

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 : BECHIR OUSSAMA**

---

---

**Thème : ETUDE DE LA DURABILITE D'UN BETON A  
BASE DU GRANULAT RECYCLE**

---

---

**Sous la direction de : KECHKAR CHIRAZ**

---

**Juillet 2019**

---

## **Remerciement**

*Je tiens profondément à remercier tout d'abord ALLAH l'unique qui a permis à ce travail de voir la lumière. Je remercie infiniment mon encadreur pour son attention, ses conseils et sa précieuse aide.*

**« Kechkar Chiraz »**

*Pour avoir bien voulu encadré ce travail et pour tous ses conseils précieux. Je remercie également tous les enseignants du département de Génie civil ainsi que ceux du membre du jury et tous les professeurs qui ont participé à mon cursus (scolaires et universitaire). Pour cette occasion je tiens à remercier les ingénieurs du laboratoire de génie civil surtout. En fin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous mes amis pour leurs soutiens moral et matériel ...*

*Dédicace*

*A mes parents,*

*A ma sœur,*

*A mes amis,*

*A toute la famille Bechir*

## **RESUME**

---

Aujourd'hui, une grande partie de déchets, notamment les pneus hors usage, s'accumulent, constituant une source potentielle de problèmes environnementaux et économiques majeurs. Afin de mieux préserver l'environnement et face aux évolutions de la législation en vigueur, plusieurs actions de valorisation ont été menées, notamment dans le domaine des matériaux de construction.

Le présent travail a pour but de contribuer à l'étude des propriétés mécaniques et de la durabilité des bétons incorporés de granulats de caoutchouc. Pour atteindre cet objectif, nous avons envisagé l'incorporation dans le béton de quantités de granulats de caoutchouc suivant des pourcentages de substitutions volumiques différentes 10%, 20% et 40%. Une comparaison des résultats avec un béton de contrôle est établie à l'état frais et à l'état durci.

Les résultats obtenus confirment que la présence du caoutchouc dans le béton conduit à une chute des résistances mécaniques, augmente la porosité et la perméabilité à l'eau

---

**Mots clés :** déchet – Béton – granulats – caoutchouc – recyclage - durabilité,

## ملخص

---

تتراكم اليوم العديد من النفايات، وخاصة الإطارات المستعملة، مما يشكل مصدراً محتملاً لعدة مشاكل منها البيئية والاقتصادية. من أجل الحفاظ على البيئة بشكل أفضل وفي مواجهة التغييرات للتشريعات المعمول بها ، تم وضع العديد من إجراءات لإعادة استعمالها ، وخاصة في مجال مواد البناء

يهدف العمل المقدم إلى المساهمة في دراسة الخواص الميكانيكية والديمومة للخرسانة المضاف إليها حبيبات المطاط. لتحقيق هذا الهدف ، قمنا بإضافة كميات من حبيبات المطاط بنسب مئوية مختلفة و ذلك بنسبة 10 % و 20 % و 40 % في الخرسانة. تم قمنا بمقارنة النتائج مع خرسانة عادية و ذلك في الحالة السائلة وفي حالة تصلب.

تؤكد النتائج أن وجود المطاط في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض في الخصائص الميكانيكية ، ويزيد من المسامية ونفاذية المياه.

---

**الكلمات المفتاحية:** النفايات - الخرسانة - الحبيبات - المطاط - إعادة التدوير - الديمومة.

## **ABSTRACT**

---

Today, a large amount of waste, especially used tires, is accumulating, constituting a potential source of problems environmental and economic issues. In order to better preserve the environment and in the face of changes in the legislation in force, several recovery actions have been carried out, particularly in the field of building materials.

The present work aims to contribute to the study of the mechanical properties and the durability of built-in concrete of rubber granulates. To achieve this objective, we have considered the incorporation into concrete the quantities of rubber granules in different percentages of substitutions volume 10%, 20% and 40%. A comparison of the results with a control concrete is made in the fresh state and in the hardened state.

The results confirm that the presence of rubber in concrete leads to a fall in mechanical strength, increases porosity and water permeability.

---

**KEY WORD** waste – concrete – aggregates – rubber – recycling – durability.

# SOMMAIRE

Résume	i
ملخص	ii
Abstract	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Introduction générale	vii
I.1. Introduction	01
I.2. Béton hydraulique	01
I.2.1. Définition	01
I.2.2. Domaines d'Application Du Béton	01
I.2.3. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton	01
I.2.4. Constituants Des Bétons	02
I.2.4.1. La pate	02
I.2.4.2. Granulats	03
1) Les granulats naturels	04
2) Les Granulats Alluvionnaires	04
3) Les Granulats de Carrières	05
4) les granulats recyclés	05
5) Les granulats artificiels	06
6) Sous-Produits et Déchets de L'industrie	06
I.3. VALORISATION DES DECHETS PNEUMATIQUES	07
I.3.1. Définition du caoutchouc	08
A) I.3.2. Impact environnemental des déchets pneumatiques	09
B) I.3.3. Composition des pneus usagés	09
I.3.4. Valorisation des pneus usagés en Génie Civil	10
a) a. Le tapis de pneus anti vibration	10
b) b. La construction de récifs artificiels	11
c) c. Mur antibruit ACIAL (1992)	11
d) d. Le pneu sol	11
I.3.5. Filières de valorisation	11
a. Le rechapage	12
b. La valorisation énergétique	12

c. La valorisation sous forme de matières premières	12
I.3.6. Déchets pneumatiques broyés	12
a. I.3.7. Utilisations des pneus usagés en Algérie	14
b. I.3.8. Valorisation des déchets pneumatiques dans les bétons et les mortiers	14
c. I.3.8.1. Effets de G.C. sur les propriétés des bétons à l'état frais	15
d. I.3.8.2. Effets de G.C. sur les propriétés des bétons à l'état durci	16
I.4. CONCLUSION	18
II.1. Introduction	19
II.2. Les matériaux utilisés	19
II.3. Essais sur les granulats	20
II.3.1. Analyse Granulométrique	20
II.3.2. Masse Volumique	20
a) Masse volumique apparente	25
b) Masse volumique absolue	26
II.3.3. Le Coefficient d'Absorption d'Eau	27
II.3.4. Mesure de la propreté des granulats	28
II.3.5. Essai de dureté des graviers (coefficient los Angeles LA)	30
II.4. Ciment	30
II.5. Eau	31
II.6. Formulation du béton	31
II.6.1. Dosages des bétons	31
II.6.2. Confection des éprouvettes	32
II.6.3. Moulage et démoulage	33
II.7. Présentation des essais expérimentaux	34
II.7.1. Essai Sur Béton Frais	34
II.7.1.1. Mesure de la consistance	34
II.7.1.2. Masse volumique à l'état frais	35
II.7.1.3. Essai teneur en air occlus	36
II.7.2. Essais sur béton durci	37
II.7.2.1. Masse volumique à sec	37
II.7.2.2. Absorption par immersion totale	37
II.7.2.3. Essais destructif	38
a) Essai de compression	38

b) Essai de flexion	39
II.7.2.4. Durabilité	40
II.7.2.4.1. Porosité accessible à l'eau	40
II.7.2.5.2. Absorption d'eau par capillarité	40
II.7.2.4.3. Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)	41
II.8. CONCLUSION	42
III.1. Introduction	43
III.2. Résultats et interprétations	43
III.2.1. A l'état frais	43
a) Essai d'affaissement	43
b) Masse volumique à l'état frais	45
c) Teneur en air occlus	45
III.2.2. A l'état durci	46
III.2.2.1. Caractéristiques physiques	46
a) Masse volumique à sec	46
b) Absorption par immersion totale	47
III.2.2.2. Caractéristiques mécaniques	48
a) Résistance à la compression	48
b) Résistance à la traction par flexion	50
III.2.2.3. Durabilité	51
1) Porosité accessible à l'eau	51
2) Absorption d'eau par capillarité	52
3) Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)	54
III.3. Conclusion	56
Conclusion générale	57
Bibliographique	59



