

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Centre Universitaire Belhadj bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie



Département de Génie Civil

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : TRAVAUX PUBLIC

Spécialité : V.O.A

Thème

**Valorisation des Granulats recyclés vis-à-vis le comportement
mécanique des Bétons**

Wilaya d'Ain Témouchent

Présenté Par :

- 1) HADJ SAFI Anis
- 2) BWETE Lola Odin

Devant Les Jury composé de :

Mme DERBAL
Mme BELABACI
Mme ABDSLEM

Examinatrice
Présidente
Encadreur

L'année universitaire 2017/2018

Dédicace

Ce modeste travail je le dédie aux êtres qui sont les chers dans ma vie et à mon cœur qui m'ont soutenu inconditionnellement durant tout ce que j'ai entrepris durant le long de ma vie quotidienne qu'estudiantine et que j'aime beaucoup :

A toi mon papa Lazard MPAIA MINTWINSI, l'homme le plus généreux du monde qui soit

A toi ma maman Landu SUMBU KAFUTI, ma plus grande enseignante de tout le temps

Et je le dédie encore à toute la famille LOLA : mon frère BERLAND LOLA et à mes sœurs : BIBI LOLA, ODELINE LOLA, DORCAS LOLA ET CYNTHIA LOLA.

Et encore à tous mes amis qui m'ont soutenu de près ou de loin durant l'élaboration de ce projet particulièrement mon frère Erick BANZA WA SAKULA, Berland LOLA, ADEL, BABOUCHE

Dédicaces

« وما توفيقى إلا بالله عليه توكلت و إليه أنيب »

Je dédie ce travail à : Mes chers parents, qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études jusqu'à la fin de ma formation, qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

- *A mon frère : Hadj Safi Rachid.*
- *A ma sœur : Hadj Safi Imen.*
- *A toute ma famille sans exception.*
- *A tous mes amis : Babouche Mohamed, et toute la promotion de Master2 génie civil.*
- *Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.*

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord ***DIEU*** le Miséricordieux pour sa protection et son amour qui m'a permis à atteindre aujourd'hui mon épilogue pour ce projet.

Je tiens à adresser mes remerciements à notre encadreur ***Mme .ABDELSELEM***, qui nous a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence nous a orienté pendant l'élaboration de ce projet.

Je tiens à remercier l'ensemble de professeur du centre universitaire d'Ain témouchent pour leur encadrement particulièrement ceux du département génie civil.

Que tous les membres du jury trouvent ici l'expression de nos profonds respects pour avoir pris la peine d'examiner ce modeste travail.

Je tiens à remercier mes parents : mon père Lazard Mpia Mitwinsi et ma mère Landu sumbu kafuti pour leur encouragement si particulier et leur soutien morale et tout leur amour.

Je tiens à remercier également tous mes amis qui m'ont soutenu de près ou de loin avec leur encouragement particulièrement à mon frère Berland LOLA, Erick BANZA WA SAKULA qui ont vraiment été là en tout et pour tout durant la réalisation de ce modeste projet.

Je remercie le membre du laboratoire de génie civil pour leur encadrement et suivi de travaux pratiques durant les séances de manipulation particulièrement Monsieur ADEL.

MERCI

RESUME :

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 marbre comme granulats pour béton hydraulique.

On a analysé les caractéristiques des granulats recyclés (déchets de marbre) afin de formuler les bétons étudiés.

L'étude consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à l'état frais et durci, à celles des bétons incorporant des granulats de marbres en substitution d'une fraction volumique du sable, de graviers et les deux ensemble avec des taux de substitution de (30%, 70%, 100%).

Ce travail montre l'intérêt majeur que pourrait avoir le développement et la mise à disposition des résultats expérimentaux concernant l'utilisation des déchets de marbres comme granulats recyclés pour bétons hydrauliques.

Mots clés : Granulats, Recyclage, Valorisation, Environnement, Marbre, Caractérisation, Bétons, Essais.

ABSTRACT:

The exhaustion of the natural aggregate layers and the difficulties to open new careers force to Seek new sources of supply.

The recycling and the valorization of waste are today regarded as a solution with a future intruder to answer the deficit between production and consumption and to protect the environment.

This memoir seeks to highlight the possibility of using the marble scrap like aggregates for hydraulic concrete.

In order to formulate the studied concretes, the characteristics of the aggregates recycled (marble scrap) were been analyzed.

The study consists in comparing the properties of a concrete of reference at the fresh and hardened state those of the concretes incorporating of the marble aggregates in substitution of a Voluminal fraction from sand, gravels and both whole with rates of substitution of (25%, 50%, 75%, 100%).

The work shows the main interest which could have the development and the provision of the experimental results concerning the use of the marble scrap like aggregates recycled for hydraulic concretes.

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

ملخص:

استنفاد الحقول الطبيعية و الصعوبات لفتح وظائف يتطلب البحث عن مصادر جديدة للتموين .
التقييم و إعادة استعمال النفايات مي من الآن تعتبر وسيلة للمضي قدما لمعالجة العجز بين الإنتاج و الاستهلاك و حماية البيئة.

هذه المذكرة تسعى لتسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الرخام كحصى للخرسانة المائية.

قمنا بتحليل مميزات حصى التعويض وذلك لوصف الخرسانات المدروسة .

تشتمل الدراسة على مقارنة خاصيات خرسانة المرجع في الحالات اللينة و الصلبة مع الخرسانات التي تم إذماج حصى الرخام فيها وذلك باستبدال جزء من الرمل ثم الحصى ثم الاثنتين معا مع مجموعة من نسب التعويض (100%، 75%، 50%، 25%) في خرسانة المرجع.

يبين هذا العمل الفائدة الرئيسية التي يمكن أن يقدمها تطور نتائج التجارب التي تخص استعمال بقايا مادة الرخام كحصى التعويض المعاد استعمالها في الخرسانات المائية كلمات المفتاح : الحصى البيئية، إعادة الاستعمال، التقييم، التجارب ، الرخام، الميزة، الخرسانات.

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BETONS ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

1.1	INTRODUCTION	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
1.2	DÉFINITION DU BÉTON	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
1.3	LES COMPOSANTS DU BÉTON	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
1.3.1	Les ciments	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2	Le granulats	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2	L'eau de gâchage	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3	Les adjuvants	Erreur ! Signet non défini.
1.4	DIFFÉRENTS TYPES DE BÉTON ET CARACTERISTIQUE	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
1.4.1	Béton léger	Erreur ! Signet non défini.
1.4.2	Béton lourd.....	Erreur ! Signet non défini.
1.4.3	Le béton auto plaçant :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.4.4	Le béton fibré :	Erreur ! Signet non défini.
1.4.5	le béton décoratif.....	Erreur ! Signet non défini.
1.5	CONCLUSION	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

CHAPITRE II : UTILISATION DES DECHET DANS LE GENIE CIVIL

2.1	INTRODUCTION :.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.2	DÉFINITION :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.3	DÉCHETS DANS LE GÉNIE CIVIL :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.3.1	DÉCHETS INERTES	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.3.2	DÉCHETS BANALS :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.3.3	DÉCHETS DANGEREUX :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.4	PRODUCTION DES DÉCHETS :.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.4.1	SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2.4.2	SOURCES DE DÉCHETS UTILISÉS EN GÉNIE CIVIL :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

2.4.2.1 DECHETS DE CONSTRUCTION ET DE DEMOLITION :**Erreur ! Signet non défini.**

2.4.2.2 SOUS-PRODUITS DE L'INDUSTRIE :**Erreur ! Signet non défini.**

2.5 BETON DES GRANULAT LEGERS..... ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

2.5.1 BETON LEGER **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.5.2 CLASSIFICATION SELON LA MATIERE PREMIERE**ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.5.3 CLASSIFICATION SELON LES DENSITÉS DES BÉTONS :**ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

1- le béton léger de structure..... **Erreur ! Signet non défini.**

2- le béton léger de faible masse volumique :..... **Erreur ! Signet non défini.**

3- le béton de résistance moyenne se situe entre les deux : **Erreur ! Signet non défini.**

2.6 BÉTONS DES DÉCHETS DE MARBRE :..... ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

2.6.1 2.6.1 DÉFINITION : **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.6.2 LE MARBRE EN ALGERIE : **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.6.3 2.6.2.1 LE MARBRE DE LA CARRIÈRE DE FIL-FILA : **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.6.4 2.6.3 LA POUDRE DE MARBRE (PM) **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.6.5 2.6.4 UTILISATION DU BÉTON DU DÉCHET MARBRE : **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

2.7 . CONCLUSION : ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES.

3.1 INTRODUCTION: ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

3.2 MATÉRIAUX UTILISÉS:..... ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

3.2.1 LE CIMENT : **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

3.2.2 GRANULATE: **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

3.2.3 EAU DE GÂCHAGE: **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

3.3 ESSAIS SUR MATÉRIAUX: ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.

3.3.1 LES MASSES VOLUMIQUES: **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

3.3.1.1 Masse volumique
apparente..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.1.2	Masses volumiques absolues	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
3.3.2	LA TENEUR EN EAU:.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.3.3	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.3.4	POROSITÉ DES GRANULATS:.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.3.5	ESSAI DE LOS ANGLES (LA).....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.3.6	Équivalents	de
	Sable.....	Erreur ! Signet non défini.
4	ESSAIS SUR LE BÉTON	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.4.1	OUVRABILITÉ:	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
3.4.2	RÉSISTANCE	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
5	CONCLUSION :	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
	CONCLUSION GENERAL	74

FIGURES	TITRE DE LA FIGURE	PAGE
FIGURE I :	répartition des déchets par secteurs	25
FIGURE II :	répartition des quantités de déchets de chantier ou des démolitions par type...27	27
FIGURE III :	représentation schématique des différents types de béton légers.....31	31
FIGURE IV :	variation de la résistance en fonction de masse volumique de béton.....31	31
FIGURE V :	masse volumique apparente.....62	62
FIGURE VI :	résultat analyse granulométrique de granulat ordinaire 0/3.....65	65
FIGURE VII :	résultat analyse granulométrique de granulat ordinaire 3/8.....66	66
FIGURE VIII :	résultat analyse granulométrique de granulat ordinaire 8/15.....67	67
FIGURE IX :	résultat analyse granulométrique de granulat marbre 3/8.....68	68
FIGURE X :	résultat analyse granulométrique de granulat marbre 8/15.....69	69
FIGURE XI :	classe de l'affaissement.....75	75
FIGURE XII :	résultat de l'étude de compression du béton GRN 3/8.....81	81
FIGURE XIII :	résultat de l'étude de compression de gravier naturel normal 3/8.....83	83
FIGURE XIV :	résultat de l'étude de compression de 25% marbre et 75 gravier ordinaire..84	84
Figure XV :	résultat de l'étude de compression du mélange 50% marbre et 50%gravier ordinaire.....85	85
FIGURE XVI :	résultat de la variation des éprouvettes dues à la compression.....86	86

FIGURES

TITRE DE LA FIGURE

PAGE

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I: COMPOSANT DE BETON	4
TABLEAU II: AVENAGE ET INCONVENIENT DE BETON LEGER	13
TABLEAU III: AVENAGE ET INCONVENIENT DE BETON FIBRE.....	15
TABLEAU IV : AVENAGE ET INCONVENIENT DE BETON AUTO PLAÇANT	17
TABLEAU V : REPARTITION DE LA PRODUCTION DE DECHETS DE CHANTIER	26
TABLEAU VI: CLASSIFICATION DE BETON EN FONCTION DE LA DENSITE (G. DREUX).....	56
TABLEAU XII : CARACTERISTIQUES PETROGRAPHIQUES-MINERALOGIQUES, PHYSICO- MECANIQUES ET CHIMIQUES DE MARBRE.....	56
TABLEAU XIII : CARACTERISTIQUE CHIMIQUE DU MARBRE FIL-FILA.	57
TABLEAU XIV : CARACTERISTIQUE CHIMIQUE DU MARBRE FIL-FILA.....	60
TABLEAU XV : CARACTERISTIQUE CHIMIQUE DU CIMENT (CPJ CEM/A42.5)	62
TABLEAU XVI : CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES DU CIMENT.....	64
TABLEAU XVII : RESULTAT DES DIFFERENT MASSE.....	65
TABLEAU XVIII : CARACTERISTIQUES PHYSIQUE DU CIMENT	66
TABLEAU XIX : RESULTATS DE LA TENEUR EN EAU.....	67
TABLEAU XX : RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE 'GRAVILLON NATURAL NORMAL DE LA CLASSE (0/3).....	68
TABLEAU XXI : RESULTAT POUR LE GRAVILLON ORDINAIRE DE LA CLASSE (3/8)	73
TABLEAU XXII : RESULTAT POUR LE GRAVILLON ORDINAIRE DE LA CLASSE (8/15).	74
TABLEAU XXIII : RESULTAT POU LES GRANULATS DE MARBRE DE LA CLASSE (3/8).....	75
TABLEAU XXIV : RESULTAT POUR LES GRANULATS DE MARBRE DE LA CLASSE (8/15)	79
TABLEAU XXV : RESULTAT DE L'ESSAI LOS ANGELES	79
TABLEAU XXVI: RESULTAT DE L'EQUIVALENT DE SABLE	81
TABLEAU XXVII : DOSAGE DU BETON	82
TABLEAU XXVIII : LE DOSAGE DU BETON CORRESPONDENT A NOTRE TRAVAIL.....	83
TABLEAU XXIX : RESULTAT DE L'ECRASEMENT POUR GRAVILLON RECYCLE NATUREL DE LA CLASSE (3/8)	84

1) Introduction générale :

Le cadre de la présente étude concerne la valorisation des granulats recyclés vis-à-vis le comportement mécanique du béton dont ce dernier tiendra compte de l'étude de deux types de granulats, celui concassé et tiré à partir de marbre et le granulats de carrière. Depuis que l'on fabrique des bétons, les ingénieurs et chercheurs se sont efforcés d'élaborer des théories, d'effectuer des recherches et essais et d'en déduire des méthodes de compositions pour la fabrication de ces bétons. Le besoin inévitable des matériaux de construction provoque un épuisement des ressources. Ainsi, l'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication des matériaux cimentaires est une voie pour répondre aux besoins tout en préservant l'environnement dans une démarche de construction durable. Les matériaux de recyclage abordés dans cette étude proviennent du concassage de déchets de marbre. On distingue actuellement trois types de granulats recyclés :

- a) Les granulats recyclés de béton désignés par RTB : recyclé tout béton
- b) Les granulats recyclés comportant de l'enrobé, désignés par RE ou REB : recyclé enrobé ou recyclé enrobé/béton.
- c) Les granulats mixtes comportant des matériaux de construction variables non triés (béton, brique, marbre, carrelage...) désignés par RTV : recyclé tout venant

