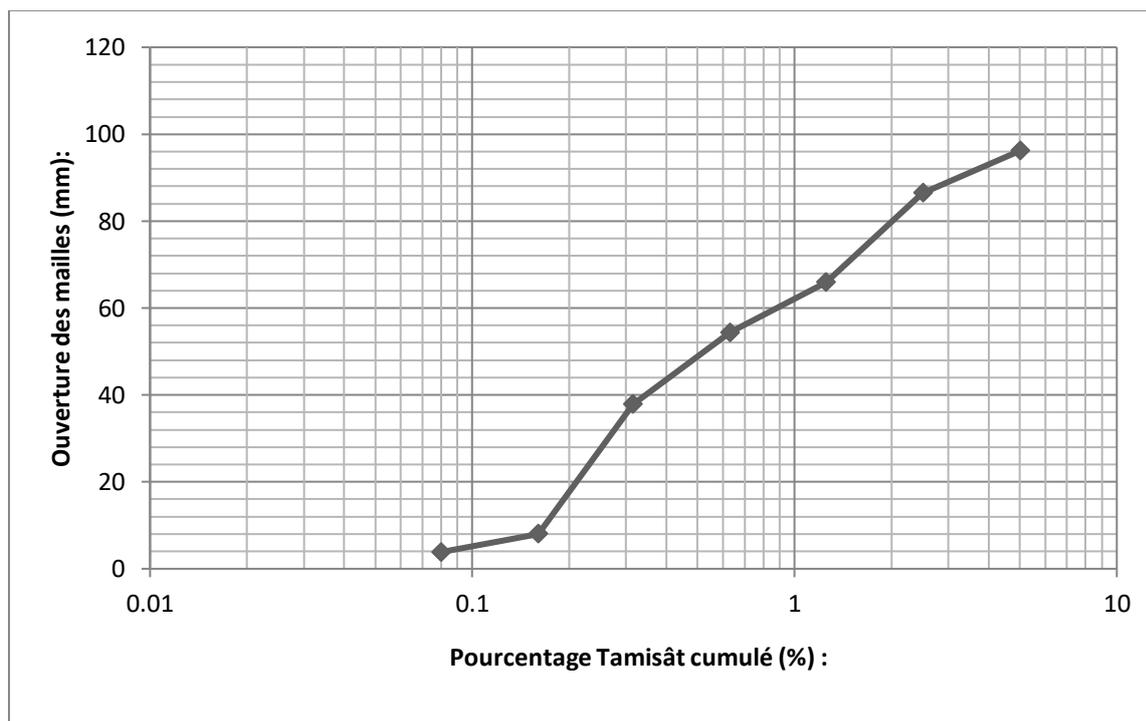


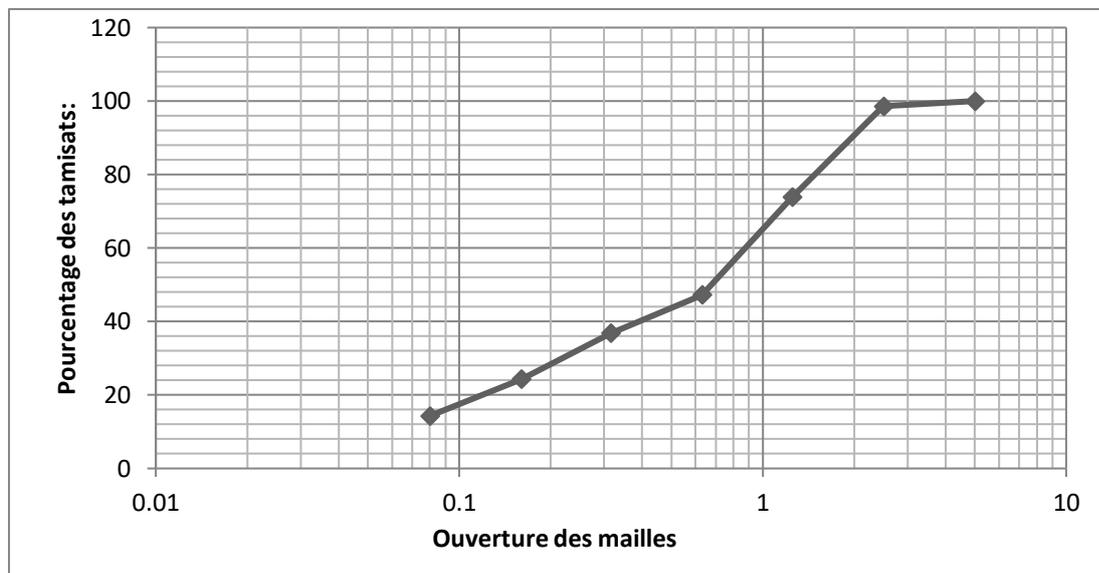
Figure IV. 3 Courbe granulométrique du Sable 0/3

$$MF = \frac{251.24}{100} = 2.51$$

MF ∈ [2.2-2.8] : Donc Le sable est un sable normal préférentiel, qui présente une facilité de mise en œuvre et une bonne résistance du béton.

