

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2020



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2020

Mémoire de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème

Formulation et caractérisation du béton à base des agrégats recyclés

Nom et Prénom de l'étudiant :
NOUBLI Amira

Encadreur : BEN AICHI Elhadj

Année universitaire : 2019 – 2020

DEDICACE

à l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père , «**NOUBLI ABD EL HAKIM**».

j'aurais souhaité que tu sois à mes côtés en ce jour et que ma vois ta fierté à moi et ta joie de ma réussite ,

mais le destin voulait et je l'ai perdu avant qu'il ne voie mon mémoire et le jour où j'ai obtenu mon diplôme. Dieu repose ton âme, papa.



Pour la fleure de ma vie, Ma mère «**Malika** » Merci pour tout le soutien et l'amour qu'elle a pour moi Depuis mon enfance, j'espère que votre bénédiction sera toujours avec moi.

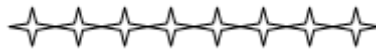
Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.



Mes sœurs, la prunelle de mes yeux, **Ouahiba** la douce, au cœur si grand, Qui est crédité du choix de cette spécialité, et son marie, **Wissem** l'aimables et la généreux

Très chers frère **Tidjani** et sa femme, **Ahmed** mon petit frère que j'adore.

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je dédie à vous cette mémoire et ce travail.



À mes chères petits neveux et nièces:

Miral, Loudjine, Rital, Meriem, Yahia, Zizou



À mon amie de toujours **Remidini hadjer** qui m'ont ayants été mon bras droit dans mon travail, sans oublier mes collègues de groupe matériaux en génie civil

Remerciement

Je remercie Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de ce mémoire.

Également, mon encadreur de projet de fin d'étude Dr BEN AICHI El-hadj, docteur à l'université Mohamed Khider Biskra, pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité

Je remercie également tous les enseignants du département de Génie civil de l'université Mohamed Khider - Biskra, qui ont participé à ma formation pendant tout mon cycle universitaire

Je remercie le Monsieur. TOUR Abd-Elmonaim - Ingénieur de laboratoire de matériaux et construction de génie civil, pour m'avoir assisté dans la réalisation des éprouvettes et la conduite des essais de laboratoire, ET pour ses conseils

Liste de notation

Liste de notation

BO : Béton ordinaire

BR : Béton recyclé

R_c : Résistance à la compression

R_t : Résistance à la traction

R_f : Résistance à la flexion

R_u : Résistance de l'ultrason.

T : le temps.

S : section de l'éprouvette.

I : l'indice scléromètre.

S : sable.

SN : sable naturel

SR : sable recyclé

A, A' : coefficients de la qualité des granulats et des liants.

α : coefficient d'écartement.

D_{max} : Diamètre maximal du gros granulat.

C : ciment.

E : eau.

PC : pierres concassée.

G : gravier.

Rb : classe du béton.

E/C : rapport eau sur ciment.

ρ : masse volumique apparente.

Liste de notation

γ : masse volumique absolue.

V : volume.

P (%): porosité.

C (%) : compacité.

e (%): indice des vides.

MF: module de finesse du sable.

E_{sv} : équivalent de sable visuel.

E_{sp} : équivalent de sable par piston.

V : la vitesse d'ultrason.

ρ : Masse volumique (Kg/m³).

σ_t : Contrainte de traction.

F: la charge de rupture.

Résumé

Résumé :

L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

Ce mémoire cherche à mettre en évidence la possibilité d'utiliser les déchets de béton comme granulats fin recyclé pour un béton.

On a analysé les caractéristiques de ces granulats recyclés (déchets de démolition de béton) afin de confectionner les mortiers étudiés.

L'étude consiste à comparer les propriétés sous différentes conditions de durcissement d'un mortier de référence, à celles des mortiers incorporant des sables de démolition de béton produit par le concassage de béton d'un vieil immeuble en substitution d'une fraction volumique du sable, et les deux ensemble avec des taux de substitution de (20%, 40%, 60%, 80%) mélangé un ciment CPJ .

Mots clés: mortiers, valorisation et recyclage des déchets de démolition,, résistances mécaniques .

Abstract

Abstract :

The depletion of natural deposits of aggregates and the difficulties of exploiting new quarries

make it necessary to look for new sources of supply.

Recycling and waste recovery are now considered as a solution for the future in order to meet

the deficit between production and consumption and to protect the environment.

This thesis seeks to highlight the possibility of using concrete waste as recycled fine aggregates for concrete.

The characteristics of these recycled aggregates (concrete demolition waste) were analyzed in order to make the mortars studied.

The study consists of comparing the properties under different hardening conditions of a reference mortar, with those of mortars incorporating concrete demolition sands produced by the concrete crushing of an old building in substitution of a volume fraction of the sand, and the two together with substitution rates of (20%, 40%, 60%, 80%) mixed with a CPJ cement.

Keywords: mortars, recovery and recycling of demolition waste, mechanical resistance

ملخص:

إعادة استعمال النفايات وتقييمها تعتبر بمثابة الحل المستقبلي لسد العجز بين الإنتاج و الإستهلاك، وحماية البيئة. تسعى هذه الرسالة إلى تسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الخرسانة كركام ناعم معاد تدويره للخرسانة.

تم تحليل خصائص الركام المعاد تدويره (مخلفات هدم الخرسانة) من أجل دراسة الملاط.

تتكون الدراسة من مقارنة الخواص تحت ظروف التصليد المختلفة لملاط مرجعي ، مع خصائص الملاط الذي يحتوي على رمال هدم خراسانية ناتجة عن تكسير الخرسانة لمبنى قديم بدلاً من جزء حجمي من الرمل ، والاثنان مع معدلات إحلال (20% ، 40% ، 60% ، 80%) مخلوطة بأسمنت CPJ

الكلمات المفتاحية: الملاط ، استرداد وإعادة تدوير مخلفات الهدم ، المقاومة الميكانيكية

Sommaire

Sommaire

Introduction général.....	1
---------------------------	---

Chapitre I :

1 Introduction:	3
2 Historique :	3
3 Définition d'un béton :	3
4 Composition du béton:	4
4.1 les granulats :	4
4.2 Classification des granulats :	4
4.3 Les différents types de granulats :	5
4.4 L'eau de gâchage:	8
5 Ajouts cimentaires :	8
5.1 Définition des ajouts cimentaires	9
5.2 Classification des ajouts :	9
5.3 Bénéfices de l'utilisation des ajouts cimentaire :	9
5.3.1 Bénéfices écologiques et environnementaux :	9
5.3.2 Bénéfices fonctionnels :	10
5.3.3 Bénéfices économiques :	10
5.4 Les différents types d'ajouts aux ciments :	10
5.4.1 Les cendres volantes(V) :	10
5.5 Béton de fibres :	13
5.6 Béton de poudre réactive (BPR) :	14
6 Introduction	15
7 Définition :	15
8 Constituants des mortiers :	15
8.1 Les Liants :	15
8.2 Le sable :	16
8.2.1 Origines de sable :	16
8.2.2 Granulométrie :	17
8.2.3 Rôle de sable dans le mortier :	17
8.2.4 Exigences sur le sable d'usage général :	18

Sommaire

8.2.5	L'eau de gâchage :	18
9	Le rôle d'utilisation du mortier :	18
10	Introduction:	20
11	Le Recyclage :	20
12	Intérêt du recyclage dans le génie civil :	20
13	ÉLABORATION DES GRANULATS RECYCLÉS :	22
14	Technique de recyclage:	23
14.1	Procédés du recyclage :	23
14.2	Etapes du recyclage :	23
15	Composition et propriétés physiques des granulats recycles de béton :	24
16	Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'Etat frais et à l'Etat durci :	25
16.1	Etat frais :	25
16.1.1	La teneur en air :	25
16.1.2	Masse volumique :	26
16.2	Etat durci :	26
16.2.1	Absorption :	26
16.2.2	Porosité :	26
16.2.3	Perméabilité :	26
16.2.4	Résistances à la compression :	27
16.2.5	Résistances à la traction par flexion et par fendage :	27
16.2.6	Module d'élasticité :	27
16.2.7	Fluage et Retrait :	27
16.2.8	Durabilité du béton à base des agrégats recyclés :	28
16.2.9	Carbonatation :	28
Chapitre II:		
17	Introduction:	29
18	Caractérisation et formulation:	29
18.1	Caractéristique des matières premières utilisant:	29
18.1.1	Caractéristique du Gravier:	29
18.1.2	Caractéristique du sable:	35
18.1.3	Caractéristique du ciment utilisée:	43

Sommaire

19	Calcul de la composition du béton :	45
19.1	Presentation de la méthode:	46
19.1.1	Définition du rapport (C/E) :	46
19.1.2	Détermination de la dépense en eau :	47
19.1.3	Détermination de la dépense en ciment :	47
19.1.4	Détermination de la dépense en gravier :	47
19.1.5	Détermination de la dépense de sable :	48
19.2	Béton I:	48
19.3	Béton ordinaire:	50
19.3.1	Volume du gâchage pour 6 éprouvettes cubiques (10× 10 × 10)cm³:	50
19.3.2	Volume du gâchage pour 2 éprouvettes cylindrique (16× 32) cm³: 51	
19.4	Béton recyclés :	51
19.4.1	Volume du gâchage pour 3 éprouvettes cubiques (10× 10 × 10)cm³A chaque pourcentage de sable recyclé :	51
19.4.2	Volume du gâchage pour une éprouvette cylindrique (16× 32) cm³ A chaque pourcentage de sable recyclé :	52
19.4.3	Quantité de pouzzolane pour 2 éprouvettes cubiques :	53
19.5	Béton II:	54
19.5.1	Calcul les composants:	54
19.5.2	Volume de mélange d'essai, on prend 13 De pierres concassées 8/15 et 23 De pierres concassées 15/20.....	55
19.6	Volume de mélange d'essais:	56
19.6.1	Béton ordinaire:	56
19.6.2	Béton recyclés :	56
20	Les essais sur le béton :	57
20.1	à l'état frais :	57
20.1.1	Le Malaxage: [NA EN 12390-2].....	57
20.1.2	Affaissement au cône d'Abrams : NF EN 12350 – 2.....	58
20.1.3	Vibration:.....	58
20.2	Essais à l'état durci	59
20.2.1	Essais non destructifs:	59

Sommaire

20.2.2	Essais destructifs:.....	63
21	Elaboration des différents Mortie:.....	65
21.1	Composition de Mortie:.....	65
21.2	Malaxage:.....	65
21.3	Préparation des éprouvettes.....	66
21.4	Caractérisation des différents mortiers à l'état frais.....	67
21.4.1	L'étalement :.....	67
21.5	Caractérisation des mortiers à l'état durci.....	67
21.5.1	Résistances mécaniques à la flexion.....	67
21.5.2	Résistance à la compression.....	68
21.5.3	Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433).....	68
22	Conclusion:.....	70

Chapitre III:

III.1	Introduction.....	72
III.2	Etude des mortiers.....	72
2.1	Comportement du mortier à l'état frais.....	72
III.3	ETUDE EDES BETONS :.....	75
3.1	Comportement des bétons a l'état frais :.....	77
2.3	ESSAIS NON DESTRUCTIF.....	77
	Conclusion générale et recommandations :.....	80

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1 : Photos des différents types de granulats.....	6
Figure I. 2 : La pouzzolane.....	10
Figure I. 3 : Les différents types de pouzzolane.....	11
Figure I. 4 : L'obtention et constituants des mortiers.....	15
Figure I. 5 : Sable roulé (naturel).	17
Figure I. 6 : Sable concassé (Artificiel).....	17
Figure I. 7 : Formes des granulats recyclés.	24

Chapitre II :

Figure II. 1 : Différents types de graviers	29
Figure II. 2 : courbe granulométrique du gravier	31
Figure II. 3: Sable recyclé 0/5 produit par le concassage de béton	35
Figure II. 4 : courbe granulométrique de sable naturel.....	37
Figure II. 5 : le ciment utilisé CEM II/A 42,5	44
Figure II. 6 : l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.	58
Figure II. 7 : Essai sclérométriques	60
Figure II. 8: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques IS.	61
Figure II. 9 : Essai d'ultrason.	62
Figure II. 10 : La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.	64
Figure II. 11 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage	65
Figure II. 12 : Schéma d'essai de la résistance à la flexion trois points	68
Figure II. 13 : Dispositif pour mesurer la résistance à la compression.....	68
Figure II. 14 : Appareillage pour la mesure du retrait:	69

Chapitre III :

Figure III.1 : Résistance à la compression du mortier a 7 jours	73
Figure III. 2: Résistance a la compression du mortier à 28 jours	74
Figure III. 3 : Résistance a la compression a 28 jours avec CPJ 400 kg /m ³	75
Figure III. 4: Résistance a la compression a 28 jours avec CPJ 350 kg /m³	76
Figure III. 5: Essai sclérométriques sur des éprouvettes cubiques	77
Figure III. 6: mesures à l'ultrason d'éprouvettes cubiques (10×10×10) cm ³ et cylindrique (16 × 32)cm ²	78
Figure III. 7: Essai de compression de Béton.....	79

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I. 1 : La teneur des constituants du béton en poids et en volume [2].....	4
Tableau I. 2 : Classes granulaires principales [3].....	5
Tableau I. 3 : Classification des ajouts selon leur réactivité [14].....	9

Chapitre II :