L'étude présentée ici porte sur l'analyse des caractéristiques et le réemploi des granulats recyclés de marbre (RTV). Valoriser ces granulats issus du concassage du marbre pour la fabrication d'un béton hydraulique peut étendre leur domaine d'utilisation actuel. En effet, les granulats issus du recyclage sont essentiellement utilisés dans le domaine routier en tant que grave traité ou comme remblai. Malgré plusieurs études de recherche pour une éventuelle utilisation avec des liants hydrauliques pour la construction d'ouvrages ou de bâtiments, les granulats recyclés trouvent une forte application en Algérie en tant que granulats de béton. En ce qui concerne particulièrement le marbre, il est très peu utilisé compte tenu de sa valeur élevée coté cout on le retrouve rarement dans la phase construction des bétons par rapport au granulats de carrière. Le marbre il est généralement utilisé comme pose de pavement, des revêtements. Toutefois il est nécessaire de valoriser le matériau et la réutilisation de ses déchets nous est bénéfique vue le nombre de demande dans le domaine génie civil et tout en veillant sur la bonne forme du traitement de ces matériaux pour la protection de l'environnement. Notre étude fera face à une politique de valorisation du marbre dans la conception ou formulation du béton lourd, qui est né d'un besoin d'économie et de

qualité accrue pour la construction de béton armé. Cette valorisation présente un intérêt commun pour les deux types de matériaux. Il s'agit bien évidemment d'ordre économique. En effet, le réemploi des matériaux de démolition pourrait être envisagé directement sur site ou sur les plateformes de recyclage chargées du traitement. Ces plateformes pourraient alors s'occuper de la fabrication de béton à base de ces granulats recyclés, ceci diminuerait l'épuisement des ressources naturelles. Ainsi les objectifs de ce projet seront basés sur l'étude de quatre grands chapitres qui nous permettra de faire l'étude sur :

- ✚ **Les généralités sur le béton** : effectuer une étude sur la composition et différents types de béton ensuite détailler la connaissance sur les caractéristiques des bétons, ce qui constitue le premier chapitre.
- ✚ **Les granulats recyclés (emploi des déchets dans le domaine de génie- civil)** : sera le sujet du second chapitre dans lequel on parlera de la production des déchets utilisés et les bétons des granulats léger saisine que les bétons des granulats à base de déchets de marbre.
- ✚ **Matériaux utilisés et méthodes expérimentales** :

Le troisième chapitre portera sur l'étude du comportement mécanique des bétons de granulats recyclés. Dans cette phase plusieurs essais seront effectués pour l'identification des matériaux utilisés en premier lieu, par la suite on aura à faire les essais de béton pour les deux différents types de granulat s'agissant bien de l'étude pour un béton ordinaire et ensuite en marbre. Nous aurons aussi à étudier leur résistance en compression et en traction et aussi leurs ouvrabilités. On aura à savoir par rapport à notre mélange de béton quel type d'adjuvant allons-nous utiliser pour ralentir ou accélérer le durcissement du béton.

✚ **Résultats et interprétation** :

C'est la phase de la discussion de tout ce qu'on a réalisé lors de notre projet, grâce aux différents tracés pour arriver à valoriser notre béton en question vis-à-vis son comportement mécanique en particulier.

Les deux premiers chapitres constituent donc la première partie « recherche bibliographique » et les deux derniers chapitres concernent la deuxième partie « l'étude expérimentale ».

Première Partie

Recherche bibliographique

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BETONS

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BETONS

1.1 Introduction

Le béton est un mélange de plusieurs composants très différents dont les uns sont actifs et les autres inertes. Ce matériau présente des caractéristiques qui sont fonction de celles ses composants.

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence .Environ 5 milliards de mètres cube de béton sont utilisés tous les ans par le monde pour la construction d'ouvrages de toute nature, notamment de bâtiments, d'immeubles, de ponts, de routes, de tunnels, de barrages, de centrales thermiques et nucléaires.

Le béton est un matériau composite, formé de ciment, de granulats (sable et gravillons), d'eau et éventuellement d'ajouts (adjuvants) destinés à améliorer ses propriétés.

1.2 Définition du béton

Le béton est un matériau composite présentant une forte hétérogénéité d'un mélange de granulats, d'une pâte de ciment incorporant éventuellement des adjuvants et additions .Le béton peut aussi être considéré comme un matériau multiphasique contenant trois phases ; solide (granulats et partie cimentaire), liquide (eau libre et adsorbée) et gazeuse (air et vapeur d'eau). Ses propriétés mécaniques se développent grâce à l'hydrations du ciment [1].

Béton = ciment + granulats + eau+ adjuvant
--

1.3 Les composants du ciment

1.3.1 Les ciments

➤ C'est quoi un ciment :

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température qui pourrait atteindre dans le 450°C. Le ciment est un liant hydraulique par excellence. Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile. Il fait partie des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance.



Photo 1 ciment



photo 2 ciment

La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en différentes catégories. Ces poudres constituées des sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise et durcir progressivement (plus ou moins rapidement d'ailleurs) d'où le nom de liant hydraulique par opposition avec le liant aérien (à base de chaux grasse et maigre) qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air.

➤ **De quoi est composé le ciment:**

Le ciment est composé de plusieurs éléments, dont :

- ✓ clinker
- ✓ calcaire
- ✓ laitier
- ✓ cendres
- ✓ pouzzolanes

I.3.1.1 clinkers :



Photo 3 clinker

Il s'agit du composant de base du ciment qui provient de la calcination ou cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkerisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogène et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

I.3.1.2 Calcaire :



Photo 4 calcaire

Les **calcaires** sont des roches sédimentaires, tout comme les grès ou les gypses, facilement solubles dans l'eau (voir karst), composées majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 .

1.3.1.1 Laitier :



Photo 5 laitier

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir du minerai et du coke métallurgique. Il sort du trou de la coulée à une température de l'ordre de 1500°C. Figer par refroidissement brusque il donne un produit granulé qui est ajouté au clinker en proportion variable pour être broyé finement avec lui. Il contient de la chaux (45 à 50%), de la silice (25 à 30%) 10% environ de la magnésie, oxydes divers et manganèse.

1.3.1.4 Le cendre



Photo 6 cendre

On les ajoute au moment du broyage du clinker. Elle rentres dans la composition de certains ciments en proportion variable (5 à 20%) Ce sont des produits pulvérulent de grande finesse résultant de la combustion, en centrale thermique.

1.3.1.2 Les pouzzolanes:



Photo 7 pouzzolane

Ce sont des produits naturels d'origine volcanique composés essentiellement de silice alumine et oxyde ferrique ; ils sont employés en cimenterie pour leurs propriétés « pouzzolaniques » c'est-à-dire une aptitude à fixer la chaux à la température ambiante et à former des composés ayant des propriétés hydrauliques c'est-à-dire pouvant faire prise et durcir par hydratation .on obtient artificiellement des pouzzolanes à partir d'argile cuite par exemple.

Les cendres de centrales thermiques (cendres volantes) constituent également des matériaux à caractère pouzzolaniques [2].

I.3.2. Le granulat.



Photo 8 granulats marbre



photo 9 gravier

1.3.1.3 Qu'est-ce qu'un granulat?

Le granulat est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production [1].



Sable 0/3

granulat 3/8

granulat 8/15

Trois grandes familles de granulats sont définies en fonction de leur origine:

➤ **Les granulats alluvionnaires ou de carrière :**



PHOTO 10 : granulat carrière

Leurs gisements sont des matériaux meubles, non consolidés. Ils proviennent de lits ou anciens lits de rivière, les fonds de lacs ou certains fonds marins. L'extraction des granulats alluvionnaires se fait « à sec » ou « dans l'eau », à l'aide de pelles hydrauliques ou de draglines. La technique d'exploitation varie en fonction de la situation du gisement par rapport à la hauteur du cours d'eau ou de la nappe phréatique. Ces granulats peuvent être

traités suite à leur extraction. Ils sont concassés si leur granulométrie est trop importante. Cette opération est suivie d'un criblage, d'un lavage et d'un calibrage [3].

➤ **Les granulats de roches massives :**



Photo 11 roche massive

L'exploitation de ces roches représente la principale filière granulaire dans une grande majorité. Cette matière première est présente dans différentes situations géologiques: couches plus ou moins massives de roches sédimentaires, massifs de granit, anciennes coulées volcaniques, roches métamorphiques... Leur extraction se fait généralement à l'explosif. Les roches sont ensuite concassées, lavées et criblées [3].

➤ **Les granulats de recyclage et artificiels :**



Photos 12 déchets de marbre

Des granulats sont produits en concassant et en recyclant des matériaux de chantiers de démolition comme les bétons ou en recyclant des sous-produits de l'industrie tels les laitiers de hauts fourneaux ou les mâchefers. Après concassage, lavage et criblage, leur usage reste souvent réservé à des emplois spécifiques compte tenu de leur qualité particulière et de la réglementation en cours [4].

1.3.2 L'eau de gâchage

Pour convenir à la confection de béton, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. La norme P 18-303 limite à cet effet le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30 g/l suivant la nature du béton, précontraint ou non armé, spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs même en très faible pourcentage de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- ✓ Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent),
- ✓ les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre. Sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments. fines des sables...). Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation.
- ✓ les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent confirmes aux prescriptions de la norme conviennent également [5].

1.3.3 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés Ou du comportement de ceux-ci.

Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvent dans le commerce sous forme de liquides. Certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur coût de transport (cas des chantiers à l'export). Dans ce cas il faut généralement les diluer avant l'emploi : la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est en effet moins certaine que celle d'un liquide. (Source : www.eau de gachage.com)

1.4 II. DIFFERENTS TYPES DE BETON

On pourra parler en une phrase de béton étant un matériau dont la composition peut évoluer et on peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées dans différentes utilisations.

Il existe bien plusieurs types de béton à savoir :

- ✓ Le béton léger
- ✓ Le béton lourd
- ✓ Le béton auto plaçant
- ✓ Le béton fibré
- ✓ Le béton décoratif

II.1LE BETON LEGER :



Photo 13 béton léger

Il est composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air. Ce béton est encore composé en majorité de constituants l'allégeant, ce qui le rend bien moins lourd qu'un béton ordinaire et par conséquent, bien plus pratique d'utilisation [6].

1.4.1 Domaines d'utilisation.

Il est conçu pour la fabrication des Hourdis, des cloisons, et cela permet aussi la réhabilitation de bâtiment ancien, remplissages.

On le trouve aussi dans diverses applications :

a) Fondation :

On peut retrouver du béton léger dans les fondations. En effet, ce dernier étant moins lourd que le béton classique, il peut être placé sur une structure demandant une résistance moins élevée à la charge. Ceci peut être un avantage car la structure est donc plus facile à mettre en place et par conséquent, des économies sont faites.

b) Rénovation :

Ce béton étant plus léger qu'un béton classique, cela permet donc de réaliser des rénovations sans avoir à renforcer au préalable la structure sur laquelle on souhaite l'appliquer.

c) Isolation :

Le béton léger a comme particularité d'être à la fois un bon isolant thermique et phonique. De ce fait, il est très utilisé lors de la conception de mur ou de dalle.

1.4.2 Caractéristiques du béton léger

Le béton léger se différencie donc des autres types de béton, notamment par son poids bien inférieur à celui du béton classique. Une fois sec, celui-ci possède une densité pouvant aller de 300 à 1800kg/m³, alors qu'un béton ordinaire se situe plutôt entre 2000 et 2300 kg/m³ [6]

1.4.2.1 Avantage et inconvénient.**Tableau 1 avantage et inconvénient du béton léger**

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • Plus léger qu'un béton classique • Bonne isolation phonique et thermique • Mise en place facile et rapide • Forte maniabilité • Non inflammable 	Résistance moins élevée que pour un béton ordinaire (<u>résistance à la compression</u>)

1.4.3 I.2.2 BETON LOURD



PHOTO 14 : béton lourd

Généralement le béton lourd est Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite). Les bétons lourds possèdent une masse volumique supérieure à 3000 kg/m³.

Il sert à la Protection et permettent la réalisation d'ouvrages contre les radiations (rayons X, gamma et autres rayons radioactifs) ou la réalisation de culées et, réalisation de contrepoids [6].

1.4.3.1 Caractéristiques du béton lourd :

Le béton lourd, **comme son appellation l'indique, affiche une masse volumique plus importante que le béton classique.** C'est un produit **composé de granulats très dense et possédant une viscosité plus élevée.** On y fait appel dans des situations bien précises, pour des coulées de pont, pour des lests ou contrepoids ou encore pour assurer la protection contre les radiations. Zoom sur le béton lourd, ses propriétés, ses applications [6]

1.4.4 LE BETON AUTO PLAÇANT :



PHOTO 15 : béton auto plaçant

S'agissant du béton auto plaçant, aussi nommé béton auto-nivelant (BAN) ou bien béton auto-compactant, est un béton qui par ailleurs se différencie des autres bétons par son importante fluidité. Une caractéristique ayant longtemps été recherchée dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre du béton sur les chantiers. Le béton auto plaçant peut s'écouler et se compacter simplement par l'effet de la gravité qui est exercé sur lui. L'hyper fluidité facilite ainsi le remplissage des coffrages et l'enrobage des éventuelles armatures, tout en conservant une homogénéité [6].

1.4.4.1 Avantages et inconvénients

Tableau 2 avantage et inconvénient du béton auto-plaçant

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Absence de vibration pour sa mise en place• Facilité et rapidité de la mise en œuvre• Amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonores• Excellent remplissage des coffrages• Béton de qualité et surface plane, régulière• Possibilité de bétonner des formes complexes	<ul style="list-style-type: none">• Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire.

1.4.5 LE BETON FIBRE :



Photo 16 béton fibré

Comme son nom l'indique, **le béton fibré est un matériau composé de fibres. Lors de la formulation de ce béton, des fibres sont ajoutées aux divers matériaux qui le composent.**



Photo 17 Béton fibré

Pour **obtenir un béton fibré à la hauteur des performances recherchées**, vous devez obtenir un mélange dans lequel les fibres sont réparties de manière homogène. Ces fibres, de composition diverse, **permettent d'obtenir un béton amélioré qui peut convenir à de nombreux usages** [6].

1.4.5.1 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON FIBRE :**TABLEAU IV : AVANTAGE ET INCONVENIENT DU BETON FIBRE**

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • Facile à mettre en œuvre • Béton plus léger que le béton ordinaire • Béton plus durable • Remplacement total ou partiel des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques) • Diminution du risque de fissuration • Résistance au feu, à l'abrasion, aux chocs, à la traction et à la flexion 	<ul style="list-style-type: none"> • Le béton fibré est plus cher que le béton ordinaire (environ 70€ le m²) • L'incorporation de fibres diminue l'ouvrabilité du béton, l'ajout de super plastifiant est alors recommandé. • Il est interdit d'utiliser des fibres structurales en zone de risque sismique modéré et plus.