d. Le verre broyé 0/3 :

Poids utilisé pour l'essai (g) :	Diamètre tamis (mm) :	Poids du refus cumulé (g) :	Pourcentage refus cumulé (%) :	Pourcentage Tamisât cumulé (%) :
1000 g	5	0	0	100
	2.5	14	1.4	98.6
	1.25	262	26.2	73.8
	0.63	528	52.8	47.2
	0.315	632	63.2	36.8
	160	757	75.7	24.3
	80	857	85.7	14.3
	Fond	1000	100	0

Tableau IV. 6 Analyse granulométrique par tamisage du verre 0/3**Figure IV. 4 Courbe granulométrique du verre 0/3**

$$MF = \frac{219.3}{100} = 2.193$$

MF ∈ [1.8-2.2] : Donc Le sable est un sable à majorité de grains fins et convenable pour obtenir un béton d'ouvrabilité satisfaisante et de bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

IV.3.1.2 Essai Los-Angeles :

Le coefficient Los-Angeles des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentés suivant :

a. Gravier 8/16 :

$$CLA = 100 * \frac{5000 - 3690}{5000} = 26.2 = 26 \%$$

CLA ∈ [15,25] : Ce gravier est de bonne résistance au choc.

b. Déchets de démolition 8/16 :

$$CLA = 100 * \frac{5000 - 3079}{5000} = 38.42 = 38 \%$$

CLA ∈ [25,40] : Ce gravier est de moyenne résistance au choc.

IV.3.1.3 Masse volumique :**a. Gravier naturel 8/16 :**

- Apparente :

$m_1(g)$:	$m_2(g)$:	V (cm ³) :
1396.1	2727	1000
	2682	
	2683	

Tableau IV. 7 La masse volumique apparente du Gravier 8/16

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{2697.33 - 1396.1}{1000} = 1.30 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

m : Masse d'échantillon sec (100 g).

V₁ : Volume d'eau (250 cm³).

V₂ : Nouveau volume (V₂=285 cm³)

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = \frac{100}{285 - 250} = 2.85 \text{ g/cm}^3$$

b. Déchets de démolition 8/16 :

- Apparente :

$m_1(g)$:	$m_2(g)$:	V (cm ³) :
1398.2	2560	1000
	2508.5	
	2548.6	
	2519.7	

Tableau IV. 8 La masse volumique apparente du déchet de démolition 8/16

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{2534.2 - 1398.2}{1000} = 1.136 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

m = 300 g ;

V₁ = 300 cm³;

V₂ = 430 cm³

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = \frac{300}{430 - 300} = 2.30 \text{ g/cm}^3$$

c. Gravier 15/25 :

- Apparente :

m_1 (g) :	m_2 (g) :	V (cm ³) :
1398.1	2920.1	1000
	2890	
	2934.6	
	2935.7	

Tableau IV. 9 La masse volumique apparente du Gravier 15/25

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{2920.07 - 1398.1}{1000} = 1.52 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = 2.66 \text{ g/cm}^3$$

d. Sable 0/3 :

- Apparente :

m_1 (g) :	m_2 (g) :	V (cm ³) :
1398	2850.5	1000
	2847.8	
	2849	
	2851	

Tableau IV. 10 La masse volumique apparente du sable 0/3

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{2849.57 - 1398}{1000} = 1.45 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

$$m = 260 \text{ g ;}$$

$$V_1 = 510 \text{ cm}^3 ;$$

$$V_2 = 611.1 \text{ cm}^3$$

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = \frac{260}{611.1 - 510} = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

e. Le verre broyé 0/3 :

- Apparente :

m_1 (g) :	m_2 (g) :	V (cm ³) :
1394.1	2864.7	1000
	2855.8	
	2855.8	
	2865.5	

Tableau IV. 11 La masse volumique apparente du verre 0/3

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{2860.45 - 1394.1}{1000} = 1.46 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

$$m = 260 \text{ g} ; V_1 = 500 \text{ cm}^3 ; V_2 = 600 \text{ cm}^3$$

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = \frac{260}{600 - 500} = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

f. Sable 0/1 :

- Apparente :

m_1 (g) :	m_2 (g) :	V (cm ³) :
1399	1518	1000
	1523	
	1521	

Tableau IV. 12 La masse volumique apparente Sable 0/1

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{1520.67 - 1394}{1000} = 0.126 \text{ g/cm}^3$$