---

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Photos des différents types de granulats	04
FigureI.2 : fumée toxique qui se dégage en brulant des pneus	09
FigureI.3 : Aspect des déchets de caoutchouc	13
Figure I.4 - copeaux de pneus déchiquetés	13
Figure I.5 : Chantier expérimental Pneu sol à Bou-Smail	14
Figure I.6 : Influence de G.C. sur l'affaissement	15
Figure I.7 : Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C.	16
FigureI.8 : effet du caoutchouc sur la résistance à la compression	16
Figure I.9 : effet du caoutchouc sur la résistance à la flexion	17
Figure I.10 : Evolution de la perméabilité à l'oxygène en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C	18
FigureII.1 : Les matériaux utilisés	20
FigureII.2 : Tamiseuse utilisée Insérer	21
FigureII.3 : courbe granulométrique du sable et des granulats de gravier 5/15	23
FigureII.4 : courbe granulométrique du sable et des granulats de caoutchouc	24
FigureII.5 : La masse volumique apparente	25
FigureII.6 : la masse volumique absolue	26
FigureII.7 : Equivalent de sable	29
FigureII.8 : appareil Los Angeles	30
FigureII.9 : Bétonnière utilisée	33
FigureII.10 : La mise en place du béton et la conservation des éprouvettes avant le démoulage	34
FigureII.11 : l'essai de mesure de consistance du béton frais	35
FigureII.12 : la masse volumique à l'état frais	36
FigureII.13 : Essai teneur en air occlus.	36
FigureII.14 : pesée hydrostatique.	37
FigureII.15 : l'essai de compression a l'état durci	38
FigureII.16 : l'essai de flexion a l'état durci.	39
FigureII.17 : dispositif essai de capillarité	41
Figure II.18 : Perméabilimètre à l'eau	42

---

Figure III.1 : valeurs d'affaissement pour les 04 formulations du béton.	43
Figure III.2 : Essai d'affaissement du béton BC40%.	44
Figure III.3 : distribution des particules de caoutchouc dans une éprouvette BC40% Écraser par fendage.	44
Figure III.4 : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.	45
Figure III.5 : valeurs de l'air occlus pour les 04 formulations du béton.	46
Figure III.6 : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton	47
Figure III.7 : valeurs de l'absorption par immersion totale pour les 04 formulations du béton	48
Figure III.8 : Essai d'écrasement	48
Figure III.9 : variation de la résistance à la compression en fonction du temps pour les 04 formulations du béton	49
. Figure III.10 : Essai de la traction par flexion.	50
Figure III.11 : variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du temps pour les 04 formulations du béton	51
Figure III.12 : valeurs de la porosité accessible à l'eau pour les 04 formulations du béton	52
Figure III.13 : essai absorption d'eau par capillarité	52
Figure III.14 : essai absorption d'eau par capillarité.	53
Figure III.15 : Perméabilité à l'eau.	54
Figure III.16 Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du type du béton	54

---

---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Substances contenues dans les pneus usagés (de voiture dans cet exemple	10
Tableau I.2 : Composition chimique des pneus usagés.	10
Tableau I.3 : Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment – caoutchouc	17
Tableau II.1 : Analyse granulométrique du gravier de la classe 5/15	22
Tableau II.2 : Analyse granulométrique du gravier de la classe 3/8	22
Tableau II.3 : Analyse granulométrique du sable.	23
Tableau II.4 : Analyse granulométrique du caoutchouc	24
Tableau II.5 : masses volumiques.	27
Tableau II.6 : Le Coefficient d'Absorption d'Eau	27
Tableau II.7 : la propreté des graviers.	28
Tableau II.8 : Résultat de l'équivalent de sable.	29
Tableau II.9 : Résultat de l'essai de Los Angeles	30
Tableau II.10 : Dosages Des Bétons.	32
Tableau III.1 : valeurs d'affaissement pour les 04 formulations du béton.	43
Tableau III.2 : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton	45
Tableau III.3 : valeurs de l'air occlus pour les 04 formulations du béton.	46
Tableau III.4 : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.	47
Tableau III.5 : valeurs de l'absorption par immersion totale pour les 04 formulations du béton	47
Tableau III.6 : valeurs de Résistance à la compression pour les 04 formulations du béton.	49
Tableau III.7 : valeurs de Résistance à la traction par flexion pour les 04 formulations du béton.	50
Tableau III.8 : valeurs de la Porosité accessible à l'eau pour les 04 formulations du béton.	51

---

Tableau III.9 : Valeurs des coefficients du capillarité en fonction du temps pour les quatre formulations	53
Tableau III.10 : Valeurs de l'essai de perméabilité à l'eau.	54

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour modifier ses propriétés. C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics. Pour améliorer sa résistance, des chercheurs ont, successivement mis au point des nouveaux bétons comme les bétons à hautes performances (BHP), les bétons à très hautes performances (BTHP) et les bétons à poudres réactives (BRP). De même dans l'amélioration de la maniabilité des chercheurs de l'université de Tokyo dans les années 1980 ont mis au point des bétons fluides qui peuvent être mis en œuvre sans vibration. Il s'agit des bétons autoplaçants (BAP) utilisés pour les coulages d'éléments verticaux (poteaux, voile) et des bétons autonivelants (BAN) destinés aux éléments horizontaux (dalles de compression, dallages, chapes flottantes).

Cette pression sur la ressource béton occasionne une exploitation intensive des carrières de granulats (concassées de roche) qui a entraîné à la longue un épuisement de cette ressource naturelle et des problèmes environnementaux.

De même en Algérie, la totalité de la production du béton dans le bâtiment et les travaux publics est composée seulement de granulats d'origine naturelle. Les contraintes liées à la croissance de la demande ces dernières années pour ce type de granulats, nécessitent le recours à d'autres alternatives que les granulats naturels.

Les exigences en termes de protection de l'environnement de plus en plus contraignantes ainsi que la révision des repères économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et la valorisation de sous-produits industriels constituent désormais un souci qui s'impose de plus en plus à l'homme.

L'emploi des déchets et des sous-produits dans le secteur du bâtiment, répond simultanément au souci d'économie des ressources naturelles en granulats ainsi qu'à l'obligation de limiter la mise en décharge aux seuls déchets ultimes. Parmi ces déchets, on distingue les déchets de caoutchouc, qui représentent un déchet valorisable important tant en volume qu'en masse, estimée à 45,65 milliers de tonnes par an en ALGERIE

---

Dans ce travail on a étudié l'effet de l'incorporation des granulats en caoutchouc sur les caractéristiques mécanique, physique et durabilité des bétons.

Ce mémoire est décomposé en trois chapitres, le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les bétons et leurs composants on se basant sur les différents types de granulats ainsi les déchets pneumatiques.

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des matériaux employé pour la confection des mélanges, ainsi que les différents essais réalisés.

Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré pour la présentation et la discussion des résultats des essais réalisés.

Finalement, on termine ce travail par des conclusions générales.

**CHAPITRE I :**  
**RECHERCHE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I.1. INTRODUCTION**

De nos jours, le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction le plus utilisé dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécaniques qu'il assure, ont légitimés son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers. Le béton est utilisé dans tous types de construction : bâtiments, ouvrages d'art, monuments et éventuellement dans les éléments de décoration...Il permet également la réalisation de produits de préfabrication, d'éléments de structures et autres ; tels que : tuyaux, blocs, poutrelles, pavés, planchers, cloisons, escaliers [1].

