

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : DJITNI FATEH & LAKEHAL ABDELKRIM

Thème : Valorisation des déchets dans le béton

Sous la direction de : Pr. BENOUIS ABDELHALIM

Juin 2017

Remerciements

Je témoigne que c'est par la grâce de Dieu le tout puissant et miséricordieux, d'aide incessante, qu'il m'a porté et d'orientation imminente qu'il m'a accordé pour achever ce travail.

Je tiens à exprimer toute mon estime et ma reconnaissance envers mon encadreur **professeur Benouis Abdelhalim** (professeur à l'université de Guelma) pour nous avoir donné la chance de réaliser ce travail, pour la confiance qu'il a manifesté à notre égard, pour son aide précieuse, pour ses conseils très constructives et pour nous avoir soutenus et toujours encouragés.

Nos vifs remerciements aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en de juger et d'examiner ce travail.

On remercie aussi les doctorants **Boudjedra Fatiha et Garoui Rida et Boukour Salima et Bensaifi Sadek** pour leurs disponibilités, gentillesse. Sans prêt oublier les idées et les nombreux conseils qu'ils nous avez donnés.

Nos remerciements vont également au personnels du laboratoire (LTP-EST) de Annaba surtout **Saadou, Hamza, Amin, Ziad et Kamel** et le laboratoire de (LTP-EST) de Souk-Ahras en particulier le Chef de service technique **Mekidech Bilel**.

On remercie également l'ensemble des membres du laboratoire de recherche de l'université de Guelma (LGCH) pour les moyens mis à notre disposition.

On remercie aussi les enseignants et le personnel du Département de Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Guelma.

Problématique et objectif :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans les voies et la construction grâce à ses propriétés à savoir la facilité de moulage, la rigidité, la résistance à la compression et la tenue au feu. Il existe plusieurs types de béton tel que : le béton hydraulique, le béton de fibre, le béton précontraint...etc. Le béton est un matériau hétérogène avec des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques assez complexes. Il est composé essentiellement de: granulats, ciment et d'eau de gâchage. Chacun des composants joue un rôle bien précis dans le mélange. Les granulats (le sable et le gravier) constituent les composants inertes du béton. Ils contribuent à l'amélioration de la compacité, de l'homogénéité, de l'ouvrabilité et de la résistance du béton. Le choix doit s'orienter vers des granulats durs, propres, de granulométrie continue.

L'utilisation de déchets en substitution à ses granulats aura des effets économique et environnemental. L'Algérie importe en moyenne 49,62 milliers de tonnes de pneumatiques en caoutchouc, selon l'Agence Nationale de Promotion du Commerce Extérieur (2004) [1].

Ces déchets issus du développement économique notamment des secteurs industriels et de transport peuvent être restitués sous une autre forme sans les abandonner dans la nature. Il convient de valoriser ces déchets car le recyclage provoque une pollution de l'environnement moindre qu'un autre mode d'élimination.

Notre travail s'articule sur cette problématique, pour atteindre notre objectif, l'étude est divisée en deux parties:

Une recherche bibliographique: qui renferme les notions de base sur la composition du béton et ses propriétés ainsi que l'évolution de l'utilisation des déchets recyclés en général et principalement dans l'industrie du béton. On a focalisé notre recherche sur un déchet bien particulier qui est le caoutchouc des pneus usagés.

La deuxième partie de notre travail est une étude expérimentale sur les propriétés des bétons à base des déchets de pneus usagés. Cette étude a concerné la détermination de la maniabilité et de la résistance à la compression (à 7j et 28j) de plusieurs compositions de béton.

Les variables des compositions ont concerné le rapport E/C (0.6, 0.65, 0.72) et la substitution d'une quantité du sable par du déchet de pneus (0%,10%, 20% et 30%).

La conclusion générale reprend l'ensemble de résultats expérimentaux à la lumière du concept de développement durable.

Les critères à mesurer sont :

Valorisation des déchets dans le béton

- Sur constituants :

Caractérisation des granulats de substitution (déchet de CAOUTCHOUC)

- Analyse à l'état frais :

Mesure de l'ouvrabilité.

- Analyse à l'état durci :

Essai de compression sur les éprouvettes cubiques 10x10 x10 cm³.

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

Laboratoire de génie civil et hydrauliques (LGCH) à l'université de 08 mai 1945 GUELMA

LISTE DES TABLEAUX

Partie I

Chapitre I

Tableau I. 1 Procédé de recyclage des déchets usuels inertes.....	8
---	---

Chapitre II

Figure II. 1 : Poudrette de caoutchouc.....	12
---	----

Figure II. 2 : machine pour la production de poudrette de caoutchouc	14
--	----

Chapitre III

Tableau III. 1 Classification normalisée des granulats.....	17
---	----

Tableau III. 2 Bétons structuraux	18
---	----

Tableau III. 3 Classes de consistance de béton	20
--	----

Chapitre IV

Tableau IV. 1 L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton.....	27
--	----

Partie II

Chapitre I

Tableau I. 1 caractéristiques physiques du sable de carrière utilisé	32
--	----

Tableau I. 2: caractéristiques physiques du gravier de carrière utilisée	32
--	----

Tableau I. 3 Résultats d'analyse chimique de ciment.	33
---	----

Tableau I. 4 Caractéristiques de la poudre caoutchouc	33
---	----

Chapitre II

Tableau II. 4 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC30)	37
--	----

Tableau II. 1 compositions des bétons ordinaires	36
--	----

Tableau II. 2 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC10)	36
--	----

Tableau II. 3 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC20)	37
--	----

Chapitre III

Tableau III. 2 Affaissements et résistances des différents bétons	42
---	----

LISTE DES FIGURES

Partie I

Chapitre I

Figure I. 1 : zone de décharge des déchets de la ville	1
Figure I. 2 : Différents déchets proviennent des chantiers de BTP	2
Figure I. 3 : Différents types des déchets ménagers.....	3
Figure I. 4 : Différents déchets végétaux	3
Figure I. 5 : Déchets produits par les industriels.....	4
Figure I. 6 : Déchets industriels spéciaux	4
Figure I. 7 : Déchets ménagers spéciaux.....	5
Figure I. 8 : Le laitier granulé.	10

Chapitre II

Figure II. 1 : Poudrette de caoutchouc	12
Figure II. 2 : Machine pour la production de poudrette de caoutchouc	14

Chapitre III

Figure III. 1 : Coulage d'une dalle	16
Figure III. 2 : Mesure de l'affaissement à l'aide de cône d'Abrams	21
Figure III. 3 : Essai de résistance à la compression.....	23

Chapitre IV

Figure IV. 1 Forme d'un granulat	27
--	----

Partie II

Chapitre I

Figure I. 1 : Sable	33
Figure I. 2 : Gravier.....	33
Figure I. 3 : Le ciment utilisé	34

Chapitre II

Figure II. 1 : Une balance électronique	39
Figure II. 2 : Une bétonnière	39
Figure II. 3 : La cône d'Abrams	40
Figure II. 4 : L'essai de mesure de consistance du béton frais	41
Figure II. 5 : La presse hydraulique de compression.....	42
Figure II. 6 : L'essai de compression à l'état durci	43

Chapitre III

Figure III. 1 : Affaissement du béton ordinaire en fonction du rapport E/C	45
Figure III. 2 : Affaissement du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C	45
Figure III. 3 : Affaissement du béton avec déchets (20%) en fonction du rapport E/C	46
Figure III. 4 : Affaissement du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C	46
Figure III. 5 : Affaissement des bétons (0%,10%,20%,30%) en fonction du rapport E/C.....	47
Figure III. 6 : Affaissement des bétons du rapport E/C=0,6 en fonction des taux de substitution	48
Figure III. 7 : Affaissement des bétons du rapport E/C=0,65 en fonction des taux de substitution.....	48
Figure III. 8 : Affaissement des bétons du rapport E/C=0,72 en fonction des taux de substitution.....	49
Figure III. 9 : Affaissement des bétons des rapport E/C en fonction des taux de substitution.....	49

Figure III. 10 : Résistance à 7 jours du béton ordinaire en fonction du rapport E/C.....	50
Figure III. 11 : Résistance à 7 jours du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C.....	50
Figure III. 12 : Résistance à 7 jours du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C.....	51
Figure III. 13 : Résistance à 7 jours des différents bétons en fonction du rapport E/C.....	51
Figure III. 14 : Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,6 en fonction.....	52
Figure III. 15 : Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,65 en fonction.....	53
Figure III. 16 : Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,72 en fonction de la substitution	53
Figure III. 17 : Résistance à 7 jours des différents bétons des rapports E/C en fonction	54
Figure III. 18 : Résistance à 28 jours du béton ordinaire en fonction du rapport E/C.....	54
Figure III. 19 : Résistance à 28 jours du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C.....	55
Figure III. 20 : Résistance à 28 jours du béton avec déchets (20%) en fonction du rapport E/C.....	55
Figure III. 21 : Résistance à 28 jours du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C.....	56
Figure III. 22 : Résistance à 28 jours des différents bétons en fonction du rapport E/C.....	56
Figure III. 23 : résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets(E/C = 0,60).....	57
Figure III. 24 : Figure III 25 résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets.....	58
Figure III. 25 : Résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets	58
Figure III. 26 : Résistance à 28 jours des différents bétons en fonction du taux de substitution des déchets (E/C= 0.72).....	59
Figure III. 27 : Résistance à 28 jours des différents bétons en fonction du taux de substitution des déchets	59

Sommaire

Pages

Problématique et objectif

Liste des tableaux

Liste des figures

Partie I : Etat de l'art

Chapitre I : Les déchets en génie civil et travaux public

Introduction.....	1
1. Les différents types de déchets :	1
1.1. Déchets inertes :	2
1.2. Déchets assimilés :	3
1.3. Déchets organiques :	3
1.4. Déchets industriels banals (DIB) :	3
1.5. Déchets industriels spéciaux (DIS) :	4
1.6. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :	5
2. Les déchets en Algérie :	5
2.1. Déchets Solides et Urbains :	5
2.2. Déchets Industriels :	6
3. Valorisation des déchets dans le domaine des travaux publics :	6
3.1. Recyclage des déchets :	7
3.1.1. Définition :	7
3.1.2. Technique de recyclage :	7
3.1.3. Intérêt du recyclage dans le génie civil :	7
4. Différents types de déchets en génie civil :	8
4.1. Déchets de la construction/démolition :	8
4.2. Déchets de marbre :	9
4.3. Le Laitier de haut fourneau :	9
4.4. Déchets des briques d'argile cuite :	11
5. Conclusion :	11

Chapitre II: Les déchets des pneus usagés(Caoutchouc) dans le béton

Introduction :	12
1. Définition :	12
2. Propriétés de caoutchouc :	12

3. Processus de fabrication de granules et poudrette de pneus uses:	13
4. L'utilisation de granules et poudrette de caoutchouc pour béton :	14
5. Conclusion :	15

Chapitre III: compositions et propriétés des bétons

Introduction :	16
1. Définition du béton :	16
2. Rôle des différents éléments constituant le béton :	17
3. Composition des bétons :	17
3.1. Ciments :	17
4. Les granulats :	17
5. Eau de gâchage :	18
6. Les adjuvants :	18
6.1. Définition :	18
7. Types de bétons :	19
8. Propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci :	20
8.1. Béton ordinaire :	20
8.1.1. Propriétés du béton :	20
8.1.2. Propriétés du béton frais :	21
8.1.3. Propriétés du béton durci :	21
8.1.3.1. Résistance à la compression :	22
9. Conclusion :	23

Chapitre IV: Propriétés des granulats

1. Introduction :	24
2. Les principes de fabrication des granulats :	24
2.1. Généralités :	24
2.3. Les granulats alluvionnaires :	25
3. Les caractéristiques des granulats :	25
3.1. Les caractéristiques géométriques :	25
3.1.1. Granulométrie :	25
3.1.2. Module de finesse :	26
3.1.3. Forme des granulats :	26
3.1.4. Coefficient d'aplatissement :	27
3.2. Les caractéristiques physiques :	27
3.2.1. Masse volumique apparente :	27
3.2.2. Porosité :	27
3.2.3. L'absorption d'eau des granulats :	28

3.3. Les caractéristiques mécaniques :	28
3.3.1. Résistance à la fragmentation :	28
4. L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton :	28
5. Conclusion :	30
conclusion générale :	31

Partie II Etude expérimentale

Chapitre I : Caractéristiques des matériaux utilisés

Introduction :	32
1. Matériaux et formulation :	32
2. Caractéristiques physiques des matériaux utilisés :	32
2.1	Granulats:
.....	33
2.1.1. Sable :	33
2.1.2. Gravier :	33
2.2. Le ciment :	33
2.3. Poudrette de caoutchouc :	34
2.4. L'eau de gâchage :	35

Chapitre II : Formulation des bétons et méthodologie expérimentale

Introduction :	36
1. formulation du béton :	36
2. Modes opératoires des essais :	39
3. Confection des bétons :	39
4. Essais réalisés :	39
5. Conduite des essais :	40
5.1. Essai d'affaissement :	40
5.2. Essai de compression :	41

Chapitre III: Résultats et interprétations

1. Ouvrabilité des bétons.....	45
1.1. Evolution de l'affaissement des bétons en fonction du rapport E/C :	45
1.1.1. Evolution de l'affaissement des bétons en fonction du taux de substitution :	48
2. Résistances des bétons :	50
2.1. Résistances des bétons à 7 jours :	50
2.1.1. Evolution de résistances des bétons à 7 jours en fonction du rapport E/C :	50
2.1.2. Evolution de résistances des bétons à 7 jours en fonction du taux de substitution de déchets :	53
3. Résistances des bétons à 28 jours :	55
3.1. Evolution de résistances des bétons à 28 jours en fonction du rapport E/C :	55

3.1.1. Evolution de résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets.....	58
Conclusion générale:	61
Références bibliographiques	
Netographie	
Annexe I	

Résumé :

- L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement.
- Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.
- Ce mémoire cherche à mettre en évidence la possibilité d'utiliser la poudrette de caoutchouc comme granulats pour béton hydraulique.
- 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 caoutchouc en substitution d'une fraction volumique du sable, avec des taux de substitution de (0%,10%, 20%, 30%).
- Le fait de substituer du sable par du caoutchouc a conduit à l'augmentation de l'affaissement juste pour les bétons fluides ($E/C=0.65$) alors la résistance présente une chute pour tous les bétons et proportionnellement aux taux de substitution.
- 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 caoutchouc comme granulats recyclés pour bétons hydrauliques.

Mots clés : Granulats, Recyclage, Valorisation, caoutchouc, Caractérisation, Bétons.