- Absolue :

$$V_1 = 140 \text{ cm}^3 ;$$

$$V_2 = 180 \text{ cm}^3 ;$$

$$m = 100 \text{ g}$$

$$\rho_s = \frac{m}{V_2 - V_1} = \frac{100}{180 - 140} = 2.5 \text{ g/cm}^3$$

IV.3.2. Les essais sur le béton frais :

IV.3.2.1 L'essai de cône d'Abrams :

Les résultats de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de sable et de gravier pour nos éprouvettes, sont représentés dans le tableau IV.13 :

Désignation du béton :	l'affaissement au cône d'Abrams (mm) :
B0	0
B25	0
B50	24
B75	5
B100	0

Tableau IV. 13 L'essai d'étalement au cône d'Abrams

Le tableau montre que le béton des éprouvettes est très ferme.

En tenant en compte de l'utilisation de superplastifiants aux éprouvettes B50, B75, B100, on remarque que la fluidité diminue avec l'augmentation du taux des ajouts (Déchets de démolition et PV).

IV.3.2.2 L'essai de table à choc :

Désignation du béton :	l'étalement (mm) :
B0	470
B25	530
B50	260
B75	115
B100	142.5

Tableau IV. 14 L'essai d'étalement à table à choc

Les éprouvettes B0 et B25 sont de la classe F4, c'est un béton mou ; et B50, B75, B100 sont de la classe F1, c'est un béton très ferme.

IV.3.3. Les essais sur le béton durci :

IV.3.3.1 L'essai de compression :

Dans le tableau suivant, on présente les valeurs de la résistance en compression des éprouvettes B0, B25, B50, B75 et B100 à 28j.

Désignation du béton :	Résistance (MPa) :
B0	10.75
B25	9.42
B50	36.70
B75	28.92
B100	10.07

Tableau IV. 15 La résistance à la compression

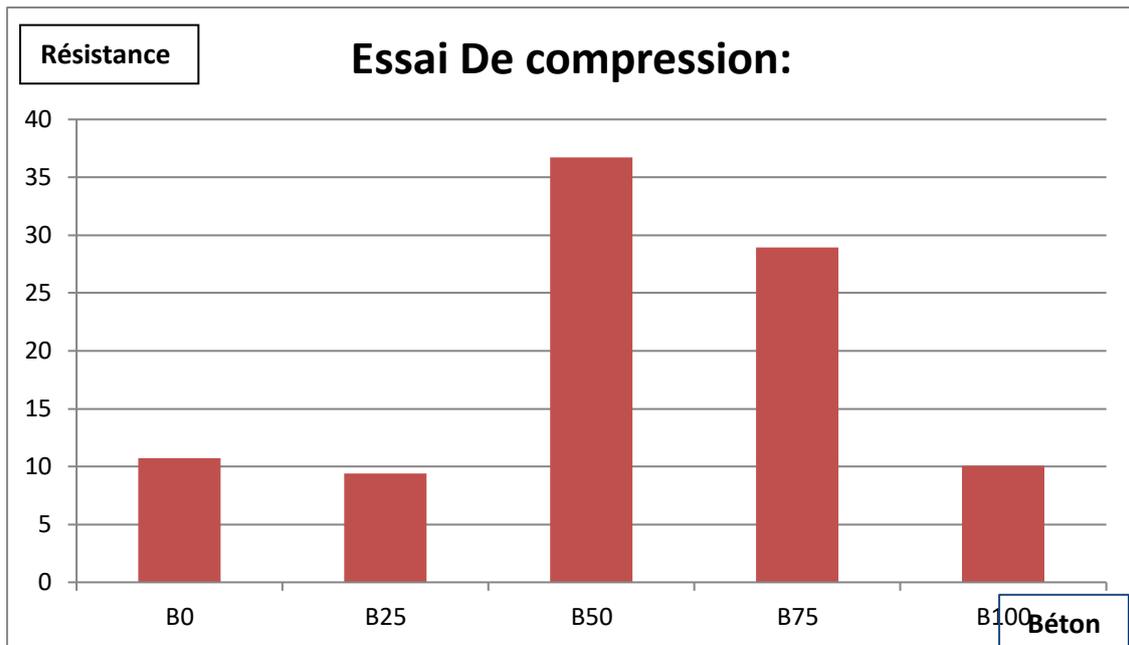


Figure IV. 5 La résistance à la compression du béton

La valeur maximale de la résistance est de 36.7 MPa obtenue dans le béton B50.

La valeur minimale de la résistance est de 9.42 MPa obtenue dans le béton B25.

On remarque que la résistance augmente avec l'augmentation du taux de substitution jusqu'à 50%, puis elle diminue dans les éprouvettes B75 (qui est acceptable) et B100.