I.2.5 LE BETON DECORATIF :**Photo 18** béton décoratif

Ce béton a pour utilité de rendre joli le site auquel il y a coulage et donner une certaine image pour la décoration et cela tout en respectant les règles de la construction (résistance du béton, support de charge) [7].

1.5 CONCLUSION.

Cette partie de l'étude portée sur les généralités sur le béton nous a permis de connaître dans sa grande explicité ce qu'on utilise comme matériaux lors de la composition de béton et quels étaient les différents types de béton et leurs caractéristiques. En gros il faut retenir que le granula c'est un matériau qui est d'une grande importance dans le monde de construction et mérite de nombreuses études et recherches, dans un béton, les granulats apportent la consistance, le volume et la résistance. La nature minérale des granulats est souvent un critère fondamental de leur utilisation, les caractéristiques physiques et mécaniques sont aussi importantes par l'influence nuisibles qu'elles peuvent exercer sur la résistance.

Le choix d'un granulat est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

CHAPITRE 2 :
UTILISATION DES DECHET
DANS LE GENIE CIVIL

CHAPITRE II : UTILISATION DES DECHET DANS LE GENIE CIVIL**2.1. INTRODUCTION :**

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux.

Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats.

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement en granulats. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, dans certains pays, à des difficultés pour déposer à la décharge gravats et de sous-produits inertes de l'industrie et dans d'autres pays, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement.

Ces deux types de résidus peuvent être transformés en granulats en vue de leur utilisation dans la fabrication du béton, ce qui se fait de plus en plus fréquemment dans plusieurs pays du monde.

Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, cas des déchets de démolition par exemple, et l'utilisation de granulats faits à partir de ces déchets demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé. [8].

Les bétons légers connus dans le monde depuis plus d'un quart de siècle, dans cette période connaissent un regain d'intérêt, qui semble tout à fait mérité en raison de leurs propriétés. Il est très important de bien définir dès le départ, ce qu'est un béton léger, La commission R.I.L.E.M des bétons légers propose de définir les bétons légers comme étant des bétons dont la masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m³. [9].

2.2 DÉFINITION:

Le mot déchet vient de « échoir », c'est-à-dire ce qui choit (tombe) lorsque l'on coupe une pièce de tissu ou un morceau de bois. En allemand et en néerlandais, on parle de 'Abfall' et de 'afval'. [8]

Le mot « déchet » désigne la perte qu'une chose subit dans son volume, sa valeur ou dans quelqu'une de ses qualités. Il est synonyme de résidu rejeté parce qu'il n'est plus utilisable ou consommable, parce qu'il n'a plus de valeur. [9].

Plusieurs définitions des déchets ont été proposées, ces dernières années. Un point commun à ces définitions est la notion que les déchets sont des matières indésirables dont le producteur veut se débarrasser [9]

Le terme « déchet » désigne :

Selon l'article n°1 de la loi Française n° 75-633 du 15 juillet 1975, " tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon " [10].

Selon la Directive-Cadre de la Communauté Européenne n° 91-156/CEE du 18 mars 1991, " toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire " [10].

Et selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, " tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer " [11].

Bref, Le terme « déchet » désigne : " résidus, matériaux, substances ou débris rejetés à la suite d'un processus de production, de fabrication, d'utilisation ou de consommation [12].

2.3 DÉCHETS DANS LE GÉNIE CIVIL :

Dans le cadre de travaux de génie civil, on distingue trois catégories principales de déchets : les déchets inertes, les déchets banals et les déchets dangereux.

2.3.1 DÉCHETS INERTES

Les déchets inertes sont les déchets les plus stables, sans caractère polluant. Qui ne subi aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [19].

Ces sont donc des matériaux d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ils sont constitués presque intégralement de minéraux tels que silicates, carbonates ou aluminates ; leur contenu en métaux lourds ou autres polluants est très faible [20] [21].

Selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets inertes : " tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement " [11].

Il s'agit donc :

- ✓ Des résidus minéraux provenant des industries d'extraction et des industries de fabrication de matériaux de construction [10]
- ✓ Des déchets provenant des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment, ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux...) en mélange ne contenant pas de substance dangereuse et ne contenant que des déchets presque minéraux [19][20].

✓ principalement des déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats, déchets de démolition, etc.) sont soumises au Code de l'Urbanisme et placées sous l'autorité du maire des communes accueillant ces installations. Elles ne sont donc pas des "Installations classées pour la protection de l'environnement". [19]

➤ **Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve :**

- ✓ Béton
- ✓ marbre
- ✓ Briques,
- ✓ Parpaings,
- ✓ Tuiles et céramiques,
- ✓ Terres et granulats non pollués et sans mélange [19].

2.3.2 DÉCHETS BANALS :

Les déchets banals ou les déchets industriels banals (DIB) sont non inertes et non dangereux générés par les activités, publiques ou privées, du commerce, de l'artisanat, de l'industrie ou du service. Ce sont des déchets qui ne présentent pas de danger particulier vis-à-vis des personnes ou de l'environnement et qui peuvent être éliminés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères. Il s'agit notamment des cartons, des papiers, des plastiques, de plâtre, de verre, de bois d'ouvrage, des métaux, etc. [10] [11].

Elles sont également appelées Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND) et Centre de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU).

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

2.3.3 DÉCHETS DANGEREUX :

Les déchets dangereux ou les déchets industriels spéciaux (DIS) sont des déchets qui présentent un caractère polluant ou toxique et nécessitent d'être éliminés dans une filière spécifique. En citant par exemple : pots de peinture, tubes de colle, certains déchets d'amiante, néons, etc. [19] [21].

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

2-4 PRODUCTION DES DÉCHETS :

2.4.1. SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS :

Les sources de production des déchets ou de matières indésirables peuvent être classées en 3 catégories et suivant:

- Résidentielles.
- Industrielles, commerciales et institutionnelles (ICI),
- Construction et démolition (CD).

Il est parfois difficile d'établir la source de production d'une matière donnée en raison du manque de suivi ou de modalités de collecte complexes (par exemple : collecte par sous-traitance ou véhicules assurant la collecte en divers endroits) [9].

2.4.2 SOURCES DE DÉCHETS UTILISÉS EN GÉNIE CIVIL :

Deux principales sources de production de déchets utilisés dans le domaine de génie civil qu'on les rencontre généralement. Les déchets de construction et de démolition (C&D) et les sous-produits de l'industrie.

2.4.2.1 DECHETS DE CONSTRUCTION ET DE DEMOLITION :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités la maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton. [9].

a) PRODUCTION

Les déchets de construction et de démolition (C&D) qui sont à la fois lourds et volumineux, à travers le monde entier, ne cessent de se produire en des quantités énormes.

Aux États-Unis, 31,5 millions de tonnes de déchets de construction sont produites chaque année. Ce qui représente près du quart des déchets municipaux solides [13],

En Europe, 259 millions de tonnes de déchets de construction sont produites chaque année comme le montre la Figure 1 suivante :

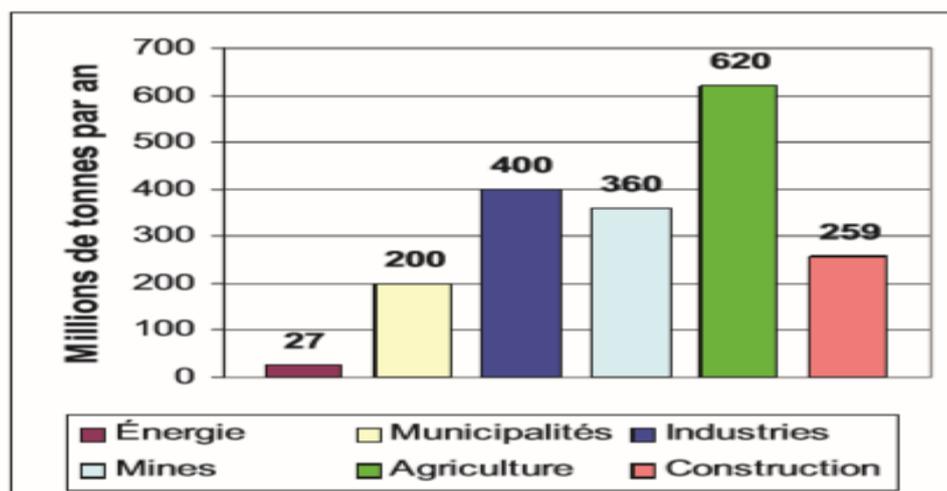


Figure 1 Répartition des Déchets par Secteurs Sources [13]

- Au Royaume-Uni, 24 millions de tonnes de matériaux de démolition et de débris de construction sont produites chaque année [14],
- En Allemagne, en 1992, 43 millions de tonnes de matériaux de démolition ont été obtenus en ex-RFA [15]
- Au Pays-Bas, en 1993, plus de 12 millions de tonnes de déchets de chantier sont produites comme la montre le Tableau 3 suivant :

Tableau 1: Répartition de la Production des Déchets de Chantier au Pays-Bas (en Milliers de Tonnes) [14]

Origines	Bâtiments		Travaux routiers et hydraulique	Total déchets de	Sol
	Résidentiels	Non Résidentiel			
Constructio	848	766	NC	-	-
Rénovation	1354	524	NC	-	-
Démolition	552	4 163	NC	-	-
Total	2754	5 453	4 170	12 377	3 100

NC: Non Communiqué

En Algérie, les déchets de construction et de démolition, qui sont généralement classés parmi les déchets industriels, restent inconnus et sont estimés approximativement à des

millions de tonnes par an. [15], Et selon l'étude réalisée par Bedjou [16], les déchets issus du bâtiment sont estimés à 2,2 millions de tonnes par ans.

b) REPARTITION :

Les travaux de construction, de rénovation et de démolition produisent des tas de matériaux de construction : béton, béton armé, briques, pierre de taille, plâtre, bois, métaux, verre, matières plastiques, céramiques, papiers, etc. Ces tas sont plus ou moins composites suivant la nature des ouvrages et l'âge de leur construction.

Les quantités de déchets de chantiers et de démolition se répartissent approximativement selon la Figure 2 suivante :

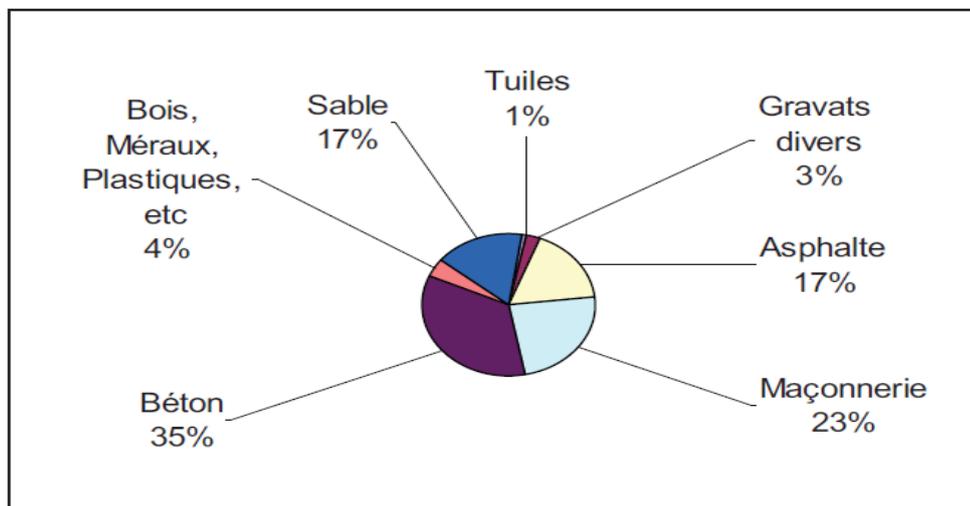


Figure 2 Répartition des Déchets par Secteurs Sources

2.4.2.2 SOUS-PRODUITS DE L'INDUSTRIE :

L'industrie constitue la source principale de sous-produits et de déchets utilisés dans le domaine de génie civil. Des quantités énormes qui se produisent sans cesse et qui augmentent toujours, des grandes surfaces de terrain immobilisées par les déchets stockés et de la réduction des disponibilités de terrain, ainsi que de la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

Le génie civil se considère comme un domaine d'utilisation des déchets industriels, a une importance pratique et économique immédiate, car de nombreux

produits secondaires et déchets résiduels peuvent remplacer des matières premières naturelles ainsi qu'une large gamme de matériaux de construction.

Le cadastre relatif à l'élimination des déchets spéciaux a été réalisé en 2002 et a donné lieu au Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNADGES) qui a permis de caractériser le déchet par typologie et niveau de dangerosité. Ce document est important car il permet de contrôler le suivi de l'évolution de la production des déchets spéciaux.

En effet, les estimations données par le MATET sont alarmantes : les stocks de déchet spéciaux sont estimés à 2.8Mt. La production de déchets spéciaux est estimée à 325 000 tonnes/ an. Ce stockage massif et la production non contrôlée de ces matières dangereuses ne sont évidemment pas anodins en termes de santé publique et d'incidence sur l'environnement. Compte tenu de la législation en vigueur et conformément au principe du pollueur payeur défini dans le cadre du FEDEP (Fonds National de l'Environnement et de Dépollution), chaque industriel est responsable de ses déchets produits et à ce titre, il est tenu de les traiter. Pourtant le cadre législatif n'est pas encore suffisamment contraignant puisque les industriels préfèrent encore s'acquitter de la taxe de déstockage plutôt que de traiter leurs déchets. D'ici la fin d'année, le MATET envisage de nouvelles mesures coercitives à l'encontre des industriels : une augmentation du montant de la taxe des stockages et également un crédit d'impôt incitatif pour les entreprises.

Le gisement de déchets spéciaux est essentiellement centré dans les régions Est (1ère région productrice de déchets spéciaux), Centre et Ouest dans les wilayas d'Alger, de Bejaïa, Skikda, Annaba, Tlemcen et Oran. 87% des déchets produits proviennent de ces zones, soient 282 000 tonnes/ an et détiennent à elles seules 95% des déchets détenus en stock.

Parmi les sous-produits et déchets utilisés en génie civil :

a) Les laitiers :

un parmi les sous-produit de la fabrication de la fonte dans les hauts-fourneaux. Des usines sidérurgiques. Plusieurs traitements permettent d'obtenir des granulats Légers à partir du laitier en fusion.[17]

b) Les cendres volantes :

À l'origine, les cendres volantes étaient mélangées avec de l'eau et transformées en boulettes soit dans un tambour ou un cône rotatif, soit par extrusion. L'addition d'une faible quantité

d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré. Cet aggloméré est ensuite brisé en boulettes. Les bétons qui contiennent de tels granules ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40MN/m² et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger [18].