ملخص :

- استنفاد لحقول الطبيعة والصعوبات لفتح وظائف يتطلب البحث عن مصادر جديدة للتموين.
- التقييم وإعادة استعمال هي من الان تعتبر وسيلة للمضي قدما لمعالجة العجز بين الإنتاج والاستهلاك وحماية البيئة.
- هذه المذكرة تسعى لتسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات المطاط كحصى للخرسانة المائية، قمنا بتحليل مميزات حصى التعويض وذلك لوصف الخرسانة المدروسة.
- تشتمل الدراسة على مقارنة خاصيات خرسانة لمرجع في الحالات اللينة والصلبة مع الخرسانة التي تم ادماج حصى المطاط فيها وذلك باستبدال جزء من الرمل مع مجموعة من نسب التعويض (0%، 10%، 20%، 30%) في خرسانة المرجع.
- بالنسبة الى تأثير استبدال نسب حصى الرمل بحصى المطاط يؤدي الى زيادة الهبوط فيما يخص الخرسانة السائلة (تقرير الماء/الأسمنت = 0.65) وهذا ما يفسر ان مقاومة الخرسانة تعرف تناقص ملحوظ بالنسبة لجميع الخرسانات نسبيا مع نسب التعويض.
- يبين هذا العمل الفائدة الرئيسية التي يمكن أن يمكن يقدمها تطور نتائج التجارب التي تخص استعمال بقايا المطاط كحصى التعويض المعاد استعمالها في الخرسانة المائية.

كلمات المفتاح:

الحصى، إعادة الاستعمال، التقييم، المطاط، الميزة، الخرسانة.

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 valorisation of waste are today regarded as a solution with a future in order to answer the deficit between production and consumption and to protect the environment.
- This memoir seeks to highlight the possibility of using the rubber scrap like aggregates for hydraulic concrete.
- In order to formulate the studied concretes, the characteristic's of the aggregates recycled (rubber scrap) were been analysed.
- 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 rubber aggregates in substitution of a voluminal fraction from sand with rates of substitution of (0%, 10%, 20%, 30%).
- The work shows the main interest, which could have the development and the provision of the experimental results concerning the use of the rubber scrap like aggregates recycled for hydraulic concretes.

Key words: Agregats, Recycling, Valorisation, rubber, characteristic's, Concrets.

Partie I

Etat de l'art

Chapitre I
Les déchets en génie civil et
travaux publics

Introduction

Toute activité de production ou de consommation génère des déchets, qui sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et a de multiples risques pour la santé humaine.

L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais.

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.



Figure I. 1 : zone de décharge des déchets de la ville

1. Les différents types de déchets :

Les déchets sont issus de divers domaines, on trouve les déchets ménagers usuels, inertes (déchets de bricolage et de travaux), déchets des collectivités (espaces verts, nettoyage, boues d'épuration issues de l'assainissement collectif), déchets liés à l'automobile (pneus, huiles, tôles, etc.) déchets agricoles, déchets industriels (non dangereux, dangereux, inertes) ...etc.

Ces déchets constituent souvent des mélanges hétérogènes dont la composition varie selon l'époque et le lieu. Un déchet est un déchet pour celui qui s'en débarrasse, mais n'en est plus un pour celui qui lui trouve une utilité.

Les déchets se décomposent en [2] :

1.1. Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique. Ces déchets ne sont pas biodégradables et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics (BTP) ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

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

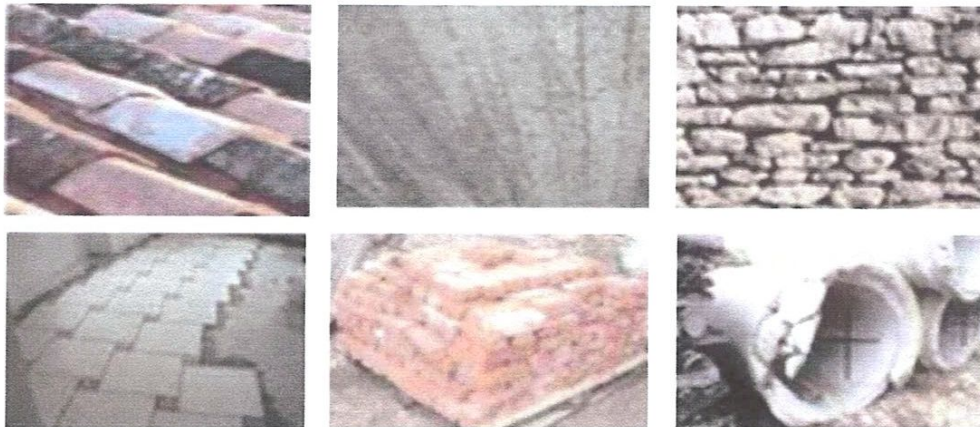


Figure I. 2 Différents déchets proviennent des chantiers de BTP

1.2. Déchets assimilés :

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



Figure I. 3 : Différents types des déchets ménagers

1.3. Déchets organiques :

Il s'agit des déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts), déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, coquilles d'œufs, etc....)



Figure I.4. Différents déchets végétaux

1.4. Déchets industriels banals (DIB) :

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



Figure I.5: déchets produits par les industriels

1.5. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

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



Figure I.6 déchets industriels spéciaux

:

1.6. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, pneus, piles, tubes, néon, produits de nettoyage.



Figure 1.7: déchets ménagers spéciaux

2. Les déchets en Algérie :

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée qui ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement. Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique. [3]

2.1. Déchets Solides et Urbains :

Selon l'Agence Nationale des Déchets en Algérie, la production de déchets ménagers est estimée à 7 M tonnes/ an. La solution technique retenue par l'Algérie pour le traitement des déchets ménagers est l'enfouissement. A ce titre, plusieurs centres d'enfouissement techniques (CET) ont été réalisés.

2.2. Déchets Industriels :

Les stocks de déchets 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 terme de santé publique et d'incidence sur l'environnement.

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.

3. Valorisation des déchets dans le domaine des travaux publics :

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays. La valorisation de ce déchet industriel est à son début. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Ismail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie.

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 environnemental 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 le béton.

En Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération. [3]

3.1. Recyclage des déchets : [Net1]

3.1.1. Définition :

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

3.1.2. Technique de recyclage :

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

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

3.1.3. Intérêt du recyclage dans le génie civil : [Net 2]

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

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 granulats.

Tableau I. 1 Procédé de recyclage des déchets usuels inertes

Produit	Procédé
Acier	Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve, etc.
Caoutchouc	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire des bacs à fleurs, des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtement de sol, de l'asphalte caoutchoutée, etc.
Gravats	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Broyés sous forme de granulats employés à nouveau dans le secteur de bâtiment ou le secteur industriel.

4. Différents types de déchets en génie civil :

4.1. Déchets de la construction/démolition :

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.

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 de 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.

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées. [4]

4.2. Déchets de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures. 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.

Les produits marbrières algérienne sont extraits et transformés conformément aux normes européennes. 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 le 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 ponce.

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** : Chleff 17 222 t, Tlemcen 45 581t, Tizi Ouzou 12 445t, Skikda 82 843t, Oran 11 863t. [5]

4.3. Le Laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de « laitier refroidi à l'air » ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de « laitier expansé ». Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton.

La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier

de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant.

Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications. La quantité de laitier expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m³.



Figure I. 8 Le laitier granulé

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de mur non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers. Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.

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

chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPA après une période de cure à la vapeur de 28 jours [26]. Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton. [6]

4.4. Déchets des briques d'argile cuite :

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [6]

5. Conclusion :

La voie reste ouverte à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

Chapitre II

Les déchets des pneus usagés (caoutchouc) dans le béton

Introduction :

Aujourd'hui, le caoutchouc est omniprésent. Grâce à ses propriétés d'élasticité, d'étanchéité et d'amortissement, sert à fabriquer de produits d'usage industriel, ménager ou médical. C'est un très bons isolant, il peut être utilisé dans le bâtiment, sol, isolant ou toiture ou mélangé avec du béton. Il est souvent utilisé aussi comme enrobé sur les routes. Il limite le bruit des pneus des véhicules, il permet une meilleure adhérence de chaussée, mieux drainée et plus résistante.

Dans ce qui suit, nous allons donner aperçu générale sur caoutchouc et présenter quelques travaux et recherches menés dans le sens de l'utilisation de caoutchouc recycles comme granulat pour béton.



Figure II. 1 : Poudrette de caoutchouc

1. Définition :

Les élastomères, comme les matières plastiques, font partie de la famille des polymères. Le terme « élastomère » est utilisé aujourd'hui pour désigner d'une façon générale tous les caoutchoucs, c'est-à-dire les substances macromoléculaires, naturelles ou synthétiques, possédant l'élasticité caoutchouteuse. Le terme « caoutchouc » vient du mot indien « Cahutchu » qui signifie « larme de bois ». [7]

2. Propriétés de caoutchouc : [Net3]

- **Elasticité :**

L'élasticité se caractérise par la capacité d'un matériau à se déformer sous contrainte et à reprendre sa dimension initiale lorsque cesse la contrainte.

Exemples d'application: joints de portière d'automobile, flexibles, profilés pour portes et fenêtres, ...

- **Etanchéité :**

Le caoutchouc est ainsi imperméable à l'air, aux gaz et à l'eau. Ils ont également une grande capacité à filtrer le bruit.

Exemples d'application: tubes et tuyaux, pneumatiques, toiles enduites, revêtement de toiture, joints...

- **Amortissement :**

Le caoutchouc possède également la capacité d'amortir les chocs ou de filtrer les vibrations.

Exemples d'application : pneumatique (amortissement des irrégularités de la route), pièces antivibratoires (filtration des vibrations en provenance du moteur ou des organes de Halson au sol...).

3. Processus de fabrication de granules et poudrette de pneus usés: [Net4]

- **Séparation :**

Séparer la bande de roulement de la carcasse composée de feuille en caoutchouc synthétique (chambre à air), de toile de carcasse.

- **Laminage des parties 100% en caoutchouc :**

Découpe les flancs de la carcasse et de la bande de roulement en bandelettes. La largeur de découpe est ajustable.

- **Pré broyage :**

Broyer grossièrement les bandelettes de caoutchouc obtenues précédemment avec des dimensions pré définies.

- **Séparation caoutchouc câbles d'acier:**

Les parties non broyer précédemment sont pressées par une machine afin de séparer le caoutchouc des câbles d'acier qui les composent. Une fois cette opération effectuée, le caoutchouc est récupéré puis broyé.

- **Le granulateur :**

C'est une machine pour la production de poudrette de caoutchouc. Elle broie selon la granulométrie prédéfinie tous les gros morceaux obtenus précédemment. Elle peut également traiter directement les bandelettes de caoutchouc, les morceaux, des semelles de chaussures.



Figure II. 2 : machine pour la production de poudrette de caoutchouc

4. L'utilisation de granules et poudrette de caoutchouc pour béton :

La présente étude traite des effets de particules de caoutchouc obtenues à partir de pneumatiques d'automobiles et de poids lourds usagés sur des propriétés données du béton. L'emploi de caoutchoucs recyclés issus de l'industrie automobile comme granulats pour béton fait depuis longtemps l'objet de recherches, ce qui a conduit au développement du « Rubcrete Mix », lequel présente des caractéristiques très prometteuses pour diverses applications. Le Rubcrete possède de bonnes propriétés mécaniques et constitue une méthode de recyclage efficace des pneumatiques en caoutchouc usagés.

Les propriétés étudiées sont la masse volumique des granulats de caoutchouc ainsi que l'ouvrabilité, la résistance à la compression du béton.

A ces fins, un seul type de particule de caoutchouc ont été utilisés pour remplacer en substitution une quantité du sable par du déchet de pneus (10%, 20% et 30%).

Selon Les recherches de (LMDC), à l'Insa de Toulouse. Le nouveau matériau est un béton, qui contient des granulats de caoutchouc issus de la filière de valorisation des pneus usagés. Sa principale qualité : une meilleure résistance à la fissuration.

En effet, si la résistance des bétons en compression ne cesse de s'améliorer, les matériaux cimentaires sont sensibles à la fissuration. Un phénomène lié à leur faible capacité de déformation, lorsqu'ils subissent des contraintes, notamment sous l'effet du retrait. « Une solution consiste donc à incorporer dans le matériau des granulats de caoutchouc, qui ont la propriété de relaxer les contraintes, évitant ainsi la formation ou la propagation de fissures », indique Anaclet Turatsinze, directeur de recherche au LMDC. Toutefois, comme l'ajout de

caoutchouc fait chuter la résistance en compression, le nouveau matériau vise la réalisation de grandes surfaces sur terre-plein (dallages, chaussées...)

La modification des bétons peut s'opérer de deux manières, la première étant la modification du liant hydraulique, la deuxième consiste en l'ajout direct du modifiant lors de l'opération de malaxage de béton. Toutefois, l'une des contraintes auxquelles on doit faire face en Algérie est l'absence d'unités de fabrication des liants modifiés. Il est donc nécessaire de développer des bétons fabriqués par le deuxième procédé. [8]

5. Conclusion :

Les déchets constituent un réel problème mais plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. 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 ce chapitre on a essayé de définir le caoutchouc; leur origine, leur propreté et leur classification. On a vu aussi comment fabriquer des granules et des poudrettes de pneus usés, et quelque recherche sur l'utilisation de ces produits dans la composition d'un béton. Grâce à la fragilité de béton (faible capacité de déformation, résistance à la traction limitée).

Chapitre III
Composition et propriétés
des bétons

Introduction :**Figure III. 1 coulage d'une dalle****1. Définition du béton :**

Le béton est un matériau composé. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ».

Le béton est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée. [9].

2. Rôle des différents éléments constituant le béton :

- **Ciment** : C'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **L'eau** : C'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Les granulats** : Ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Les adjuvants** : Ils améliorent les propriétés des bétons auxquels ils sont ajoutés.

3. Composition des bétons :

3.1. Ciments :

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

- **En fonction de leur composition :**

La norme européenne NF 197-1 donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir:

- CEM I: Ciment Portland (CPA);
- CEM II: Ciment Portland (CPJ);
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF) ;
- CEM IV : Ciment Pouzzolanique (CPZ) ;
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC). [8]

4. Les granulats :

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm. Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures. Ils améliorent ainsi la résistance du béton. Le choix d'un granulats est donc un

facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

- **Classification des granulats selon leur taille :**

Les granulats sont classés en fonctions de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrés dans une série normalisée. La norme algérienne NA 452 classe les granulats en trois catégories suivant leurs dimensions, comme le montre le tableau suivant :

Tableau III. 1 Classification normalisée des granulats [10]

Granulat		Ecartement des mailles des tamis	Diamètre des trous des passoires (mm)
Fines		< 0.08	
Sables	Fins	0.08-0.315	
	Moyens	0.315-1.25	
	Gros	1.25-5	
Graviers	Fins		6.3-10
	Moyens		10-16
	Gros		16-25
Cailloux	Fins		25-40
	Moyens		40-63
	Gros		63-80
moellons			> 80

5. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) du mélange.

Le "gâchage" est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. [11]

6. Les adjuvants :

6.1. Définition :

Les adjuvants sont des produits (liquides ou poudre) qui ajoutés au béton frais en faible quantité (moins de 5%) permettent d'améliorer certaines propriétés : maniabilité et

imperméabilité, ou qualité : compacité et résistance au gel, souhaitées soit sur béton frais soit sur béton durci.