Tableau II. 1 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15).....	30
Tableau II. 3 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (15/25)	31
Tableau II. 4 : Masse volumique apparente du gravier utilisée.....	33
Tableau II. 5 : Masse volumiques absolues des gravies utilisée.....	33
Tableau II. 6 : la porosité, la compacité et l'indice des vides.....	34
Tableau II. 7 : l'analyse granulométrique du SN 0 /5	36
Tableau II. 8 : l'analyse granulométrique du SR 0/5	36
Tableau II. 9 : Module de finesse du sable	37
Tableau II. 10 : qualité du sable naturel en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV Et Esp.....	39
Tableau II. 11 : résultats d'essais d'équivalentes de sable naturel testé.....	40
Tableau II. 12 : résultats d'essais d'équivalentes de sable recyclé testé.....	40
Tableau II. 13 : Masse volumique apparente du sable naturel	41
Tableau II. 14 Masse volumique apparente du sable recyclé.....	41
Tableau II. 15 : Masse volumique absolue du sable naturel.....	42
Tableau II. 16 : Masse volumique absolue du sable naturel.....	42
Tableau II. 17 : caractéristique physiques du sable naturel et sable recyclé :	43
Tableau II. 18 : valeurs des coefficients A et A' : []	46
Tableau II. 19 : quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.....	47
Tableau II. 20 : valeurs du coefficient « α » en fonction du E/C et dosage en ciment [].	48
Tableau II. 21 : composition de mélange pour 6 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire : 51	
Tableau II. 22 : composition de mélange pour 2 éprouvettes cylindrique (16×32cm) d'un béton ordinaire.....	51
Tableau II. 23 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton recyclé : ..	52
Tableau II. 24 : composition de mélange pour une éprouvette cylindrique (16× 32) d'un béton recyclé	53
Tableau II. 25 : composition de mélange pour une éprouvette cylindrique (16× 32) d'un béton recyclé	53
Tableau II. 26 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire .	56
Tableau II. 27 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton recyclé	57
Tableau II. 28 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams. ...	58
Tableau II. 29 : différent rapport de E/C, les compositions des différentes variantes étudiées	66

Chapitre III :

Tableau III.1: Résistance à la compression du mortiers a 7 jours.....	72
Tableau III.3: Résistance à flexion du mortiers a 7jours	73
Tableau III. 4: Résistance à compression du mortiers a 28 jours	73

Liste des tableaux

Tableau III. 5 : Résistance à flexion du mortier à 28 jours	74
Tableau III. 6: Résistance à la compression à 28 jours dosage 400 kg/m ³	75
Tableau III. 7 : Résistance à la compression à 28 jours dosage 350 kg/m ³	75
Tableau III. 8 : Résultat des contrôles non destructifs (scléromètre) d'un béton sur l'éprouvette cubique (10× 10 × 10)cm ³	77
Tableau III. 9: Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique).....	78

introduction général

Introduction général

Introduction général

Problématique :

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des travaux publics.

Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton.

Les dépôts de sable naturel, de gravier et de pierres, surtout ceux qui sont situés près des grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets.

L'utilisation des granulats recyclés dans les béton et mortiers présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

Objectifs :

Notre travaille a pour objectif premier de caractériser les agrégats recyclés provenant de la démolition. Ces matériaux qui sont récupérés principalement des déchets de béton, concassés sous forme d'agrégat fin recyclés (sable) qui par la suite, peuvent être mélangés partiellement avec les agrégats naturels pour former un autre type de granulats fin recyclés.

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats fins recyclés sur les caractéristiques physico –mécaniques.

Plan de travail :

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés précédemment. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des parties suivantes.

Introduction général

- ❖ Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés.
- ❖ Une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les agrégats recyclés et leur utilisation à travers quelques pays et évidemment leur influence dans la fabrication de béton et mortier.
- ❖ Une étude expérimentale a été réalisée afin d'établir en premier lieu les caractéristiques des agrégats recyclés et ensuite étudier l'effet de remplacement des agrégats naturels par les agrégats recyclés sur les propriétés du mortier à l'état frais et durci à travers un programme d'essais qui tient compte des propriétés physiques et mécaniques ..
- ❖ Une analyse et une discussion des résultats obtenus tout en faisant des observations sur le béton et mortier témoin composé à 100% des granulats naturels.

Finalement une conclusion générale sur cette étude avec des recommandations qui porte sur les particularités des agrégats recyclés ainsi que les mesures à prendre en compte lors de l'utilisation de ces agrégats dans la fabrication du mortier.

chapitre I:

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Partie 1 : Généralités sur les bétons

Partie 1 : le béton

1 Introduction:

Le béton est le matériau de construction par excellence depuis presque un siècle. Constituer à l'origine de seulement quatre composants (gravillons, sable, ciment et eau), leurs méthodes de formulation ont évolué d'un savoir-faire empirique vers la science des matériaux.

Ces constituants (composants) sont dosés, en fonction de leurs propriétés, de manière à obtenir, après réaction physico-chimique entre eux, un produit solide dont les caractéristiques physiques et mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches les plus résistantes. Dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique lui-même fabriqué avec des minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle.

Nous abordons dans ce travail un type de béton qui est le béton ordinaire, est un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) et d'un liant. Le liant appelé ciment, c'est un liant hydraulique.

2 Historique :

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite.

La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspidin qui en 1824 fait breveter le ciment Portland [1].

3 Définition d'un béton :

Un béton est un matériau composite résultant du mélange judicieusement dosé d'un squelette granulaire (gravier et sable) et d'une matrice pâteuse durcissable composée de ciment, d'eau, le plus souvent, parfois d'adjuvants. Après le durcissement il devient un matériau pierreux [1].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. 1 : La teneur des constituants du béton en poids et en volume [2].

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (%)	14-22	1-6	7-14	60-78
Poids (%)	5-9	--	9-18	63-85

4 Composition 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 conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

4.1 les granulats :

Les granulats est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrage de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production. Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimensions (comprise entre 0 et 125). Se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

- fillers – sablons
- sables – graves
- gravillons – ballast
- enrochements.

4.2 Classification des granulats :

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

d: dimension inférieure du granulat

D: dimension supérieure du granulat

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. 2 : Classes granulaires principales [3].

Familles	Dimensions	Caractéristique
Filler	0/D	$D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0.063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0.063 mm
Sables	0/D	$1 < D \leq 6.3$ mm
Graves	0/D	$D > 6.3$ mm
Graillions	d/D	$D \geq 1$ et $D \leq 125$ mm
Blasts	d/D	$d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

4.3 Les différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- «Naturels», lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions) ;
- «Artificiels», lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais ;
- «Recyclés», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés [4].

a) LES GRANULATS NATURELS : Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires.

Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- éruptives : granites, basaltes porphyres,
- sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires [4].



Figure I. 1 : Photos des différents types de granulats

b) Les Granulats Alluvionnaires: Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Se sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement) [5]. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [6].

c) Les Granulats de Carrières: Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [7].

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [8].

d) LES GRANULATS ARTIFICIELS: Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous produits industriels transformés.

e) LES GRANULATS Recyclés: Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction.

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

f) Les gros granulats (graviers et pierres concassées) :

➤ **Les granulats de rivière :**

Ils proviennent de la désagrégation des roches (gravier) ils sont en général très durs et très propres, Cependant leurs grains après par le frottement n'offrent pas une très bonne adhérence au liant [9].

➤ **Les granulats de concassage :**

Les sont obtenus en concassant des roches dures (siliceuses, calcaires ou granitiques).

Les grains sont anguleux, ils doivent être soigneusement lavés afin de les débarrasser des poussières qui les recouvrent au moment du concassage (pierres concassées) [9].

g) Les granulats fins (sable) :

• **Définition :**

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre $80\mu\text{m}$ et $05\mu\text{m}$; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à $80\mu\text{m}$ n'excède pas 30% Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm .les fines [10].

• **Origine des sables :**

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration Mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, a des degrés divers une décomposition sur place, des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien [10].

1) **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons [11].

2) **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel [11].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- 3) **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire [11].
- 4) **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines [11].
- 5) **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [11].
- 6) **Sable recyclé** : Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments [11].

4.4 L'eau de gâchage:

Elle est conforme aux prescriptions de la norme [NBN EN 206-1]. Le « gâchage » est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose. La résistance d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau/masse de ciment) du mélange. Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation)

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement sur le durcissement (matières organiques telles que les huiles, les graisses, et les sucres ...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...). L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir. On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes [12].

5 Ajouts cimentaires :

L'utilisation accrue des ajouts cimentaires s'avère une méthode éprouvée pour lutter contre les changements climatiques et améliorer la qualité de l'air.

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Les ajouts cimentaires sont additionnés au clinker afin de produire un ciment mélangé ou additionnés au mélange de béton comme agent complémentaire.

5.1 Définition des ajouts cimentaires

Ce sont des matières premières naturelles, artificielles, sous-produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant et après le broyage, leur pourcentage dans la masse varie suivant le but de l'addition et le rôle qu'ils peuvent jouer. Ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts: inertes et actifs [14].

5.2 Classification des ajouts :

Les ajouts peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs. Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de filler.

Tableau I. 3 : Classification des ajouts selon leur réactivité [14].

Type	Réactivité	Matériaux
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux hydraulique
Hydraulique latent		Laitier granule-cendres volantes riche en calcium (calcique)
pouzzolanique	Fortement réactif	Fumé de silice
	Moyennement réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, trass phonolithe, terres a diatomées)
	Faible réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives dispersions synthétique

5.3 Bénéfices de l'utilisation des ajouts cimentaire :

5.3.1 Bénéfices écologiques et environnementaux :

- diminution de l'émission du CO₂ par l'industrie cimentière.
- élimination des sous-produits de la nature.

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

5.3.2 Bénéfices fonctionnels :

- Incorporation des particules fines qui améliorent la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse).
- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

5.3.3 Bénéfices économiques :

La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation). Comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton pour le coût du combustible.

5.4 Les différents types d'ajouts aux ciments :

5.4.1 Les cendres volantes(V) :

Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et physiques dépendant des impuretés contenues dans le charbon utilisé. Du point de vue minéralogique les cendres volantes se divisent en deux catégories, qui diffèrent l'une de l'autre par leur teneur en CaO (ASTM C 618-94a) [15].

- **Classe F.** contenant moins de 10% de CaO produit de la combustion de l'anthracite et du charbon bitumineux.
- **Classe C.** contenant entre 15 % et 35% de CaO produit de la combustion du lignite.

5.4.1.1 La pouzzolane :



Figure I. 2 : La pouzzolane

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

5.4.1.2 Définition :

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ce sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes. La pouzzolane est généralement rouge ou noire, avec toutes les teintes intermédiaires, exceptionnellement grise [16].

5.4.1.3 Types de pouzzolane

Les matériaux pouzzolanique sont divisés en deux grandes catégories : les matériaux naturels et artificiels :



Figure I. 3 : Les différents types de pouzzolane.

a. Pouzzolane naturelle :

- **Verre volcanique :**

Il y a lieu de citer les pouzzolanes des roches pyroclastiques meubles ou à faible cohésion provenant des éruptions volcaniques. Ce type de roche se trouve dans un état vitreux ou du moins sous une forme d'instabilité ou de réactivité qui les rend sensibles à l'attaque par l'hydroxyde de calcium. On mentionne à titre d'exemples : pouzzolane de SANTORIN, de BALCOL en Italie et de SHIRASHU au Japon [17].

- **Tufs volcaniques compacts :**

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Elles sont différentes des pouzzolanes de type verre volcanique. Ce sont les mêmes roches, mais ayant subi des transformations chimiques. L'altération du verre volcanique dans des conditions hydro thermiques se traduit par la formation des minéraux zéolithiques de composition chimique variable. Ce genre de pouzzolanes se distingue par une texture dure et compacte [17].

b. Pouzzolane artificielle :

- **Cendres volantes :**

Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion de la houille pulvérisée, dans les centrales thermiques. La première utilisation des cendres volantes comme matériau pouzzolanique a débuté aux USA en 1937 [17].

On définit trois types de cendres volantes, en fonction de leur teneur en oxyde de calcium (CaO) les cendres volantes qui présentent des teneurs en CaO inférieures à 8 %, celles allant de 8 % à 20 % et celles supérieures à 20 %. En général, plus la teneur en CaO est élevée, plus les propriétés d'auto-cimentation sont bonnes. Le constituant majeur est une phase vitreuse formée de silice et d'alumine de 50 à 90% [17]. Phase vitreuse formée de silice et d'alumine de 50 à 90% [17].

- **Le laitier granulé de haut fourneau (LGHF)**

Le laitier granulé de haut fourneau (LGHF) est un produit composé essentiellement de silicates, d'aluminosilicates de calcium et d'autres bases, qui provient de fusion du minerai de fer et qui est obtenu par refroidissement rapide à l'eau pour former des particules vitreuses granulées, puis broyé à une finesse égale ou inférieure à celle du ciment. Les analyses minéralogiques du LGHF indiquent que la teneur en verre varie de 80 % à 100% [17].

- **Argiles calcinées**

Obtenues par cuisson d'argiles à une température variant de 600° à 900° C, puis elle est moulue à la finesse du ciment. L'argile de base utilisée est en grande partie constituée de silicate d'aluminium. Le traitement thermique transforme la silice et l'alumine dans un état amorphe qui favorise l'activité pouzzolanique. Un autre type d'argile crue peut être traité de la même manière d'origine sédimentaire contenant de l'argile et riche en silice [17].

- **Fumée de silice**

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Les fumées de silice sont des particules de très petite taille (environ $0,1\mu\text{m}$) issues de l'industrie de l'acier. Ces particules sont principalement composées de silice amorphe (>85%) et présentent des propriétés pouzzolanique. Elles permettent de compléter la granulométrie des ciments et ainsi d'améliorer la compacité du matériau durci et donc sa résistance mécanique [17].

5.4.1.4 Effet de La pouzzolane :

➤ A l'état frais :

Les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration [18].

➤ A l'état durci :

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables.

- Accroissement de la résistance finale.
- Légère diminution du retrait et du fluage.
- Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
- Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
- Protection des armatures contre la corrosion.
- Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0.4. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [20].

5.5 Béton de fibres :

C'est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudés traditionnel. Parmi les

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

caractéristiques du béton fibré, on peut citer : sa résistance à la traction, à la fissuration et au choc [21].