IV.3.3.2 les essais non destructifs :

a. Scléromètre :

Désignation du béton :	Résistance (MPa) :
B0	21.4
B25	22.95
B50	24.35
B75	33
B100	26

Tableau IV. 16 L'essai de scléromètre

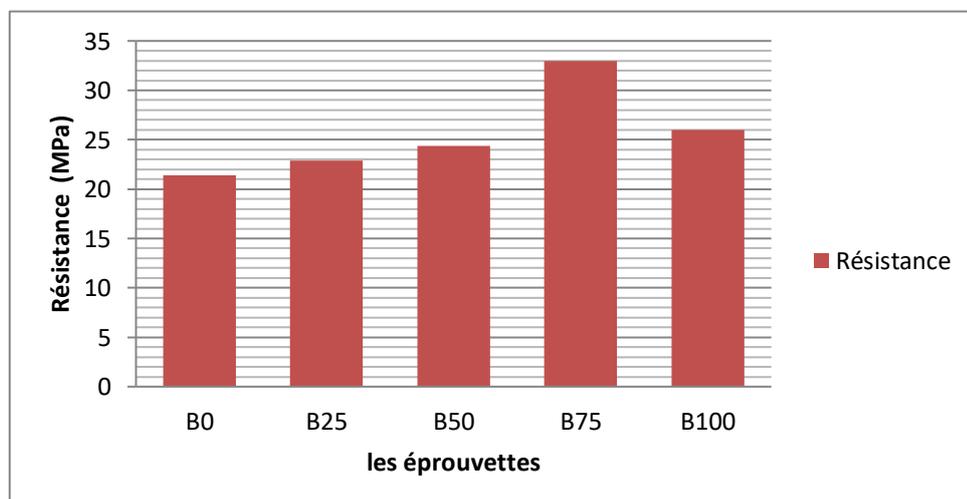


Figure IV. 6 L'essai de scléromètre

La valeur maximale de la résistance est de 33 MPa obtenue dans le béton B75, et même les autres éprouvettes ont donné des bons résultats, compris entre 21 et 26 MPa.

b. Ultrason :

Selon $d = 32 \text{ cm}$:

Désignation du béton :	Vitesse m/s :
B0	3570
B25	3600
B50	3534
B75	3907
B100	3720

Tableau IV. 17 L'essai d'Ultrason

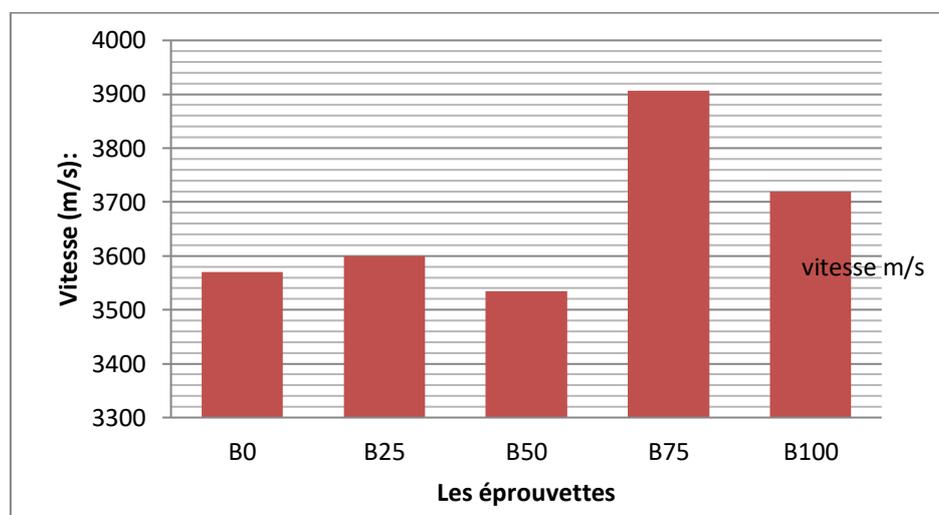


Figure IV. 7 L'essai d'ultrason

On constate que les éprouvettes B0, B25, B50 ont de moyenne résistance, et B75, B100 ont une très haute résistance.

IV.3.3.3 l'essai d'absorption d'eau par capillarité:

Le coefficient de sportivité (S), a été obtenu en utilisant l'expression suivante :

$$\frac{Q}{A} = S \cdot \sqrt{t}$$

Q : La quantité d'eau absorbée en (g).

A : La surface du spécimen en contact avec l'eau (mm^2).

t : Le temps (s).

S : Le coefficient de sportivité ($\text{cm/s}^{1/2}$).