Le mode d'action des adjuvants est :

- **Soit mécanique** : en modifiant la consistance du mélange ;
- **Soit physique** : en agissant sur la tension superficielle des composants ;
- **Soit chimique** : en modifiant la vitesse de prise et la réaction d'hydratation du ciment.

7. Types de bétons :

Il existe différents types de bétons, et les plus répandus à l'heure actuelle sont présentés dans le tableau III.2 [12]. Le choix de l'un ou de l'autre type dépend de plusieurs considérations, telles que : le coût, la densité de ferrailage, l'accès lors de coulage, limitation de bruit de coulage et l'aspect architectural de la surface.

Tableau III. 2 Bétons structuraux

Type de béton	Composition et usage			Caractéristiques
Béton Ordinaire (B.conv.)	Eau + ciment + granulats.	- Constructions résidentielles - Quelques travaux de réparation	$E/C = 0,5 \text{ à } 0,6$	$20 < f_{c28} < 50$ (MPa)
Haute performance (BHP)	Eau + Ciment composé + granulats + superplastifiant	- Ouvrages d'art	$0,35 < E/C < 0,45$	$50 < f_{c28} < 80$ (MPa)
Très haute performance (BTHP)	Eau + ciment composé + granulats + superplastifiant + fumée de silice	- Structures spéciales - Ouvrages d'art	$0,20 < E/C < 0,35$	$80 < f_{c28} < 150$ (MPa)
Autoplaçant (BAP)	Eau + Ciment composé +	- Construction résidentielles	$G/S=1$ (G : gravier	$30 < f_{c28} < 60$ (MPa)

	granulats + fines (cendre volante, laitier de haut fourneau, fine calcaire) + superplastifiant + éventuellement un agent de viscosité	- Structures spéciales - Ouvrages d'art - Travaux de réparation	S : sable)	
--	---	---	-------------	--

8. Propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci :

8.1. Béton ordinaire :

Pour les bétons ordinaires, les granulats sont des grains de pierres (sable, gravier, cailloux) et le liant est le ciment (généralement un ciment portland) qui fait prise par hydratation. La réaction chimique qui permet au béton de faire prise est lente (50% de la résistance finale au bout de 7 jours). La valeur prise comme référence dans les calculs est celle obtenue à 28 jours (80% de la résistance finale). Ce type de béton est utilisé pour de très nombreux ouvrages du bâtiment et du génie civil : fondation, structures, murs, ponts ...etc.

Le béton courant est un mélange de plusieurs composants (ciment, granulats, eau) ; qui constituent un ensemble hétérogène ; ils présentent une masse volumique de 2500 Kg/m³ environ. [13]

8.1.1. Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage ;

Le béton durci : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

8.1.2. Propriétés du béton frais :

- **Affaissement au cône d'Abrams :**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône de dimensions: $\varnothing_1 = 10 \text{ cm}$, $\varnothing_2 = 20 \text{ cm}$ et $h = 30 \text{ cm}$. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

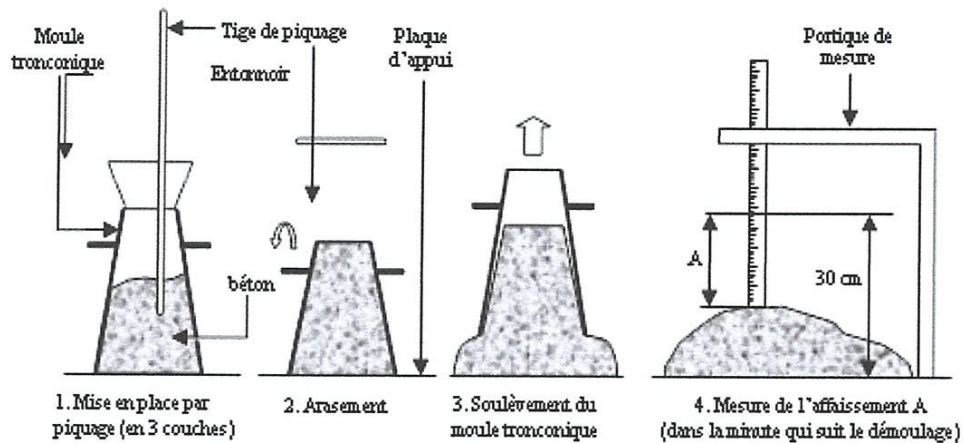


Figure III. 2 mesure de l'affaissement à l'aide de cône d'Abrams

Tableau III. 3 Classes de consistance de béton

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d'Abrams
S1	Ferme	10 – 40
S2	Plastique	50 – 90
S3	Très plastique	100 – 150
S4	Fluide	160 – 210
S5	Très fluide	> 220

8.1.3. Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant des mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

Dans le béton durci, la résistance est généralement la caractéristique la plus recherchée.

8.1.3.1. Résistance à la compression :

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours « f_{c28} ». La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante : $\sigma_c = F/A_c$

Où :

- σ_c : résistance en compression, exprimée en **MPa** (N/mm^2) ;
- **F** : charge maximale, exprimée en Newtons ;
- **A_c** : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée,

Calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette. La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm^2) près. [11]

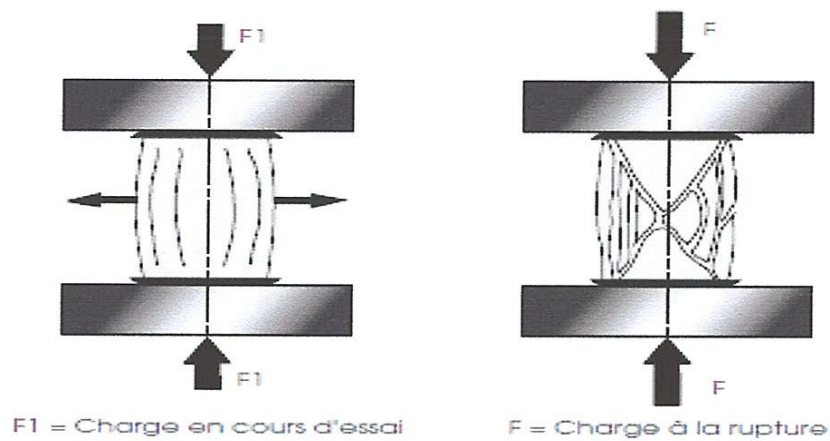


Figure III. 3 Essai de résistance à la compression

9. Conclusion :

Dans cette partie on a essayé de définir les composants nécessaires du béton, les classifications des granulats et les constituants des composants ainsi que les caractéristiques principales du béton à l'état frais, et à l'état durci.

Chapitre IV

Propriétés des granulats

1. Introduction :

Comme les trois quarts du volume d'un béton sont occupés par les granulats, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils affecteront la durabilité et les performances structurales du béton.

2. Les principes de fabrication des granulats :

2.1. Généralités :

Les quatre opérations nécessaires à la production des granulats sont :

- L'extraction de la matière première ;
- Le concassage ;
- Le criblage ;
- Le stockage avant expédition.

Le concassage est une opération primordiale dans le cas des granulats de carrière, il intéresse généralement les classes granulaires. Il faut donc distinguer les sources pour décrire les particularités de la fabrication.

2.2. Les granulats de carrière :

Ils sont produits à partir de bancs rocheux, les caractéristiques des granulats produits dépendent de la roche et de la structure des bancs, par exemple, si un banc calcaire dur est très fissuré, étant rempli d'argile, le sable de concassage contiendra beaucoup de fines argileuses.

L'extraction se fait par abattage à l'explosif, généralement, après l'abattage, on procède à un pré-criblage appelé « scalpage ». Le scalpage a pour but d'éliminer les restes de débris et de roches altérées présents dans l'abattage préalable au tir de mine.

Le matériau scalpé ou non, est ensuite concassé pour être amené à la dimension d'utilisation. Le concassage est réalisé en plusieurs étapes, concassage primaire, secondaire et tertiaire, par exemple : séparés l'un de l'autre par des criblages.

Les paramètres tels que les caractéristiques mécaniques de la roche, le débit d'alimentation et sa régularité, le réglage du concasseur ont une influence sur la forme, l'angularité et le débit du produit de concassage.

Le criblage est l'opération complémentaire du concassage où le matériau à cribler circule sur un tamis qui vibre et le matériau est ainsi séparé en passants et refus.

2.3. Les granulats alluvionnaires :

L'extraction se fait classiquement par une pelle mécanique en site terrestre et par dragage en site aquatique. Ce sont essentiellement les conditions économiques de l'installation et du marché qui déterminent le choix du matériel à utiliser.

Le criblage est ici, l'opération principale ; il est généralement pratiqué dans un courant d'eau, ce qui combine tamisage et lavage en effet, même en site terrestre, le gisement est fréquemment sous la nappe phréatique, ainsi à l'inverse des sables de concassage qui contiennent toujours de 5 à 20% de fines (les grains inférieurs à $80\mu\text{m}$), les sables alluvionnaires contiennent moins de fines. [14]

3. Les caractéristiques des granulats :

3.1. Les caractéristiques géométriques :

3.1.1. Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat. Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées ou de passoires à mailles circulaires, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis (passoire). On désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm ; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D . Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné $0/D$.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (Norme NF P18-560). [Net5]

- **Les fines** $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm,
- **Les sables** $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm,
- **Les gravillons** d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
- **Les cailloux** d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- **Les graves** d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm, [2]

3.1.2. Module de finesse :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.[2]

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16-0,315-0,63-1,25-2,5-5 mm

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis de modul } \{23,26,29,32,35,38\}$$

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\} \text{ [Net6]}$$

3.1.3. Forme des granulats :

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur **L_g** : distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- L'épaisseur **E** : distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.
- La grosseur **G** : dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

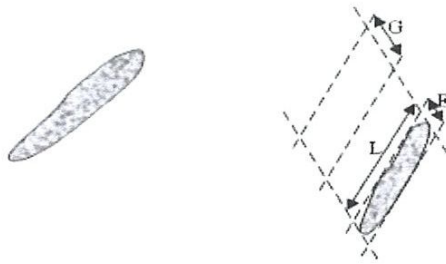


Figure IV.1 Forme d'un granulat

3.1.4. Coefficient d'aplatissement :

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrée utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles. Le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58. La norme (NF P 18-561) définit les modalités de sa mesure. [Net7]

3.2. Les caractéristiques physiques :

3.2.1. Masse volumique apparente :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis normes (NF P 18-554) [Net8] et (NF P 18-555) [Net9]

Elle est comprise entre $1\,400\text{ kg/m}^3$ et $1\,600\text{ kg/m}^3$ pour les granulats roulés silico-calcaires. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton.

3.2.2. Porosité :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers. La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554) [Net8] et (NF18 555) [Net9]

3.2.3. L'absorption d'eau des granulats :

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé : absorption. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger.

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels que agrégats légers expansés d'argile, sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton. La mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NF P 18-554) [Net 8] et (NF P 18-555) [Net9].

3.3. Les caractéristiques mécaniques :

3.3.1. Résistance à la fragmentation :

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture. La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). Il fait l'objet de la norme (NF P 18-573) [Net10]. C'est un essai de résistance aux impacts, basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs.

Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai et la résistance à la fragmentation est d'autant meilleure que sa valeur est petite.

L'essai de friabilité des sables, adapté à la granulométrie fine de ces derniers, mesure la résistance des sables à la fragmentation. Le coefficient caractéristique (FS) est d'autant plus élevé que le sable est friable.

4. L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton :

L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton peut se résumer comme indiqué par le tableau IV.1 : [15]

Tableau IV. 1 L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton

Caractéristiques des granulats	L'influence sur le béton
Nature minéralogique	<ul style="list-style-type: none"> • Un granulat calcaire à faible coefficient de dilatation thermique est favorable pour s'opposer à la fissuration de retrait thermique. • La présence de clivages dans les minéraux (micas, feldspaths,..) accroît les retraits.
Granularité des sables	<p>Il faut vérifier : -Teneur en fines.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Continuité et régularité de la granularité.
Granularité des gravillons	Elle est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer en fonction de critères liés à la mise en œuvre.
Absorption d'eau	<p>C'est la mesure des pores accessible à l'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une valeur élevée est défavorable pour la durabilité, la carbonatation, la dégradation par le gel et la pénétration des chlorures. • Une absorption d'eau élevée diminue le module d'élasticité et accroît le fluage, par contre une très faible absorption d'eau favorise le ressuage.
Résistance mécanique : Los Angeles $L_A \leq 40$	Il est mesuré, pour les gravillons par un essai de fragmentation dont le résultat intervient peu sur les caractéristiques des bétons.
Sensibilité au gel $\leq 50\%$	La sensibilité au gel des bétons est assez peu sensible à la gélivité des granulats.
Propriétés des granulats	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les sables, si le résultat de l'essai d'équivalent de sable n'est pas conforme, un essai à la tache de bleu de méthylène est nécessaire. • Pour les gravillons : il est toléré dans les gravillons les passants à 0,5mm au lieu des

	<p>passants à 0,063mm cela beaucoup plus aisé pour le contrôle de la non nocivité des fines.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La pollution des granulats : accroît la demande en eau, fait chuter les résistances.
Matières organiques dans les sables	Leur présence peuvent perturber la prise, faire chuter les résistances surtout au jeune âge.

5. Conclusion :

La nature minérale des granulats est souvent un critère fondamental de leur utilisation, les caractéristiques physiques et mécaniques sont aussi importantes. 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.

Nous avons exposé dans ce chapitre les critères que doivent remplir l'utilisation des granulats dans le béton. Nous avons utilisé les déchets de caoutchouc comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, avec des taux de substitution de (0% ,10%, 20% et30%).

Conclusion générale :

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. Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats par exemple la poudrette de caoutchouc et les déchets de marbre 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 caoutchouc utilisés en tant que granulats pour béton en substitution à des fractions volumiques du sable.

Partie II
Étude expérimentale

Chapitre I
Caractéristiques des
matériaux
utilisés

Introduction :

Le béton est constitué des composantes dont les caractéristiques physiques et mécaniques sont différentes, chacun joue un rôle dans le comportement et la qualité du béton.

Pour un béton de mélange réussi, il faut choisir toujours les bons composants qui sont compatibles avec les dispositions des normes internationales.

Ce chapitre présente une étude expérimentale des caractéristiques principales des matériaux utilisés pour déterminer l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur les bétons élaborés.

Les essais ont été effectués au laboratoire de recherche de génie civil et d'hydraulique (L.G.C.H) de l'université 08 MAI 1945 de Guelma.

1. Matériaux et formulation :

Nous avons utilisé pour la confection des bétons des constituants disponibles et très utilisés localement dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au laboratoire de génie civil et hydraulique (LGCH) de l'université de 08 mai 1945 Guelma.