5.6 Béton de poudre réactive (BPR) :

Est un nouveau béton composé essentiellement de ciment, des fumées de silice, des fines réactives constituées de quartz et de sable broyés à une grosseur inférieure à 500 μm , des fibres métalliques d'une longueur de 13 mm environ. Le BPR est caractérisé par des performances mécaniques élevée et une durabilité améliorée. La ductilité que l'ajout de fibres métalliques confère au BPR le rend apte à être utilisé dans de nombreuses applications sans aucune armature passive. Le BPR peut également être utilisé pour la réalisation de structures précontraintes par pré ou post-tension. Les résistances en traction et en compression sont très élevées voir mêmes supérieures à celles des aciers (350 MPa) [22].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Partie 2 : Généralités sur les mortiers

6 Introduction

Les mortiers sont très utilisés pour les travaux de tous types (finition, chapes, revêtement,.....etc), composé essentiellement de ciment, sable et additions, la figure II.1 suivante illustre les composants du mortier.

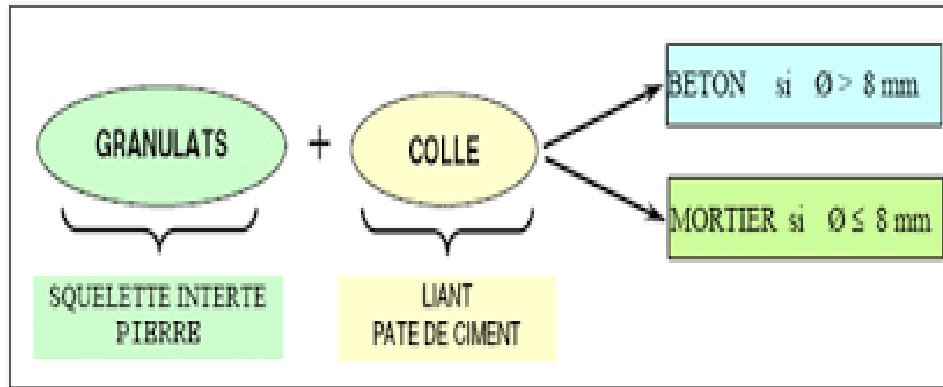


Figure I. 4 : L'obtention et constituants des mortiers

7 Définition :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon.

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations [23].

Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [24].

8 Constituants des mortiers :

8.1 Les Liants :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être du ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [25].

Généralement, on peut utiliser:

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes

8.2 Le sable :

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière [19].

8.2.1 Origines de sable :

8.2.1.1 Sable d'origine naturelle :

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu pluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho-scopie) au cours des temps géologiques. Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux [26].

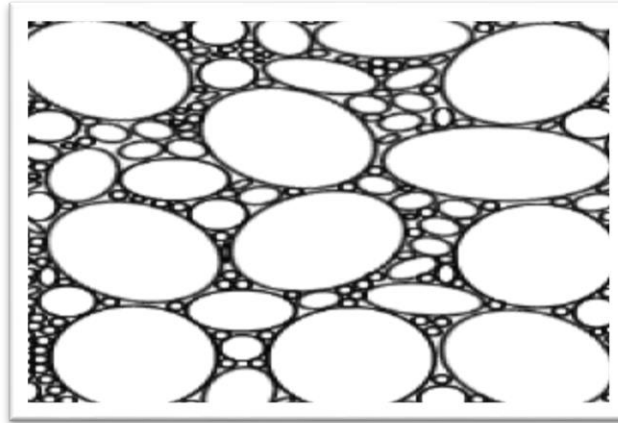


Figure I. 5 : Sable roulé (naturel).

8.2.1.2 Sable d'origine artificielle :

Provient de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (pouzzolane), dit aussi sable concassé, caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant [26].

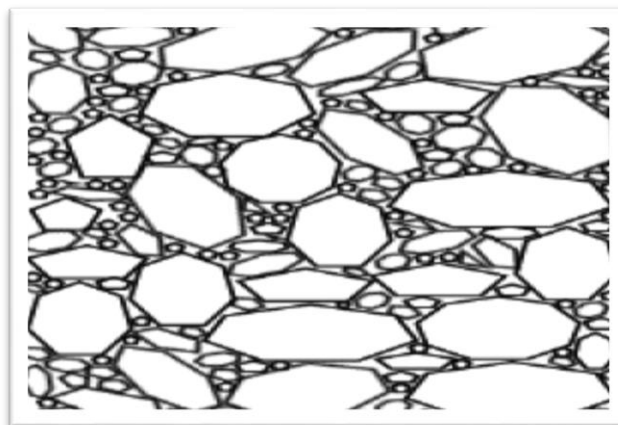


Figure I. 6 : Sable concassé (Artificiel).

8.2.2 Granulométrie :

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- Extra-fins: jusqu'à 0,08 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins: jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm.
- Gros: jusqu'à 5 mm.

8.2.3 Rôle de sable dans le mortier :

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, de plus, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [26].

8.2.4 Exigences sur le sable d'usage général :

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux, matières organiques). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, L'indice fourni par cet essai (ESV) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 4mm. En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m³ de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0% à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m³ de sable soit modifié, c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable [26].

8.2.5 L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme [NA-442]. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale [19].

9 Le rôle d'utilisation du mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure pour dallages en béton.

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés [27].

Partie 3 : Généralités sur les agrégats recyclé

10 Introduction:

Les granulats sont considérés comme des éléments essentiels dans la composition du béton ordinaire ou des bétons spéciaux

L'utilisation des granulats recyclés a une grande importance du point de vue environnemental car d'un côté elle permet de récupérer les matériaux résultants de la démolition des constructions dues aux catastrophes naturelles ou la démolition du vieux bâti. De l'autre côté ; leur réutilisation permet de protéger la nature de l'exploitation excessive de réserve des granulats ordinaires.

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne [47]. Depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme de nouveau béton.

11 Le Recyclage :

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité d'un nouveau traitement que la matière subisse [28].

La brique, le béton et le mortier peuvent être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de la construction [29].

12 Intérêt du recyclage dans le génie civil :

Actuellement, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels issus de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

Recycler des déchets dans une utilisation comme granulats pour les routes ou la construction permet:

- une économie de la ressource naturelle.

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

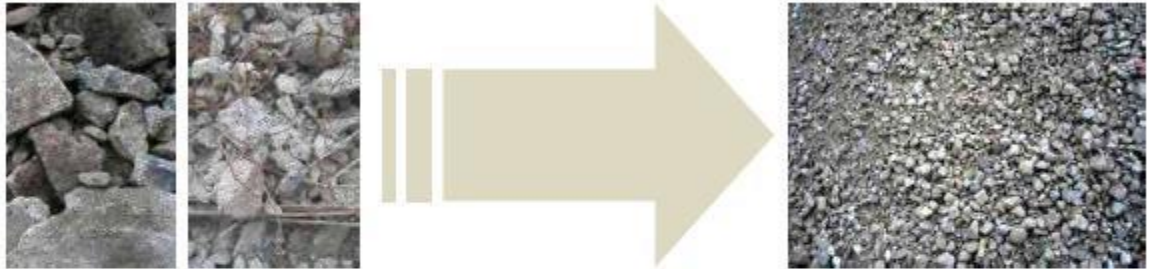
- une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.
- une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants.
- la réduction des quantités de matériaux mis en décharge [30].

III.3 GRANULATS RECYCLES :

(Issus de bétons recyclés ou de matériaux inertes recyclés) En règle générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés [31].

GRANULATS DE DEBRIS DE BETON

Proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil (bétons ou béton armé d'acier)



GRANULATS DE DEBRIS DE MACONNERIES

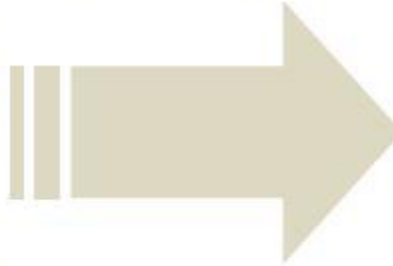
Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments



CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

GRANULATS DE DEBRIS HYDROCARBONNES

Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes...), de la démolition de parkings...



GRANULATS DE DEBRIS MIXTES

Proviennent de la construction / rénovation démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles...)



13 ÉLABORATION DES GRANULATS RECYCLÉS :

L'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un brise-roches hydraulique, à couper les éléments longs à l'aide d'une cisaille, puis à concasser les matériaux selon la granulométrie désirée. Cette dernière opération peut éventuellement être précédée d'un criblage [28].

La production de granulats recyclés, se base en général sur trois types d'installation :

- Installation fixe : installation avec un ou plusieurs concasseurs d'une assez grande capacité.
- Installation semi mobile : installation transportable avec 1 ou 2 concasseurs d'une assez grande capacité
- Installation mobile : petite installation transportable avec un concasseur d'une faible capacité [32].

14 Technique de recyclage:

14.1 Procédés du recyclage :

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz [33].

14.2 Etapes du recyclage :

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes : [33].

. Étape 1 : Collecte de déchets :

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation.

La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi «séparative» et souvent appelée à tort «tri sélectif» est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler.

Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. La taxe au sac est un bon moyen pour inciter les personnes au tri sélectif, car seuls les déchets non recyclables finissent en général dans ces sacs taxés, les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques

. Étape 2 : Transformation :

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

. Étape 3 : Commercialisation et conservation :

Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs.

15 Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton :

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition. En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont :

- Des granulats naturels concassés partiellement.
- De la pâte de ciment hydratée concassée enrobant les granulats naturels [34].

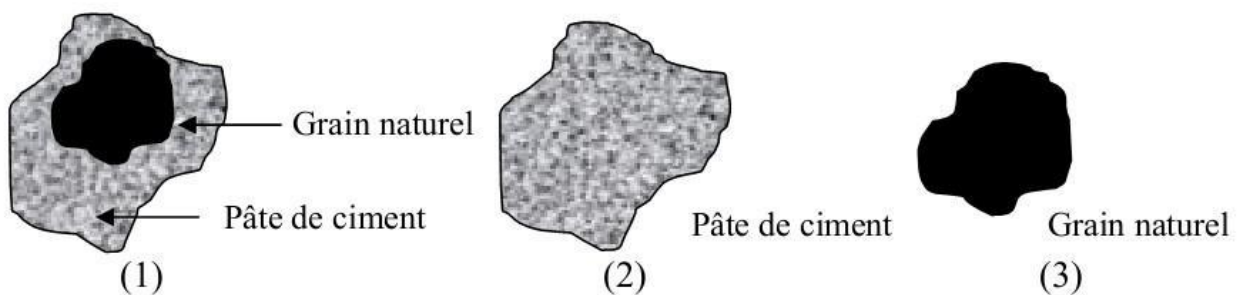


Figure I. 7 : Formes des granulats recyclés.

Les éléments constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente [35]. Les propriétés de la pâte de ciment sont à l'origine des éventuelles mauvaises propriétés des granulats recyclés constatées [34]. En effet, les propriétés physiques des granulats recyclés dépendent de la quantité et la qualité de pâte de ciment présente sur les granulats concassés [35]. Des études montrent que la densité de ces granulats recyclés est plus faible ou encore que leur capacité d'absorption est plus élevée [35].

De plus, leurs propriétés mécaniques s'avèrent être moins bonnes que celles des granulats naturels [13].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

La qualité de la pâte de ciment du béton parent est primordiale dans la définition des propriétés des granulats recyclés selon les auteurs. L'analyse d'une comparaison entre les propriétés physiques et mécaniques des granulats recyclés nous permet de conclure que :

- La masse volumique des granulats recyclés semble plus faible que celle des granulats naturels.
- l'absorption d'eau est importante pour les granulats recyclés. En effet, l'ensemble des études montre que les granulats recyclés de béton sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau. De plus, il semble que la partie plus fine des granulats recyclés absorbe une quantité d'eau plus élevée que les éléments plus grossiers.
- Le coefficient de Los Angeles est élevé comparé à celui exigé par la norme XP P 18- 540-article 10. Cette tendance est confirmée par les travaux de Sanchez de Juan & Gutierrez qui expliquent que cette valeur élevée du coefficient de Los Angeles est due à la quantité de pâte de ciment présent autour des granulats naturels concassés.

D'une manière générale, les auteurs s'accordent à dire que la qualité des granulats recyclés semble être inférieure à celle des granulats naturels. Il est donc essentiel de contrôler la quantité et la qualité de la pâte de ciment présent sur les granulats d'origine afin de comprendre leur influence sur les propriétés des granulats recyclés et, par conséquent, les propriétés des bétons de granulats recyclés de béton. Il convient donc de définir les essais et analyses pertinents afin de caractériser les propriétés des granulats recyclés de béton. Cela induit également la nécessité de connaître les propriétés physiques et mécaniques du béton parent.

16 Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'Etat frais et à l'Etat durci :

16.1 Etat frais :

16.1.1 La teneur en air :

La teneur en air du béton de granulats recyclé est également supérieure (**4% à 5.5%**) par rapport au béton à base des agrégats 100% naturel

Cette augmentation de teneur en air peut être attribuée à la plus grande porosité des agrégats recyclés [36].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

16.1.2 Masse volumique :

La Masse volumique apparente du béton frais à base des agrégats naturels est dans la plage de **2400 kg/m³**, alors que le béton à base des agrégats recyclés est nettement plus léger, **2150 kg/m³**, quel que soit le type de ciment [37].

La densité plus faible est le résultat de la masse volumique des granulats, qui est liée à la nature du béton utilisé pour la production de l'agrégat. En outre, l'augmentation de la teneur en air dans le béton recyclé, conduit à une réduction supplémentaire de la masse volumique du béton frais.

16.2 Etat durci :

16.2.1 Absorption :

L'absorption d'eau est importante pour les bétons de granulats recyclés. En effet, l'ensemble des études montre que les bétons de granulat recyclé sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau. De plus, il semble que la partie plus fine des granulats recyclés absorbe une quantité d'eau plus élevée que les éléments plus grossiers.

Ce critère influe considérablement sur le comportement rhéologique des bétons frais. Les compositions du béton de granulat recyclé nécessitent une quantité d'eau supplémentaire pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle requièrent approximativement 15% d'eau supplémentaire pour un même affaissement qu'un béton classique [38].

16.2.2 Porosité :

Des essais de porosité par injection de mercure tout d'abord un volume important des gros pores dans les bétons de granulats recyclés.