➤ **Le mâchefer :**

Le Mâchefer est un résidu de la combustion du charbon dans les foyers domestiques ou industriels. C'est un matériau de couleur foncée .dur, d'aspect fritté et scoriacé. Il ne doit pas contenir de produit nocif (chaux et magnésie sur cuites, sulfures et sulfates).

On utilise différentes classes granulométriques obtenues par un concassage des éléments les plus gros suivi d'un criblage il faut s'assurer que les mâcher fournis sont homogènes, stables et ne donneront pas lieu avec le ciment à des phénomènes d'expansion ou à des efflorescences [17].

➤ **Scories de sole :**

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton [17].

2.5 BETON DES GRANULAT LEGERS

2.5.1.1. BETON LEGER :

Le béton est un terme générique qui désigne **un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Appelle béton léger un béton dont la masse volumique apparente à 28j inférieure à 1800 Kg/m³ (1973) dans les conditions normales de conservation (température de 20° et 65% d'humidité relative).**

Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles application, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m³, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m³ [22]

D'après ce que n'a vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 Kg/m³ .

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m³ [22]

Le béton est traditionnellement connu comme une lourde et froide matière grise ayant de bonne résistance mécanique. Néanmoins, On sait généralement que le béton n'est pas nécessairement les blocs lourds et tranchants justes de gris. Il peut acquérir n'importe quelles formes, couleur, densité, et résistance. La faible densité de la matière engendre une bonne isolation thermique et permet à la réduction de poids des structures. Aussi, l'épaisseur des toitures et des murs extérieurs peut être réduites. Par conséquence, Si on garde la même épaisseur, un degré plus élevé d'isolation thermique sera réalisé. La densité, par exemple, peut s'étendre de 300 à 3000.kg/m³ ; la conductivité thermique de 0.1 à 3 W/km ;et la résistance de 1 à 100 MPa ou même plus. La densité est la plupart du temps commandé par le type d'agrégat utilisé. La force dépend également partiellement du type d'agrégats utilisés pour faire le béton. Une gamme de densité et de force de béton est indiquée dans fig. 1.8. Les agrégats légers sont l'ingrédient de base pour la fabrication de BGL.

Les caractéristiques mécaniques des bétons de granulats légers dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. En particulier, de parler forte porosité, les granulats légers sont beaucoup plus déformables que la matrice cimentaire et leur influence sur la résistance du béton est complexe

Ceci produit trois types de dénominations pour ces bétons soient :

- 1 le béton cellulaire ;
- 2- les bétons sans fines (caverneux) ;

3- les bétons de granulats légers (argile expansé);

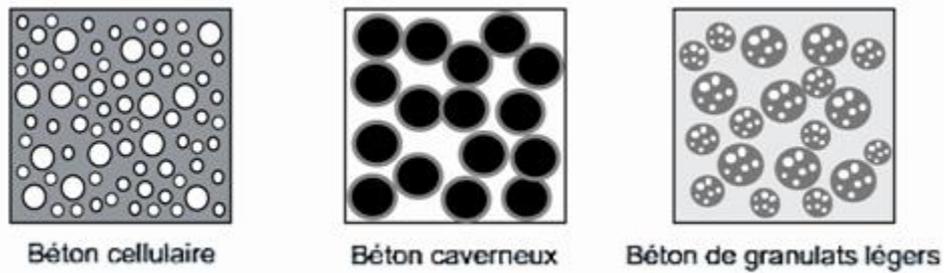


Figure 3 Représentation schématique des différents types de bétons légers

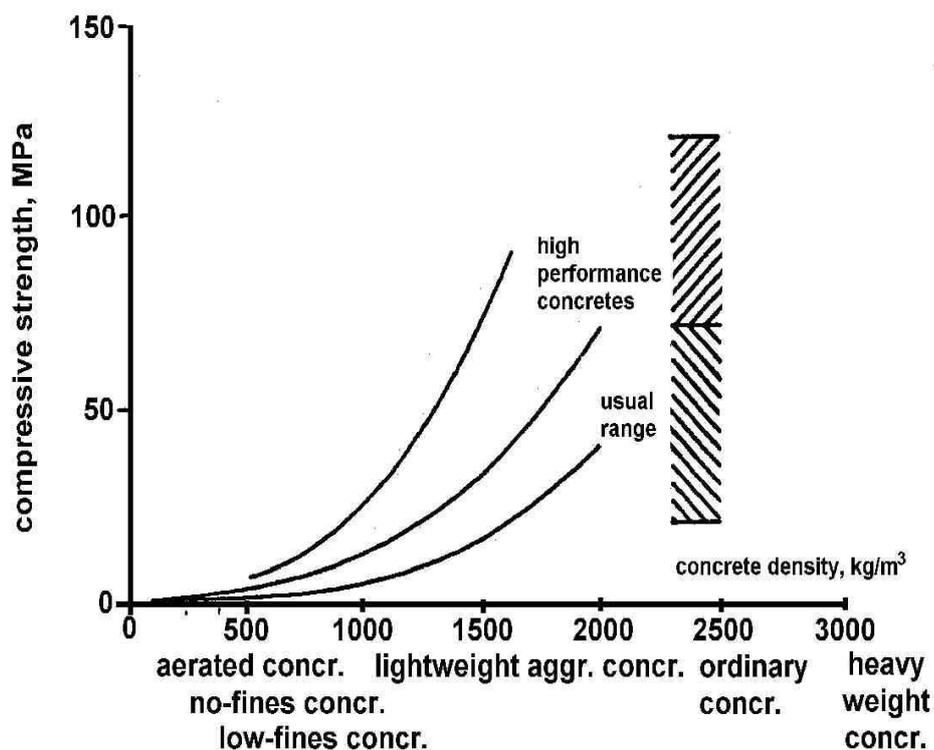


Figure 4 Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton.

2.5.3 CLASSIFICATION SELON LA MATIERE PREMIERE

Le terme général de granulats légers recouvre en effet une grande variété de produits depuis les matériaux naturels jusqu' aux produits artificiels, en passant par des sous-produits de l'industrie et des déchets de démolition qui possèdent tous en commun, à des degrés différents, une certaine association de qualités [23]

Cette grande variété de produits peut être classée, selon la matière première de produits et le traitement qu'ils ont subi ou non, autre que mécanique.

2.5.4 CLASSIFICATION SELON LES DENSITÉS DES BÉTONS :

Un béton léger est défini par deux caractères de base, dont dépendent les autres caractères ou données nécessaires au calcul. il s'agit :

- ✓ de la masse volumique sèche, désignée par γ_{bs} ;
- ✓ de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

Parmi les différentes définitions et classifications des granulats légers, la classification du comité 213 de l'ACI [24], paraît être une classification fonctionnelle, fondée sur l'utilisation des bétons légers et s'appuyant sur leurs masses volumiques apparentes. Elle indique trois types de bétons de granulats légers, selon leurs densités après séchage à l'air libre pendant 28 jours, en regard de l'utilisation à laquelle chaque type est généralement destiné.

La norme EN 206 classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, fonction de leur masse en Kg/m³. [24].

Tableau 2 Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité

Classe de Densité	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Kg/m ³	901 à 1000	1001 À 1200	1201 A 1400	1401 A 1600	1601 A 1800	1801 À 2000

La nouvelle version de la norme EN 206 classe les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquées dans le tableau ci- dessous :

Tableau 3 Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité

Classe de Masses Volumiques	LC 1,0	LC 1,2	LC 1,4	LC 1,6	LC 1,8	LC 2,0
Kg/m³	>800 Et ≤1000	>1000 Et ≤1200	>1200 Et ≤1400	>1400 Et ≤1600	>1600 Et ≤1800	>1800 Et ≤2100

Une autre classification pour béton léger basée sur la masse volumique est logique, puisque la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R -87^{13.141} classe le béton en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m³) en trois catégories :

1- le béton léger de structure : 1350 – 1900 kg/m³

Dont la masse volumique est comprise entre 1350 et 1900 ce béton est utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression minimale de 17 MPa.

2- le béton léger de faible masse volumique : 300 – 800 kg/m³

A une masse volumique comprise entre 300 et 800 kg/m³ n'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique, $R_c < 7$ MPa

3- le béton de résistance moyenne se situe entre les deux :

Sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPa.

2.6 BÉTONS DES DÉCHETS DE MARBRE :

2.6.1 Définition :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité l'Italie, le Portugal et la Grande-Bretagne.

Les produits marbrières algérienne sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- ✓ -Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et la haveuse pour l'abatage et l tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.
- ✓ -Transformation en produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçage avec des pierres ponces.

De coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte.[23]

Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production marbrière en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme [25]

LE MARBRE EN ALGERIE :

Le marbre en Algérie est exploité par l'entreprise nationale du marbre «ENAMARBRE» par dix unités de production dans cinq wilayas.

Durant l'année 2007, la production de marbre en blocs, par les filiales de l'Entreprise ENAMARBRE, est de 10 620 m³, en baisse de 33,96% par rapport à la production enregistrée en 2006 qui était de 16 082 m³.

Les dérivés de marbre produits sont de l'ordre de 169 954 tonnes pour l'année 2007, en hausse de 15,09% par rapport à l'année 2006 qui était de 147 674 tonnes.

La production pour l'année 2007 est de :

-Marbre/ Blocs :

-Skikda 10 399 m³, Oran 221 m³

-Marbre/ Dérivés :

-Chlef 17 222 t, Tlemcen 45 581t, Tizi Ouzou 12 445t, Skikda 82 843t, Oran 11 863t.

2.6.2.1 Le marbre de la carrière de FIL-FILA :

Provenance :

Le marbre est une roche métamorphique compacte provient de l'exploitation de l'entreprise nationale de marbre «ENAMARBRE» de la carrière de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'est de la ville de Skikda.

La carrière de Fil-Fila est divisée en deux carrières :

- Carrière à blocs
- Carrière dérivée

1) Carrière à blocs :

a. Le principe de fabrication :

L'exploitation se fait par sciage des masses par fils diamantés qui sont débités pour obtenir des blocs bruts naturels de marbre.

Les blocs bruts sont traités pour avoir une forme régulière (enlèvement de tranche extérieure) et transformer à l'usine en dalle et carreaux.

Le marbre de la carrière à blocs de Fil-Fila est divisé selon leurs caractéristiques en trois types :

- -Marbre blanc
- -Marbre gris
- -Marbre réséda vert

Leurs caractéristiques pétrographiques-minéralogiques ; physico-mécaniques et chimiques sont présentées dans le tableau 6

b. Recyclage des déchets :

Les déchets de carrières à blocs sont les blocains , chutes et moellons ayant différentes formes géométriques, le taux de déchets est de 56% de la production pour l'année 2007 ; le Stock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 5 823 m³.

Actuellement le recyclage des déchets est limité sur une partie de blocs de marbre de la carrière à blocs, par une entreprise privée.

Le produit de recyclage de déchets est un sous produit de marbre «granulats et poudre». Les déchets de l'usine de transformation sont exploités partiellement en revêtement de sol extérieur pour les chutes de carreaux et en construction de carreaux de granito, en peinture pour la poudre de marbre.

c. Granulats de rebuts de masse et de blocs de marbre :

Obtenu par concassage et broyage des blocains et de chutes de blocs. La répartition granulométrique en mm : 0/5- 5/10- 10/20.

Les granulats utilisés comme matière première pour la fabrication du carrelage et revêtement des surfaces.

Poudre de marbre de dimensions standards en mm : 0/5- 0/0 et de 30 à 02 microns.

2) Carrière dérivée :**a. Le principe de fabrication :**

L'exploitation de la carrière dérivée de Fil Fila se fait par abattage à l'exploitation, des moellons de dimension variant de (80-100cm), qui sont concassées, broyées pour obtenir des granulats dont la granulométrie varie de 0-18mm.

Poudre de marbre : obtenue après broyage et pulvérisation du marbre de dimension variant de 30 à 02 microns.

- Les dérivés de marbre sont deux types :
 - ✓ Dérivés de marbre blanc.
 - ✓ -Dérivés de marbre gris (à l'arrêt)

a. Recyclage des déchets :

Le déchet de la carrière dérivée est un tout venant (marbre de différentes classes granulaires), le taux de déchets est de 19% de la production pour l'année 2007 ; le stock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 15 740 tonnes.

Le tout venant de la carrière dérivée de Fil-Fila sont destiné à la construction des routes.

Caractéristiques	Type de marbre		
	Blanc	Gris	Réséda vert
Caractéristiques pétrographiques-minérologiques			
Nature pétrographique	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin
Couleur	Blanche	Gris sombre	Gris avec veinules vertes
Aspect	Homogène	Non Homogène	Non Homogène
Texture	Massive	Massive	-
Structure	Microcristalin	Microcristalin	-
Composition minéralogique			
Calcite	100%	96%	94%
Quartz	-	3%	3%
Oxyde de fer	-	0,1%	-
Caractéristiques physico-mécaniques			
Masse volumique en g/cm ³	2,736	2,746	2,752
Compacité en %	98,03	99,70	98,70
Porosité en %	1,96	0,30	1,30
Coefficient d'absorption d'eau en %	0,39	0,11	0,16
Coefficient de saturation en %	0,87	0,50	0,77
Résistance à la compression à l'état sec en kg/cm ²	961	1378	949
Résistance à la compression après refroidissement en kg/cm ²	966	1026	1047
Résistance à l'usure en g/cm ²	1,82	0,719	0,996
Résistance au choc en kg/cm ²	40	56	83,50

Caractéristiques chimiques			
CaCO ₃	99,05	97,73	97,22
MgO	1,03	0,99	3,05
CaO	54,86	54	51,05
Fe ₂ O ₃	0,04	0,22	0,04
Al ₂ O ₃	0,08	0,56	0,08
SiO ₂	0,15	0,9	0,15
P.C	44,26	43,65	44,26

Tableau 4 Caractéristique du marbre

2.6.3 La poudre de marbre (PM)

La poudre de marbre utilisée est un déchet de marbreries. L'analyse chimique réalisée par fluorescence X (tableau 3) donnée en oxydes révèle un taux assez élevé de calcium (près de 40 % en oxyde), associée à de la magnésie et de silice en faibles teneurs. La poudre du marbre utilisée est le déchet des marbreries dues au découpage des pièces en marbre blanc. Les caractéristiques chimiques de cette poudre sont données dans le tableau 4.