Les matériaux utilisés :

- Gravier concassés 5/15 de la carrière SARL MSAHEL (EL-FEDJOUJ) ;
- Sable de carrière (0/5) de la carrière SARL MSAHEL (EL-FEDJOUJ) ;
- Ciment portland composé CPI CEM II/A 42 5 (Hadjar soud) -SKIKDA ;
- Eau de gâchage (l'eau de robinet disponible au niveau du laboratoire (LGCH)) ;
- Poudrette de caoutchouc (provenance de la zone industrielle de SETIF)

2. Caractéristiques physiques des matériaux utilisés :

Avant de choisir une formulation, il faut de connaître les caractéristiques des matériaux utilisés au moyen d'essais normalisés au laboratoire.

2.1 Granulats :



Figure I. 1 Sable



Figure I. 2 Gravier

2.1.1. Sable :

Les caractéristiques déterminées expérimentalement sont exposés dans le Tableau I.1:

Tableau I. 1 caractéristiques physiques du sable de carrière utilisé

Caractéristiques	
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.67 ± 0.081
Masse volumique apparente (g/cm³)	1.79 ± 0.017

2.1.2. Gravier :

Les résultats de ses essais sont regroupés dans le tableau I.2 :

Tableau I. 2: caractéristiques physiques du gravier de carrière utilisée

Caractéristiques	
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.63 ± 0.012
Masse volumique apparente (g/cm³)	1.58 ± 0.021

2.2 Le ciment :

Le ciment que nous avons utilisé pour la confection des bétons est un ciment Portland composé CPJ-CEM II /A 42,5 ; fabriqué par la société des ciments de HADJAR-SOUD (SKIKDA)

Les différentes caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment utilisé sont indiquées sur la fiche technique élaborée par le producteur au niveau d'un laboratoire spécialisé conformément à la norme NA 442 (voir annexe I)



Figure I. 3 Le ciment utilisé

Les différentes caractéristiques du ciment utilisé sont définies par des fiches techniques au niveau des laboratoires de la société, qui sont représentées ci-dessous :

Le ciment Portland composé CEM II /A 42,5 résulte de la mouture de :

- De 75 à 85 % de CLINKER PORTLAND
- De 10 à 20 % d'ajout (LAITIER et TUF)
- De 5 % de GYPSE

L'analyse chimique :

Tableau I. 3 Résultats d'analyse chimique de ciment.

Elément	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	SO ₃	PAF	CaO	SSB
Résultats en %	61.32	4.94	3.11	21.93	0.66	0.27	0,60	0,002	2.40	2.20	1.50	36.26

2.2. Poudrette de caoutchouc :

Les granulats de caoutchouc proviennent d'une usine de broyage de pneus de caoutchouc située dans la ville de Sétif. Ils ont une granulométrie de 0 à 4mm et une masse volumique de 1000 kg/m³. Ces granulats sont issus du broyage des pneus usagés et ne sont pas traités.

Tableau I. 4 Caractéristiques de la poudre caoutchouc

Masse volumique absolue (g/cm³)	1 ± 0.02
masse volumique apparente (g/cm³)	0.502 ± 0,062
Granulométrie	0-4

2.3. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet disponible au réservoir de laboratoire de génie civil et hydraulique de l'université 08 MAI 1945 GUELMA

Chapitre II
Formulation des bétons et
méthodologie expérimentale

Tableau II. 1 compositions des bétons ordinaires

Matériaux	Béton de référence		
	BO-1	BO-2	BO-3
Sable (0/5) (kg/m ³)	810,35	810,35	810,35
Gravier (5/15) (kg/m ³)	1031,66	1031,66	1031,66
Ciment (kg/m ³)	350,00	350,00	350,00
E/C	0,60	0,65	0,72
Eau (kg/m ³)	210,00	227,50	252,00
Caoutchouc (kg/m ³)	/	/	/

Tableau II. 2 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC10)

Matériaux	Bétons avec déchets de caoutchouc (10%)		
	BC10-1	BC10-2	BC10-3
Sable (0/5) (kg/m ³)	729,31	729,31	729,31
Gravier (5/15) (kg/m ³)	1031,66	1031,66	1031,66
Ciment (kg/m ³)	350,00	350,00	350,00
E/C	0,60	0,65	0,72
Eau (kg/m ³)	210,00	227,50	252,00
Caoutchouc (kg/m ³)	30,35	30,35	30,35

Tableau II. 3 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC20)

Matériaux	Bétons avec déchet de caoutchouc (20%)		
	BC20-1	BC20-2	BC20-3
Sable (0/5) (kg/m ³)	647,65	647,65	647,65
Gravier (5/15) (kg/m ³)	1031,66	1031,66	1031,66
Ciment (kg/m ³)	350,00	350,00	350,00
E/C	0,60	0,65	0,72
Eau (kg/m ³)	210,00	227,50	252,00
Caoutchouc (kg/m ³)	60,70	60,70	60,70

Tableau II. 4 compositions des Bétons avec caoutchouc (BC30)

Matériaux	Bétons avec déchet de caoutchouc (30%)		
	BC30-1	BC30-2	BC30-3
Sable (0/5) (kg/m ³)	567,25	567,25	567,25
Gravier (5/15) (kg/m ³)	1031,66	1031,66	1031,66
Ciment (kg/m ³)	350,00	350,00	350,00
E/C	0,60	0,65	0,72
Eau (kg/m ³)	210,00	227,50	252,00
Caoutchouc (kg/m ³)	91,05	91,05	91,05

2. Modes opératoires des essais :

Les essais expérimentaux de cette étude ont été exclusivement réalisés sur du béton à l'état frais et à l'état durci (ouvrabilité et résistance en compression).

3. Confection des bétons :

Pour la préparation des bétons, on a utilisé une bétonnière et une balance (voir figure II.1 et II.2)

La séquence de malaxage retenue est la suivante :

- Vérifie que le matériel est à disposition et que les matériaux sont bien séchés.
- Cernant les quantités des matériaux utilisé avec une balance.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 30 secondes.
- Introduction de l'eau de gâchage puis malaxage pendant «3 minute ».



Figure II. 1 Une balance électronique



Figure II. 2 Une bétonnière

4. Essais réalisés :

Il y a un grand nombre des essais pour caractériser le béton, dans cette partie expérimentale les essais réalisés pour chaque béton se limités à l'essai d'affaissement, qui est réalisé sur le béton frais, et à l'essai de compression qui est réalisé sur le béton durci.

5. Conduite des essais :

5.1. Essai d'affaissement :

Cet essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme NF EN 206-1.

C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement.

Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm de hauteur.



Figure II. 3 La cône d'Abrams

- **Mode opératoire :**

1. Mettre la plaque sur un support stable et horizontal ;
2. Humidifier la surface de la plaque ;
3. Placer le cône au centre du plateau ;
4. Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir ;
5. Remplir le cône par trois couche avec picage à chaque couche de 25 coups ;
6. Remplir le cône en déversant le béton de manière continue jusqu'à l'arase supérieure du cône ;
7. Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire et nettoyer la plaque ;
8. Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;

La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement. La valeur de l'affaissement est exprimée en cm.



Figure II. 4 l'essai de mesure de consistance du béton frais

5.2. Essai de compression :

L'essai consiste à rompre les éprouvettes confectionnées entre les plateaux d'une presse hydraulique de 3000 KN de capacité, à vitesse constante (0.5 MPa/s). Les éprouvettes utilisées sont de forme cubique (10*10*10) cm³.

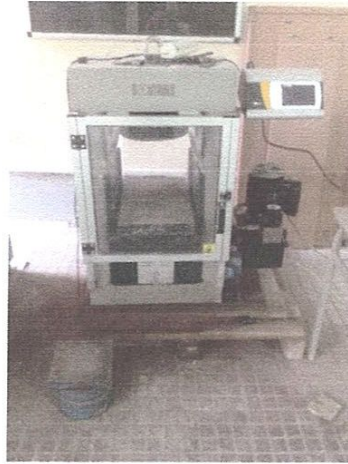


Figure II. 5 la presse hydraulique de compression

La presse nous donne des charges de rupture, ces charges sont converties en résistance à la compression σ_c qui est calculée par la formule de la résistance des matériaux suivante :

$$\sigma_c = P / S$$

Avec :

- P** : l'effort enregistré au moment de la rupture de l'éprouvette.
- S** : la section de l'éprouvette.

- **Mode opératoire :**

La conduite de l'essai d'écrasement est réalisée, selon la norme NF EN 206-1 comme suit :

- On a décoffré nos éprouvettes après 24h de coulage.
- Les éprouvettes ont été conservées dans un bac d'eau.
- Avant le dernier jour de l'âge des éprouvettes de 7 et 28 jours, les éprouvettes ont été sorties du bac d'eau et mises à l'air libre pendant 24h.
- Centrer l'éprouvette entre les plateaux de la presse.
- Introduction des informations nécessaires des éprouvettes (poids, dimension, âge d'écrasement « 7 et 28 JOURS », la vitesse de mise en charge).
- Démarrer la presse.
- La presse affiche les charges de rupture en (KN) et la résistance en (MPA)



Figure II. 6 l'essai de compression a l'état durci

Chapitre III

Résultats et interprétations

L'ensemble des résultats des essais réalisés, affaissements et résistances, sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau III. 1 Affaissements et résistances des différents bétons

Bétons		Rapport E/C	Affaissement(cm)	Résistance(Mpa) De 7 jours	Résistance(Mpa) De 28 jours
BO	BO-1	0.60	2,75±0,43	15,11±0,26	23,05±0,63
	BO-2	0.65	6,26±0,46	12,70±0,56	21,37±0,42
	BO-3	0.72	17,83±0,58	8,84±0,38	14,50±0,31
BC10	BC10-1	0.60	2,66±0,29	11,83±0,03	19,92±0,41
	BC10-2	0.65	10,83±0,76	10,87±0,66	17,89±0,59
	BC10-3	0.72	16,5±0,5	8,38±0,39	14,59±0,35
BC20	BC20-1	0.60	2,7±0,72	11,29±0,76	19,66±0,48
	BC20-2	0.65	10,5±0,5	9,56±0,35	13,88±0,39
	BC20-3	0.72	16,23±0,46	6,74±0,59	10,53±0,57
BC30	BC30-1	0.60	2,08±0,83	6,65±0,24	16,23±0,36
	BC30-2	0.65	10,90±0,36	6,12±0,09	11,07±0,59
	BC30-3	0.72	17,66±0,58	5,86±0,17	9,44±0,20

1. Ouvrabilité des bétons

L'ouvrabilité de nos bétons a été évaluée à partir des essais d'affaissement. Dans cette partie, on s'intéresse à l'évolution de cette propriété en fonction du rapport E/C et du taux de substitution en caoutchouc pour les différents bétons.

1.1. Evolution de l'affaissement des bétons en fonction du rapport E/C :

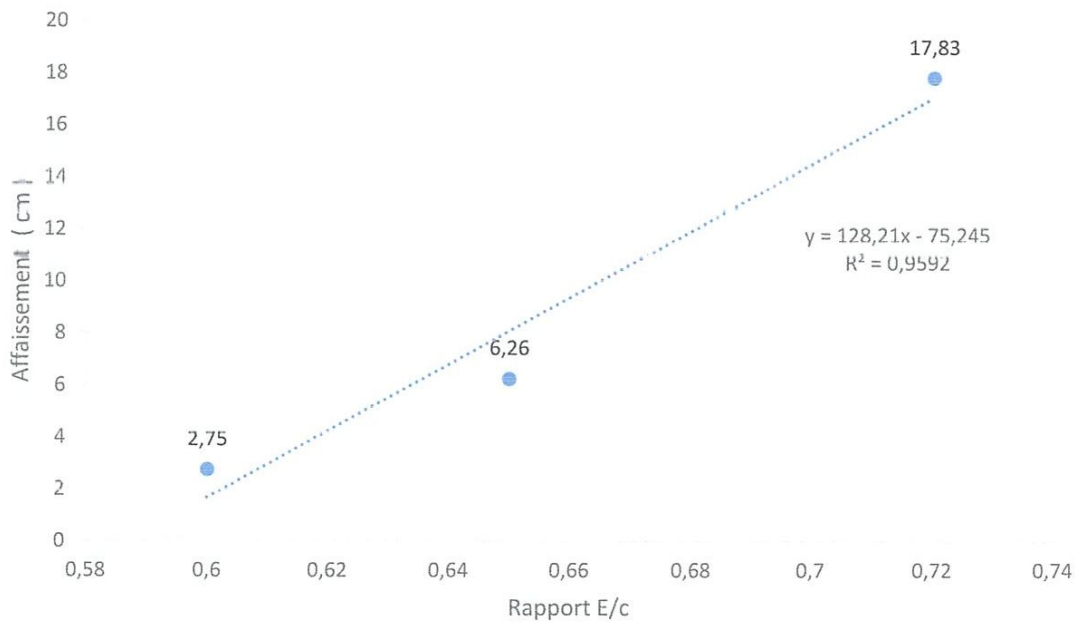


Figure III. 1 Affaissement du béton ordinaire en fonction du rapport E/C

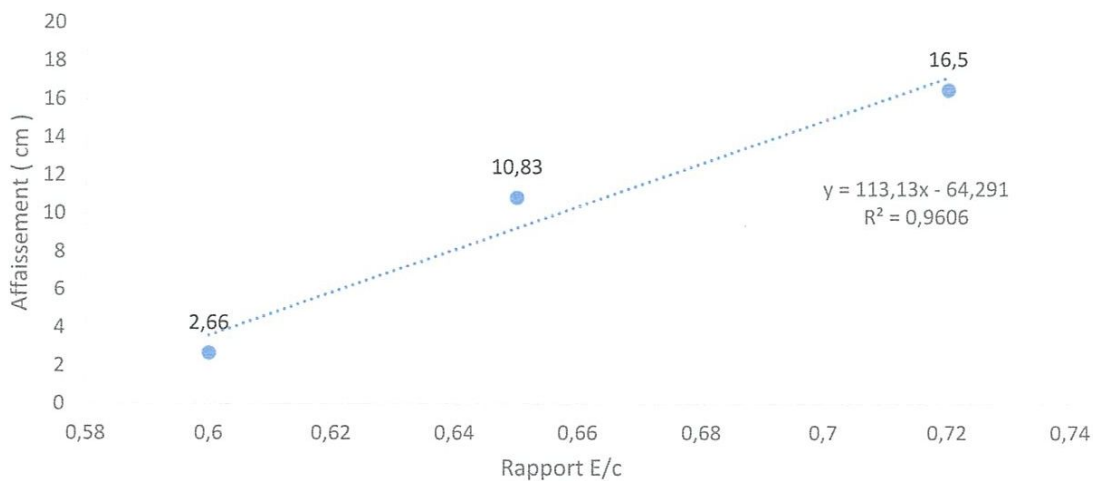


Figure III. 2 Affaissement du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C