1) Eprouvette B0 :

Temps (min) :	\sqrt{t} :	m_0 (Kg):	m_1 (Kg) :	Q (g) :	$\frac{Q}{A}$ (g/mm ²) :
15	3.87	16.260	16.322	62	0.00308
30	5.47		16.335	75	0.00373
60	7.74		16.356	96	0.00477
120	10.95		16.380	120	0.00597

Tableau IV. 18 L'essai d'absorption d'eau pour B0

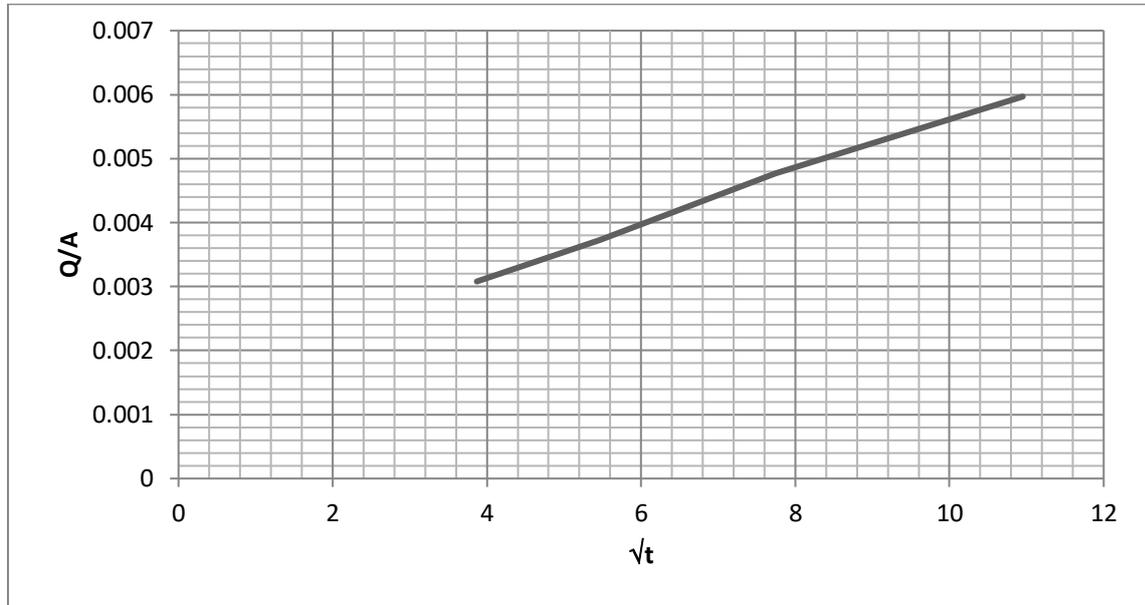


Figure IV. 8 L'essai d'absorption d'eau du B0

$$S = \frac{0.0048 - 0.004}{8 - 6} = 0.0004 \text{ cm/s}^{1/2}$$

2) Eprouvette B25 :

Temps (min) :	\sqrt{t} :	m_0 (kg):	m_1 (kg) :	Q (g) :	$\frac{Q}{A}$ (g/mm ²) :
15	3.87	15.004	15.139	135	0.00671
30	5.47		15.157	153	0.00761
60	7.74		15.176	172	0.00855
120	10.95		15.202	198	0.00985

Tableau IV. 19 L'essai d'absorption d'eau pour B25

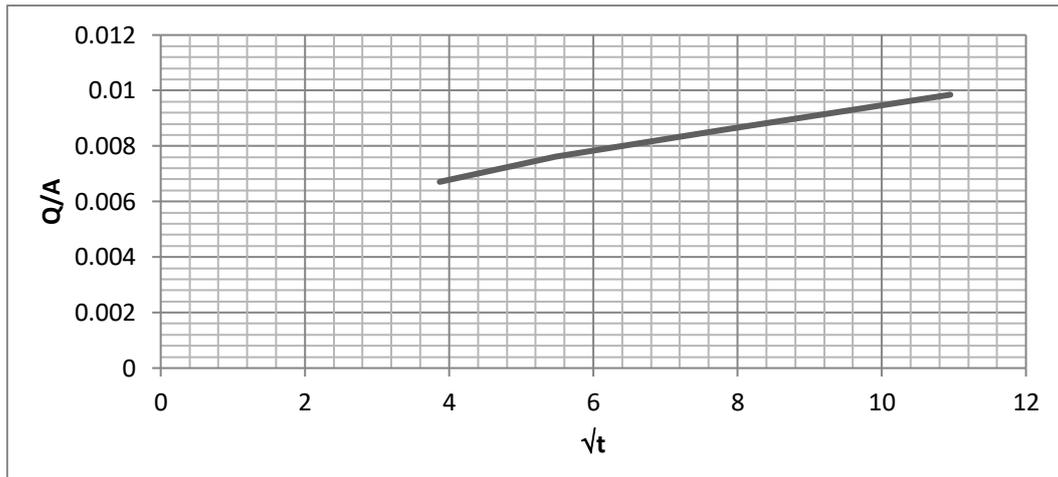


Figure IV. 9 L'essai d'absorption d'eau du B25

$$S = \frac{0.0087 - 0.0083}{10 - 8} = 0.0002 \text{ cm/s}^{1/2}$$

3) Eprouvette B50 :