## **I.2. BÉTON HYDRAULIQUE**

### **I.2.1. Définition**

Le béton est une roche artificielle, composite fabriqué à partir de mélange de granulats gros (graviers) et fins (sables), Ils constituent le squelette du béton liés entre eux par un liant. Le liant peut être « hydraulique » ce liant est appelé « Ciment » formé une pâte de ciment (ciment + eau). La pâte de ciment, élément actif du béton enrobe les granulats et joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci [02].

### **I.2.2. Domaines d'Application Du Béton**

Le béton se trouve généralement armé ou non, précontraint, désigné en abrégé par les lettres **NA** (non armé), **BA** (béton armé) ou **BP** (béton précontraint). Le béton comme matériau de construction est actuellement utilisé dans divers domaines d'application et avec divers procédés tels que : les bâtiments, travaux publics, les ponts, les tunnels, les routes rigides,... [02].

### **I.2.3. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton**

#### **✓ Les avantages de béton :**

- Se moule, épouse toutes les formes, des plus massives aux plus délicates.
- Peu coûteux, facile à fabriquer, peu d'entretien.
- Devient solide comme de la pierre.

- Résiste bien au feu et aux actions mécaniques habituelles.
- Associé à l'acier, il offre des possibilités de constructions très vastes

✓ **Les inconvénients de béton :**

- Faible résistance à la traction.
- Faible isolation thermique.
- Coffrages nécessaires pour sa mise en œuvre.
- Sa destruction entraîne un cout élevé (en cas de démolition) et n'est pas ou peu recyclable[03].

## **I.2.4. Constituants Des Bétons**

### **I.2.4.1. La pate**

✓ **Ciment :**

Le choix du ciment en fonction de la destination du béton de l'ouvrage est très important. Le type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs) et de la nature des autre composants [03].

✓ **Eau de gâchage :**

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre. Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière :

- Trop d'eau Mélange trop mouillé forte ouvrabilité, entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.
- Peu d'eau Mélange trop sec Peu Ouvrable.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C du mélange, ce dernier varie entre 0,4 et 0,6. Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF EN 1008 [04].

### **I.2.4.2. Granulats :**

#### **✓ Généralités sur les granulats utilisés dans le béton :**

La construction de l'habitat et l'aménagement de l'environnement font appel à trois grands secteurs d'activités, qui sont les industries de carrière et matériaux de construction, le bâtiment et les travaux publics. Tous les travaux liés à ces secteurs d'activités utilisent des matières premières naturelles en tant que morceaux de roches ou alluvionnaires (sous forme de sables et graviers), soient obtenues artificiellement par traitement de roches naturelles ou des déchets industriels et parfois l'utilisation des déchets inertes. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. Elles sont destinées à être mises en oeuvre sans aucun apport de liant pour les solidariser (ballast des voies de chemin de fer, couche de fondation des routes, remblais...) soient agglomérées à l'aide d'un liant (ciment pour le béton, bitume pour les enrobés) [05].

#### **✓ Définition :**

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme XP P 18-540 [2]. Un granulats est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, destiné notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais [05].

#### **✓ Les différents types de granulats :**

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

- «Naturels», lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions);
- «Artificiels», lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais;
- «Recyclés», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés[06].

### 1) Les granulats naturels :

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

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

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires [06].



Figure I.1 : Photos des différents types de granulats

### 2) Les Granulats Alluvionnaires :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement). Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [07].

### 3) Les Granulats de Carrières:

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [08]. Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [9].

### 4) les granulats recyclés : nouvelles débouchées :

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

- a) **Les déchets de chantier :** Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [10]. Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron.
- b) **Les déchets de démolition :** Les déchets de démolition sont une sous catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque 75 % en poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton [11].

### 5) Les granulats artificiels :

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés.

### 6) Sous-Produits et Déchets de L'industrie :

- a) **Le Laitier des hauts fourneaux** : Le laitier de haut fourneau est le principal sous-produit de l'industrie sidérurgique, il est constitué de toutes les parties minérales contenues dans la charge du haut fourneau (minerai et ajouts) qui subsistent après l'extraction du fer [08].
- b) **Le laitier cristallisé concassé** : Il est obtenu par refroidissement lent à l'air libre, en fosse, il a l'aspect et les propriétés d'une roche magmatique. Il peut être plus ou moins poreux, plus le refroidissement est lent et en couches minces, plus le laitier est cristallisé et compact [12]. Il possède une masse volumique apparente  $>1250 \text{ Kg/cm}^3$ , de composition chimique constituée essentiellement de chaux, magnésie, silice et alumine.
- c) **Le laitier expansé ou bouleté** : Le laitier de coulée subit un traitement spécial : une puissante injection d'eau et une action mécanique. Les particules de laitiers sont alors projetées à plusieurs mètres qui subissent une trempe à l'air pendant la durée de leurs trajets [13]. Le laitier expansé a une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950  $\text{kg/m}^3$  [6][08].
- d) **Les Scories d'aciérie** : Ces laitiers sont des sous produits de la transformation de la fonte hématite en acier. Traité comme les laitiers de haut fourneau, ce matériau est handicapé par une déferrisation insuffisante qui conduit à une masse volumique élevée d'environ 3300 $\text{kg/m}^3$ .
- e) **Les Schistes houillers** : L'industrie minière en général et les houillères en particulier produisent des quantités considérables de matériaux stériles. Ces déchets trouvent des applications importantes dans des terrassements routiers comme granulats.
- f) **Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement** : Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs

pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires [12].

**g) Granulats allégés par expansion ou frittage :** Ces granulats ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé, leurs masses volumiques varient entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité. Ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique [08].

**h) pneus usagés :** Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limitée ainsi qu'une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due au retrait. A titre d'exemple, les dallages, les chaussées et plus généralement les éléments mis en place en grande surface se fissurent sous l'effet du retrait. Ainsi, l'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait. Néanmoins, la résistance en compression est très faible ce qui limite aussi les applications. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité [14].

### I.3. VALORISATION DES DECHETS PNEUMATIQUES

Le stockage et l'élimination des pneumatiques usagés sont devenus des préoccupations graves pour l'environnement à travers le monde. Des centaines de millions de pneus hors d'usage, sont générés et cumulés dans les États-Unis et de nombreux autres pays à travers le monde, chaque année.

Selon une étude statistique estimative du gisement des Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) publiée en 2011, la quantité générée annuellement en Algérie est de l'ordre de 1439514 unités, soit 25918 tonnes par an (3500000 véhicules en 2007). Cette quantité évoluera à la hausse à cause de l'augmentation du parc automobile Algérien qui est estimé à

8,4 millions de véhicules, d'après les déclarations du Ministre du Transport en septembre 2016 au journal El Moudjahid. [15]

Les filières classiques de valorisation des pneus usagés qui nécessitent souvent une technologie avancée, sont généralement concentrées dans les pays riches. Le développement de nouvelles filières de valorisation de pneus usagés, reste cependant toujours en grande demande partout dans le monde.

Il y a quatre origines de déchets pneumatiques être signalées [16]

- Les déchets de caoutchouc industriel
- Les déchets de fabrication de pneumatique.
- Les pneumatiques usagés
- Les déchets de rechapage.

### **I.3.1. Définition du caoutchouc :**

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 caoutchouc (bois qui pleure) et rappelle ainsi l'origine du caoutchouc naturel, précurseur des élastomères d'aujourd'hui .Le caoutchouc à l'état naturel, se présente sous la forme d'une suspension colloïdale de latex secrétée par les plantes à caoutchouc. Les plus importantes de ces plantes sont l'Hévéa basiliens, arbre de la famille des euphorbiacées et d'autre espèces du même genre.