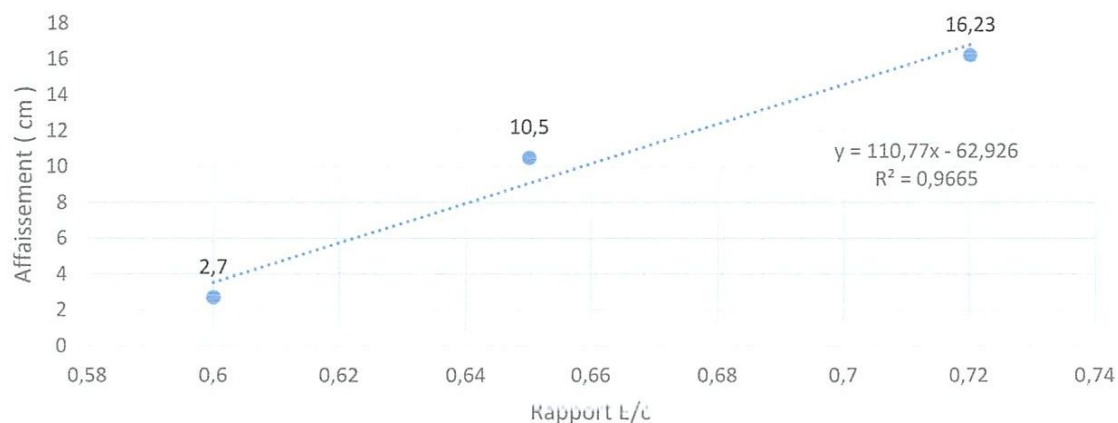


Figure III. 3 Affaissement du béton avec déchets (20%) en fonction du rapport E/C

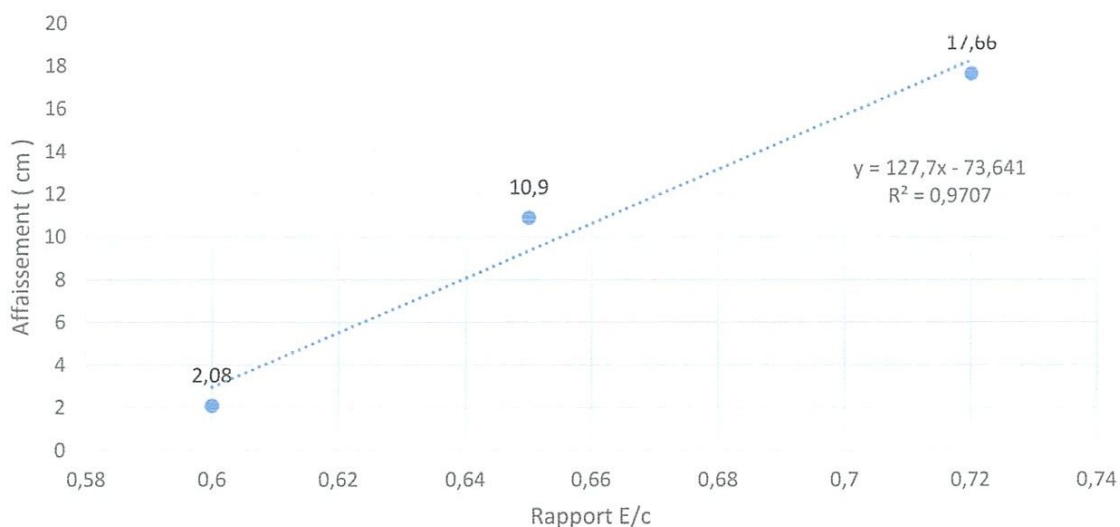


Figure III. 4 Affaissement du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C

On remarque que la relation entre l'affaissement et le rapport E/C est linéaire pour tous les bétons (figures III.1. A III.4). Les fonctions de corrélation des différents sont très proches. Le fait d'avoir introduit de la poudre de caoutchouc n'a pas modifié cette relation.

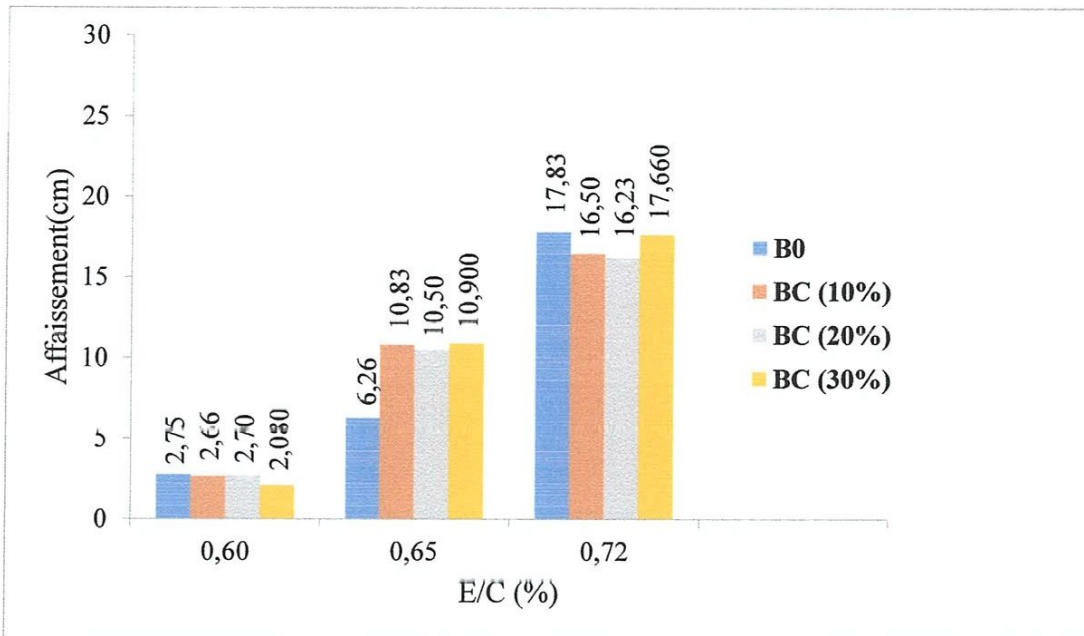


Figure III. 5 Affaissement des bétons (0%,10%,20%,30%) en fonction du rapport E/C

L'histogramme précédent rassemble l'ensemble des évolutions des affaissements en fonction du rapport E/C. On remarque les mêmes constatations avancées précédemment quant à l'effet du taux de substitution de déchet sur l'affaissement, il est discuté dans ce qui suit.

1.1.1. Evolution de l'affaissement des bétons en fonction du taux de substitution :

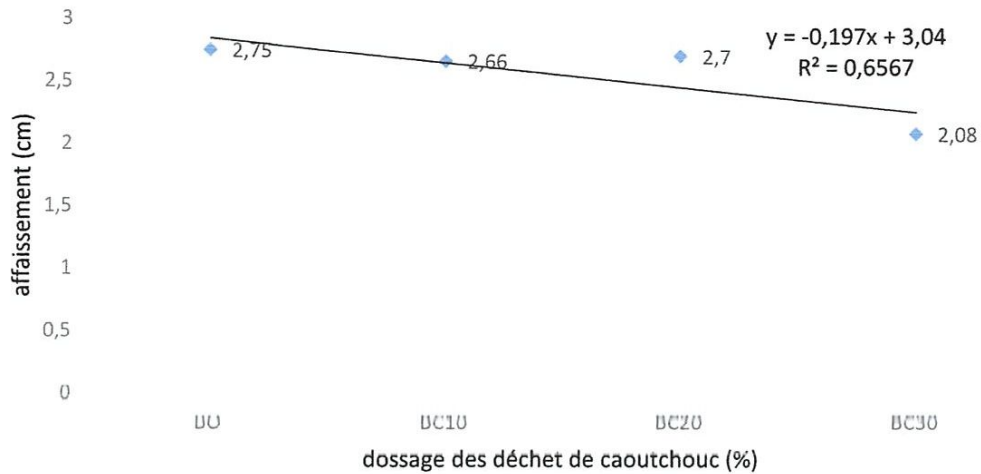


Figure III. 6 Affaissement des bétons du rapport E/C=0,6 en fonction des taux de substitution

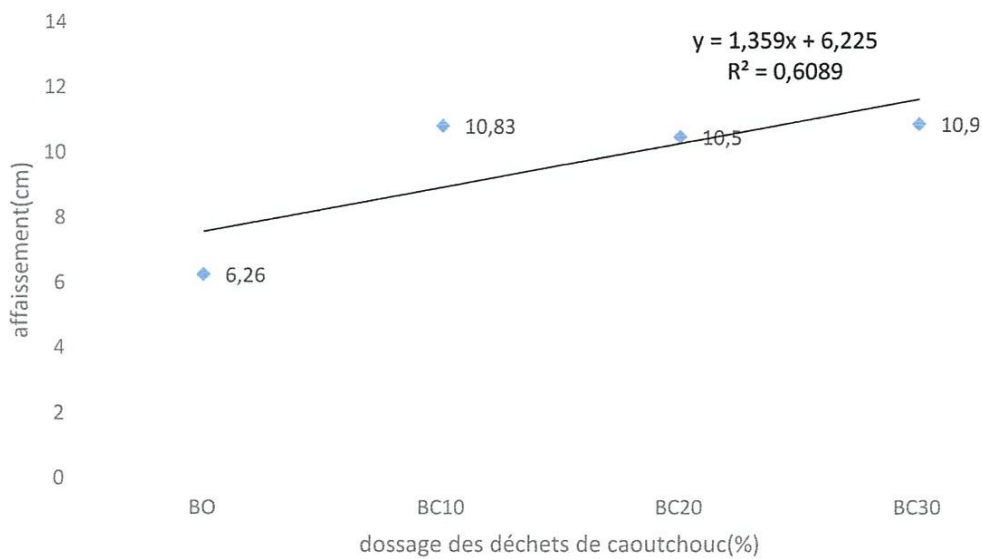


Figure III. 7 Affaissement des bétons du rapport E/C=0,65 en fonction des taux de substitution

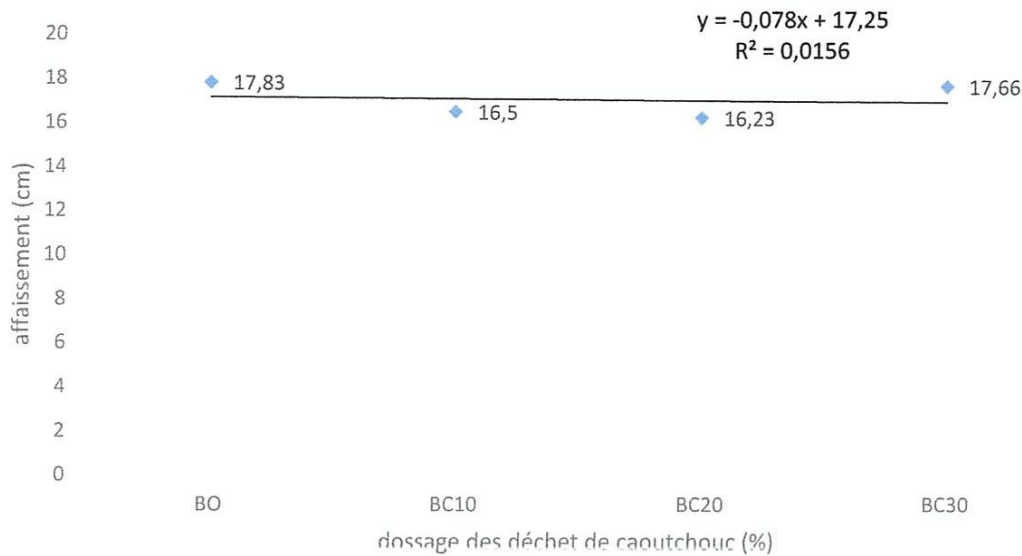


Figure III. 8 Affaissement des bétons du rapport E/C=0,72 en fonction des taux de substitution

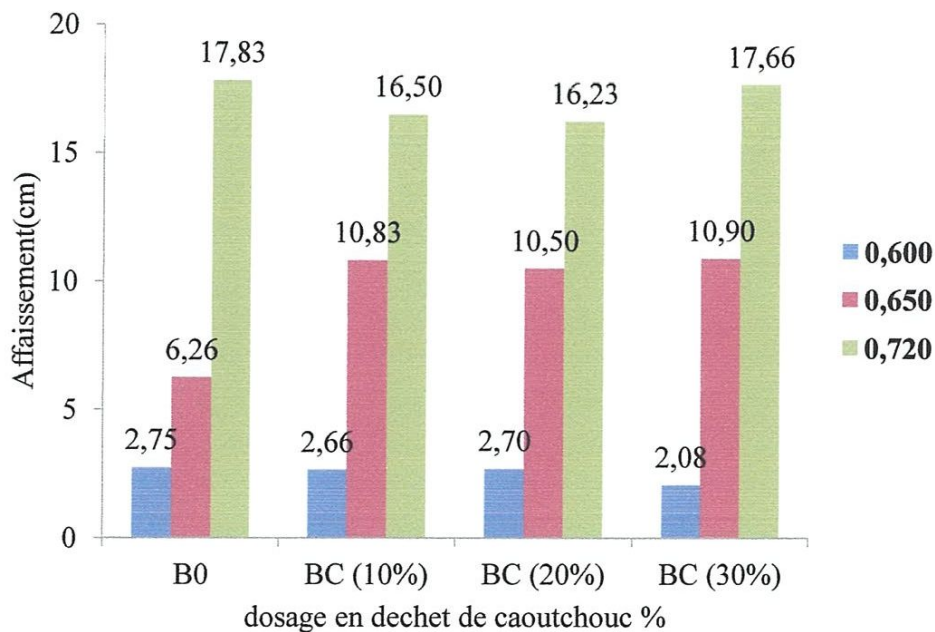


Figure III. 9 Affaissement des bétons des rapport E/C en fonction des taux de substitution

On remarque le taux de substitution influe peu l'évolution de l'affaissement. L'augmentation maximale est obtenue, identiquement pour les trois rapports de substitution avec un rapport E/C=0.65. Cette augmentation est de l'ordre de 73%. Pour les autres taux de substitution, on a des variations négligeables par rapport aux bétons ordinaires.