Temps (min) :	\sqrt{t} :	m_0 (kg):	m_1 (kg):	Q (g) :	$\frac{Q}{A}$ (g/mm ²) :
15	3.87	16.340	16.375	35	0.00174
30	5.47		16.385	45	0.00223
60	7.74		16.394	54	0.00268
120	10.95		16.410	70	0.00348

Tableau IV. 20 L'essai d'absorption d'eau pour B50

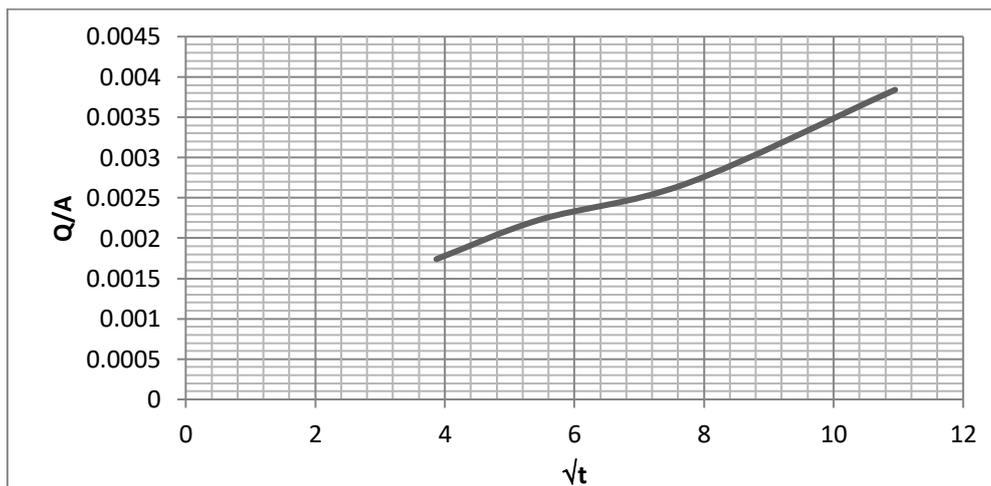


Figure IV. 10 L'essai d'absorption d'eau du B50

$$S = \frac{0.0035 - 0.00255}{10 - 8} = 0.000475 \text{ cm/s}^{1/2}$$

4) Epreuve B75 :

Temps (min) :	\sqrt{t} :	m_0 (kg):	m_1 (kg):	Q (g) :	$\frac{Q}{A}$ (g/mm ²) :
15	3.87	16.111	16.175	64	0.00318
30	5.47		16.178	67	0.00333
60	7.74		16.194	83	0.00413
120	10.95		16.203	92	0.00457

Tableau IV. 21 L'essai d'absorption d'eau pour B75

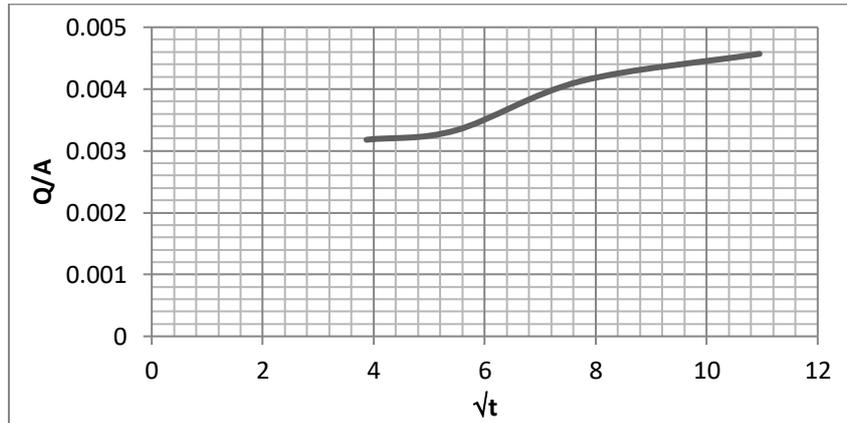


Figure IV. 11 L'essai d'absorption d'eau du B75

$$S = \frac{0.0045 - 0.0043}{10 - 8} = 0.0001 \text{ cm/s}^{1/2}$$

5) Epreuve B100 :