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	ZnO	SrO	ZrO ₂
%	39.43	1.24	0.382	0.174	2.55	0.18	0.005	0.096	0.021	0.002	0.005

2.6.4 Utilisation du béton du déchet marbre :

Le granulat de marbre peut être utilisé à l'extérieur pour le revêtement de sol d'une terrasse, d'une entrée de garage ou encore d'une plage de piscine. Il est en effet possible de l'appliquer sur tout type de sols (en carrelage, en béton, en pierre brute, dallage, pavé mais aussi en bois et en acier), car il s'adapte à tous les supports.

Remarque: Le granulat de marbre est le revêtement idéal des rénovations de sol. Comme il épouse parfaitement les reliefs, il permet d'exploiter et de niveler un support qui présente des différences de niveau.

Le granulat de marbre peut s'appliquer à l'intérieur sur des surfaces comme du carrelage ancien, y compris s'il est endommagé, ou sur une dalle brute. Dans ce cas, on utilise une résine époxy sans solvant pour réduire les dégagements d'odeur au moment de la pose.

2.7. Conclusion :

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

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement.

L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de marbre et pour l'utiliser en tant que granulats pour béton, il faut respecter certains critères qui seront exposés au chapitre suivant.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

PARTIE 2 :**DEUXIÈME PARTIE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.****1 Introduction:**

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

Nous avons fait plusieurs essais d'identification pour : la masse volumique apparente, la masse volumique absolue, la teneur en eau des granulats (sable+gravier), l'analyse granulométrique des granulats, la porosité des granulats, et l'équivalence de sable.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats recyclés (déchet de marbre) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons.

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75% et 100%) et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires (témoin).

Selon la méthode la plus utilisée dans notre pays «Dreux-Gorisse», ont été testés les différents types de béton.

2 Matériaux utilisés:

Afin de réaliser un béton léger nous avons fait recours aux granulats marbre (graviers, sable), un liant hydraulique (CPJ CEM II/A 42.5), et l'eau de gâchage.

2.1 Le ciment :

Le ciment utilisé est de type CPJ CEM II/A 42.5 (norme Algérienne NA 442), conditionné en sac de 50 Kg, de BENI-SAF.

La composition chimique, les caractéristiques physiques, et la composition minéralogique du ciment sont portées sur les tableaux ci-dessous

a) Composition chimique du ciment

Tableau 7 Composition chimique du ciment

Sio2	Cao	Al2o3	Fe2o3	MgO	SO3	Perte au feu	Insolubles	Total
26.65	56.80	5.52	3.22	1.03	2.45	2.42	7.73	99.59

b) Composition minéralogie du ciment CPJ CEMII/A42.5.

Tableau 8 Composition chimique du ciment CPJ CEMII /A 42.5

C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF	CAO libre
51.74	24.50	8.78	10.51	0.91

c) Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEMII/A42.5

Tableau 9 Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEMII/A42.5

Ciment poudre			Ciment pate		
Masse Volumique apparente g/cm ³	Masse Volumique absolue g/cm ³	Surface de BLAINE Cm ² /g	Refus Du tamis 0.063 mm (%)	Début de prise	Fin de prise
1.14	3.17	38.40	80.90	2h15 min	3h30- 4h30

2.2 Granulate:

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé types de granulats :

- Granulats Naturels.
- Granulats recycles.

Les granulats naturels sont:

- Le sable naturel de classe granulaire (0/3).
- Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8).
- Le gravillon naturel de classe granulaire (8/15).

Les granulats recyclés sont obtenus par concassage des déchets de le marbre, ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire.

- Le sable recyclés de classe granulaire (0/3).
- Le gravillon recyclé de classe granulaire (3/8).
- Le gravillon recyclé de classe granulaire (8/15).



PHOTO19 : Sable recyclé 0/3 gravillon recyclé 3/8 gravillon recyclé 8/15

A défaut de concasseur à mâchoire dans le laboratoire, le déchet de marbre a été concassée à l'aide des marteaux.

2.3 Eau de gâchage:

L'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, l'évolution des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion.

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet.

3 Essais sur matériaux:

3.1 Les Masses volumiques:

On a :

- ✓ La masse volumique apparente $\rho = \left(\frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} \right) * \frac{1}{v}$
- ✓ Masses volumiques absolues.

3.1.1 Masse volumique apparente

Cet essai a pour but de déterminer la masse volumique des granulats gravier et marbre utilisés dans la confection de béton Léger avec la méthode d'un récipient jaugé. et pour plus de précision dans notre calcul de cette masse volumique, nous effectuerons les essais trois fois de suite.

La masse volumique apparente d'un granulat est le rapport de sa masse par son volume total y compris les vides entre les grains le constituant . On la détermine en calculant cette formule:

$$\rho_{app} = \left(\frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} \right) \times \frac{1}{V}$$

La mesure de la masse volumique des granulats utilisés dans la confection de notre béton, nous permet d'évaluer la masse volumique théorique de béton léger à base des granulats marbre.

- ✓ M étant la masse du granulat remplissant un récipient de volume V.

Les masses volumiques apparentes des sables ont été déterminées conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 1097 - 3

Par contre, les masses volumiques apparentes des gravillons ont été déterminées conformément au mode opératoire de détermination du poids apparent de gros agrégats.

Résultat :

- ✓ M1=1394.3g pour éprouvette vide.
- ✓ M2=2809.4g pour éprouvette +sable
- ✓ M3= (m2-m1) =1415.1g
- ✓ V=1L

Tableau 10 Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEMII/A42.5

M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	V (g)
1394.3	2809.4	1415.1	1

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V}$$

3.1.2 Masses volumiques absolues

Cette manipulation a pour but de déterminer la masse volumique d'un granulat avec la méthode de l'éprouvette graduée. Et encore en guise parvenir à des calculs précis de cette masse volumique, nous effectuerons les essais trois fois de suite.

La masse volumique absolue se calculera sous la formule :

$$\rho = M/V$$

On a pesé 120g de granulat sable et on a prélevé en suite 50ml d'eau.

De même pour le ciment.

Tableau 11 des résultats de différentes masses.

Masse volumique $t m^3$	Sable (0/3)		Gravillon (3/8)		Gravillon (8/15)	
	Naturel	Recycle	Naturel	Recycle	Naturel	Recycle
Masse volumique apparente	1.872	1.909	1.775	1.724	1.835	1.837
Masse volumique absolue	2.4	2.4	/	/	/	/

L'analyse du Tableau 11 nous fait soulever les remarques suivantes :

Les valeurs des masses volumiques apparentes sont respectivement les plus faibles. Par contre, celles des masses volumiques absolues sont respectivement les plus grandes pour l'ensemble des granulats, ce qui est logique.

L'aspect léger des granulats de marbre concassée par rapport aux granulats naturels est bien apparent et qui est du à la porosité des grains du marbre concassée.

3.2 La teneur en eau de sable ordinaire:

La teneur en eau d'un granulat ou d'un sol est le pourcentage d'eau(en masse) par rapport au matériau sec.

Il existe 2 possibilités :

- sécher complètement.
- faire entrer l'eau qu'il contient dans une réaction chimique.

On La détermine en calculant le quotient :

$$w\% = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Tableau des résultats pour la teneur en eau de sable ordinaire :

Mode opératoire

- Pour cet essai on a eu a peser 2000g de sable sec (w=0%). Et sur ce faire on est appelé a déterminer la masse volumique apparente du matériau selon la méthode traditionnelle : **MVA0**,
- Ajouter 1% d'eau soit 20g aux 2000g de sable. Ensuite bien mélanger et déterminer la nouvelle masse volumique apparente humide **MVA1**.
- Ajouter à nouveau 1% d'eau et déterminer **MVA2**.
- Et ainsi de suite pour des valeurs croissantes de w.

Tableau 12 des résultats de la teneur en eau de sable ordinaie

Teneur en eau(%)	0	1	2	3	4	5	6	7
Masse	0	20	40	60	80	100	120	140
masse va	1434	1440	1168.9	1157.7	1102	1102	1212.7	1339.9

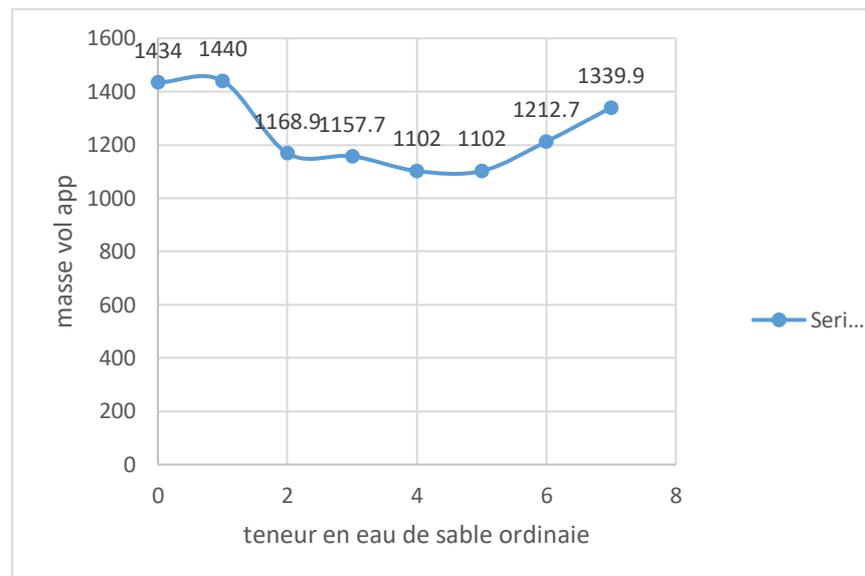


Figure 5: résultat de la teneur en eau de sable ordinaire.

3.3 Analyse granulométrique.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis. La distribution en poids suivant la dimension des particules est traduite par une forme numérique ou une courbe granulométrique (une forme graphique). L'analyse granulométrique est réalisée conformément à la norme (EN 933-2).

Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse sèche M de départ. Ils peuvent être présentés selon l'exemple suivant :

$$R\% = \frac{RI}{M} \times 100T\%$$

- ✓ R : masse du refus cumulés.
- ✓ M : masse de l'échantillon
- ✓ T : masse du tamisât cumulés.



Photo 20 :Tamiseuse électrique du laboratoire

- ✓ Poids sec de granulat prelevé : 1kg
- ✓ Temps de vibration du tamis est de 5min

1)granulat ordinaire (0/3) :

Tableau 13 résultat pour analyse granulométrique de granulat 0/3 ordinaire.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Tamis cumu%
4	24	24	99.76
2	433	457	95.19
1	744	1201	83.18
0.500	422	1623	66.95
0.250	288	1911	47.84
0.150	96	2007	27.7
0.080	7	2014	7.4
Fond	7	2021	0.12

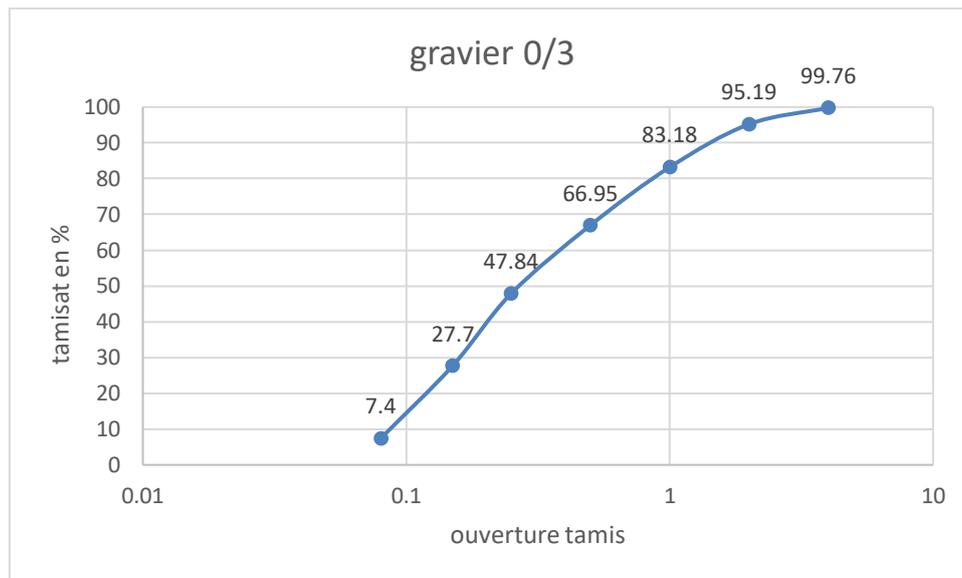


Figure 6 de gravier ordinaire 0/3

2)Gravier ordinaire 3/8:

Tableau 14 résultat pour gravier ordinaire 3/8

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamis %
8	30	30	99.7
5	1489	1519	84.51
4	440	1959	64.92
2	12	1971	45.21
Fond	14	1985	25.36

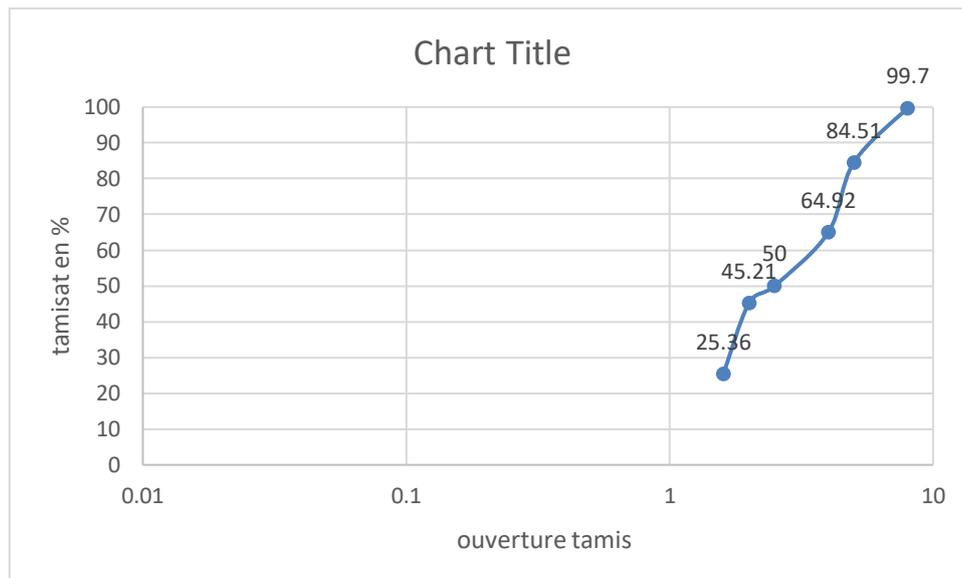


Figure 7 résultat analyse granulométrique de gravier 3/8

3) granulat ordinaire 8/15 :

Tableau 15 de résultat pour gravier ordinaire 8/15

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Tamis cumulé %
15	409	409	95.91
10	1128	1577	80.14
8	346	1923	60.91
Fond	1180	2041	40.5