La porosité des bétons de granulat recyclé est généralement corrélée à leur capacité d'absorption. La forte capacité d'absorption des bétons de granulats recyclés est liée une forte porosité de ce matériau. Le taux de ciment dans le béton parent influe également sur la porosité du béton de granulat recyclé. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pate de ciment [36].

16.2.3 Perméabilité :

Lorsque le rapport E/C est supérieur à 0,55, la présence de granulats de recyclage ne modifie pas cette propriété. Par contre pour des faibles valeurs du rapport E/C, la

perméabilité des bétons recyclés est supérieure à celles des bétons conventionnelles [39].

16.2.4 Résistances à la compression :

Des études antérieures montrées que lors du remplacement des agrégats naturels par des granulats recyclés, les caractéristiques et propriétés mécaniques des bétons de granulats recyclé changent. Il provoque une réduction sur ces propriétés mécanique [40].

Bien que les chercheurs ont signalé une réduction de la résistance du béton à base de granulats recyclés, il convient de noter que l'ampleur de la réduction est liée à des paramètres tels que le type de béton utilisée pour la fabrication des agrégats recyclés (élevé, moyen, ou faible résistance), le ratio de remplacement, de l'eau / ciment et l'état d'humidité des granulats recyclés [41].

16.2.5 Résistances à la traction par flexion et par fendage :

La résistance à la flexion et à la traction de 15-20% par rapport à béton référence à 100% de remplacement [42]. Dans une autre étude, on a déterminé la résistance est inférieure à 10% pour la résistance à la traction du béton à base de granulats recyclés et du béton de référence à 28 jours [43]. Des études ont également montré que l'utilisation de mélanges cimentaires supplémentaires, telles que la fumée de silice etc. contribue à améliorer les propriétés du béton à base des granulats recyclés [43].

16.2.6 Module d'élasticité :

Pour un béton ordinaire, le module d'Young augmente en fonction de l'âge du béton tandis que le module d'Young des bétons de granulats recyclés (26.6 GPa) ne semble pas dépendent de l'âge de l'éprouvette de béton (à rappeler que la valeur conventionnellement utilisée pour un béton ordinaire est (35 GPa) [42].

16.2.7 Fluage et Retrait :

L'utilisation des agrégats recyclés dans le béton induit une contraction due à la forte absorption de ces agrégats. Certaines études montrent que, pour le béton à base de granulats recyclés à l'âge de 90 jours, le retrait pourrait être d'environ de 0,55 à 0,8 mm/m, alors que la valeur pour un béton à base de granulats naturels est seulement d'environ 0,30 mm/m [37].

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Cependant, les résultats des tests pour le fluage en condition normales de laboratoire ne sont pas si évidents, si certaines études ont montré la tendance à s'inverser, c'est-à-dire le fluage après 1 an est d'environ 20% inférieure à celle du béton avec béton à base de granulat naturel [43]. Bien que davantage de travaux de recherche sont nécessaires dans le domaine, il semble que le comportement global du béton à base de granulat recyclé et béton à base de granulat peut être comparable lors de l'affichage de l'effet combiné du retrait et du fluage.

16.2.8 Durabilité du béton à base des agrégats recyclés :

Les études de durabilité ont été réalisées pour mieux comprendre l'effet de l'utilisation de différentes qualités des agrégats recyclés sur les propriétés du béton à base de granulat recyclé. Cependant, certaines études ont montré que le béton à base de granulat recyclé est beaucoup plus perméable que le béton à base de granulat naturel, donc est un béton moins résistant à un degré satisfait aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration.

Il a noté que les propriétés de durabilité peuvent être améliorées par l'utilisation des cendres volantes, fumée de silice condensée, etc.

16.2.9 Carbonatation :

Sur la base du test de carbonatation fait après 6 mois de séchage, la profondeur de la carbonatation du béton recyclé a été jugée [1,3-2,5] fois supérieurs à celle du béton à base de granulat naturel [41 ; 45]. On voit que pour le même ratio liant de l'eau, la profondeur de carbonatation du béton à base de granulat recyclé est légèrement plus élevée que celui du béton à base de granulat naturel [46].

Cette augmentation de la profondeur de carbonatation peut être attribuée à une augmentation de la profondeur de la perméabilité du béton à base de granulat recyclé.

D'une manière générale, les autres s'accordent à dire que la qualité des agrégats recyclés semble être à celle des granulats naturels [47].

Chapitre II :

les matériaux employés et les différents essais réalisés

17 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter les matériaux utilisés pour la préparation de nos bétons et mortier ainsi que leurs caractéristiques. Les procédures relatives à la préparation et à la confection des bétons testés sont aussi présentées. Nous décrivons par la suite les méthodes expérimentales préconisées, nous citons l'affaissement au cône d'Abrams pour les bétons ordinaire et les bétons recyclés à l'état frais, l'étalement pour les mortiers témoin et recyclés, la résistance à la compression et à la traction par flexion du béton à l'état durci.

18 Caractérisation et formulation:

Nous allons présenter dans cette partie, les caractéristiques essentielles des différents Constituants du béton et mortier.

18.1 Caractéristique des matières premières utilisant:

18.1.1 Caractéristique du Gravier:

Les fractions de graviers utilisés dans notre étude expérimentale pour la confection des différents types de béton son

- ✓ Gravier (8/15).
- ✓ Gravier (15/25).



Figure II. 1 : Différents types de graviers

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

18.1.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933 – 5] :

❖ But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

❖ Principe de l'essai :

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

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

❖ Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à $0.2D$, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres[1].

➤ Gravier 8/15 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (8/15), représentés dans le tableau (II.1).

Tableau II. 1 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15)

Tamis (mm)	Gravier 8/15			
	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	52.08	52.08	1.73	98.27
12.5	2364.34	2416.42	80.54	19.46
10	382.36	2798.78	93.29	6.71
8	172.1	2970.88	99.02	0.98
6.3	23.41	2994.29	99.8	0.2
5	0.21	2994.5	99.81	0.19
Fond	0			

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

➤ Gravier 15/25 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (15/25), représentés dans le tableau (II.2).

Tableau II. 2 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (15/25)

Tamis (mm)	Gravier 15/25			
	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
20	727.1	727.1	0.18	99.82
16	2978.2	3705.3	0.92	99.08
12.5	268.3	3973.6	0.99	99.01
10	3.2	3679.8	0.99	99.01
8	0.3	3977.1	0.99	99.01
Fond	0	-	-	-

Les différentes courbes granulométriques des gravies utilisés sont montrées sur la figure :

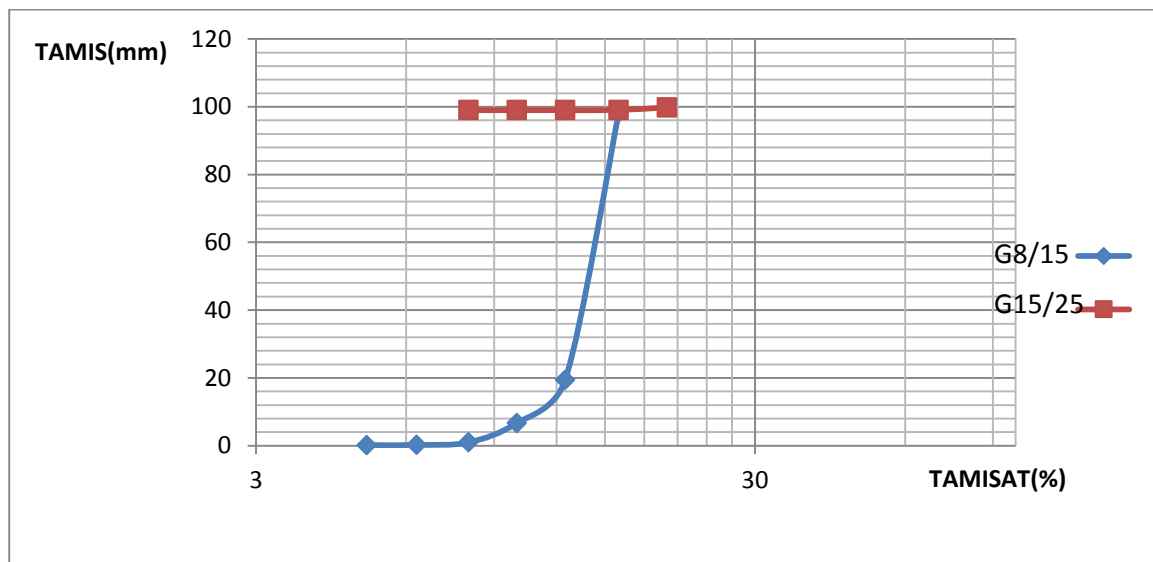


Figure II. 2 : courbe granulométrique du gravier

18.1.1.2 La densité:

En sens physique : c'est le degré de remplissage de la masse d'un corps par la matière solide. Elle est calculée par le rapport de la masse volumique de ce matériaux à celle de l'eau à une température elle est exprimée sans unité.

18.1.1.3 Masse volumique:

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps.

Il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité : une densité est le quotient entre la masse d'un certain volume d'un matériau et la masse du même volume d'eau à 4 °C, c'est – à – dire une grandeur sans unité

Comme il existe le volume apparent et le volume absolu, on distinguera :

a. Masse volumique apparente (γ) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume total y compris des vides entre les grains de constituants.

❖ Mode opératoire :

Le poids apparent est déterminé par pesage d'un volume déterminé du matériau séché jusqu'à la formulation du poids

- Peser le récipient à vide M_1 .
- On verse le gravier d'une hauteur de 10 cm dans un récipient de poids M_1
- On remplit le récipient de gravier arasé au niveau de séparé supérieure par une règle
- On pèse le récipient avec le gravier on le poids M_2

$$\gamma_{\text{app}} = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

M_1 : Masse de récipient

M_2 : Masse de récipient + gravier

V : Volume du récipient

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Tableau II. 3 : Masse volumique apparente du gravier utilisée

Fraction	V (cm ³)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M _{2moy} (g)	γ _{app} (g/cm ³)
8/15	5000	3613	10300	1.33	1.36
			10500	1.37	
			10600	1.39	
15/20	5000	3613	10500	1.37	1.36
			10400	1.35	
			10500	1.37	

b. La masse volumique absolue(ρ) :

La masse volumique absolue (spécifique) (est la masse d'un corps par unité de volume de la matière pleine sans aucun vide entre les grains.

❖ Mode opératoire :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume P₀ D'eau.
- Peser Un échantillon sec P₁ De granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer tous les bulles d'air
- Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le poids de l'ensemble P₂
- La masse volumique est alors :

$$\rho_g = \frac{\rho_1 \times \rho_e}{(\rho_0)}$$

Tableau II. 4 : Masse volumiques absolues des gravies utilisée

Fraction	M (g)	V ₁ (cm ³)	V ₂ (cm ³)	ρ _{app} (cm ³)	ρ _{appmoy} (g/cm ³)
8/15	300	400	520	2.5	2.43
			530	2.3	
			520	2.5	
15/20	300	400	500	3	2.76
			510	2.3	
			500	3	

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

18.1.1.4 Porosité:

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

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

En peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\phi}\right) \times 100$$

18.1.1.5 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle exprime en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P$$

18.1.1.6 Indice de vide:

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains.

V : étant le volume total occupé par les granulats.

$$E(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Aussi :

$$e(\%) = \frac{1 - c}{c}$$

Tableau II. 5 : la porosité, la compacité et l'indice des vides.

Gravier	Porosité P(%)	Compacité C(%)	Indice des vides e(%)
(8/15)	44.03	55.97	0.786
(15/25)	50.72	49.28	1.02

18.1.2 Caractéristique du sable:

Le sable utilisé dans nos travaux est un sable naturel de **lioua** (région à biskra), couramment utilisé pour la construction, et sable recyclé 0/5 produit par le concassage de béton.



Figure II. 3: Sable recyclé 0/5 produit par le concassage de béton

18.1.2.1 Analyses granulométrique [NA EN 933-1]:

❖ **But de l'essai :**

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

❖ **Principe de l'essai :**

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

❖ **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est identique à celui précédemment dans la partie graviers, la seule différence est la durée de l'essai qu'elle été 3 minute dans le cas des sables.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable naturel et sable recyclés est inscrire dans le tableau ci-dessous :

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Sable naturel :

Tableau II. 6 : l'analyse granulométrique du SN 0 /5

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
0/5	5	0	0	0	100
	2.5	118.5	118.5	5.925	94.075
	1.25	106.2	224.7	11.235	88.76
	0.630	132.9	357.6	17.88	82.12
	0.315	309.8	667.4	33.37	66.63
	0.16	221	888.4	44.42	55.58
	0.08	78.3	966.7	48.335	51.66
	Fond				

Tableau II. 7 : l'analyse granulométrique du SR 0/5

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
0/5	5	0	0	0	100
	2.5	162.7	162.7	8.13	91.87
	1.25	318.4	481.1	24.05	75.95
	0.630	169	650.1	32.50	67.5
	0.315	141.4	791.5	39.57	60.43
	0.16	78.4	869.9	43.49	56.51
	0.08	59.1	929	46.45	53.55
	Fond			100	0