2. Résistances des bétons :

2.1. Résistances des bétons à 7 jours :

2.1.1. Evolution de résistances des bétons à 7 jours en fonction du rapport E/C :

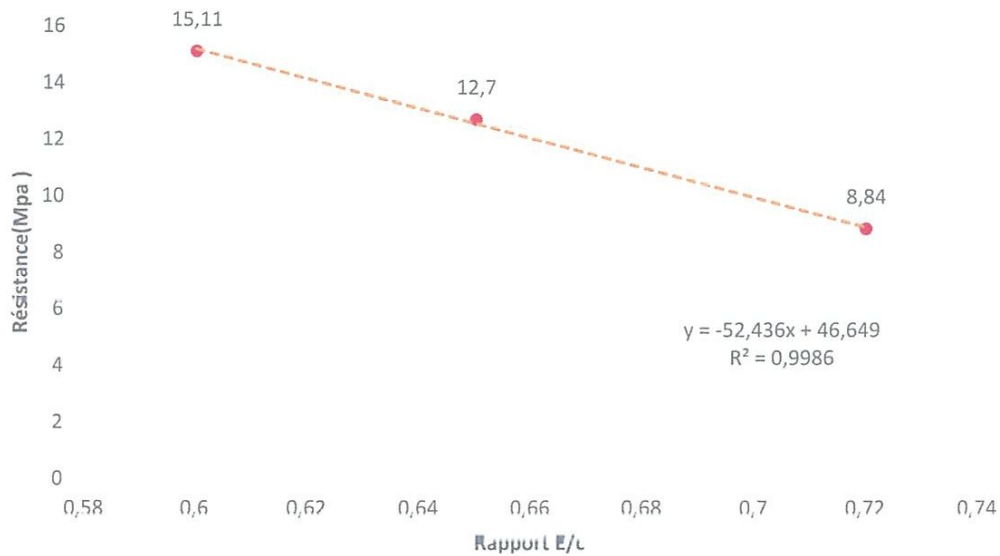


Figure III. 10 Résistance à 7 jours du béton ordinaire en fonction du rapport E/C

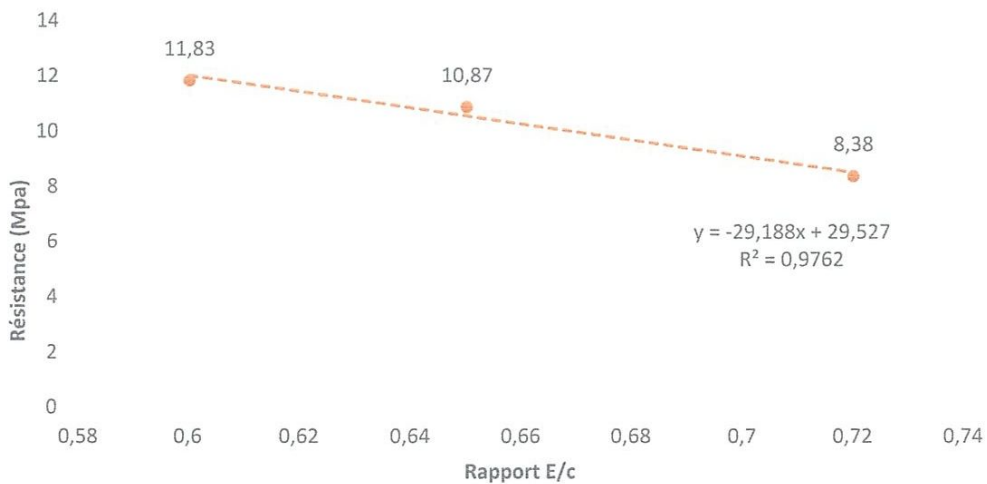


Figure III. 11 Résistance à 7 jours du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C

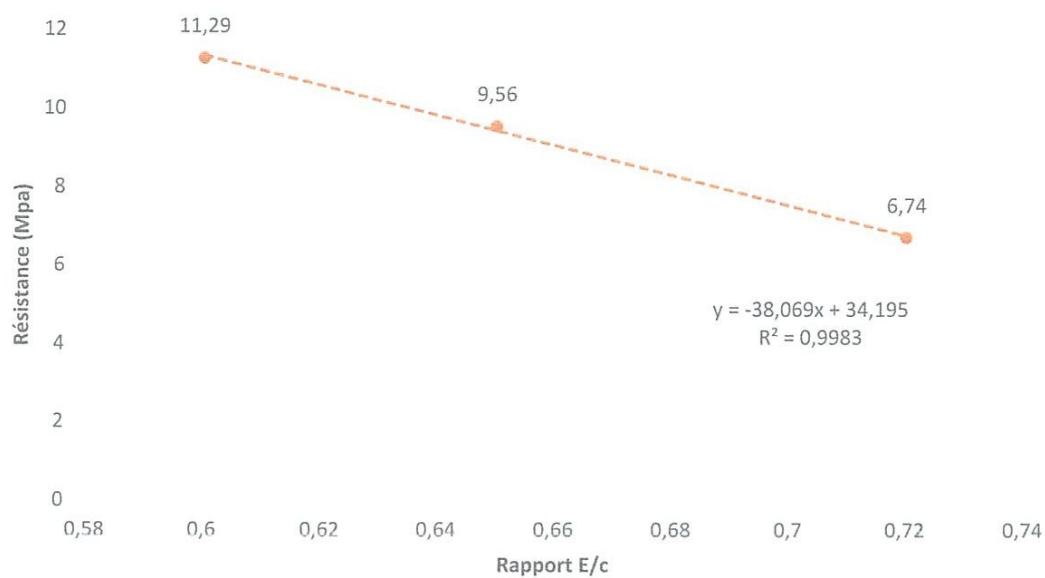


Figure III. 12 Résistance à 7 jours du béton avec déchets (20%) en fonction du rapport E/C

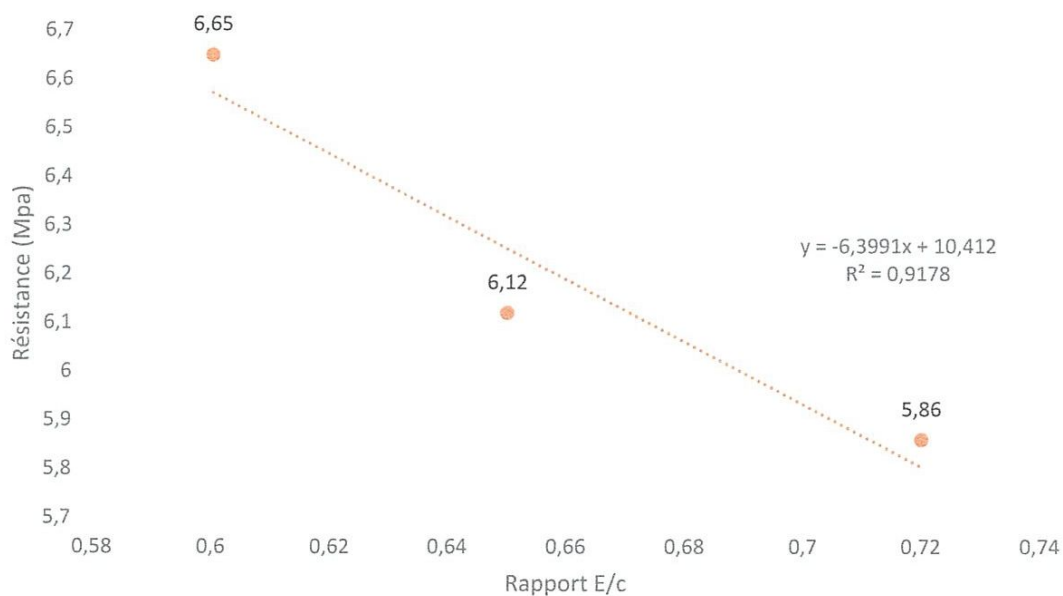


Figure III. 13 Résistance à 7 jours du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C

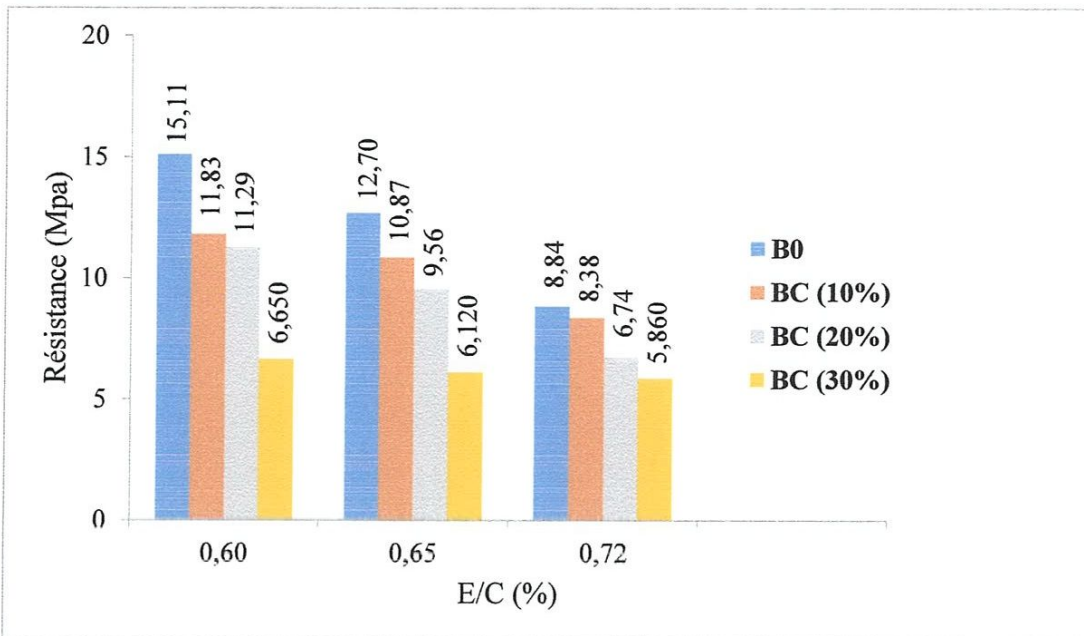


Figure III. 14 Résistance à 7 jours des différents bétons en fonction du rapport E/C

L'évolution des résistances à 7 jours en fonction du rapport E/C est conforme aux constatations connues. Les résistances évoluent de manière inversement proportionnelle avec le rapport E/C.

Le rapport E/C influence de manière négligeable la résistance du béton avec 30% de déchets.

2.1.2. Evolution de résistances des bétons à 7 jours en fonction du taux de substitution de déchets :

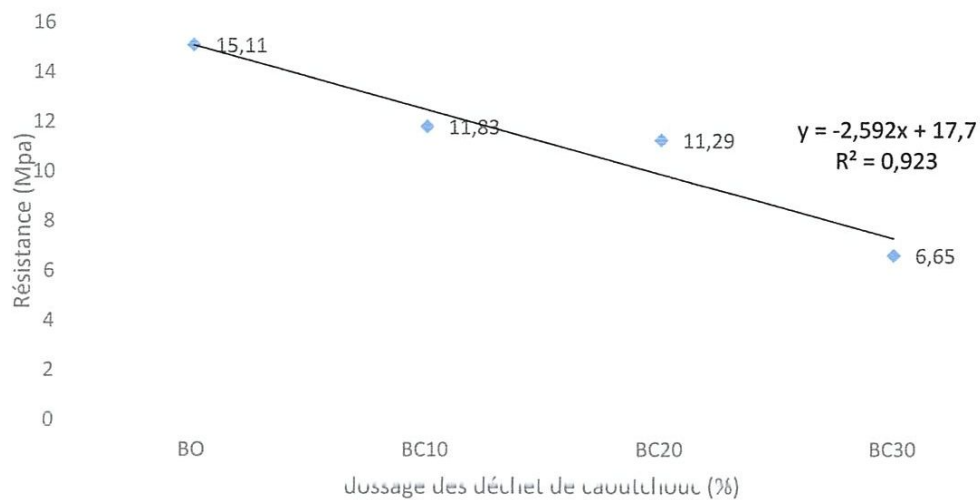


Figure III. 15 Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,6 en fonction de la substitution

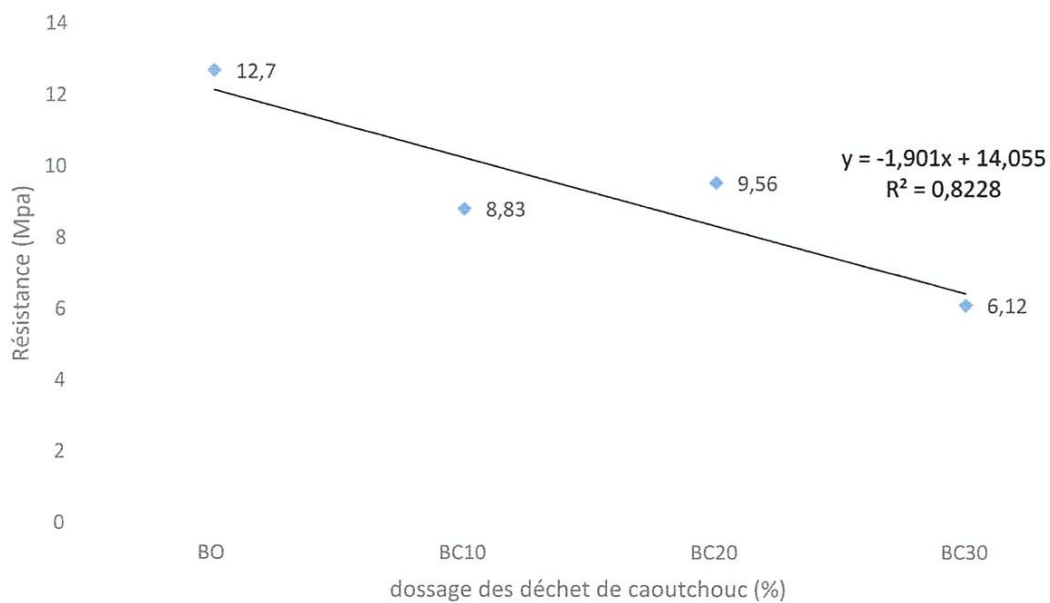


Figure III. 16 Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,65 en fonction de la substitution

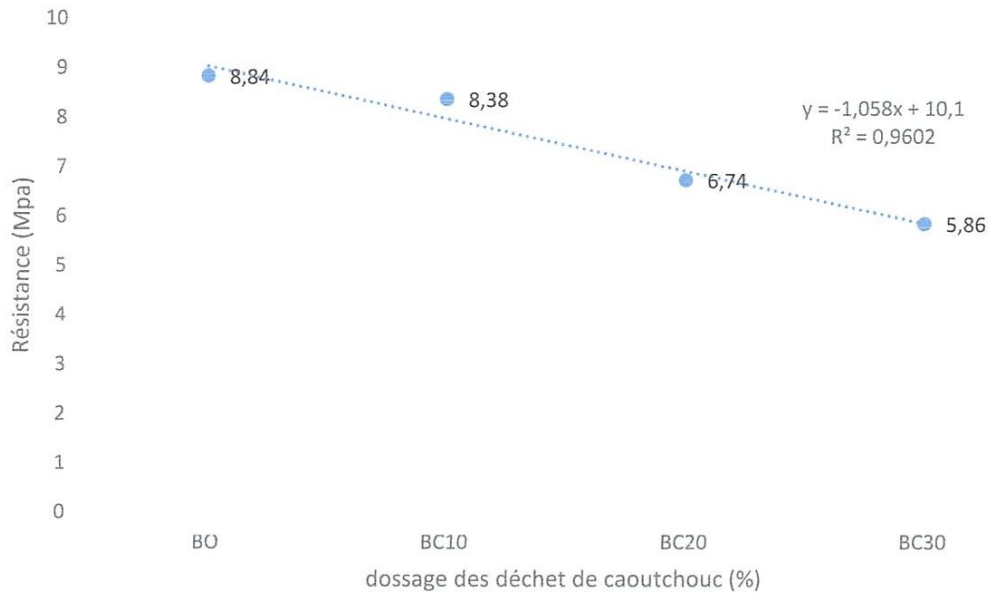


Figure III. 17 Résistance à 7 jours des différents bétons du rapport E/C=0,72 en fonction de la substitution