Les caoutchoucs synthétiques sont obtenus par polymérisation (création de macromolécules à partir de molécules de base) et par transformation physiques en présence de catalyseurs.

Les caoutchoucs possèdent de très nombreuses propriétés .Ils sont notamment élastiques, étanches et antivibratoires. La combinaison de ces trois propriétés leur assure un spectre d'utilisation extrêmement large. [17]

### I.3.2. Impact environnemental des déchets pneumatiques :

La priorité de l'homme pour la protection de son environnement devant l'agressivité de l'effet de serre est un engagement important pour les générations futures, puisque il est considéré comme une source importante d'alimentation des différents aspects de pollution.

Malgré tous les inconvénients que les pneumatiques usagés possèdent, ils ne sont pas catégorisés comme déchets toxiques ou dangereux, car ils ne sont pas biodégradables, mais sont nuisibles pour l'environnement et santé en cas d'incendie.

Ces derniers une fois bruler, dégagent des fumées hautement dangereuses, par sa teneur en gaz toxique sont composés par des hydrocarbures chlorés et des pléromatiques et des dioxines causant ainsi chaque année des maladies et des allergies tel que l'allergie cutanée. Ils produisent aussi une vapeur toxique (possédant des composants de silice de carbone). Les épaisses fumées se répandant dans l'atmosphère en cas d'incendie peuvent causer beaucoup de maladie respiratoire. [18]



**Figure I.2 .** fumée toxique qui se dégage en brulant des pneus.

### I.3.3. Composition des pneus usagés :

Les pneus usagés se composent essentiellement de caoutchouc synthétique ou naturel, de noire de carbone et d'oxyde de silicium, ainsi que d'acier et de tissu (Tableau 1). Les additifs qu'ils recèlent, tels que Zinc, plomb ou soufre (Tableau 02), revêtent une importance cruciale lorsqu'il s'agit d'apprécier l'impact d'une filière de valorisation sur l'environnement. Selon l'usage qui en est fait, les produits recyclés ou le mode de traitement risquent d'être incompatibles avec l'environnement, du fait de ces polluants. Il est donc opportun que les fabricants de pneus minimisent à titre préventif la teneur des additifs polluants dans leurs

produits. On évite ainsi que la valorisation ultérieure des pneus usagés provoque des atteintes indésirables à l'environnement. [16].

Substance	Proportion pondérale [%]
Hydrocarbures polymérisés (caoutchouc synthétique et ou naturel)	47,0
Noire de carbone	21,5
Acier	16,5
Tissu	5,5
Oxyde de zinc	1,0
Soufre	1,0
Autres	7,5
Total	100

**Tableau I.1** - substances contenues dans les pneus usagés (de voiture dans cet exemple)

Elément	Teneur
Carbone	Environ 70 %
Fer	16 %
Hydrogène	7 %
Oxygène	4 %
Oxyde de zinc	1 %
Soufre	1 %
Azote	0,5 %
Acide stéarique	0,3 %
Halogène	0,1 %
Liaisons cuprifères	200 mg/kg
Cadmium	10 mg/kg
Chrome	90 mg/kg
Nickel	80 mg /kg
plomb	50 mg /kg

**Tableau I.2** . composition chimique des pneus usagés.

#### I.3.4. Valorisation des pneus usagés en Génie Civil :

##### a- Le tapis de pneus anti vibration :

Le tapis de pneus, composé de deux lits croisés de bandes de roulement de pneumatiques, est intercale entre le ballast et la couche de forme (ou pose sur les tabliers des ponts ferroviaires)

pour atténuer les vibrations provoquées par diverses machines, les trains les tramways, les rames du métro, .... Etc.

#### **b- La construction de récifs artificiels :**

Immergés à des profondeurs de dix ou vingt mètres, assemblés et lestés à l'aide de blocs de ciment, les pneus peuvent former des récifs artificiels constituant des zones de calme pour la faune marine. Le Japon et les Etats-Unis ont développé une véritable industrie du récif artificiel ; par exemple, en Caroline du Nord, plus de 500,000 pneumatiques ont été immergés entre 1974 et 1977. En France, cinq récifs artificiels ont été construits à Palavas – les -Flots, à Langrune-SurMer, à Arcachon-Sur-Mer, à Golfe-Juan et à Port-la-Nouvelle.

#### **c- Mur antibruit ACIAL (1992)**

L'ingénieur R.Beyler a proposé un mur antibruit dont la structure absorbante est réalisée avec des pneus usagés enfermés dans un caisson métallique dont une face est perforée de trous. Les essais effectués en 1992 selon les normes AFNOR S 31089 ont donné des résultats supérieurs aux valeurs maximales fixées dans la norme, ce qui classe ce mur antibruit parmi l'un des plus intéressants.

#### **d- Le pneu sol)**

Classé comme une valorisation originale, le pneu sol est un matériau inventé au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et constitué de pneus entiers ou d'éléments et sols naturels ou artificiels ou de déchets. Depuis 1974, plus de deux cent cinquante ouvrages en pneu sol ont été construits en France et dans d'autres pays comme l'Algérie, les Etats-Unis, la Jordanie ou le Brésil, etc.

#### **I.3.5. Filières de valorisation :**

Le cheminement des pneus usagés est organisé comme suit : Après le démontage des pneus usagés ; ils sont stockés par les garagistes puis collectés par les collecteurs qui trient les pneus pour sélectionner les pneus pouvant être réutilisés ou faire l'objet d'un rechapage .Les pneus usagés non réutilisables sont , soit stockés entiers ou déchiquetés ou broyés , afin de les livrer aux vaporisateurs .La valorisation des pneus usagés , peut se présenter sous l'une des formes suivantes : [19]

**a. Le rechapage**

Permettant d'allonger considérablement la vie du pneu, le rechapage est la première solution de recyclage. Cette technique consiste à changer les bandes de roulement des pneus usagés, en les remplaçant par des bandes de roulement neuves. Cette technique a pour cible les pneumatiques usagés dont les carcasses ont gardé intacte l'ensemble de leurs qualités intrinsèques et notamment leurs durances. Cette activité génère à son tour des déchets, dont la poudre de caoutchouc.

**b. La valorisation énergétique :**

Le pneumatique, de par son origine polymérique, a un excellent pouvoir calorifique (3 tonnes de pneus = 2 tonnes de fuel).

**c. La valorisation sous forme de matières premières :**

Les pneumatiques usagés peuvent être broyés en poudrettes ou en granulés de caoutchouc. Ces produits sont utilisés en combinaison avec d'autres matériaux pour diverses applications.

**I.3.6. Déchets pneumatiques broyés :****➤ Poudrettes :**

Il s'agit de particules de caoutchouc dont les dimensions sont inférieures à 2 mm. Son coût d'obtention dépend de sa finesse, de son origine chimique et de l'absence ou non de corps étrangers. Les poudrettes sont utilisées comme charges dans des mélanges servant à produire des pièces, ne subissant pas de contraintes mécaniques ou dynamiques élevées. Comme exemple d'utilisation, on a la fabrication de bandages et de roues pleines (caddie, tondeuses, brouettes ...), la modification des revêtements routiers (diminution du bruit et de l'aquaplaning du fait d'un drainage en surface) ...etc.



Figure I.3. Aspect des déchets de caoutchouc. [20]

➤ **Granulés :**

Il s'agit de particules de caoutchouc d'une taille supérieure à celle des poudrettes. Les granulés peuvent être agglomérés par des résines, colorés ou non, et permettent, par moulage, de réaliser facilement des feuilles ou des plaques, comme exemple d'utilisation, on a aires de jeux, les pavés antidérapants, les revêtements pour terrains de sport (surfaces souples, diminution des nuisances sonores ....)