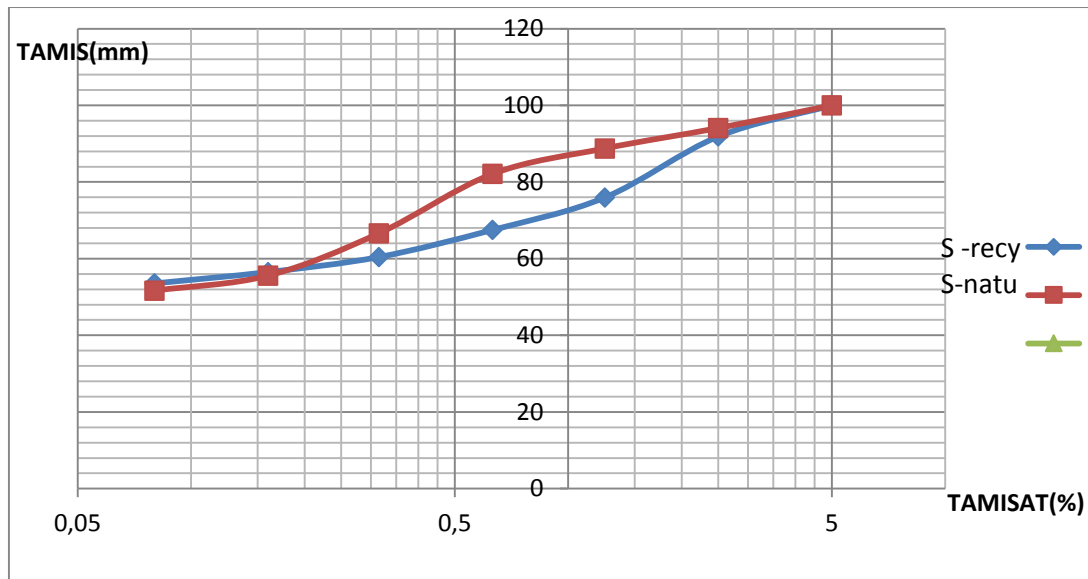


Figure II. 4 : courbe granulométrique de sable naturel

18.1.2.2 Modules de finesse [NA EN 12620] :

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

Tableau II. 8 : Module de finesse du sable

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

$$MF = \sum R_i/100$$

$$MF = \frac{1}{100} \sum (\text{refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\})$$

$$M_f = \frac{0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5; 5}{100} = \sum \frac{R_i}{100}$$

$$M_f = \frac{43.49+39.57+32.5+24.05+8.13}{100} = 1.47 \Rightarrow M_f = 1.47$$

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

$M_f = 1.47$, $M_f; \{1 \text{ à } 1.5\} \Rightarrow$ valeur d'un très fin

18.1.2.3 Equivalent de sable: [NA EN 933-8]

❖ But de l'essai :

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

❖ Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette d'une solution la vante jusqu'au premier repère.
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de 120 ± 1 g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de libérer les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 min.
- Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontales en 30 s à la main à l'aide de l'agitateur mécanique.
- Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec solution la vante au-dessus de l'éprouvette et rincer de l'éprouvette ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.

a. Equivalent de sable visuel (E_{SV}) :

- Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de niveau supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesuré également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

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

Avec : h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2 : hauteur du sable

b. Equivalent de sable visuel (E_{Sp}):

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

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

Avec : h_1 : hauteur du sable plus flocculat

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

H'_2 : hauteur du sable.

Tableau II. 9 : qualité du sable naturel en fonction des valeurs d'équivalent de sable

E_{SV} Et E_{Sp}

E_{SV}	E_{Sp}	Nature et qualité de sable
$E_S < 65$	$E_S < 60$	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité
$65 < E_S < 75$	$65 < E_S < 80$	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement le retrait.
$75 < E_S < 85$	$70 < E_S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
$E_S \geq 85$	$E_S > 85$	Sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

En répété l'essai 03 fois, les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

✚ Sable naturel :

Tableau II. 10 : résultats d'essais d'équivalentes de sable naturel testé

N° essais	h_1	h_2	E_{SV} (%)	E_{SV} moy (%)	h'_2	E_{Sp} (%)	E_{Sp} moy (%)
1	13.2	9.2	69.69	71.84	8.7	65.90	68.36
2	12.5	9.1	72.8		8.5	68	
3	11	8.4	73.04		7.9	71.18	

D'après les résultats de sable naturel testé on a : une Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement le retrait.

✚ Sable recyclé :

Tableau II. 11 : résultats d'essais d'équivalentes de sable recyclé testé

N° essais	h_1	h_2	E_{SV} (%)	E_{SV} moy (%)	h'_2	E_{Sp} (%)	E_{Sp} moy (%)
1	13.2	9.2	69.69	71.84	8.7	65.90	68.36
2	12.5	9.1	72.8		8.5	68	
3	11	8.4	73.04		7.9	71.18	

18.1.2.4 Caractéristique physiques du sable:

Il est nécessaire de déterminer tous les caractéristiques physiques pour le sable naturel et sable recyclés.

a. Masse volumique apparent :

Le mode opératoire et le même qui celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment. La masse volumique apparente du sable est déterminée par la formule :

$$\gamma_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

M_1 : Masse de récipient vide

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

M_2 : Masse de récipient plus de sable

V : Volume du récipient ($V= 1L$)

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivant :

✚ Sable naturel :

Tableau II. 12 : Masse volumique apparente du sable naturel

Essai	$V_1(cm^3)$	$M_1 (g)$	$M_2 (g)$	$\gamma (g/cm^3)$	$\gamma_{app} (g/cm^3)$
1	1000	299.42	1796.07	1.49	1.49
2			1790.95	1.49	
3			1793.45	1.49	

✚ Sable recyclé :

Tableau II. 13 Masse volumique apparente du sable recyclé

Essai	$V_1(cm^3)$	$M_1 (g)$	$M_2 (g)$	$\gamma (g/cm^3)$	$\gamma_{app} (g/cm^3)$
1	1000	299.42	1659.62	1.36	1.35
2			1647.06	1.35	
3			1652.16	1.35	

b. La masse volumique absolue :

Le mode opératoire et le même qui celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment.

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

$$\rho_{ab} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Avec : $M=300g$

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivant :

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

❖ Sable naturel :

Tableau II. 14 : Masse volumique absolue du sable naturel

Essai	$M_s (g)$	$V_1 (cm^3)$	$V_2 (cm^3)$	$\rho (g/cm^3)$	$\rho_{ab} (g/cm^3)$
1	300	400	520	2.5	2.57
2			520	2.5	
3			510	2.72	

❖ Sable recyclés :

Tableau II. 15 : Masse volumique absolue du sable naturel

Essai	$M_s (g)$	$V_1 (cm^3)$	$V_2 (cm^3)$	$\rho (g/cm^3)$	$\rho_{ab} (g/cm^3)$
1	300	400	510	2.72	2.64
2			520	2.5	
3			510	2.72	

18.1.2.5 Porosité

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

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

- Résistance mécanique élevé, donc P faible.
- Capacité d'absorption d'eau (W) ; prélevée (W) grand

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P (\%) [1 - (\gamma/\rho_{ab})] \times 100 \%$$

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

18.1.2.6 Compacité

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

$$C = 1 - P$$

18.1.2.7 Indice de vide:

Le rapport de volume de vide sur le volume de solide :

$$E = P / (1 - P)$$

Tableau II. 16 : caractéristique physiques du sable naturel et sable recyclé :

Propriété	Sable naturel	Sable recyclé
Porosité	42.02	48.86
Compacité	57.98	51.14
Indices de vides	0.72	0.95

18.1.3 Caractéristique du ciment utilisée:

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment **CEMII/A-42.5**, provient de la cimenterie **Ain-toutascimat** c'est un ciment pour les travaux dans les milieux **fortement agressifs**



Figure II. 5 : le ciment utilisé CEM II/A 42,5

CPJ-CEM II/A 42,5 :

❖ Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :

- 80% à 94% de clinker (K) ;
- Un complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Des sulfates de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

❖ Spécifications mécaniques et physiques :

Les résistances la compression du **CPJ-CEM II/42,5** déterminées selon la norme **NA 234** font l'objet d'un contrôle statistique faisant apparaître une valeur moyenne des résultats obtenus à 28 jours voisine 55 N/mm².

La majorité des résultats obtenus se situe entre 42,5 N/mm² et 62,5 N/mm². Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieures et supérieures des spécifications mécaniques du ciment CPJ-CEM II/A 42,5.

En tout état de cause, les valeurs minimales garanties sont :

- 10,0 N/mm² à 02 jours ;
- 40,0 N/mm² à 28 jours.

Le temps de prise déterminé selon la norme NA 230 est supérieur à 60 minutes.

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

❖ Spécifications chimiques :

- La proportion des sulfates (SO₃) dans le ciment CPJ-CEM II/A 32,5 est inférieure à 3,5%.
- La teneur en chlorures (Cl) est inférieure à 0,10%.

19 Calcul de la composition du béton :

❖ But :

Déterminer les proportions de ciment, d'eau, de granulats et sable éventuels devant entrer dans la composition d'un béton dont on exige certaines performances.

❖ Méthode de calcul de la composition du béton :

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

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

- Méthode de BOLOMEY.
- Méthode de d'abrams.
- Méthode de FAURY.
- Méthode de d'oisel.
- Méthode de DREUX GORISSE.
- Méthode des VOLUMES ABSOLUS.
- Méthode GÉNÉRALE DU CENTRE D'ESSAIS DES STRUCTURES.

Dans notre PFE en va utiliser la méthode de **SCRAMTAIEV**, cette méthode consiste à :

- Calculer la somme de tous les composants du béton frais qui doit être égale à 1000 litres ou bien 1 m³
- La porosité $P = 0$ pour un béton damé.

Pour confectionner un béton il faut calculer des dépenses en matières premières et leur mise en œuvre donc il faut choisir les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

❖ Les donner de base pour effectuer les calculs de cette méthode est :

- La classe de résistance requise du béton (Rb).

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

- Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- Les caractéristiques des matériaux d'origine :
 1. Activités du ciment (R_c).
 2. Masse spécifique du ciment.
 3. Masse volumique et Masse spécifique du sable ou du gravier.
 4. La porosité des pierres concassées ou du gravie.

La composition du béton est établie approximativement par calcul ensuite, elle est précisée par la méthode d'essai de dosage expérimental de mélange de béton.

19.1 Présentation de la méthode:

Le professeur SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (R_b) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

19.1.1 Définition du rapport (C/E) :

Pour béton $C/E < 2.5$ béton plastique et TP on a : $R_b = A \cdot R_c \left(\left[\frac{C}{E} - 0.5 \right] \right)$

Pour béton $C/E > 2.5$ béton ferme et TF on a : $R_b = A \cdot R_c \left(\left[\frac{C}{E} + 0.5 \right] \right)$

R_b : Classe du béton (résistance à la compression du béton à 28 jours)

R_c : Activité ou classe du ciment.

A, A' : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux.

C/E : rapport du poids de ciment au poids de l'eau doc l'unité de volume du mélange.

Tableau II. 17 : valeurs des coefficients A et A' : []

Granulats et liants	A	A'
De qualités supérieures	0.65	0.43
Ordinaires	0.60	0.40
De qualités inférieures	0.55	0.37

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

19.1.2 Détermination de la dépense en eau :

Elle est établie approximativement d'après le tableau (**Tableau II.18**) qui tient compte de la qualité de matériau utilisés

Tableau II. 18 : quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton

Propriétés des bétons		Dosage en eau (l/cm^3) par rapport à la grosseur			
Affaissement au cône d'abrams (cm)	Maniabilité, sec	Pierres roulées			
		10	20	40	70
0	200-150	145	130	120	115
0	120-90	150	135	125	120
0	80-60	160	145	130	125
0	50-30	165	150	135	130
0	30-15	175	160	145	140
2-1	-	185	170	155	145
4-3	-	195	180	165	160
6-5	-	200	185	170	165
8-7	-	205	190	175	170
10-9	-	215	200	185	175

19.1.3 Détermination de la dépense en ciment :

$$C = [E. (C/E)] \text{ (Kg)}$$

19.1.4 Détermination de la dépense en gravier :

La détermination du dosage en agrégats doit remplir les conditions suivantes : la somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m^3 .

$$(C/\rho_C) + (E/\rho_E) + (S/\rho_S) + (G/\rho_G) = 1000L$$

ρ_C, ρ_E, ρ_S Et ρ_G : masse spécifiques de ciment, eau, sable et gravier en (Kg/m^3)

$$E + (S/\rho_S) + (C/\rho_C) = [(P_g \times \alpha \times G/\gamma_g)].$$

P_g : Porosité des pierres concassées.

γ_g : Masse volumique des pierres concassées en (kg/l).

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

α : Coefficient d'écartement des grains donné par le tableau suivant :

Tableau II. 19 : valeurs du coefficient « α » en fonction du E/C et dosage en ciment
[].