Temps (min) :	\sqrt{t} :	m_0 (g):	m_1 (g):	Q (g) :	$\frac{Q}{A}$ (g/mm ²) :
15	3.87	15914	15947	33	0.00164
30	5.47		15960	46	0.00228
60	7.74		15974	60	0.00298
120	10.95		15997	83	0.00413

Tableau IV. 22 L'essai d'absorption d'eau pour B100

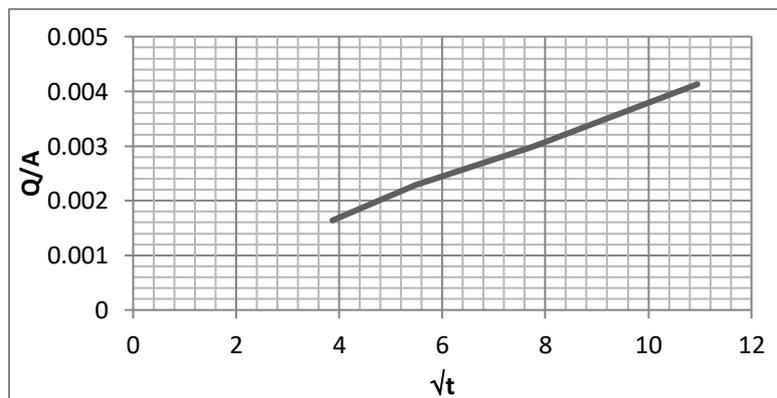


Figure IV. 12 L'essai d'absorption d'eau du B100

$$S = \frac{0.00413 - 0.00228}{10.95 - 5.47} = 0.0003 \text{ cm/s}^{1/2}$$

Les résultats d'essais d'absorption d'eau pour nos éprouvettes, sont représentés dans le tableau 4.23 :

Désignation du béton :	Coefficient de sportivité S (cm/s ^{1/2}):
B0	4×10^{-3}
B25	2×10^{-3}
B50	4.7×10^{-3}
B75	1×10^{-3}
B100	3×10^{-3}

Tableau IV. 23 Les coefficients de sportivité

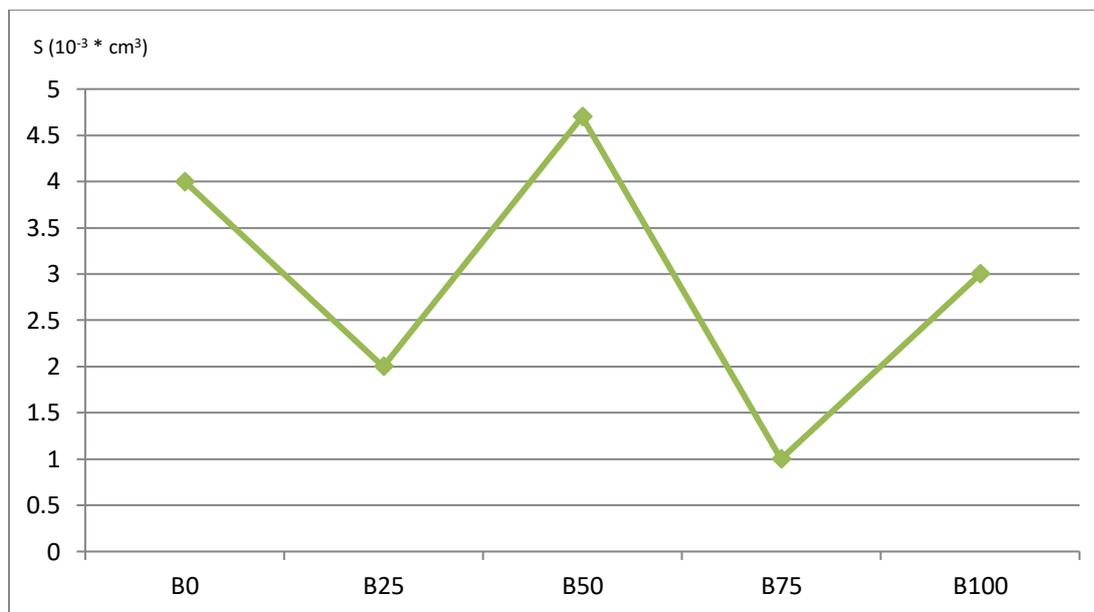


Figure IV. 13 La courbe des coefficients de sportivité

On constate que :

- Le gravier recyclé absorbe une quantité importante d'eau.
- La valeur maximale du coefficient de sportivité a été obtenue par le béton B50.

IV..4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait l'étude expérimentale sur une variété des bétons, où on a utilisé les déchets de démolition comme gravier 8/16 et le cassé de verre comme sable 0/3, avec des taux de substitution de (0, 25,50 ,75 et 100 %), pour objet d'évaluer leur résistance.