D'autres types de valorisation de matière, par transformation chimique, sont possibles, telle que la mécaniques), ou la Pyrolyse –Thermolyse.

Les produits issus de cette décomposition, sont des huiles combustibles lourdes et légères, du carbone ... etc. Le développement industriel de ces types de valorisation, est cependant freiné par le coût de mise en œuvre.



Figure I.4.- copeaux de pneus déchiquetés. [21]

### I.3.7. Utilisations des pneus usagés en Algérie :

Le gisement Algérien de pneumatiques usagés est important ; il est de l'ordre pour les véhicules poids lourds de 200000 tonnes /an (19. Millions de pneus). Mais les quantités valorisées sont très limitées, nous notons quelque type d'utilisation :

- Utilisées en agriculture pour renforcer les petits barrages et comme Siège dans les jardins traditionnels.
  - Applications de résidus de copeaux de pneus en structure sous chaussée.
- Pour la Stabilité d'un talus.
- Rechapage pneus usagés à El Eulma.
- Utilisation pour couvrir les conducteurs électriques.
- Pneu sol, déjà utilisé dernièrement à Alger par une société Italienne.
- Stabilité d'un glissement de terrain.



**Figure I.5.**Chantier expérimental Pneusol à Bou-Smail[19]

### I.3.8. Valorisation des déchets pneumatiques dans les bétons et les mortiers :

La possibilité de valorisation des déchets pneumatiques dans le béton sous forme de granulats a été l'objet de nombreuses recherches expérimentales. Ces recherches ont eu pour finalité que l'incorporation des déchets pneumatiques dans les bétons effectuent leurs propriétés aussi bien à l'état frais que à l'état durci.

### I.3.8.1. Effets de G.C. sur les propriétés des bétons à l'état frais

#### ➤ Ouvrabilité

Pour évaluer la rhéologie à l'état frais du béton, dans la pratique, on se base souvent sur des essais d'ouvrabilité dont le résultat est quantifié par l'affaissement ou par l'étalement dans le cas du béton auto-plaçant.

D'après L'étude réalisée par Khaloo et al. [22]. le béton incorporant des G.C. à une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition. Néanmoins, leurs résultats montrent que la procédure ordinaire pour évaluer l'affaissement n'est pas appropriée à ce composite cimentaire. Ils ont donc suggéré qu'il fallait chercher d'autres méthodes pour mesurer correctement l'affaissement du béton incorporant des granulats en caoutchouc.

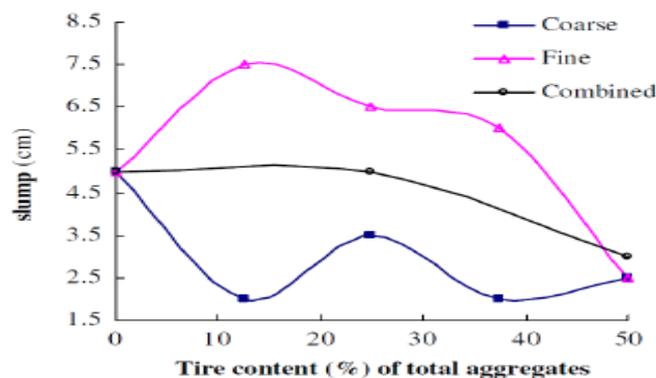


Figure I.6. : Influence de G.C. sur l'affaissement [22].

#### ➤ Masse volumique

La masse volumique d'un béton dépend de sa composition en particulier de la densité des granulats utilisés. Le béton incorporant des G.C. en substitution des granulats naturels a naturellement une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire.

#### ➤ Teneur en air

Concernant la teneur en air occlus, Khatib et al. ont noté qu'elle augmente avec le volume de caoutchouc. C'est ce qui est illustré par la Figure I-8 où le groupe A correspond à un béton pour lequel le sable a été remplacé par des G.C. fins, le gravier a été remplacé par de gros G.C. dans le cas du groupe B tandis qu'ils ont substitué le sable et le gravier par des G.C. fins

et gros dans le cas du groupe C. Ces auteurs ont observé que la teneur en air occlus du groupe B est inférieure à celle du groupe A lorsque le volume de caoutchouc dépasse 30% du volume total des granulats. Cette diminution peut être expliquée par la compacité plus élevée pour le groupe B à même volume de G.C.

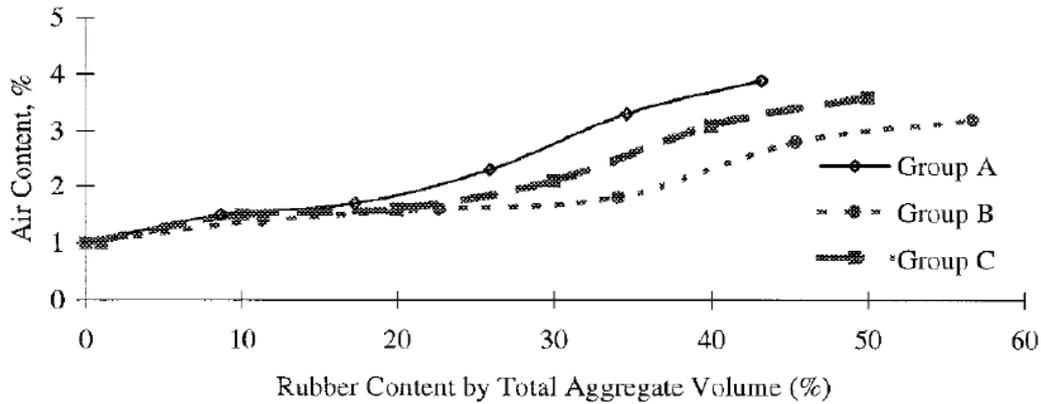


Figure I.7. Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C.

### I.3.8.2. Effets de G.C. sur les propriétés des bétons à l'état durci

#### ➤ Caractéristiques mécaniques

Plusieurs recherches sont réalisées pour étudier les caractéristiques mécaniques, les principales conclusions tirées à parti de ces études c'est que l'incorporation des particules des caoutchoucs diminue la densité et les paramètres de résistance du béton et augmenter la ductilité de ces matériaux. (Figure 8, 9)

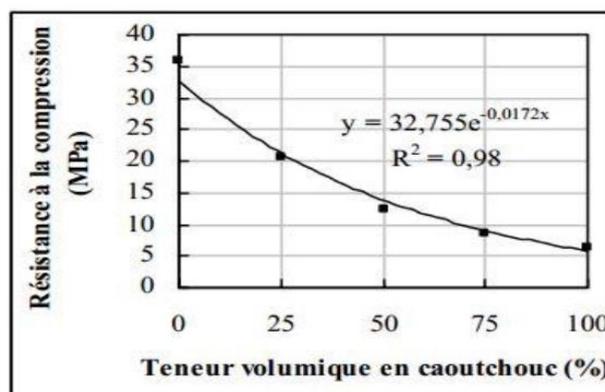


Figure I.8. effet du caoutchouc sur la résistance à la compression. [20]

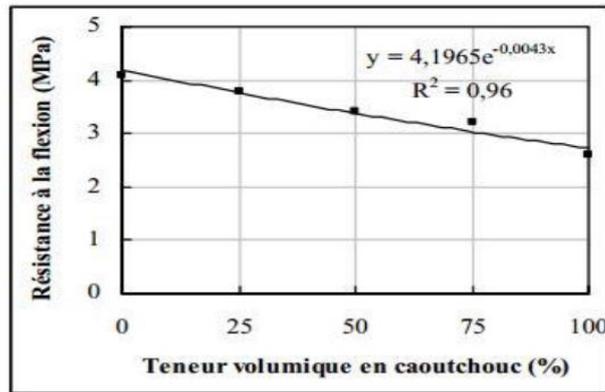


Figure I.9 effet du caoutchouc sur la résistance à la flexion. [20]