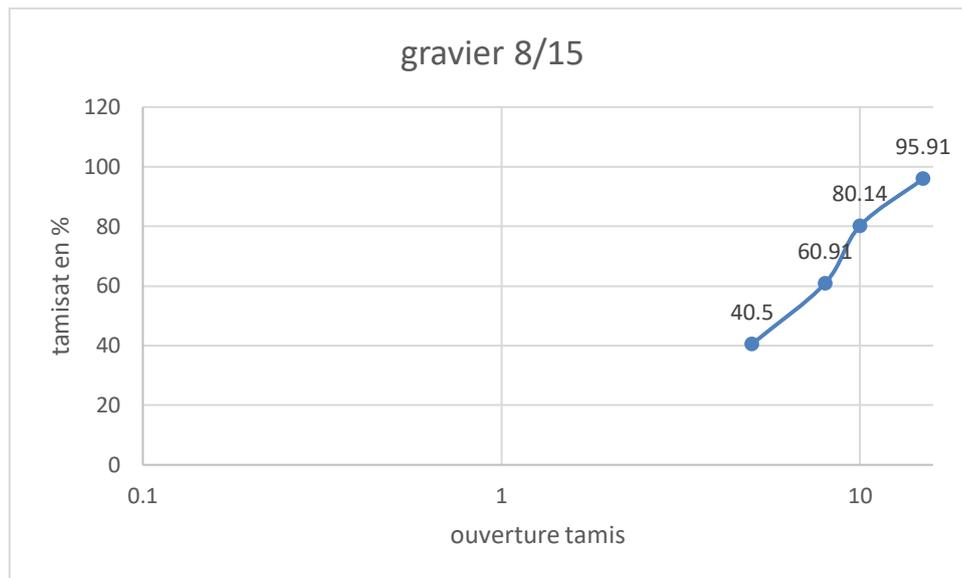


Figure 8 résultat analyse granulométrique gravier 8/15

d) granulat marbre 3/8 :

Tableau 1 résultats pour le granulat marbre 3/8

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Tamis cumulé %
8	22	22	99.78
5	786	808	91.7
4	532	1340	78.3
2	480	1820	60.1
Fond	19	1839	41.71

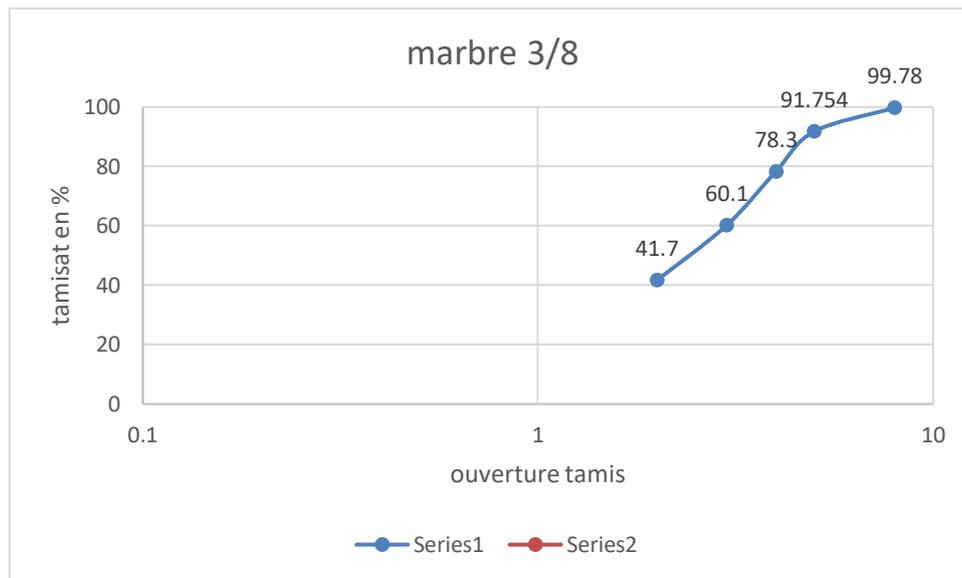


Figure 9 résultat de l'analyse granulométrique de granulat marbre 3/8

e) granulat marbre 8/15

Tableau 17 résultats pour le granulat marbre 3/8.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Tamis cumulé %
15	100	100	99.03
10	1622	1722	81.78
8	244	1966	62.12
Fond	32	1998	42.14

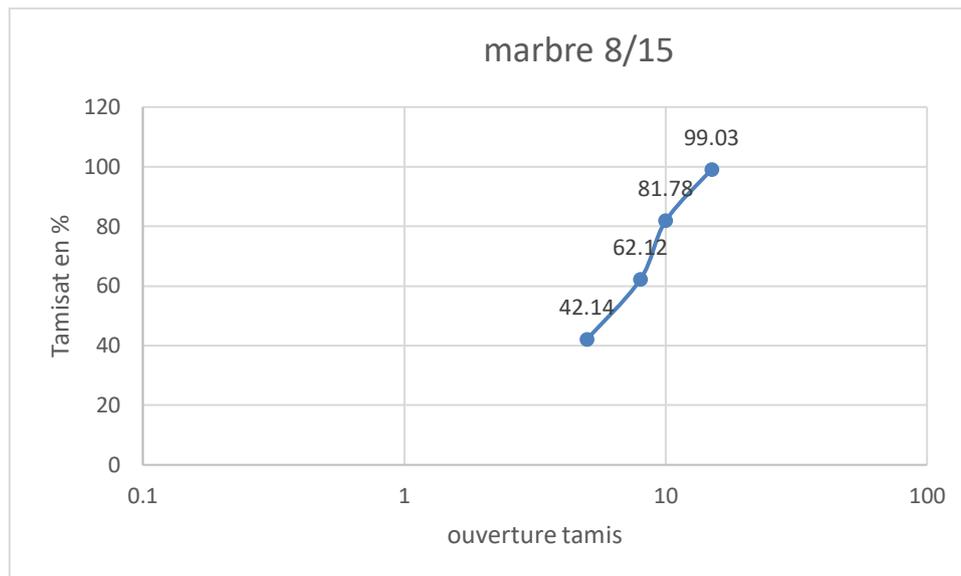


Figure 10 résultat de l'analyse granulométrique de granulat marbre 8/15

3.4 Porositésdesgranulats:.

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume du matériau, et on le calcule avec :

$$P = \frac{\text{volume de vides}}{\text{volume total}}$$

On a :

- ✓ préparé un échantillon sec 1 kg, soit M0
- ✓ placer l'échantillon dans l'eau froid et porter a ébullition pendant 2 heures, a prés en vue de chasser l'air des pores et les saturer par de l'eau.
- ✓ Retirer l'échantillon de l'eau et essuyer a l'aide d'un chiffon chaque grain ; peser la nouvelle masse, soit M1.

✓ Calculer la porosité :

$$✓ p(\%) = \frac{(M1-M0)}{V}$$

$$V = \frac{M0}{Mva}$$

Avec :

$$✓ p(\%) = \frac{M1-M0}{M0} * Mva * 100$$

Donc :

✓ a la fin n doit notons qu'a défaut de valeur plus précise de la Mva,nous pouvons prendre la valeur de 2.7 g/cm³

Donc :

- M0= 1 Kg, De sable.
- M1=1.011 Kg, de sable après 2 heur dans l'eau.
- Mva=2.7 g/cm³
- V=370.37mL V=0.3L

$$P(\%)= 2.97$$

Remarque :

Après avoir trempé le sable dans l'eau on a pu constater que le sable avait augmenté de 11g par rapport à son poids initial ce qui fait comprendre que les grains ont été bien saturés en eau sur matériau granulaire.

3.5 Essai de los anges (LA)



Photo 21 : machine de l'essai los anges

L'essai de Los Angeles (N.F. P18.573) permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

III.6.6.1 Principe

L'essai Los Angeles a été effectué conformément à la norme française 573-P 18 . Il consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (10/14), soumis aux chocs d'une charge de 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles de 500 tours.



PHOTO 22 : Machine los anges.

Le coefficient Los Angeles (LA) est le pourcentage du rapport de la masse m par le 5 kg du matériau testé:

$$LA = 100 * \frac{m}{500}$$

✓ Avec $P = P - P' = 5000 - P'$

$$CLA = 100 * \frac{5000XP'}{5000}$$

Résultat :

Tableau 18 résultat de l'essai Los Angeles.

Classe granulaire	Poids de la fraction (g)		Poids p' (g)		LA %	
	Marbre	ordinaire	Marbre	Ordinaire	Marbre	Ordinaire
10-14	5000	5000	3347.7	3591.2	33.5	28.12

INTERPRETATION DE RESULTAT

Durant l'essai on a travaillé sur les deux types de granulat (ordinaire et marbre) et auquel on a prélevé 5000g pour chacun de Gravillon et après séchage on a pu constater une diminution de poids de part et autre de p' :

- Gravillon ordinaire: $p' = 3591.2g$
- Gravillon marbre $p' = 3347.7g$

3.5.1 Equivalents de Sable

L'essai d'équivalent de sable est spécifique au sol grenu, il permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans le sol ou agrégat fine, ainsi de mesurer le taux de propreté de sable. Et on calcule :

$$ESP = 100 * \frac{h2}{h1}$$

$$ESV = 100(h'2/h1) \quad ESV = 100 * \frac{h'2}{h1}$$

H2 : la hauteur de la partie sédimenté mesurée à l'aide du piston. H2= 33mm

H1 : la hauteur totale de la partie sédimenté plus le flocculat. H1= 30mm

H'2: la hauteur de la partie sédimenté mesurée à l'œil. H'2=31mm

Tableau 19 résultat équivalent sable.

Equivalent de sable	Sn (0/3)	Sr (0/3)
ESV	103	103
ESP	110	110

Cet essai a prouvé que le sable à base de granulats ordinaires et granulats recyclés sont propres vue qu'après expérience on a pu constater que le résultat était le même pour les deux types de granulat.

4 ESSAIS SUR LE BÉTON

4.1 OUVRABILITÉ:

L'ouvrabilité ou la maniabilité est une qualité essentielle du béton, elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour

- Le remplissage parfait du coffrage
- l'enrobage des aciers,

- l'obtention d'un parement brut de belle apparence.

Le **Tableau 20** et la Figure I-1 suivants indiquent les quatre classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré, définies au cône d'Abram, (définies selon les classes de la norme ENV 206 et les notations de la norme NF P18 305

a)

Tableau 20Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams

Classes	Consistance du Béton	Note	Affaissement au Cône (cm)
S1	Ferme	F	1 à 4
S2	Plastique	P	5 à 9
S3	Très Plastique	TP	10 à 15
S4	Fluide	FL	16

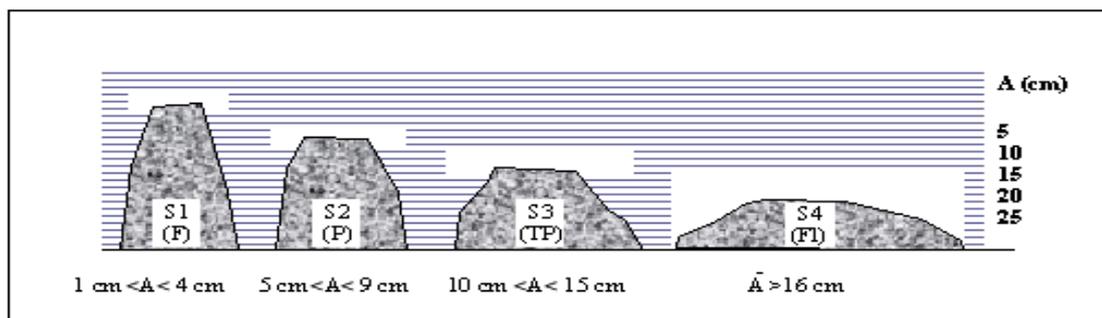


FIGURE 15 : Classe d'affaissement



Photo23 : cône d'Abram

Classes de Consistance Mesurées au cône d'Abram

L'ouvrabilité dépend de nombreux facteurs, plus particulièrement :

- Granulométrie, surtout pour les éléments fins,
- Angularité des constituants ; granulats concassés ou non,
- Dosage en ciment.
- Emploi d'un plastifiant.
- Dosage en eau.

Cependant, il ne faut pas considérer que :

- Le dosage en eau peut être augmenté au-delà d'une certaine valeur dans le seul but d'améliorer l'ouvrabilité
- Et la forte cohésion du béton réduit les risques de ségrégation, mais rend difficile la pénétration dans les moules.

Une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquences fâcheuses, une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale .

Il y a une consistance optimale à déterminer et à maintenir constante pendant toute la durée du bétonnage.

Remarque sur notre ouvrabilité :

Notre travail s'est effectué en suivant le calcul comme c'est montré dans la partie « préparation et confection de notre échantillon » sur ceux après élaboration de notre travail au niveau du laboratoire on a pu trouver que notre béton était de classe S2 (plastique) pour le granulats ordinaire que pour le marbre. Vue le tableau ci-dessous.

Tableau 21 affaissement au cône d'Abrams

Taux	Affaissement au Cône (cm)	Classe	Note
Mélange 25%R .75%O	7.5	2	PL
Mélange 50% O, 50%R	7.5	2	PL
Mélange 75%R, 25 %O	8	2	PL
100% Ordinaire	7.6	2	PL
100 % Recyclé	7.55	2	PL

4.2 RÉSISTANCE

1.1.1 La résistance du béton se présente sous deux aspects essentiels :

- ✓ résistance à la compression
- ✓ Résistance à la traction.

4.2.1.1 RESISTANCE EN COMPRESSION



PHOTO 24: appareil de résistance en compression

La résistance en compression est généralement considérée comme la propriété la plus importante du béton, car elle projette généralement une image globale de sa qualité puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté.

En conclusion, une bonne résistance à la compression est la qualité bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette bonne résistance est généralement liée à une bonne compacité, ce qui est favorable à la durabilité du béton.