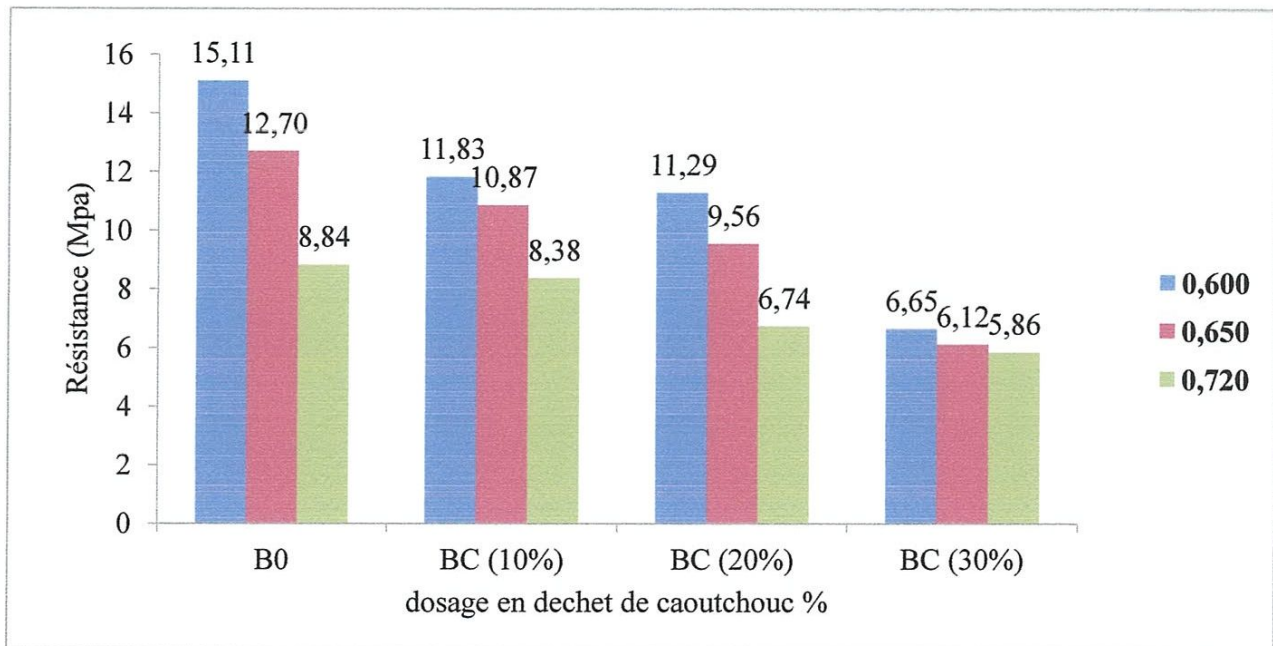


Figure III. 18 Résistance à 7 jours des différents bétons des rapports E/C en fonction de la substitution

La substitution du sable par du déchet des pneus usagés a un effet négatif sur la résistance à 7 jours. La perte de résistance maximale (56 %) est celle obtenue avec 30 % de déchets. La plus faible perte (5 %) correspond à 10% de taux de substitution.

3. Résistances des bétons à 28 jours :

3.1. Evolution de résistances des bétons à 28 jours en fonction du rapport E/C :

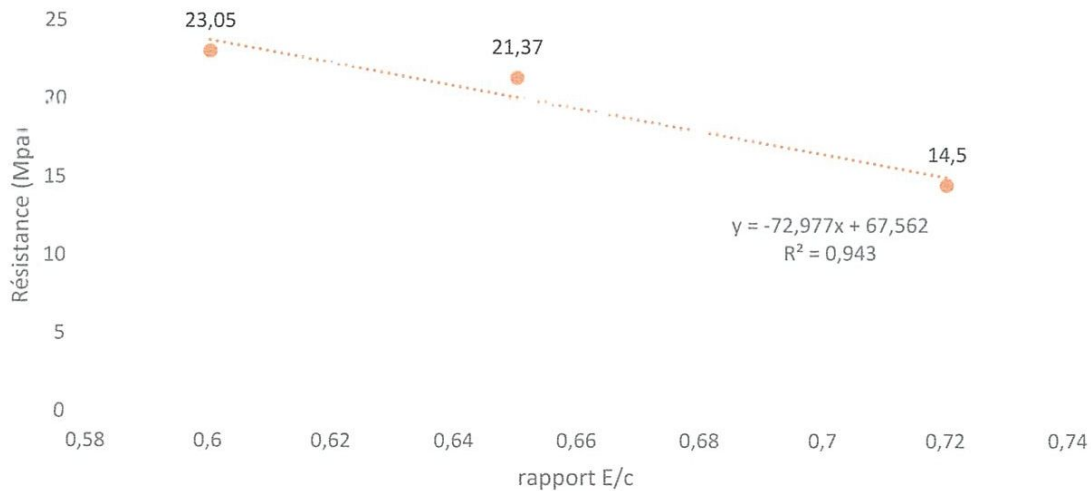


Figure III. 19 Résistance à 28 jours du béton ordinaire en fonction du rapport E/C

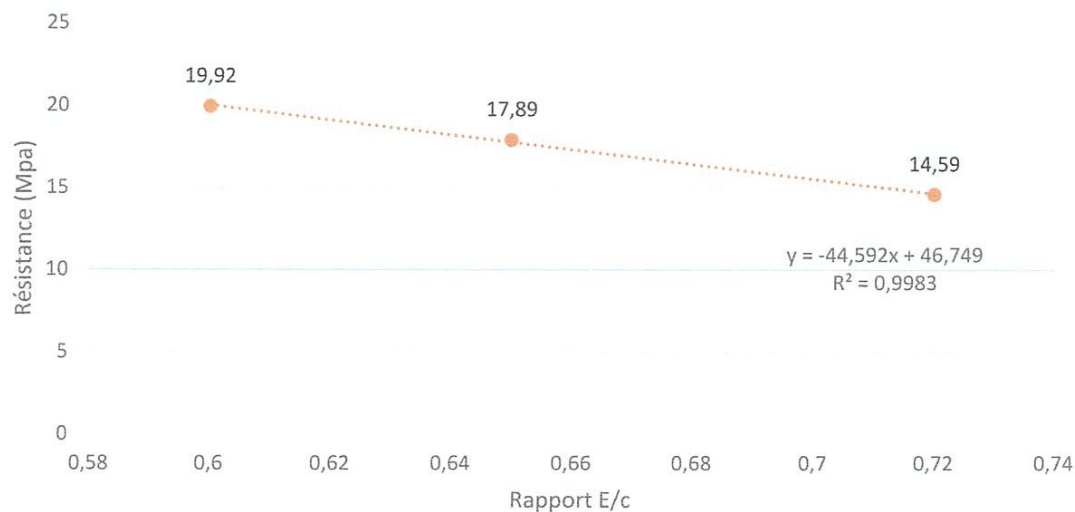


Figure III. 20 Résistance à 28 jours du béton avec déchets (10%) en fonction du rapport E/C

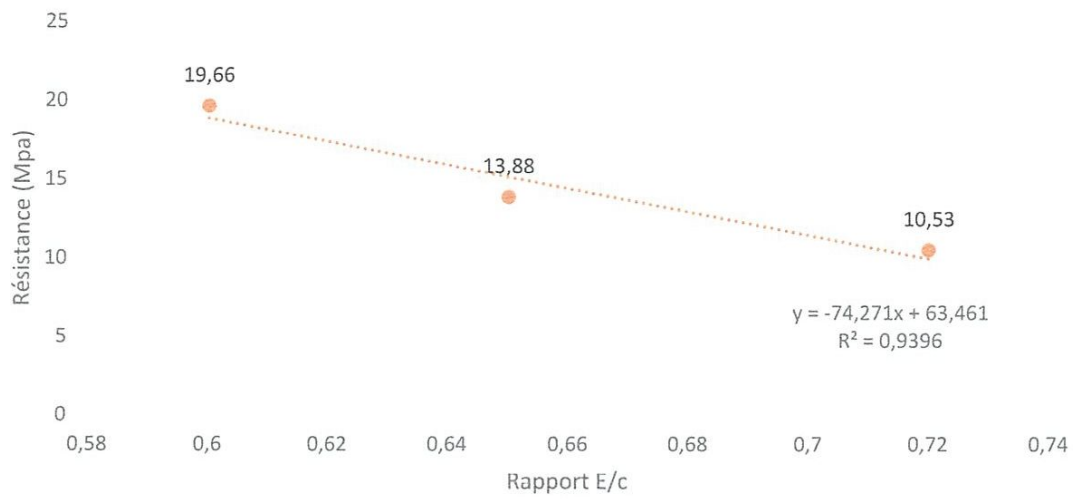


Figure III. 21 Résistance à 28 jours du béton avec déchets (20%) en fonction du rapport E/C

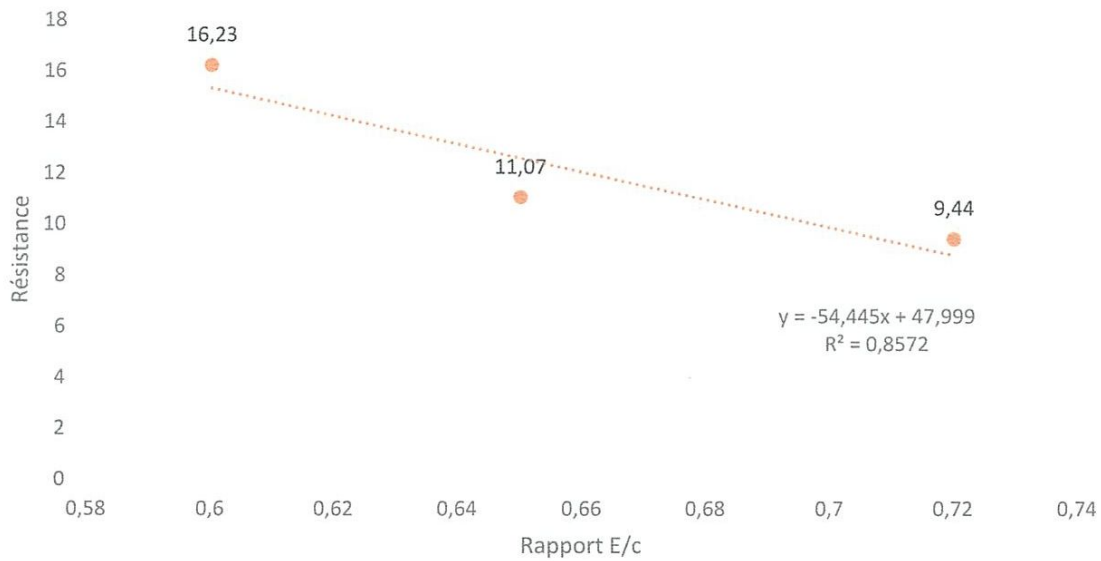


Figure III. 22 Résistance à 28 jours du béton avec déchets (30%) en fonction du rapport E/C

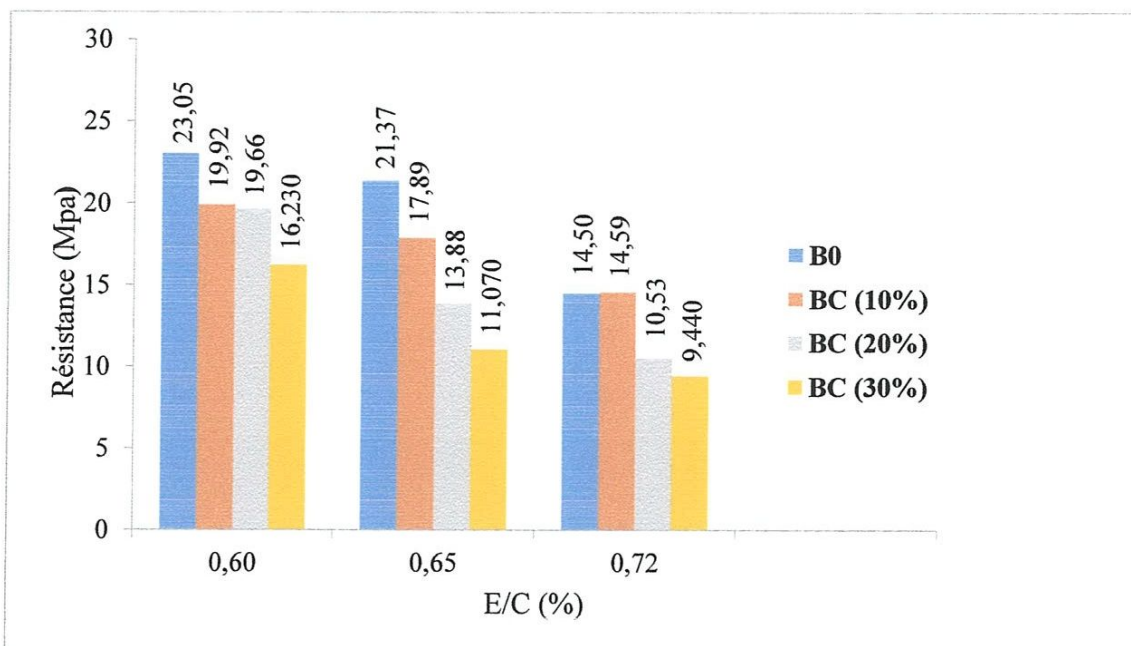


Figure III. 23 Résistance à 28 jours des différents bétons en fonction du rapport E/C

On remarque que l'évolution des résistances à 28 jours avec le rapport E/C est de même tendance que celles à 7 jours. L'augmentation du rapport E/C de 20% conduit à une perte de la résistance à 28 jours de 37 % pour le béton ordinaire et de 42 % pour le béton avec déchets.