### ➤ Perméabilité

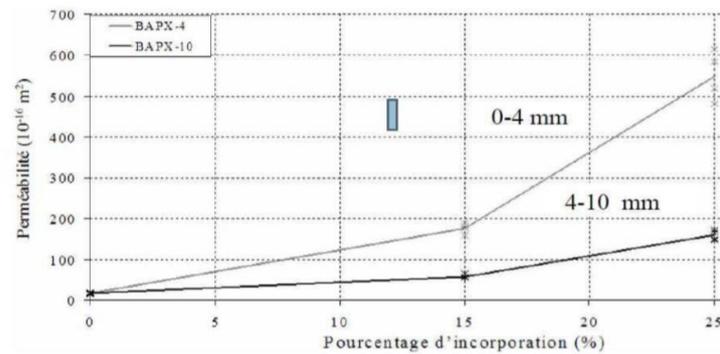
Pour certains auteurs, dont les résultats sont présentés dans le tableau 2.8, le coefficient de perméabilité à l'air diminue avec l'augmentation du taux de G.C. alors que la porosité augmente. Ils justifient ces constatations a priori contradictoires par le fait que le réseau poreux du composite incorporant des granulats en caoutchouc est plus discontinu. Cette conclusion de [23],

Volume du G.C (%)	Coefficient de perméabilité à l'air ( $10^{-17} \text{ m}^2$ )		
	CRAC		ERAC
0		12,56	
10	10,25	-	9,85
20	4,38	-	2,95
30	3,24	-	2,23
40	2,36	-	1,74

Tableau I.3. Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment - caoutchouc [24].

Toujours au sujet de la perméabilité au gaz et comme le montre la figure 2.15, Garros [25], qui a travaillé sur les propriétés des BAP incorporant des G.C. en arrive à une conclusion opposée à celle de Benazzouk et al., la perméabilité à l'oxygène du BAP augmente avec le taux d'incorporation en G.C.

De plus, à même taux d'incorporation, ce travail montre qu'avec des granulats en caoutchouc de plus petites dimensions (0-4 mm dit BAPX-4) cette perméabilité est plus élevée que celle enregistrée avec des grains de caoutchouc plus gros (4-10 mm dit BAPX-10).



**Figure I.10.** Evolution de la perméabilité à l'oxygène en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C [25].

#### I.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté la problématique des déchets pneumatiques, les techniques de valorisation (rechapage, valorisation énergétique, la technique des pneusol et la valorisation sous forme de poudrettes ou granulats dans les matériaux à base cimentaire).

L'idée de la valorisation des pneumatiques usagés constitue actuellement une priorité très motivante sur le plan environnemental qu'économique. En effet le pneu usagé est un déchet encombrant, mais qui peut devenir très utiles, en conséquence le Génie Civil offre de nombreuses possibilités d'utilisation des pneumatiques usagés, en les valorisant en matériau de construction aux propriétés originales et très utiles.

**CHAPITRE II :**  
**CARACERISATION**  
**DES MATERIAUX**  
**UTILISES ET**  
**METHODES**  
**EXPERIMENTALES**

## II.1. INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées [26].

Les points précédents doivent être donc clarifiés avant de présenter les résultats obtenus.

Pour cela, ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons, à l'état frais et durci.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et les essais durabilité des bétons sont réalisés dans le Laboratoire pédagogique de l'université 08 Mai 1945 - Guelma -, tandis que la caractérisation mécanique des matériaux ainsi les essais mécaniques sur bétons sont effectués dans le Laboratoire de génie civil et d'hydraulique de l'université de Guelma.

## II.2. LES MATERIAUX UTILISÉS

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Guelma. Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Un sable (0/3) roulé de la région de Tébessa
- ✓ Un gravier (3/8) de carrière d'EL Fedjoudj
- ✓ Un gravier (8/15) de carrière de Héliopolis
- ✓ Un ciment CPJ42.5 : de la cimenterie de Hadjar Essoud
- ✓ Eau de gâchage : c'est l'eau potable du laboratoire
- ✓ Poudrette de caoutchouc : entreprise DOUIB RECYCLAGE CAOUTCHOUC - Sétif -



G8/15



G3/8



Sable



Poudrette de caoutchouc



Ciment

**Figure II.1** : Les matériaux utilisés.

## II.3. ESSAIS SUR LES GRANULATS

### II.3.1. Analyse Granulométrique :

La connaissance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.

**Principe de l'essai:**

L'essai consiste à classer les différents grains consistant 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 des tamis.



**FigureII.2 :** Tamiseuse utilisée Insérer

**Calculs et résultat**

L'analyse granulométrique est faite selon la norme NF P18-560 [27], la masse testée répond à la condition générale suivante :

$$200D < M < 600 D$$

D : taille maximale des granulats.

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus des différents granulats sont présentés dans le tableau ci-dessous

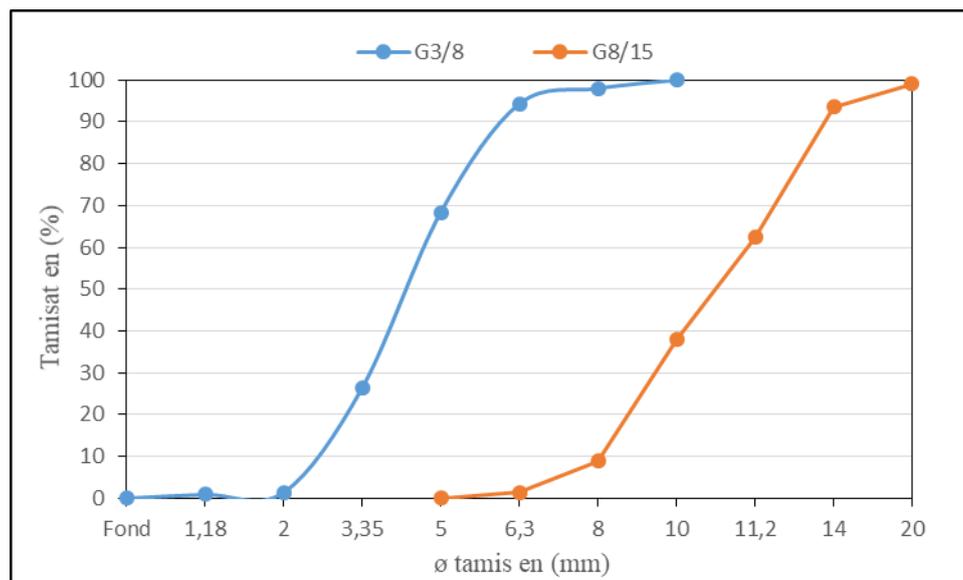
**Gravier 8/15**

Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
20	23	23	0,9	99,1
14	137,1	160,1	6,4	93,6
11,2	779	939,1	37,6	62,4
10	614,1	1553,2	62,1	37,9
8	725,1	2278,3	91,1	8,9
6,3	185,6	2463,9	98,6	1,4
5	24,4	2488,3	99,5	0,5
4	0	2488,3	99,5	0,5
FOND	5,7	2494	99,8	0,2

**TableauII.1** : Analyse granulométrique du gravier de la classe 5/15**Gravier 3/8**

Tamis (mm)	refus partiel (g)	refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6,3	171,61	171,61	5,7	94,3
5	776,1	947,71	31,6	68,4
3,35	1260	2207,71	73,6	26,4
2	749,4	2957,11	98,6	1,4
1,18	15	2972,11	99,1	0,9
Fond	27	2999,11	100,0	0,0

**TableauII.2** : Analyse granulométrique du gravier de la classe 3/8.



**Figure II.3** : courbe granulométrique du sable et des granulats de gravier 5/15

Les deux classes granulaires telles que 3/8 et 8/15, montre que les graviers sont à granulométrie continue.