L'effet vibration :



Photo 25 : machine de vibration

Cette machine permet d'éviter ou d'éliminer les vides lors de la mise en place de béton avant durcissement il est utilisé généralement après la préparation du béton juste au moment où on place des éprouvettes dans les moules et sa vibration s'effectue en battant des coups pendant une répétition de 15 coups successifs

✓ **La formulation du béton :**

Compositions granulaire des bétons courants :

Tableau 22 dosage de béton

Dosage en ciment kg/m ³	Dimension maximale D des granulats						
	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	60 mm
275	4.05 kg	4.45kg	4.85kg	5.25kg	5.60 kg	5.80kg	6.00 kg
300	4.20 kg	4.60 kg	5.00 kg	5.40 kg	5.65 kg	5.85 kg	6.20 kg
350	4.30 kg	4.70 kg	5.10 kg	5.50 kg	5.73 kg	5.88 kg	6.30 kg
400	4.40kg	4.80kg	5.20kg	5.60kg	5.80kg	5.90kg	6.40kg

Calcul du dosage et formulation de notre béton (pour 16 éprouvettes)

$$(0.07*0.07*0.07)* 16= 0.00548m$$

Tableau 23 le dosage du béton correspondant à notre travail

Ciment (1m ³)	Sable (1m ³)	Gravier (1m ³)	Eau (1m ³)
4.40 kg	5.275kg	6.592kg	1.079L

Préparation et confection des échantillons

Enfin d'évaluer la durabilité du béton léger à base des granulats marbre, des éprouvettes de (7x7x7cm³) ont été préparé au laboratoire du matériau de construction, Le béton ont été confectionnés conformément aux prescriptions de la norme NF P18- 404.

A la fin du malaxage manuel, le béton préparé est versé dans un moule à 16 et 25 alvéoles de dimensions 70 x 70 x 70 mm³. Après 28 jours de cure dans une solution d'eau saturée en chaux, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M1 après 7 jours dans l'eau et M2 après 21 jours en suite M3 après 28 jours.

Explication:

Le tableau si dessous représente un mélange de béton qui avait comme matériau au départ:

✓ 350 kg de ciment, kg de sable, 630 kg, 1100kg de granulat marbre et 0.54 L d'eau avec le rapport E/C. Le tout **1k/m³**, après le premier mélange on a remarqué que ce dosage ne suffisait pas vue que le cône d'Abram ne se remplissait pas en appliquant cette formulation:

✓ $\{0.07*0.07*0.07* 10 = \mathbf{0.00343 m^3}\}$ et si on fait la multiplication de cette valeur avec celle de chaque dosage ça donne (ciment= 2.192kg, sable= 2.34kg, granulat marbre= 2.93kg.

✓ C'est par après qu'on a eu l'idée d'augmenter toutes les quantités pour modifier le dosage et on avait choisi de refaire le calcul pour 16 éprouvettes et on a additionné avec celui trouvé avant qui a donné le résultat dans le tableau si dessus. Et finalement c'était le cas pour parvenir à la solution du dosage qui montre le résultat de tous les mélanges.

Conservation des éprouvettes dans l'eau



Photo 26 : conservation des éprouvettes

Ceci est un moyen permettant le bon durcissement des bétons cette conservation porte un changement durant différentes durées de conservation et on a remarqué pour notre béton recyclé qui est le marbre qu'après 28 jours il a donné un résultat inattendu par rapport au granulats ordinaire.

1) pour GRN 3/8 75% marbre et 25 %gravier ordinaire :

Tableau 24 Résultat de l'écrasement pour GRN 3/8 75% marbre et 25 %gravier ordinaire

éprouvette	Pesés (g)						Ecrasement	
	7 jours		21 jours		28 jours		Forces (KN)	Contraintes (MPa)
	avant	Après	Avant	Après	Avant	Après		
1	760.7					775.1	125.59	24.63
2	744.7	753.2						
3	782.1			819.7			120	26
4	831.6					847.5	130.41	26.615
5	782.9	791.7						
6	749.9					763.6	131.3	27.
7	754.6			759.1			129.5	27.6
8	720.5			751.7			111.74	27.8

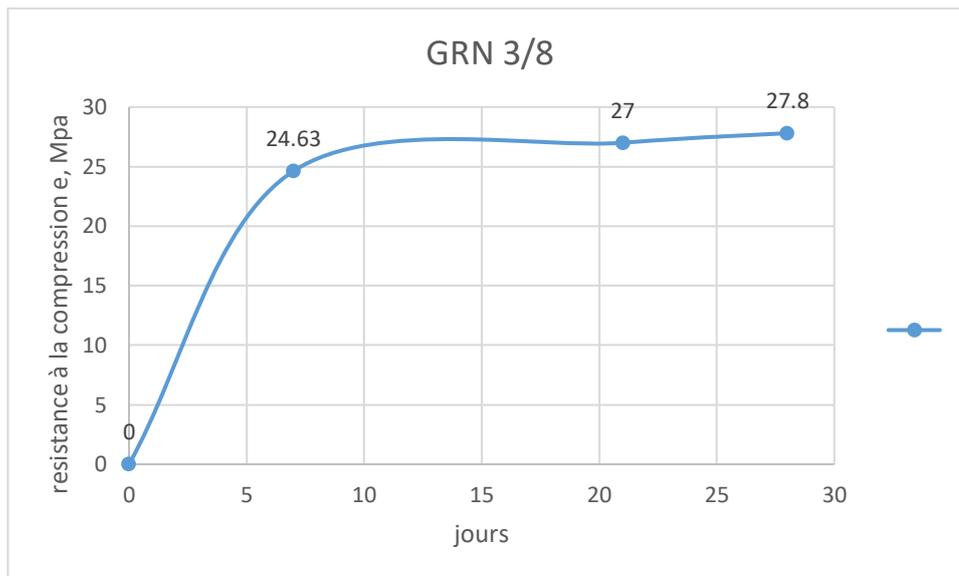
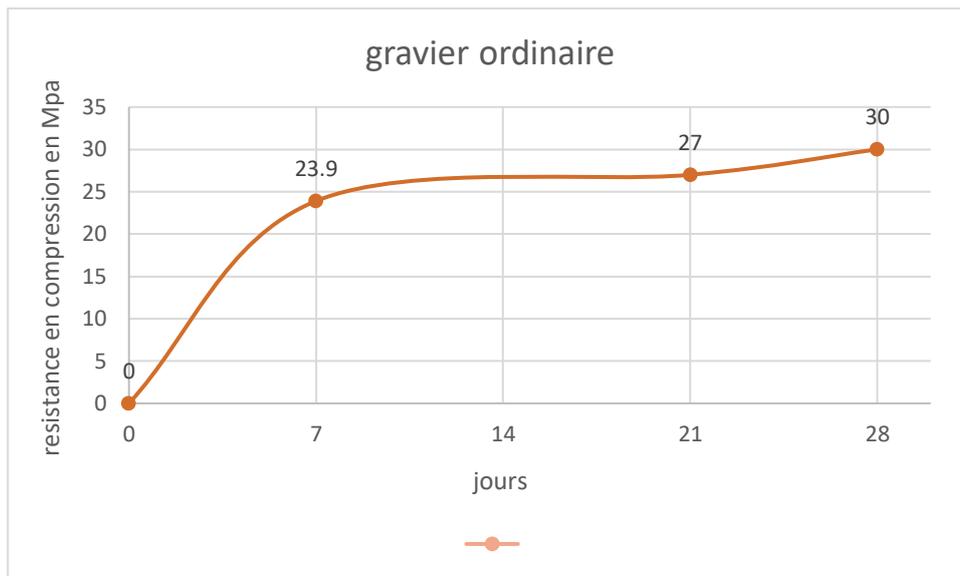


Figure 11 résultat de l'étude de compression du béton GRN 3/8 75% m ,25%

2) GNN 3/8 100%gravier ordinaire :

Tableau 25 de l'écrasement des pesés pour GNN 3/8 100%gravier ordinaire

éprouvette	Pesés (g)						Ecrasement	
	7 jours		21 jours		28 jours		Forces (KN)	Contraintes (MPa)
	Avant	après	avant	après	Avant	Après		
1	799	781					121	23.1
2	791	793.5					120.5	23.9
3	826.2	827					133.7	25.29
4	795			795.9			129.8	27.2
5	805.3			807			126.2	27
6	786.8			787			123.3	23.4
7	762					764	129	25
8	798					780	124.9	25
9	800					805	132	30



**Figure 12: résultat de l'étude de compression de gravier naturel normal 3/8
100% gravier ordinaire**

3) pour mélange 25% marbre et 75%gravier

**Tableau 26 résultat de l'écrasement des pesés pour mélange 25% marbre et
75%gravier.**

éprouvette	Pesés (g)						Ecrasement	
	7 jours		21 jours		28jours		Forces (KN)	Contraintes (MPa)
	avant	Après	avant	après	avant	Après		
1	821.1	824					124	22
2	841.4	844					109.38	22.32
3	782			790			123	22.6
4	749			753.6			114.6	26
5	775.1					778.2	130.2	27
6	847.5					847.8	128.5	28.3

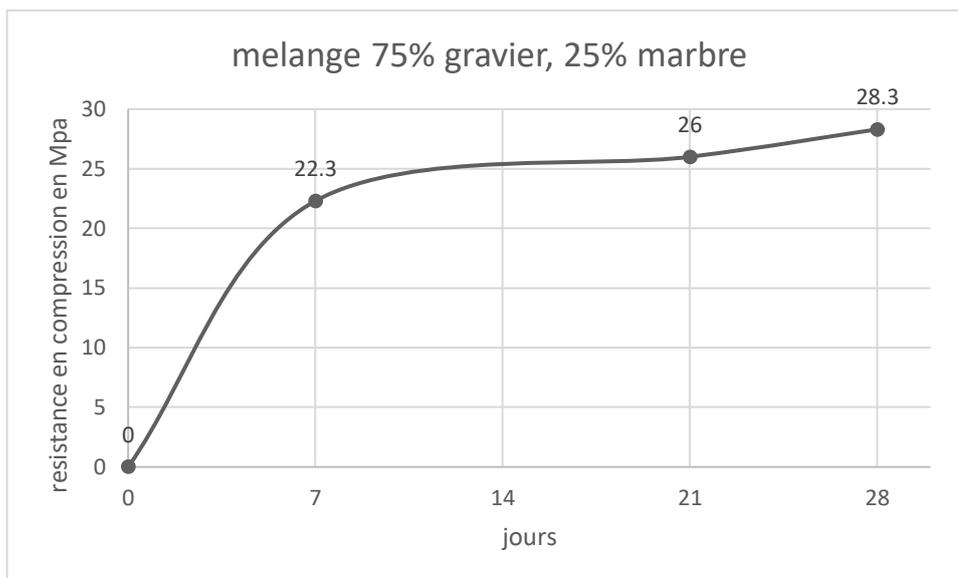


Figure 13 résultat de l'étude de compression de 25% marbre et 75 gravier ordinaire

4) 50% marbre et 50% gravier ordinaire :

Tableau 27 résultat de l'écrasement 50% marbre et 50% gravier ordinaire

éprouvette	Pesés (g)						Ecrasement	
	7 jours		21 jours		28jours		Forces (KN)	Contraintes (MPa)
	Avant	après	avant	après	Avant	après		
1	798.9	800					130	30
2	800	805					137.38	27.32
3	782			790			130	28.6
4	786.3			792.6			130.6	26
5	784					788.2	120.2	29
6	800.5					801.8	138.5	27.3

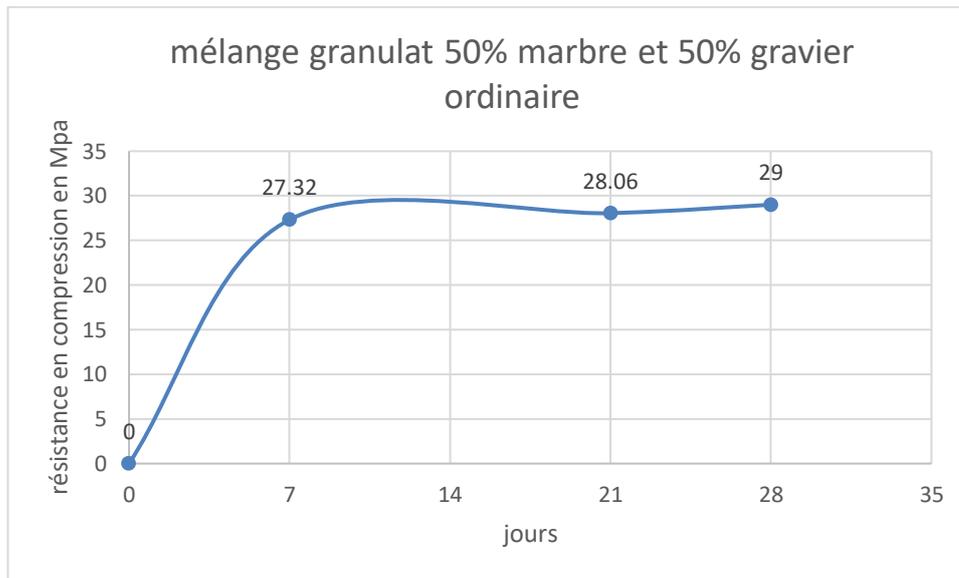
Variation de la résistance à la compression :

Figure 14 résultat de l'étude de compression du mélange 50% marbre et 50%gravier ordinaire

✓ **Interprétation de résultats de la résistance à la compression 50/50**

Les résultats de la résistance à la compression des échantillons immergés dans l'eau montre que la progression de la résistance à la compression dans les éprouvettes pendant la première et la deuxième semaine sauf qu'avant d'arriver à la quatrième semaine La progression a fait une descente qui a été remarquée dans les éprouvettes et arrivé au 28 ième jours il y a eu une montée de progression des éprouvettes

Tableau 28 Résultat de l'écrasement 100% marbre

éprouvette	Pesés (g)						Ecrasement	
	7 jours		21 jours		28jours		Forces (KN)	Contraintes (MPa)
	avant	après	Avant	après	avant	Après		
1	752	760					125	25.1
2	758	763.5					130.5	23.9
3	780.2	782.7					139.7	24.29
4	780			790.9			139.8	25.2
5	788.3			790.7			126.2	26
6	766.8			787			133.3	23.4
7	782					790	139	25
8	798					800	134.9	29
9	800					805	139.1	34

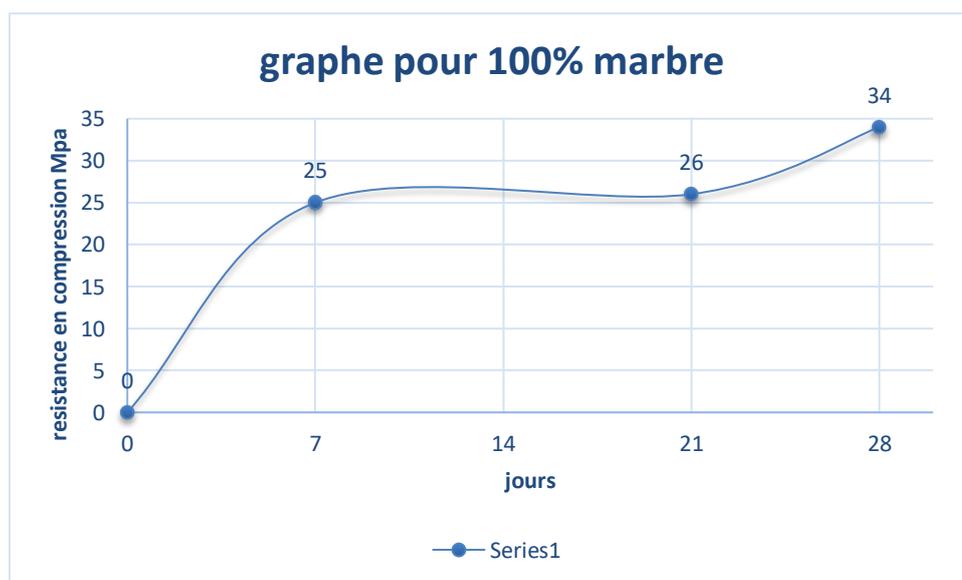


Figure 15: graph pour 100 % marbre.