On conclue que :

- La résistance à la compression diminue nettement dès que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés dépasse 50%.
- Cette réduction de résistance est due à l'effet du mortier de l'ancien béton inerte qui est attaché aux agrégats provenant du béton concassé ce qui gêne le bon déroulement de l'hydratation du ciment.
- Les bétons à base d'agrégats de déchets de démolition présentent un rapport E /C élevé ce qui se traduit par une forte porosité et par conséquent une chute de résistance.

Si le rapport E/C adopté dans ce type de béton est faible on obtient des bétons à ouvrabilité très faible avec ségrégation ce qui est le cas de et B25, B75 et B100.

- On peut fabriquer des bétons à base des granulats de démolition sans dépasser un taux de substitution de 50% avec des résistances comparables sous réserve d'augmenter la teneur en ciment.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

La demande nationale de granulats augmente, ce qui est lié à la demande croissante de matériaux pour les bâtiments et les infrastructures. Cette situation a conduit à l'épuisement des gisements naturels de granulats. De plus, les contraintes environnementales ont réduit la possibilité de développer des gisements terrestres traditionnellement exploités. La difficulté d'ouvrir de nouvelles carrières oblige à rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement. Le recyclage des matériaux de construction semble être la solution la plus prometteuse.

L'apport de cette étude permet de confirmer la possibilité de valorisation des déchets de démolition en tant que matériau substituable en partie au granulats naturels. L'intérêt qui se dégage dans cette perspective se doit d'abord d'être économe des ressources puisque le concept s'inscrit dans un cycle boucle (utilisation des ressources renouvelable).

Les résultats de notre étude montrent que :

- ✓ Les caractéristiques physiques et chimiques des granulats recyclés sont pratiquement similaires à celles des granulats naturels.
- ✓ Tout comme les granulats naturels, les granulats recyclés sont conformes à des normes et réglementations strictes pour garantir la qualité des produits et la connaissance des performances.
- ✓ La résistance à la compression diminue lorsque le taux des granulats recyclés augmente dans une composition de béton. Cependant les graviers naturels et le sable peuvent être remplacés par des graviers de bétons de démolition et le cassé de verre à un niveau de 50 à 75% sans qu'il y ait de risque de perte de résistance mécanique.
- ✓ Lors de la formulation du béton il faut tenir en compte que le gravier recyclé absorbe beaucoup d'eau, qui peut causer un problème de ségrégation.

Enfin, les recherches antérieures ont montré que l'utilisation du déchets peut produire un béton de haute résistance et la substitution des granulats naturels par des granulats recyclés partiellement ou en totalité dans un béton, offre une nouvelle source d'approvisionnement et permet d'économiser les matériaux et les carrières, et répondre au problème de la gestion des déchets de démolition pour préserver l'environnement.

Référence bibliographique :

- [1] <https://www.coffrages-cosmos.com/> : Les différents types de béton et leurs spécificités.
- [2] Mr KHOULDI SAYEH et HAMDY MEFTEH: LA GESTION DES DECHETS INDUSTRIELS. ETUDE DE CAS FLASH CHEMICALS INDUSTRY (FCI) (Université Kasdi Merbah Ouargla)
- [3] HANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.
- [4] <https://www.actu-environnement.com/>
- [5] Mr KEHILA YUCEF Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie Avril 2014
- [6] RISSEL KHELIFA.M, " Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants", thèse de doctorat, 2009.
- [7] Aitcin.P.C, " l'emploi des fluidifiants dans les BHP, les bétons à ultra hautes performances", Presses de l'ENPC, 1992.
- [8] Paillere.A.M, "Les adjuvants", Le béton hydraulique, Presses de ENPC, 1982.
- [9] Kantro.D.L, "Influence des superplastifiants réducteurs d'eau sur les propriétés de la pâte de ciment – un slump test miniature", Cement Concrete and Aggregate, Vol. 2, 1980
- [10] Kara-Ali.R, "Influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires", Thèse Doctorat, Université Cergy Pontoise, décembre2002.
- [11] Neville.A.M, "Propriétés des bétons", Edition Eyrolles, 2000.
- [12] Turcry.P, Loukili. A, "Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants : incidence sur les caractéristiques rhéologiques", Forum des associations AFGC/AUGC/IREX : innovation et développement en génie civil et urbain - nouveaux bétons, Toulouse, 30-31 mai 2002.
- [13] <http://maconnerie.bilp.fr/> : Les guides de la maçonnerie.
- [14] Mrs Kaya, BETON GUIDE PRATIQUE (ECOLE DE METIERS), Burkina Faso.
- [15] RAMACHANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.
- [16] BOURMATE N : granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, université de Constantine, 2004.