### Sable

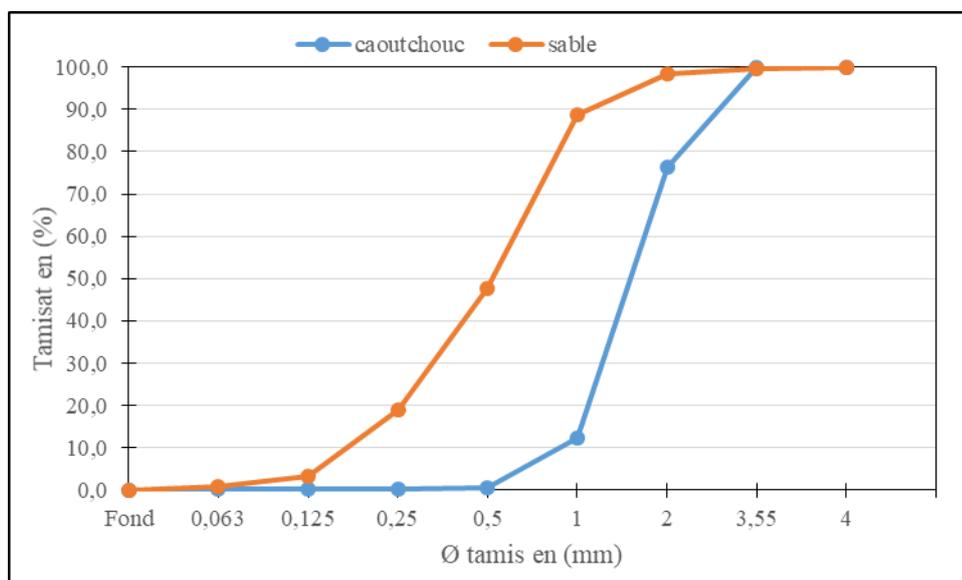
Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
5.6	0	0	0	100
4	3	3	0.3	99.7
3,35	2	5	0,5	99.5
2	20	25	2.5	97.5
1	63	88	8.8	91.2
0,5	285	373	37.3	72.7
0,25	434	807	80.7	19.3
0,125	157	964	96.4	3.6
0,063	22	986	98.6	1.4
FOND	7	993	99.3	0,7

**Tableau II.3** : Analyse granulométrique du sable.

**Caoutchouc**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
4	0	0	0	100
3,35	0	0	0	100
2	119	119	23.8	76.2
1	272	391	78.2	21.8
0,5	60	451	90.2	9.8
0,25	1	452	90.4	9.6
0,125	0	452	90.4	9.6
0,063	0.6	452.6	90.52	9.48
FOND	0.8	453.4	90.68	9.32

**TableauII.4 :** Analyse granulométrique du caoutchouc.



**FigureII.4 :** courbe granulométrique du sable et des granulats de caoutchouc

➤ **Module De Finesse (la norme NF P18-304):**

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0.125 – 0.250 – 0.50 – 1.00 – 2.0 – 4mm.

Lorsque  $M_f$  est compris entre :

- 2 et 2.4 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.4 et 3.2 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 3.2 et 3.6 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Dans notre cas :

$$M_f = \frac{96,4 + 80,7 + 37,3 + 8,8 + 2,5 + 0,3}{100}$$

$M_f = 2,26$  donc c'est un sable à majorité de grains fins

### II.3.2. Masse Volumique

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut aussi distinguer de même :

a) Masse volumique apparente : (la norme NF P 18-554)

**Principe :**

Remplir un récipient d'un volume connu, et en déterminer la masse.



**Figure II.5** : La masse volumique apparente

Donc la masse volumique apparent est égale :

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

Avec

$\rho_{ap}$  : masse volumique apparente ( $\text{g/cm}^3$ )

M : masse de l'échantillon de granulats (g)

V : volume du récipient utilisé pour la masse ( $\text{cm}^3$ )

**b) Masse volumique absolue (la norme NF P 18-555)**

C'est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains

A l'aide d'une éprouvette graduée on peut facilement déterminer cette valeur :

- On remplit l'éprouvette de liquide inerte vis-à-vis de l'échantillon étudié jusqu'au niveau V1
- On rajoute une masse M de l'échantillon à étudier
- On lit le niveau actuel du liquide, soit V2



**FigureII.6** : la masse volumique absolue

La masse volumique absolue :

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

Le tableau suivant résume les résultats de l'essai des masses volumiques pour les différents matériaux utilisés :

Les matériaux	Gravier (3/8)	Gravier (5/15)	Sable (0/3)	Caoutchouc
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,39	1,41	1,6	0,47
Masse volumique absolues (g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,76	2,54	0,87

**TableauII.5** : masses volumiques.

### Commentaire

La masse volumique absolue pour les granulats est  $> 2 \text{ g/cm}^3$ , selon la norme NF.P 18-301 ce sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques courants.

### II.3.3. Le Coefficient d'Absorption d'Eau (la norme NF P 18-554)

Le coefficient d'absorption d'eau  $A_b$  représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

L'essai d'absorption consisté à déterminer le taux d'absorption d'eau des granulats secs durant 48 heures ; Le tableau II.6 ci-dessous illustre les résultats obtenus.

Les matériaux	Gravier (3/8)	Gravier (5/15)
Coefficient d'absorption (%)	1,95%	0,88%

**TableauII.6** : Le Coefficient d'Absorption d'Eau.

### II.3.4. Mesure de la propreté des granulats

#### ✓ Cas du gravier (la norme NF P18-591)

L'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments de taille inférieurs à 0.5mm. Le principe général consiste à faire débarrasser le gravier de cette classe fine uniquement par un lavage répété.

Ce pourcentage est limité selon la réglementation en vigueur à 2 %. Pour les graviers concassés, on tolère exceptionnellement un pourcentage en fine de 5 %.

#### Résultats et commentaire

	<b>G 3/8</b>	<b>G 8/15</b>
<b>Propreté P (%)</b>	3,70	2,20

**Tableau II.7** : la propreté des graviers.

Pour les 02 gravillons  $P < 5\%$  → nous concluons que nos gravillons sont propres.

#### ✓ Cas du sable

##### Equivalent de sable (NF P 18-598)

Pour les sables, la propreté peut se contrôler par l'essai d'équivalent de sable.

L'essai consiste à :

- Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1er trait.
- Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 min,
- Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retours dans le sens horizontal puis replacée verticalement,
- Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min,
- Mesurer la hauteur du sable propre ( $h_2$ ) et la hauteur du sable propre + éléments fins ( $h_1$ ),
- La mesure de  $h_2$  n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : ES.
- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer  $h_2$ .

L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$ESV = \frac{h_2'}{h_1} \times 100 \quad \%$$

L'équivalent de sable est défini par :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad \%$$



**FigureII.7** : Equivalent de sable

### Résultat et commentaire

Lectures	Prise n°1	Prise n°2	Prise n°3
<b>h<sub>1</sub></b>	11,3	11,5	12
<b>h<sub>2</sub></b>	8,6	8,5	9
<b>h<sub>2</sub>'</b>	8,9	9,1	9,5
<b>Sur chaque prise</b>			
<b>ESV</b>	79	79	79
<b>ES</b>	76	74	75
<b>Sur l'échantillon</b>			
<b>ESV</b>	79		
<b>ES</b>	75		

**TableauII.8** : Résultat de l'équivalent de sable.

D'après les résultats issus des essais pratiques (équivalent de sable) et selon la norme NF P18-589, ce sable est on déduit qu'on est dans le cas d'un sable propre à faible de fines.