Dosage en ciment (kg/l)	E/C					
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
250	-	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	-	1.30	1.36	1.42	-
350	-	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.31	1.40	1.46	-	-	-
500	1.44	1.52	1.56	-	-	-
600	1.52	1.56	-	-	-	-

$$\Rightarrow G = 1000 / [V_{vol.pc} \cdot (\alpha / \gamma_{vol.pc}) + (1/\rho_{pc})]$$

$$G = 1000[p_g \times (\alpha/\gamma_g) + (1/\rho_G)].$$

19.1.5 Détermination de la dépense de sable :

Après avoir déterminé la dépense en gravier on fait le calcul de la dépense en sable (kg/m³). []

$$S = [1000 - [(C/\rho_c) + E + (G/\rho_G)]] \times \rho_S$$

❖ Mode opératoire :

19.2 Béton I:

Les données de travail

❖ Sable naturel :

$$\gamma_S = 1.49 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_S = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

❖ Pierres concassées (gravier) :

Gravier (8/15)

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

$$\gamma_G = 1.36 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_G = 2.43 \text{ g/cm}^3$$

Gravier (15/20) :

$$\gamma_G = 1.36 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_G = 2.76 \text{ g/cm}^3$$

❖ Ciment :

$$\rho_C = 3.00 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{ff} = 6 \text{ cm}$$

19.2.1.1 Composition des mélanges de béton pour Aff=5-7cm avec un dosage de ciment Dosage de ciment: 350 kg/m³

$A_{ff} = 6 \text{ cm}$, les pierres concassé de diamètre $\emptyset = 20\text{mm}$ (d'après le tableau ())

⇒ E=185 L, ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)

$$E_T = 185 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 210 \text{ l/m}^3$$

19.2.1.2 Détermination de rapport E/C :

$$\frac{E}{C} = \frac{210}{350} = 0.6$$

19.2.1.3 La quantité de les pierres concassés :

$$P_C = \frac{1000}{\left[\left(P_{pc} \frac{\alpha}{\gamma_{pc}} \right) + \frac{1}{\rho_{pc}} \right]} = \frac{1000}{\left[\left(0.48 \times \frac{1.44}{1.36} \right) + \frac{1}{2.65} \right]}$$

Avec $\alpha = 1.44$

$$P_C = 1129.18 \text{ g/m}^3$$

19.2.1.4 Quantité de sable :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_C} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}} \right) \right] \times \rho_s$$

$$S = \left[1000 - \left(\frac{350}{3} + \frac{210}{1} + \frac{1129.18}{2.65} \right) \right] \times 2.57$$

$$S = 635.37 \text{ g/m}^3$$

- Pour 1m^3 De béton frais :

$$C = 350 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$S = 635.37 \text{ g/m}^3$$

$$P_c = 1129.18 \text{ g/m}^3$$

19.2.1.5 Volume de mélange d'essai, on prend $\frac{1}{3}$ De pierres concassées 8/15 et $\frac{2}{3}$ De pierres concassées 15/20

$$C = 350 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$S = 635.37 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{8/15}} = 376.39 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{15/20}} = 752.78 \text{ g/m}^3$$

- Volume de mélange d'essais :

19.3 Béton ordinaire:

19.3.1 Volume du gâchage pour 6 éprouvettes cubiques $(10 \times 10 \times 10)\text{cm}^3$:

Pour une éprouvette :

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 6 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 6 = 0.006 \text{ m}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Tableau II. 20 : composition de mélange pour 6 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire :

Ciment (g/cm ³)	L'eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Pierre concassé	
			(8/15) (g/cm ³)	(15/20) (g/cm ³)
2520	1512	4574.664	2710	5420.02

19.3.2 Volume du gâchage pour 2 éprouvettes cylindrique (16× 32) cm³:

Pour une éprouvette :

$$V = \pi \times R^2 \times H = 3.14 \times 8^2 \times 32 = 6433.98 \text{ cm}^3.$$

Pour 2 éprouvettes :

$$V = 6433.98 \times 2 = 12869.96 \text{ cm}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II. 21 : composition de mélange pour 2 éprouvettes cylindrique (16×32cm) d'un béton ordinaire

Ciment (g/cm ³)	Eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Pc (8/15) (g/cm ³)	Pc (15/20) (g/cm ³)
5404.56	3243.36	8956.74	70105.88	12211.52

19.4 Béton recyclés :

19.4.1 Volume du gâchage pour 3 éprouvettes cubiques (10× 10 × 10)cm³A chaque pourcentage de sable recyclé :

Pour une éprouvette :

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 3 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 3 = 0.003 \text{ m}^3$$

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II. 22 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton recyclé :

Les composants	100% SN 0% SR	80% SN 20% SR	60% SN 40% SR	40% SN 60% SR	20% SN 80% SR
Sable naturel (g/cm ³)	2283.33	1670.66	1252.99	835.33	417.66
Sable recyclé (g/cm ³)	-	417.66	835.33	1252.99	1670.66
Ciment (g/cm ³)	1260				
Eau (g/cm ³)	750				
Pc (8/15) (g/cm ³)	1355.02				
Pc (15/20) (g/cm ³)	2710.03				

19.4.2 Volume du gâchage pour une éprouvette cylindrique (16× 32) cm³ A chaque pourcentage de sable recyclé :

$$V = \pi \times R^2 \times H = 3.14 \times 8^2 \times 32 = 6433.98 \text{ cm}^3.$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Tableau II. 23 : composition de mélange pour une éprouvette cylindrique (16× 32) d'un béton recyclé

Les composantes	60% SN 40% SR	80% SN 20% SR
Ciment (g/cm ³)	2702.28	
SN (g/cm ³)	2687.022	3582.696
SR (g/cm ³)	1791.348	895.674
Eau (g/cm ³)	1621.68	
Pc (8/15) (g/cm ³)	3052.88	
Pc (15/20) (g/cm ³)	6105.76	

19.4.3 Quantité de pouzzolane pour 2 éprouvettes cubiques :

Pouzzolane = 10% en ciment

Pouzzolane = 10% (2702.28)

Pouzzolane = 270.228 g /cm³

Tableau II. 24 : composition de mélange pour une éprouvette cylindrique (16× 32) d'un béton recyclé

Les composantes	60% SN 40% SR	80% SN 20% SR
Ciment (g/cm ³)	2702.28	
SN (g/cm ³)	2687.022	3582.696
SR (g/cm ³)	1791.348	895.674
Eau (g/cm ³)	1621.68	
Pc (8/15) (g/cm ³)	3052.88	

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Pc (15/20) (g/cm³)	6105.76
Pouzzolane (g/cm³) 10% en ciment	270.228

19.5 Béton II:

Les données de travail

Sable naturel :

$$\gamma_S = 1.49 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_S = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

Pierres concassées (gravier) :

Gravier (8/15)

$$\gamma_G = 1.36 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_G = 2.43 \text{ g/cm}^3$$

Gravier (15/20) :

$$\gamma_G = 1.36 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_G = 2.76 \text{ g/cm}^3$$

Ciment :

$$\rho_C = 3.00 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{ff} = 6 \text{ cm}$$

19.5.1 Calcul des composants:

Dosage de ciment : 400 kg/m^3

$A_{ff} = 6 \text{ cm}$, les pierres concassées de diamètre $\varnothing = 20 \text{ mm}$ (d'après le tableau ())

⇒ E=185 L, ciment CPJ (15L), pierre concassée (10 L)

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

$$E_T = 185 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 210 \text{ l/m}^3$$

1- Détermination de rapport E/C :

$$\frac{E}{C} = \frac{210}{400} = 0.528$$

2- La quantité de les pierres concassés :

$$P_c = \frac{1000}{\left[\left(P_{pc} \frac{\alpha}{\gamma_{pc}} \right) + \frac{1}{\rho_{pc}} \right]} = \frac{1000}{\left[\left(0.48 \times \frac{1.46}{1.36} \right) + \frac{1}{2.65} \right]}$$

Avec $\alpha = 1.46$

$$P_c = 1120.25 \text{ g/m}^3$$

3- Quantité de sable :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}} \right) \right] \times \rho_s$$

$$S = \left[1000 - \left(\frac{400}{3} + \frac{210}{1} + \frac{1120.25}{2.65} \right) \right] \times 2.57$$

$$S = 601.20 \text{ g/m}^3$$

• Pour 1m^3 De béton frais :

$$C = 400 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$S = 601.20 \text{ g/m}^3$$

$$P_c = 1120.25 \text{ g/m}^3$$

19.5.2 Volume de mélange d'essai, on prend $\frac{1}{3}$ De pierres concassées 8/15 et $\frac{2}{3}$ De pierres concassées 15/20

$$C = 400 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$S = 601.20 \text{ g/m}^3$$

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

$$P_{C_{8/15}} = 373.41 \text{ g/m}^3$$

$$P_{C_{15/20}} = 746.83 \text{ g/m}^3$$

19.6 Volume de mélange d'essais:

19.6.1 Béton ordinaire:

19.6.1.1 Volume du gâchage pour 3 éprouvettes cubiques $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$:

Pour une éprouvette :

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 3 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 3 = 0.003 \text{ m}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II. 25 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire

Ciment (g/cm ³)	L'eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Pierre concassé	
			(8/15) (g/cm ³)	(15/20) (g/cm ³)
1440	756	1966.60	1398.13	2838.63

19.6.2 Béton recyclés :

19.6.2.1 Volume du gâchage pour 3 éprouvettes cubiques $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ A chaque pourcentage de sable recyclé :

Pour une éprouvette :

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 3 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 3 = 0.003 \text{ m}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

Tableau II. 26 : composition de mélange pour 3 éprouvettes cubiques d'un béton recyclé

Les composants	100% SN	80% SN	60% SN	40% SN	20% SN
	0% SR	20% SR	40% SR	60% SR	80% SR
Sable naturel (g/cm ³)	1966.60	1573.28	1179.96	786.64	393.32
Sable recyclé (g/cm ³)	-	393.32	786.64	1179.96	1573.28
Ciment (g/cm ³)	1440				
Eau (g/cm ³)	756				
Pc (8/15) (g/cm ³)	1398.13				
Pc (15/20) (g/cm ³)	2838.62				

20 Les essais sur le béton :

20.1 à l'état frais :

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidification par un liant de ciment.

Un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs graviers.

20.1.1 Le Malaxage: [NA EN 12390-2]

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- Introduire gravier 15/20, ciment, sable 0/5 et gravier 8/15.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs.
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désiré et visé [48].

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

20.1.2 Affaissement au cône d'Abrams : [NF EN 12350 – 2]

L'essai réalisé avec cet appareil est normalisé selon la norme NF EN 12350-2, désigné par essai de consistance ou plus généralement par essai d'affaissement au cône d'Abrams il détermine la plasticité du béton

On admet la correspondance suivante :

Tableau II. 27 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Définition	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Très plastique	100 à 150
S ³	Fluide	160 à 210
S5	Très fluide	≥220



Figure II. 6 : l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.

20.1.3 Vibration:

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'aptitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

- On commence par piqué de vibration qui utilise pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappe 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantion.
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau.

20.2 Essais à l'état durci

20.2.1 Essais non destructifs:

20.2.1.1 Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2)

❖ Objectif de l'essai

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

❖ Principe de l'essai

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

❖ Equipement nécessaire

- Un scléromètre à béton conforme à la norme.
- Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.

❖ Conduite de l'essai

- Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C,

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

- Placez l'éprouvette surfacée au centre des 2 plateaux de la presse,
- Appliquez une charge en KN correspondant à une pression de 0,5 mpa. Tourner ensuite la vis de mise en charge au minimum (-) pour stabiliser la charge,
- Maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai,
- Augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au déclenchement du choc,
- Après le choc, enregistrer l'indice de rebondissement,
- Pour obtenir une estimation fiable de l'indice de rebondissement de la surface d'essai, neuf essais au moins doivent être effectués,
- Enregistrer la position et l'orientation du marteau à chaque série d'essai,
- La distance minimale entre deux essais de choc doit être de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée,

❖ Expression des résultats

A partir de l'indice sclérométriques I_s de la zone testée et de l'abaque illustré ci après on peut déduire directement la résistance du béton (Figure II.6).

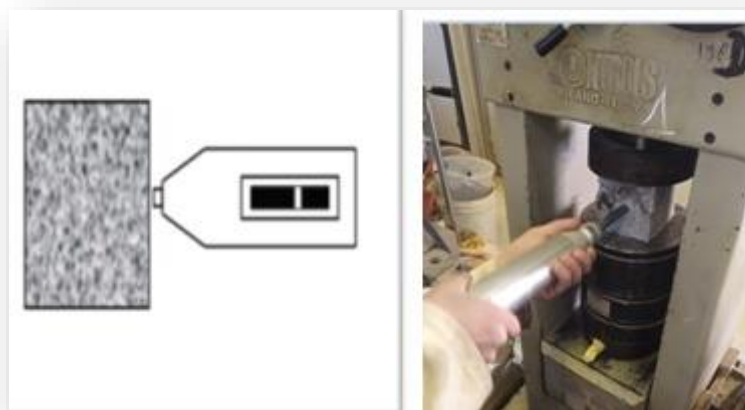


Figure II. 7 : Essai sclérométriques

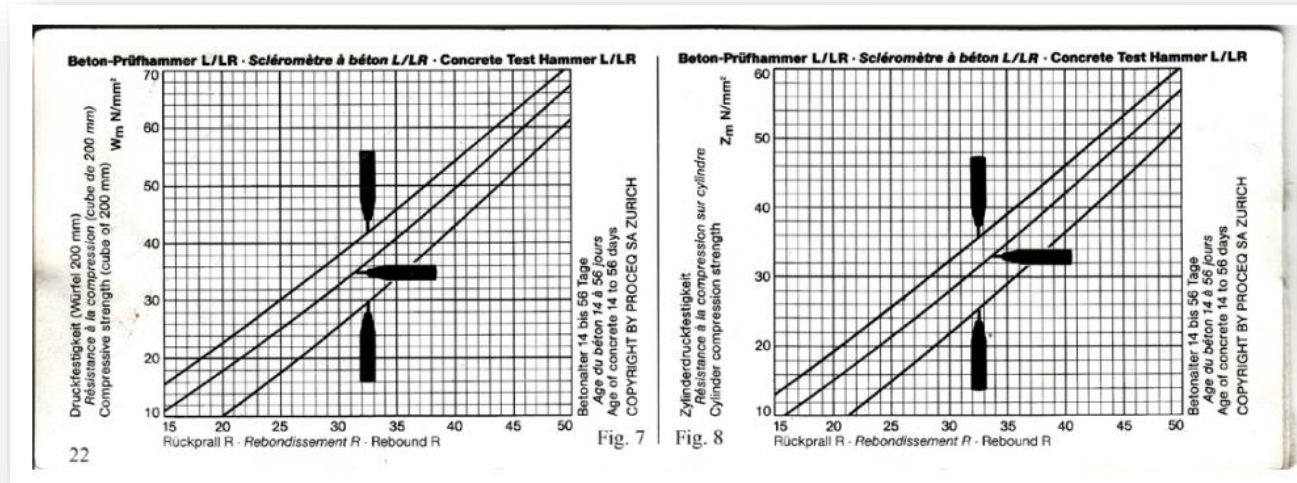


Figure II. 8: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques IS.

20.2.1.2 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4)

❖ Objectif de l'essai

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

❖ Principe de l'essai

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

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores t.

❖ Equipement nécessaire

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques,

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

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



Figure II. 9 : Essai d'ultrason.

❖ Conduite de l'essai

1- Préparation de l'éprouvette

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Les matériaux d'interposition sont la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

2- Point de mesure

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage testé. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, ...) les points de mesures sont situés aux

intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5 m, le cas des petits éléments (poteaux, poutres...) les mesures se font en six points.

3- Disposition du transducteur

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

❖ Expression des résultats

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

$$V = L/T$$

Ou :

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

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en μ s.