- ✓ Variation de l'ensemble des éprouvettes de même progression pour série 1, 2, 3

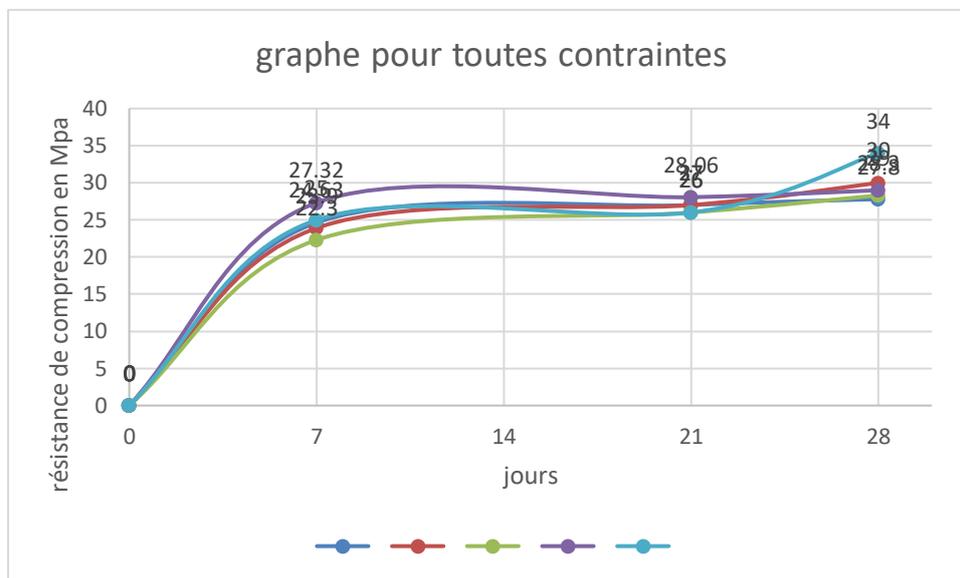


FIGURE 16 : résultat de la variation des éprouvettes dues à la compression

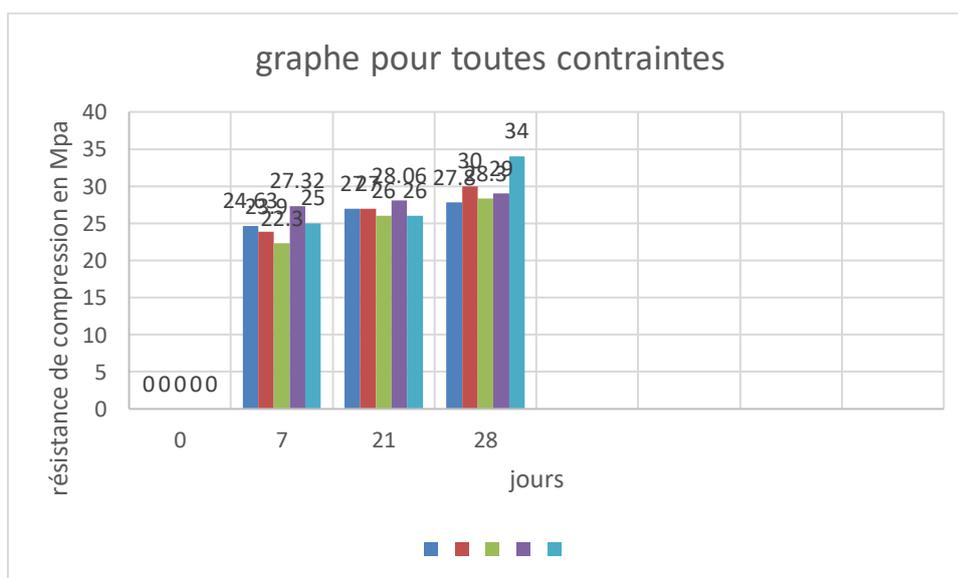


Figure17: résultat de la variation des éprouvettes dues à la compression

- ✓ Interprétation de résultats de la résistance à la compression de différents bétons.

Les résultats nous font savoir que la résistance à la compression des échantillons immergés dans l'eau après différentes périodes de courtes délais montre une légère différence de la résistance à la compression des éprouvettes pendant la première, la deuxième et jusqu' à la quatrième semaine. Leurs progressions se différencient et l'effet inverse se produit pour les résistances finales, des mélanges à base de substitution partielle, où l'on obtient les résistances les plus élevées quelque soit le taux de substitution, ce qui confirme le rôle et la mise en eau des éprouvettes pendant la conservation de granulats de marbre que ordinaire. La valeur maximale de la résistance à 28 jours est de 34 MPa obtenue dans le béton de marbre. La valeur minimale de la résistance à 28 jours est de 22 MPa obtenue dans le béton 75% gravier et 25% marbre.

5 Conclusion :

Le travail présenté dans ce chapitre traite séparément les caractéristiques des matériaux de bases utilisés dans l'étude expérimentale.

L'essai «équivalent de sable» a prouvé que le sable à base de granulats ordinaires et granulats recyclés sont propres.

L'essai «Los-Angeles» nous renseigne sur la dureté des roches, pour les granulats ordinaires, la roche est assez dure par rapport aux granulats recyclés qui est mi dure.

Vu les résultats obtenus, les deux genres de granulats ordinaires et recyclés satisfaites aux conditions requises pour être utilisés dans la confection des bétons hydrauliques.

L'étude expérimentale de la variété des bétons présentée dans ce chapitre a été faite sur les compositions différentes de béton, dont on a utilisé les déchets de marbre comme granulats pour béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25, 50%, 75% et 100%).

On a utilisé la méthode « Dreux-Gorisse» pour la formulation de béton à base de granulats naturels et granulats recyclés.

L'influence du taux de substitution sur le comportement du béton à l'état frais et durci a été étudiée.

Les résultats obtenus sont sur les (Substitution de sable et Substitution de gravier et Substitution mix), pour la densité et L'air occlus, l'ouvrabilité, La résistance en compression aux 28 jours.

CONCLUSION GENERALE :

Les mortiers et bétons 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.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale du développement durable, de l'amélioration et de maîtrise des propriétés des matériaux cimentaires. Par l'importance économique de ces matériaux à base de granulats recyclés et par l'aspect fondamental qu'implique leur étude, les recherches se situent à la conserve des intérêts industriels et scientifiques.

Ainsi, notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les caractéristiques des granulats.

Les bétons ont été confectionnés avec un rapport E/C constant et égal à 0,54. La caractérisation des bétons à base de granulats de substitution a porté sur les propriétés à l'état frais telles que la masse volumique (densité), la teneur en air occlus et l'ouvrabilité et à l'état durci.

Les granulats de substitution ont été caractérisés par leur finesse, leur masse volumique, leur nature minéralogique.

Concernant les résistances, il se dégage de l'étude que le dosage et la classe des granulats recyclés sont nettement favorisées par la classe de granulats recyclés quelque soit le dosage.

Les mélanges à base de granulats substitués partiellement donnent les meilleures performances à l'état frais et durci du béton que ceux substituer totalement ou de référence.

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des granulats recyclés vis-à-vis le comportement mécanique du béton et devrait aider à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

A la fin, cette recherche a ouvert la porte à des recherches nouvelles qui doivent s'intéresser à la valorisation des sous-produits dans la confection des bétons hydrauliques.

Ce travail ouvre différentes perspectives :

- Influence d'autres paramètres de composition et d'environnement.
- Etude de quelques aspects de durabilité mécaniques et propriétés de ce type du béton.

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des sous-produits et devrait aider, à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

CONCLUSION GENERALE :

Les mortiers et bétons 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.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale du développement durable, de l'amélioration et de maîtrise des propriétés des matériaux cimentaires. Par l'importance économique de ces matériaux à base de granulats recyclés et par l'aspect fondamental qu'implique leur étude, les recherches se situent à la conserve des intérêts industriels et scientifiques.

Ainsi, notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les caractéristiques des granulats.

Les bétons ont été confectionnés avec un rapport E/C constant et égal à 0,54. La caractérisation des bétons à base de granulats de substitution a porté sur les propriétés à l'état frais telles que la masse volumique (densité), la teneur en air occlus et l'ouvrabilité et à l'état durci.

Les granulats de substitution ont été caractérisés par leur finesse, leur masse volumique, leur nature minéralogique.

Concernant les résistances, il se dégage de l'étude que le dosage et la classe des granulats recyclés sont nettement favorisées par la classe de granulats recyclés quelque soit le dosage.

Les mélanges à base de granulats substitués partiellement donnent le meilleur super formances à l'état frais et durci du béton que ceux substituer totalement ou de référence.

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des granulats recyclés vis-à-vis le comportement mécanique du béton et devrait aider à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

A la fin, cette recherche a ouvert la porte à des recherches nouvelles qui doivent s'intéresser à la valorisation des sous-produits dans la confection des bétons hydrauliques.

Ce travail ouvre différentes perspectives :

- Influence d'autres paramètres de composition et d'environnement.
- Etude de quelques aspects de durabilité mécaniques et propriétés de ce type du béton.

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des sous-produits et devrait aider, à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

Références Bibliographiques

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Mme Aurélie grondin** : "projet de fin d'étude 2011 paris".
- [2] **M. Adam** : "Document 2011 sur les composant du béton guide pratique pour l'emploi du ciment" disponible sur [www.valorisation](http://www.valorisation.com). Du béton dans le génie civil.
- [3] " Guide savoir composition de béton". Disponible sur [www.composition](http://www.composition.com) du béton.com
- [4] **Professeur Saïd Kenai** : " performance le béton à base de granulat recyclé 2013"disponible sur [www.granulat](http://www.granulat.com) " recyclé".
- [5] "centre national de ressources textuelles lexical" disponible sur <http://www.cnrtl.fr/images/css/bandeau.jpg>
- [6] **M.Peuceta Frottola** : " guide béton "disponible sur <http://www.guidebeton.com> /"différents-types-béton".
- [7] **M. Simon bernard** : "différents types de béton".
- [8] **Lefèvre M.**" la Gestion des Déchets en Europe : Notions de Droit Communautaire, Droit Allemand et Droit Français — Séminaire International sur la Gestion Intégrée des Déchets Solides ", Recueil des communications, Éditeur GTZ, Alger, 2000.
- [9] " Enquête sur l'Industrie de la Gestion des Déchets, 2000 — Guide de l'Enquête pour les secteurs des Entreprises et des administrations Publiques ", Statistique Canada, Division des Comptes et de la Statistique de l'Environnement, [en ligne], 2002, Disponible sur : <http://www.unece.org/stats/documents>, (consulté en 2002).
- [10] " Lexique Déchets ", [en ligne], 2004, Disponible sur http://www.minesinpl-nancy.fewwwenv/lexiques/lexique_dechet.htm, (consulté en 2004).
- [11] **Loi N° : 01-19 du 12 / 12 / 2001**, " Relative à la Gestion, au Contrôle et à l'Élimination des Déchets ", Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, N° : 77 du 15 / 12 / 2001.

Références Bibliographiques

- [12] **Pilon I.** et **Laquerre M.**, " Guide d'Information sur le Recyclage des Matériaux Secs ", RECYC-QUBEC, [en ligne], 2005 ; Disponible sur http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/publications/zzguide_509.pdf, (consulté en 2005).
- [13] " Archives sur la Construction et la Démolition-Résumés-Bulletin d'Information sur la Technologie du Recyclage ", Gouvernement du Canada, [en ligne], 2005, Disponible sur : <http://www.nrcan.gc.ca/mms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/rnet/consabfhtm>, (consulté en 2005).
- [14] **Debieb F.**, " Valorisation des Déchets de Briques et Béton de Démolition Comme Agrégats de Béton ", Mémoire de Magister en Génie Civil — Université de Blida, 1999.
- [15] **Allal M.A.** et **Sayagh C.**, " Recyclage des Déchets de Construction en Voiries **Ir'** Congrès Algérien de la Route ", Recueil des communications, Tome I, ARAL, Alger, 2001, p. 102.
- [16] **Bedjou S.**" Contribution à la Valorisation des Déchets de Construction—Étude de Recyclage des Débris de Terre Cuite ", Mémoire de Magister en Génie Civil - ENP d'Alger, 2003.
- [17] **Nicolescu L.**, " Généralités : Rapport Général — Colloque International sur l'Utilisation des Sous-produits et Déchets dans le Génie Civil ", Recueil des communications, Volume III, ENPC, Paris, 1978, p. 15.
- [18] **Lanquetin A-S.**, " Guide Pratique de l'Entreprise du Bâtiment — Déchets du Bâtiment : Quelles Solutions dans le Val d'Oise ? ", Chambre Régionale de Métiers de Basse-Normandie.
- [19] **Ademe P-C.**," Guide des Déchets de l'Artisanat ", APCEDE, [en ligne], 2004, Disponible sur : <http://www.apcede.com/artisan/dechet/>, (consulté en 2004).
- [20] " la Mise en Décharge des Déchets Inertes ", Nouvelles Conditions 1999, Open, Service de l'Environnement (SEN), [en ligne], 2004, Disponible sur : <http://www.fr.ch/sen/pdf/pdfbrochfr/brochinert.pdf>, (consulté en 2004).

Références Bibliographiques

[21] Comité 213 de l'A.C.I., " Guide pour le Béton de Structure à Base de Granulats Légers ", Traduction et Diffusion le C.A.T.E. 1970, p. 12 -30.D. Paris,

[22]" Bouwmaterialen ", [en ligne], 2004, Disponible sur : <http://www.lessius-ho.be/vip-term/databankbouwmaterialen2.htm>, (consulté en 2004).

[23] Kibriya T. et Speare P.R.S., " The Use of Crushed Brick Coarse Aggregate in Concrete ", Concrete for Environment Enhancement and Protection, Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK, June 1996, p. 495-

[24] RAMACHANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.

[25] "composition de béton a granulat léger "mémoire de fin d'étude université de Annaba.

Références Bibliographiques