3.1.1. Evolution de résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets :

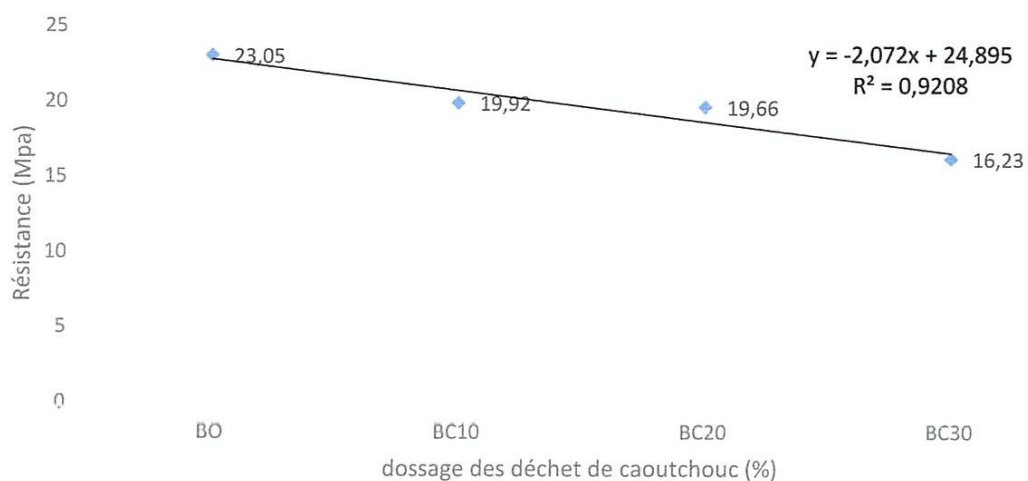


Figure III. 24 Résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets (E/C = 0,60)

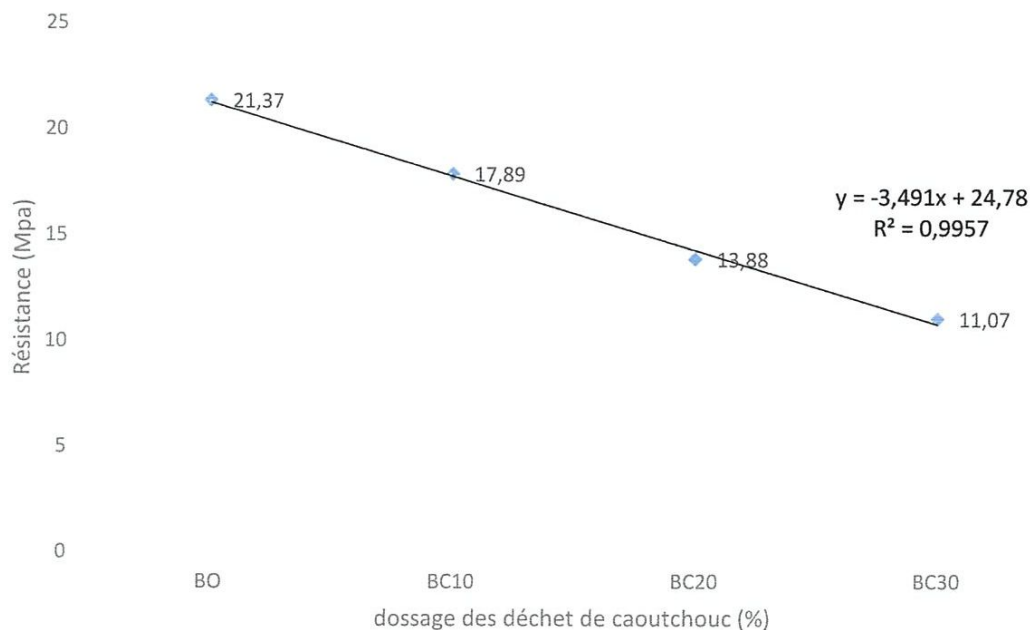


Figure III. 25 Résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets (E/C = 0,65)

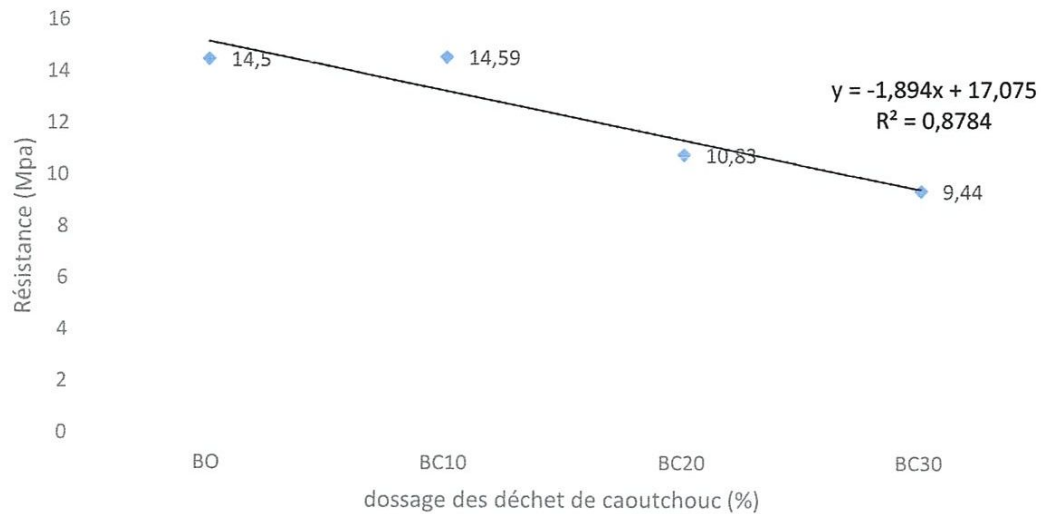


Figure III. 26 Résistances des bétons à 28 jours en fonction du taux de substitution de déchets (E/C = 0,72)

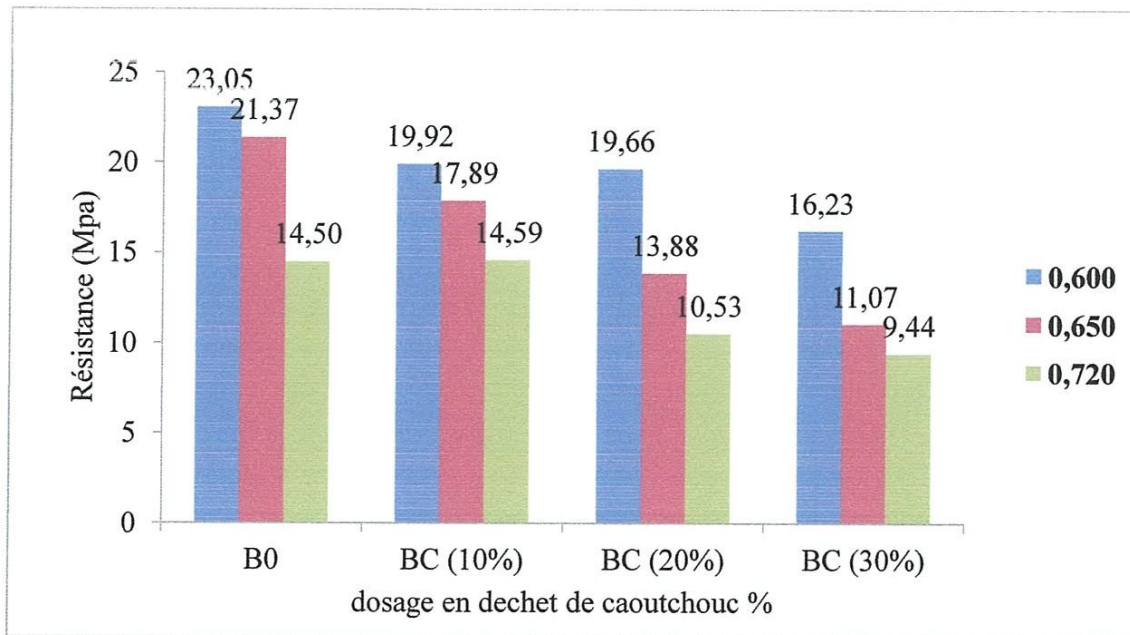


Figure III. 27 Résistance à 28 jours des différents bétons en fonction du taux de substitution des déchets

La substitution joue toujours un rôle négatif sur la résistance. La résistance la plus faible est celle obtenue avec 30% de substitution. Elle est de 30% pour le rapport E/C=0.6 et de 35% pour le rapport E/C=0.72.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les déchets constituent un réel problème mais plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Les granulés et les poudrettes de pneus usés sont parmi ces produits qui peuvent être intégrés dans la composition d'un béton.

L'étude expérimentale réalisée a permis la faisabilité de cette intégration. L'ouvrabilité de nos bétons a été évaluée à partir des essais d'affaissement. Le rapport E/C influence l'ouvrabilité de tous les bétons de manière linéaire et proportionnelle. Ces relations sont très similaires et le fait d'avoir introduit de la poudrette de caoutchouc n'a pas modifié cette relation.

Le taux de substitution influe peu l'évolution de l'affaissement. L'augmentation maximale est obtenue, identiquement pour les trois rapports de substitution avec un rapport E/C=0.65. Cette augmentation est de l'ordre de 73%. Pour les autres taux de substitution, on a des variations négligeables par rapport aux bétons ordinaires.

L'évolution des résistances à 7 jours en fonction du rapport E/C est conforme aux constatations connues. Les résistances évoluent de manière inversement proportionnelle avec le rapport E/C.

Le rapport E/C influence de manière négligeable la résistance du béton avec 30% de déchets.

La substitution du sable par du déchet des pneus usagés a un effet négatif sur la résistance à 7 jours. La perte de résistance maximale est celle obtenue avec 30 % de déchets, elle atteint plus de 50%. La plus faible perte (5 %) correspond à 10% de taux de substitution.

L'évolution des résistances à 28 jours avec le rapport E/C est de même tendance que celles à 7 jours. L'augmentation du rapport E/C de 20% conduit à une perte de la résistance à 28 jours de 37 % pour le béton ordinaire et de 42 % pour le béton avec déchets.

La substitution joue toujours un rôle négatif sur la résistance. La résistance à 28 jours la plus faible est celle obtenue avec 30% de substitution. Elle est de 30% pour le rapport E/C=0.6 et de 35% pour le rapport E/C=0.72.

En final, cette étude a montré la possibilité de substitué une partie du sable par de la poudrette de pneus usagés mais à des taux pas très élevés (10% par exemple) pour ne pas influencer négativement la résistance. Quant à l'ouvrabilité, elle est très peu influencée par le taux de substitution utilisés.

Références bibliographiques

- [1] : ABBACI M. A., 'Sensibilisation sur la culture HSE, Gestion des déchets', Institut Algérien du Pétrole, Formation : SONATRACH, ENAFOR HASSI MESSAOUD, Avril 2017.
- [2] : SAADANI S., 'Comportement des bétons à base de granulats recyclés', mémoire de magister, université MENTOURI Constantine, 2009.
- [3] : Ministère des Travaux Publics, 'Valorisation des déchets dans le domaine de travaux publics', journée scientifique, novembre 2009.
- [4] : BOURMATE N., 'Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, université de Constantine, 2004.
- [5] : BERDOUBI S., 'Etude et analyse des méthodes d'extraction des blocs de marbre condition, carrière de FIL-FILA(SEKIKDA), mémoire de fin d'études, université d'Annaba, 2009.
- [6] : RAMACHANDRAN V.S., 'Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du bétons, CBD-215-F, conseil national de recherche, Canada, juin 1981.
- [7] : BRESLIN V. T., SENTURK U., BERNDT C. C., 'Long-term engineering properties of recycled plastic lumber in pier construction resources', Conservation and recycling 23, 243-258, 2004.
- [8] : HANI A., 'Etude de comportement d'un béton hydraulique modifié (déchet des pneus)', mémoire de master, université KASDI MERBAH-Ouargla, 2016.
- [9] : KOMAR A., 'Matériaux et éléments de construction', Moscou, éditions 1978.
- [10] : BOUFEDAH A., 'influence de la granularité (classe granulaire 4/22,4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires', mémoire de magister, université de Constantine, 2011.
- [11] : CHERAIT Y., NAFA Z., 'Eléments de matériaux de constructions et essais', direction de la publication universitaire de Guelma, 2007.
- [12] : BOUDJEDRA F., 'Contribution à l'étude de la ségrégation des bétons', mémoire de mastère, université de Guelma, 2015.
- [13] : ABDI B., 'La durabilité des bétons Autoplaçant destinés à la réparation des infrastructures', mémoire de maitrise ès science appliquées, Sherbrooke (Québec) Canada, 2005.
- [14] : BOUCHOUK K., BOUAZIZ F., AOUADI S., 'Etude de l'effet des adjuvants sur les propriétés des bétons', mémoire de master, universitaire de Guelma, 2013.
- [15] : NEVILLE A. M : propriétés des bétons, éditions Eyrolles, paris 1983.

Netographie :

[Net 1] : La gestion des déchets.

www.fshbz.ch/dokumente/fshbz-f-betonzusatzmittel.pdf

Consulté le : 08/01/2017 14 :19.

[Net 2] : Repère : le recyclage.

www.LAFARGE.fr/le%20recyclage%20des%20dechets/Fiche-recyclage-Lafarge.pdf

Consulté le : 08/01/2017 13 :53.

[Net 3] : Valorisation des déchets industriels.

www.valorisation-des-déchets.fr/telecharger/CT-G11-35-42.pdf

Consulté le : 21/01/2017 14 :27.

[Net 4] : Guide de valorisation des déchets de construction et de démolition, Version 2009.

www.bruxellesenvironnement.be/prof-essionnels

Consulté le : 14/02/2017 18 :40.

[Net 5] : Annulée norme française.

<http://www.m.boutique.afnor.org/norme/p18-560/granulats-analyse-granulométrique-par-tamissage/article/86.2424/fa020820>

Consulté le : 16/04/2017 09 :21.

[Net 6] : Matériaux de construction.

<http://www.ensh.dz/files/cours/1011/matériaux%20de%20construction/chapitre-III-les-granulats.pdf>

Consulté le : 20/04/2017 11 :30.

[Net 7] : Granulats : mesure du coefficient d'aplatissement.

<http://www.m.boutique.afnor.org/norme/p18-561/granulats-mesure-du-coefficient-d-aplatissement /article/86.2425/fa020821>

Consulté le : 02/06/2017 14 :53.

[Net 8] : Granulats : mesures des masses volumiques.

<http://www.m.boutique.afnor.org/norme/p18-554/granulats-mesures-des-masses-volumiques-de-la-teneur-en-eau-des-gravillons/article/86.3432/fa021240>

Consulté le : 05/06/2017 05 :43.

[Net 9] : Masse volumique.

<http://www.proviteq.com/granulat-mesure- volumique.html>

Consulté le : 05/06/2017 05 :48.


[Net 10] : Granulats : essai de Los Angeles.

<http://www.m.boutique.afnor.org/norme/p18-573/granulats-essai-de-los-angeles/article/86.1908/fa0212405>

Consulté le: 05/06/2017 16:43.

Annexe I

Fiche technique du ciment CPJ. CEMII/A 42,5 (Hadjar soud . Skikda)

	شركة سكاكدا للإسمنت والمواد الإنشائية FICHE TECHNIQUE CIMENT		F03-01/1000
	Date : 31/05/ 2009	Version : 02	

CIMENT PORTLAND COMPOSE CPJ-CEMII/A 42,5

MARS 2011								
CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE			
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa		
MF 975°C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION		
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60			02 jours	≥ 12.50
SiO2	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250			07 jours	25 - 35
Al2O3	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours	42.5 - 52.5	
Fe2O3	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000	NA 234	FLEXION		
MgO	1 - 2	NA231					02 jours	3,0-4,0
K2O	0,3 - 0,6					07 jours	5,0-6,5	
Na2O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER µm/m	≤ 1000		28 jours	6,5-8,5	
SO3	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS				
CaOL	0,8 - 1,8	C3S	55 - 65	CLINKER	≥ 74			
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6			
		C3A	8 - 12	CALCAIRE	0			
		C4AF	9 - 13	LAITIER	≤ 20			

DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton, Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage)
- Chape (mortier de ciment).

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industriels) emploi obligatoire de ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.
- Travaux à la mère (emploi obligatoire de ciment PM pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5° C (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R)

STOCKAGE :

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

EMBALLAGE :

Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du