20.2.2 Essais destructifs:

20.2.2.1 Essai de compression [NFP 18 – 406]

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques et cubiques de dimensions (16 x 32 cm²) et (10x10x10 cm³) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f_{cj} Obtenus à 14, 28 et 90 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres et des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kn en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj} = FS$ (en mpa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette



Figure II. 10 : La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.

20.2.2.2 Essai de traction par fendage : [NFEN 12390 – 6]

La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en traction calculée. Les éprouvettes cylindriques (composites) sont soumises à l'essai de traction par fendage pour évaluer la qualité de l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.

Avec cette méthode, la contrainte d'adhérence n'est que celle de la traction par fendage, qui sera calculée par la formule suivante : $f_t = 2P/\pi DL$,

Avec : P, c'est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical ;

D et L, sont le diamètre et la longueur du cylindre.



Figure II. 11 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage

21 Elaboration des différents Mortie:

21.1 Composition de Mortie:

La réalisation de nos formulations nous conduit en premier lieu à connaître les proportions des constituants de chaque formulation.

Pour le mortier de référence, on l'a formulé à l'aide de la composition suivante: une gâchée pour trois éprouvettes doit être constituée de (500 ± 2) g de ciment (1500 ± 5) g de sable et (250 ± 1) g d'eau.

Pour les autres mortiers, on a remplacé une fois le sable normalisé et une fois le ciment par le déchet de brique réfractaire, et une fois sable naturel par sable recyclé.

21.2 Malaxage:

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié par la norme est muni d'un axe vertical, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre, les mélanges sont préparés selon le protocole suivant

- Verser le ciment, le sable et la poudre de brique,
- Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse pendant 30 secondes,
- Verser la quantité d'eau (80% de quantité d'eau),
- Malaxer une minute et verser la quantité d'adjuvant +20% quantité d'eau qui reste dans les 30 dernières secondes,
- Arrêter le malaxage et racler les côtés,
- Reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 2 minutes,
- Arrêter et terminer le malaxage

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

- Après le malaxage de mortier, les mélanges sont versés dans les moules normalisés ($4 \times 4 \times 16$) cm^3
- Utiliser la table vibrante (table des chocs) pendant 10s, afin d'avoir des éprouvettes compactes,

21.3 Préparation des éprouvettes

❖ Dimensions des éprouvettes

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique de **$4 \times 4 \times 16 \text{cm}$** .

❖ Moulage des éprouvettes

Le moulage des éprouvettes se fait immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement fixés sur la table à chocs, introduire, à l'aide d'une cuillère appropriée, en une ou plusieurs fois, la première des deux couches de mortier (chacune d'environ 300 g) dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage. Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule, tenu presque verticalement, avec ses épaulements en contact avec la partie supérieure de la hausse, et mue en avant et en arrière, une fois, sur toute la longueur de chaque compartiment du moule. Note le nombre de mouvements de scie et l'angle de la règle plate dépendent de la consistance du mortier. Les mortiers durs nécessitent un plus grand nombre de mouvements de scie et un angle plus aigu. Le nombre de mouvements des scies transversales nécessaires est plus petit pour le lissage que pour l'arasement. Enlever le résidu de mortier laissé sur le périmètre du moule par suite de l'arasement. Étiqueter ou marquer les moules pour permettre leur identification.

Dans notre partie pratique, on a formulé six variantes de mortier, avec différent rapport de E/C, les compositions des différentes variantes étudiées sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau II. 28 : différent rapport de E/C, les compositions des différentes variantes étudiées

	E/C	Sable naturel	Sable recyclé	Eau	Ciment
100% SN 0% SR	0.55	1500	0	275	
80% SN	0.55	1200	300	275	

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

20% SR					500
60% SN	0.60	900	600	300	
40% SR					
40% SN	0.62	600	900	310	
60% SR					
20% SN	0.64	300	1200	320	
80% SR					
0% SN	0.64	0	1500	320	
100% SR					

21.4 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais

21.4.1 L'étalement :

C'est un essai essentiel qui permet de caractériser l'état frais et déterminer la maniabilité du mortier, cet essai est réalisé à l'aide d'un mini cône posé sur une table à secousses. On utilise cette dernière afin d'assurer un seul régime de vibration et éliminer les bulles d'air dans le but d'obtenir une bonne compacité

21.5 Caractérisation des mortiers à l'état durci

21.5.1 Résistances mécaniques à la flexion

Cet essai est basé sur le placement des prismes dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci, une charge verticalement est appliquée sur la face latérale opposé du prisme et l'augmenter de 50 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à la rupture de l'éprouvette Les demi-prismes sont soumis à l'essai de compression, la résistance en flexion $R_{flexion}$ (en N/mm²) est calculé par la formule ci-après :

$$R_f = \frac{1.5p \times l}{b^3}$$

Ou :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en Mpa

B : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres

P : P: est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons

L: est la distance entre les appuis, en millimètres

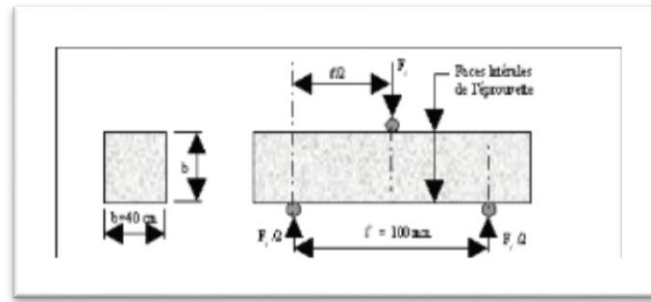


Figure II. 12 : Schéma d'essai de la résistance à la flexion trois points

21.5.2 Résistance à la compression

Cet consiste à appliquer sur les demis-prismes latéralement par rapport aux plateaux de la presse, la machine applique des efforts perpendiculaire à la surface des éprouvettes des différentes variantes étudiées avec une vitesse constante jusqu'à l'écrasement de l'éprouvette testée.

La résistance à la compression R_c En (N/mm²) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Ou :

R_c : la résistance à la compression

F_c : charge de rupture en (N).

B^2 : coté de l'éprouvette est égale à 40 mm.

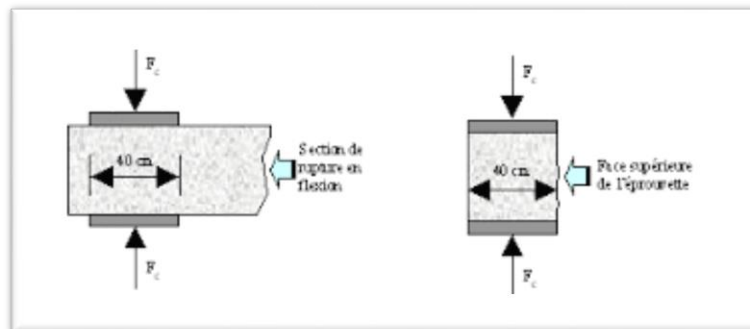


Figure II. 13 : Dispositif pour mesurer la résistance à la compression

21.5.3 Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433)

❖ Objectif de l'essai

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

❖ Principe de l'essai

On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16$ cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

❖ Equipement nécessaire

Il est décrit dans la **norme NF P 15-433**.

Une salle maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à $50\% \pm 5\%$.

Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Un malaxeur normalisé (figure II.13)

Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la figure (II.13).

Un déformètre (tel que celui schématisé sur la figure (II.14) équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à $0,005$ mm. Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre. Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.

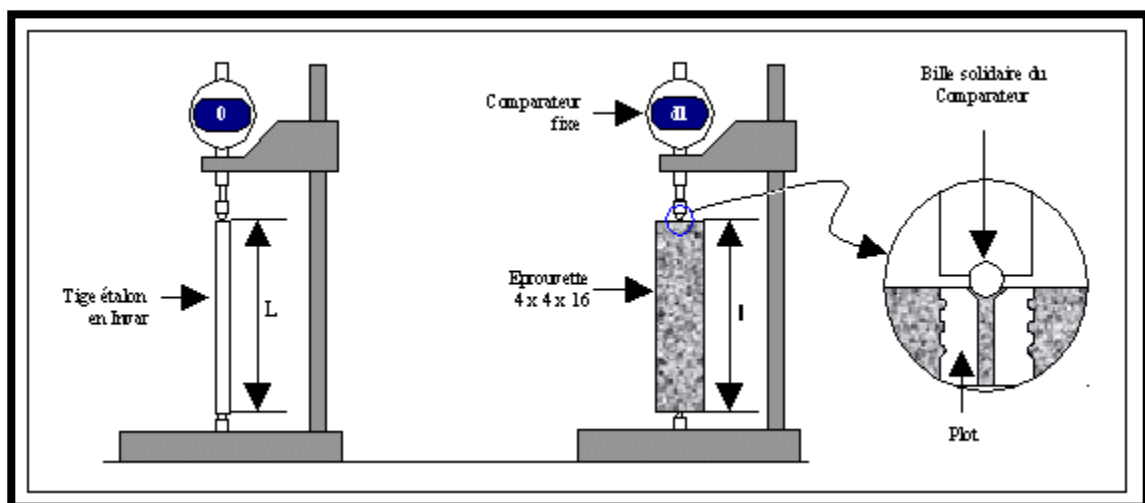


Figure II. 14 : Appareillage pour la mesure du retrait:

❖ Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur $L = 160$ mm. Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t)$$

Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, $\Delta l(t)$ peut être positif: il y a alors gonflement.

22 Conclusion:

La caractérisation des matériaux (granulats) permet d'éclairer leur choix et les destiner pour la confection d'un béton ou d'un mortier.

L'analyse des résultats de la caractérisation des matériaux nous a permis de déduire que:

La principale caractéristique des granulats de démolition est la présence aléatoire du vieux mortier collé aux granulats ce qui complique leur caractérisation exacte. Cette présence est inévitable et les propriétés physico-mécaniques des granulats recyclés seront dépendantes du volume de ce mortier

Chapitre II : les matériaux employés et les différents essais réalisés

La partie expérimentale consiste à valoriser les granulats recyclés dans le béton structurel, et les comportements des bétons frais ainsi que les performances des bétons durcis sont évalués, présentés et discutés dans le chapitre suivant.

chapitre III:

Chapitre 3 : Analyse et discussions des résultats

III.1 Introduction

La viabilité de la technique du recyclage des agrégats issus de concassage de béton apparaît donc comme assurée dans les travaux routiers, mais notre sujet précise l'utilisation de ces agrégats dans les bétons de ciment.

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des granulats recyclés, issus du concassage de béton de démolition, ainsi que leur utilisation dans la confection du béton et mortiers. Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux et leur influence sur le comportement du béton et mortiers.

III.2 Etude des mortiers

III.2.1 Comportement du mortier à l'état frais

La quantité d'eau de gâchage conditionne en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité.

Tableau III.1: Résistance à la compression **du mortier a 7 jours**

Type de mortier	E/C	RC (MPa)
100 T	0.55	27.80
80/20	0.55	26.79
60/40	0.60	23.60
40/60	0.62	22.62
20/80	0.62	20.60
0/100	0.64	18.00

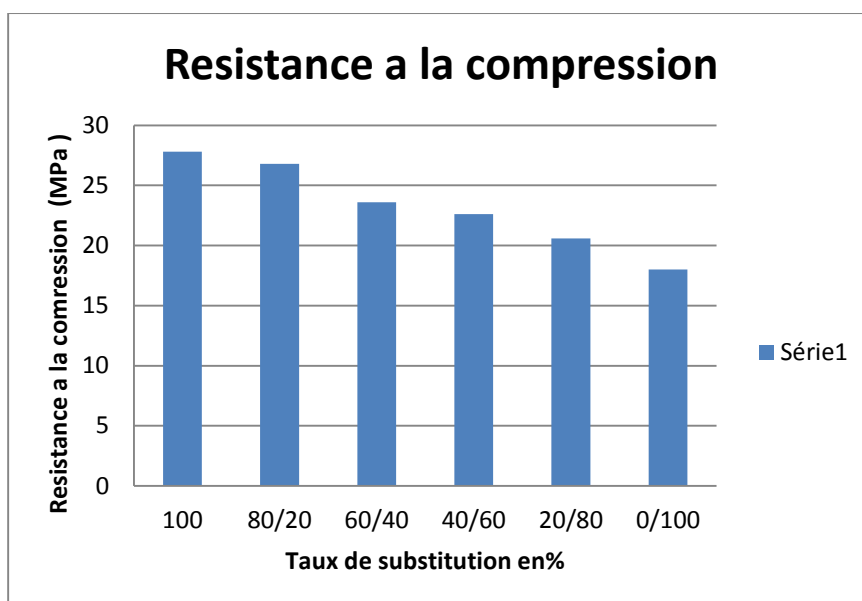


Figure III.1 : Résistance à la compression du mortiers a 7 jours

Tableau III.2: Résistance à flexion du mortiers a 7jours

Type de mortier	E/C	R_f (MPa)
100 T	0.55	1.44
80/20	0.55	1.57
60/40	0.60	1.42
40/60	0.62	1.57
20/80	0.62	1.44
0/100	0.64	1.68

Tableau III. 3: Résistance à compression du mortiers a 28 jours

Type de mortier	E/C	RC (MPa)
100 T	0.55	44.70
80/20	0.55	40.19
60/40	0.60	36.45
40/60	0.62	32.50
20/80	0.62	28.10
0/100	0.64	24.00

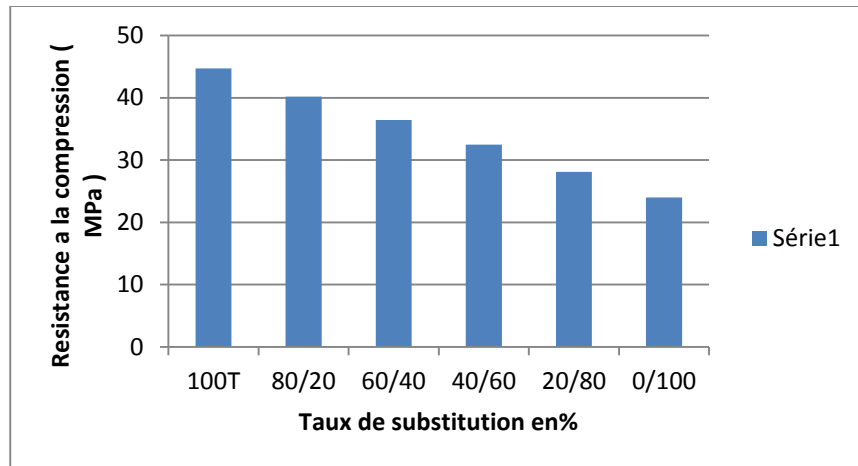


Figure III. 2: Résistance à la compression du mortier à 28 jours

Tableau III. 4 : Résistance à flexion des mortiers à 28 jours

Type de mortier	E/C	R_f (MPa)
100 T	0.55	1.82
80/20	0.55	1.75
60/40	0.60	1.96
40/60	0.62	2.10
20/80	0.62	2.00
0/100	0.64	2.30

D'après les Tableaux III.1 et III.3 et les figures III.1 et III.2 on remarque que :

1. la résistance à la compression est inversement proportionnelle au taux de substitution en sable à base de béton démolition.
2. les mortiers à base des sables démolitions présentent des résistances à la compression plus faible par rapport aux mortiers témoin.
3. La réduction de la résistance est due à l'appauvrissement en eau suite à son évaporation à l'air libre, entraînant un abaissement de la cinétique d'hydratation du ciment qui provoque une diminution de la résistance

III.3 ETUDE EDES BETONS :

III.3.1 Comportement des bétons a l'état frais :

Comme tous les mélanges de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 5 et 9cm) fourchette des bétons plastiques ce qui est plus répandu dans les chantiers de coulage.

4.2.2 Comportement du béton à l'état durcis

Tableau III. 5: Résistance à l à compression a 28 jours dosage 400 kg/m³

Types de Béton	Béton ordinaire	80-20	60-40	40-60	20-80
R_c Mpa	43	41.83	37.59	35.11	31.65

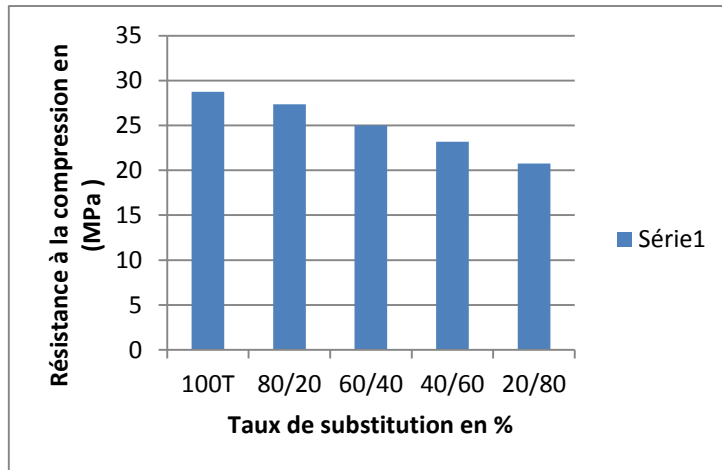


Figure III. 3 : Résistance a la compression a 28 jours avec CPJ 400 kg /m³

Tableau III. 6 : Résistance à l a compression a 28 jours dosage 350 kg/m³

Types de Béton	Béton ordinaire	80-20	60-40	40-60	20-80
R_c Mpa	28.76	27.35	25.00	23.20	20.75

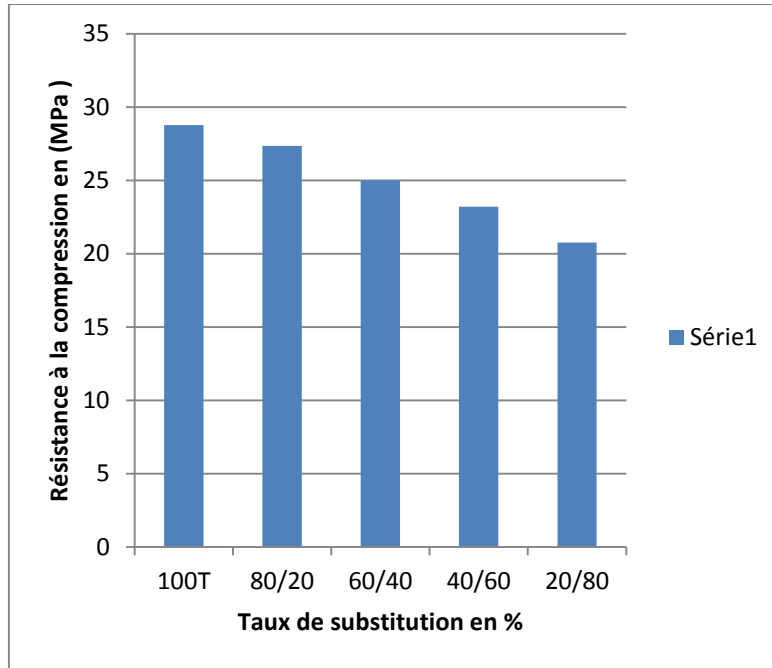


Figure III. 4: Résistance a la compression a 28 jours avec CPJ 350 kg /m³

D'après les tableaux III.5 et III.6 et les figures III.3 et III.4 en remarque observe que:

1. La résistance mécanique augmente dans le milieu humide, du fait que ce dernier empêche l'évaporation de l'eau du béton durant son durcissement, et permet la continuité des réactions d'hydratation et par suite le développement de la résistance mécanique.
2. La résistance mécanique augmente en fonction de dosage en ciment
3. les bétons à base des sables recyclés présentent des résistances faibles à la compression que les bétons témoins.
4. la chute de résistance diminue dès qu'en faisant augmenter le taux de substitution de sable

III.2.3 ESSAIS NON DESTRUCTIF

Tableau III. 7 : Résultat des contrôles non destructifs (scléromètre) d'un béton sur l'éprouvette cubique (10× 10 × 10)cm³

	Lecture de I			I_{Moy}	Rc MPa
BO	20	18	22	20	15
80%-20%	23.5	23.2	23.9	23.53	22.5
60%-40%	27	17	25	23	22
40%-60%	26	32	25	27.66	25.75
20%-80%	26	25	25	25.33	23.12



Figure III. 5: Essai sclérométriques sur des éprouvettes cubiques

Tableau III. 8: Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique)

Type de béton	Ultrason (L=100)		Rc moy MPa
	T (μs)	V (km/s)	
Béton ordinaire	49.3	4.056	32.238
80-20	49.9	4.001	30.122
60-40	53.4	3.749	26.172
40-60	50.5	3.962	29.104
20-80	51	3.924	27.597



Figure III. 6: mesures à l'ultrason d'éprouvettes cubiques (10×10×10) cm³ et cylindrique (16 × 32)cm².



Figure III. 7: Essai de compression de Béton

Conclusion Général

Conclusion générale et recommandations :

Les bétons et mortiers confectionnés avec des granulats recyclés ont fait l'objet de nombreuses études. Toutefois aucune règle générale n'a encore été dégagée pour quantifier l'influence de telle substitution, vis-à-vis des propriétés et notamment de sa résistance mécanique.

Ce travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupération des résidus de béton et leur utilisation dans le béton et mortier comme agrégats fin (sable).

- Les bétons mortiers à base de sable issus de démolition absorbent beaucoup d'eau par rapport aux mortiers ordinaires puisque ils présentent un rapport E/C élevé ce qui se traduit par une forte porosité et par conséquent une baisse de résistance.
- L'influence du taux de substitution des agrégats naturels par les agrégats recyclés sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons et mortiers a été également étudiée en détail ce qui nous donne la possibilité de fabriquer des bétons à base des granulats de démolition (jusqu'à un taux de substitution de 40%).
- Les résistances mécaniques des bétons et mortiers, que soit en compression ou en flexion diminuent en fonction de taux de substitution du sable recyclé s'il dépasse 40% naturels).

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- [1] **DR. P .BOERAEVE** : «Technologie du béton », Edition 1994, Groupement Belge du béton
- [2] **L. J. Vicat**, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.
- [3] **G. Maucuit-Lecomte**, CIMBÉTON : Fiches technique Tome 2 : « Les bétons, composition, fabrication et mise en œuvre », 2005
- [4] **R. MAILLOT**, "*Mémento technique des Granulats*", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).
- [5] **DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE**, "*La Technologie du Béton*", Guf\Formation\Béton\Technobéton V05_01U, 140 p
- [6] **J. BARON, et R. SAUTREY**, "*Le béton hydraulique*", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [7] **V. PHOUMMAVONG**, "*Cours en ligne matériaux de construction*", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>
- [8] **A. M. NEVILLE**, "*Propriétés des bétons*", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p. (2000).
- [9] **BELAGRAA.L** : *cours matériau de construction, à l'Université El Bachir Ibrahimi, 3ème année, département de génie civil, 2011*
- [10] **KATTAB.R**, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [11] **REZIG Salima**, Mémoire de Master «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux», Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 2012.
- [12] **Approuvé par le Gouvernement Wallon**, matériaux et produits de construction, cahier des charges type qualiroutes, chapitre C, 20 juillet 2011

Référence bibliographique

- [13] **G. DREUX & J. FESTA** : « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8eme édition, 1998
- [14]: **PRODUCT. R**; mars 1996, cembureau, international ciment reviw, juillet 1997
- [15] : **CHICHAOUI. R**; Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister-USTMB d'Oran -2008)
- [16]: Société suisse des ingénieurs et Architect, Norme SIA 215,«liant minéraux », Zurich 1978
- [17] : L'emploi d'ajouts cimentaire dans les revêtements de chaussée en béton exposés aux cycles de gel-dégel et aux produits chimiques de déglçage «ciment ASSOCIATION of CANADA» par Norman F.Macleod, ing .Mars 2005
- [18]: **MILIER E.W**, «Blended ciments Applications and implication» ciment and concrete composites, vol. 15, No .4/PP.237-245,1993
- [19] : **Dupain .R et Lanchon .R** : « Granulats, sols, ciment et bétons » Edition CASTEILLA-PARIS-2004
- [20] : **Aitcin .P.C et Baron .J** : « Bétons haute performance », Ed. Eyrolles, 1996.
- [21] CIM béton : le ciment et ses applications, fiches technique 2000.
- [22] Richard Et Cheyrezy.m « les bétons de poudres réactives », annales l'TBTP. Série béton 320,1995
- [23] **BOUALI Khaled** ; « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014
- [24] **BOMBLED J-P**, « Rhéologie des mortiers et des bétons frais, influence du facteur ciment
- [25]: **WILLIAM. D, CALLISTER. JR** « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001

Référence bibliographique

[26] **BOUALI Khaled** «Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires», mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA- BOUMERDES 2013/2014 p 108

[27]: **BELLEM. M** ; « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers »mémoire de master, université de M'sila, juin 2013.

[28] **Ademe P-C**, ' ' Guide des Déchets de l'Artisanat ' ', APCEDE, [en ligne], 2004.

[29] ' ' Guide pour une Construction et une Rénovation Respectueuses de l'Environnement-Annexe E ' ', Services d'Architecture et de Génie-services Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004.

[30] : **Mamery Serifou** « Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation ». Université de Bordeaux département de GENIE CIVIL, Option Géomatériaux-2013.

[31] **FICHE 4.1 : L'UTILISATION DES GRANULATS ISSUS DU RECYCLAGE– DECEMBRE 2010**
RAPPORT TECHNIQUE "BÂTIMENTS EXEMPLAIRES"

[32] **Debieb.F**, ' ' Valorisation des Déchet de Brique et de Béton de Démolition Comme Agrégats des Béton'', Mémoire de Magister en Génie Civil, Université de Blida, 1999

[33] <https://www.fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>.

[34] **De Juan M.S. and Gutiérrez P.A.**, Study on the influence of attached mortar content on the propertés of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, 23 (2), pp. 872-877, 2009

Référence bibliographique

- [35] **Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S.**, Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836, 2009
- [36] **Katz A.**, « propriétés of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, cement and concrete research », 33 (5), pp 703-711, 2003.
- [37] **Topeu Bekir, Ilker, Guncan Fuat Nedim.** « Using waste concrete as aggregates ». *Cem Concr Res* 1995 ; 25 (7) : 1385-90. Topeu BI, S. proprieties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cem Concr Res* 2004 ;34(8) ; 1307-12
- [38] **Evangelista L, De Brito J** : « Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregate, *Cement and Concrete composites* » 2010, 32,9-14.
- [39] **Resheeduzzafar, Khan A.** « Recycled concrete—a source of new aggregate. *Cement, Concrete and aggregates* » (ASTM), 6, No 1, pp. 17-25, 1984
- [40] **Gomez-Soberon J.M.v.** «Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, *Cement and concrete research*», 32 (8), pp. 1301-1311, 2002.
- [41]: **Crenstil Sagoe KK, Brown T, Taylor AH** « Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate» *Cem Concr Res* 2001; 31: 707-12.
- [42] : **Rao A.**, «Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregate in Mortar and Concrete ». Thesis submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, 2005.
- [43] **Ajdukiewicz A, Kliszczewicz Alina** «Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/I-WC. *Cement Concrete Composites*» 2001, 24 : 269-79.

Référence bibliographique

- [44] **Oikonomou N.D** «Recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites » 27 (2), pp. 315-318, 2005.
- [45] **Levy Salomon K, Paulo Helene** «Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development». *Cem Concr Res* 2004, 34(11):175-80.
- [46] **Ostuki N, Miyazato S, Yodsudjai W.** «Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete». *ASCE J Mater Civil Eng* 2003.
- [47] **Khalaf FM, DeVenny AlnaS.** « Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in Concrete: review ». *ASCE J Mater Civil Eng* 2004:331-40
- [48]: **R.DAUPAIN, J.-C. Saint-Arroman** « Granulates, sols, ciment et Béton », edition, 2009.