### II.3.5. Essai de dureté des graviers (coefficient los Angeles LA) (la norme NF P 18-573) [28],:

Le but de cet essai est de quantifier la résistance des graviers aux chocs, le Principe consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles [29].



FigureII.8 : appareil Los Angeles.

#### Résultats

Le tableau II.9 présente les résultats trouvés de cet essai.

	<b>G3/8</b>	<b>G5/15</b>
<b>LA (%)</b>	34	27

TableauII.9 : Résultat de l'essai de Los Angeles.

Les deux granulats présente un  $LA \leq 40 \%$  , donc les granulats utilisés dans notre étude sont des granulats courant convient bien pour la confection des bétons ordinaires de bon comportement mécanique.

## II.4. CIMENT

Le ciment 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)

## II.5. EAU

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier. Cette eau doit être conforme à la norme NF P 18-303 [30] et ne doit pas contenir d'impuretés nocive comme les chlorures, les sulfates, les matières organiques, les nitrates, les sels de sodium (Na) et de potassium (K)...etc.

L'utilisation de l'eau potable dans les bétons est considérée comme une pratique sécuritaire.

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

## II.6. FORMULATION DU BETON

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré [31].

Plusieurs méthodes de formulation ont été élaborées par : **ABRAMS, BOLOMEY, CAQUOT, FAURY**...etc.

Dans notre cas, nous avons choisi la méthode ((**DREUX-GORISSE**)) parce qu'elle est une méthode assez simple et facile à utiliser.

### II.6.1. Dosages Des Bétons

Le besoin de notre étude est préparé quatre (04) bétons :

- **Béton témoin BO**: est un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires: sable, gravillon (3/8) et gravillon (8/15).
- **Béton modifié BC10, BC20 et BC40**: est un mélange formulé à partir de trois classes granulaires: (3/8) et (8/15), sable plus des différents pourcentages des poudrettes de caoutchouc 10 % ,20 % et 40% successivement en substituant le sable en volume .

Le béton « témoin », **BO** étudié est un béton ordinaire de dimension maximale des granulats :

$D_{\max} = 15 \text{ mm}$  et dosage en ciment :  $C = 400 \text{ kg m}^3$  ; et d'un affaissement 6 cm.

La résistance visée à 28 jours est : 25MPa.

	Formulation (kg/m <sup>3</sup> )			
	BO	BC10%	BC20%	BC40%
Ciment	400	400	400	400
Sable	591	531,9	472.8	354.6
Gravier 3/8	337	337	337	337
Gravier 5/15	834	834	834	834
Eau	242	242	242	242
Caoutchouc	00	20,6	41.13	82.27
E/C	0,6	0,6	0,6	0,6
G/S	1,98	2,12	2,28	2,68

**Tableau II.10** : Dosages Des Bétons.

### II.6.2. Confection Des Éprouvettes

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules cubiques (10×10×10) cm<sup>3</sup>, (15×15×15) cm<sup>3</sup> et des moules prismatiques (7×7×28) cm<sup>3</sup>, pour la confection des éprouvettes.

Le malaxage est exécuté à l'aide d'une bétonnière, les étapes de malaxage sont :

- Introduction de tous les granulats dans le malaxeur (sable, gravillon et granulats en caoutchouc) et faire le malaxage pendant 3 min afin d'assurer une bonne dispersion des G.C. parmi les éléments traditionnels du béton
- Introduction du ciment et faire le malaxage pendant 1min
- Introduction de l'eau et faire le malaxage pendant 2min



**FigureII.9** : Bétonnière utilisée

### **II.6.3. Moulage et démoulage :**

Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.

Le remplissage des moules est exécuté en deux couches, chaque couche est piquée par 25 coups. Le but de piquage est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 et NF P 18-423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai,



**Figure II.10 :** La mise en place du béton et la conservation des éprouvettes avant le démoulage

## II.7. PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton témoin et béton modifié par poudre de caoutchouc et comparer ceux-ci aux propriétés de béton ordinaire.

### II.7.1. Essai Sur Béton Frais

#### II.7.1.1. Mesure de la consistance (Norme NF P 18-439):

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- Mouler des troncs de cône en béton (base de diamètre 20cm, partie haute de diamètre 10cm);
- Remplir le cône en trois couches piquées chacune par 25 coups avec une tige métallique de

- 16 mm de diamètre a extrémité arrondie ;
- Soulever le moule avec précaution et mesurer la hauteur l'affaissement en cm



**FigureII.11** : l'essai de mesure de consistance du béton frais

### II.7.1.2. Masse volumique à l'état frais

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en béton frais un récipient de volume  $V_r$  et de masse  $M_r$ . Le remplissage est exécuté en deux couches.
- Araser le haut du récipient.
- Peser le récipient rempli du béton, soit  $M_t$ .

La masse volumique du béton frais  $\delta_f$  est donnée par la relation suivante :

$$\delta_f = \frac{M_t - M_r}{V_r}$$



**FigureII.12** : la masse volumique à l'état frais.

### II.7.1.3. Essai teneur en air occlus

Lors d'un essai de gâchage, il est intéressant de mesurer la teneur en air d'un béton frais, pour avoir une première indication de la compacité.

La teneur en air se mesure à l'aide d'un aéromètre. La méthode se base sur la compressibilité de l'air contenu dans le béton frais. Un volume déterminé de béton est mis en communication avec un volume d'air en surpression.

La valeur de la pression résultante permet de déterminer la teneur en air du béton.



**FigureII.13** : Essai teneur en air occlus.

## II.7.2. Essais Sur Béton Durci

### II.7.2.1. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique)

La masse volumique à sec a été mesurée par pesée hydrostatique, les mesures ont été effectuées après conservation des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm<sup>3</sup> dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours

Après séchage des éprouvettes jusqu'à une masse constante, on mesure le masse de l'éprouvette dans l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées correspond au volume de l'éprouvette et la masse volumique égale a :

$$\rho_b = \frac{P_{air}}{P_{air} - P_{imm}}$$

$\rho_b$  : masse volumique

$P_{air}$  : masse de l'éprouvette dans l'air

$P_{imm}$  : masse de l'éprouvette dans l'eau



FigureII.14 : pesée hydrostatique.

### II.7.2.2. Absorption par immersion totale

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme NBN B 15-215 [32]

Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon de béton immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse  $M_1$

- après séchage à 60°C, soit la masse  $M_2$

L'absorption d'eau par immersion  $A_w$  est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$A_w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} 100\%$$

Les résultats obtenus sur 03 éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.

### II.7.2.3. Essais destructifs :

#### a) Essai de compression : Norme (NF EN 18-455) [33]

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique (10×10×10) cm, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai



FigureII.15 : l'essai de compression a l'état durci

**b) Essai de traction par flexion :**

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm<sup>3</sup> selon les normes NF P.18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{1,5FL}{B^3}$$

$\sigma_t$  : résistance à la traction par flexion en (MPa)

$F$  : la charge appliquée à la rupture en (N)

$L$  : la distance entre les appuis ( $L = 210$  mm)

$B$  : le côté de la section carrée de l'éprouvette ( $B = 70$  mm)



**FigureII.16** : l'essai de flexion à l'état durci.

## II.7.2.4. DURABILITE

### II.7.2.4.1. Porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de durabilité au sens du document publié par l'AFGC en 2004

Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique.

Après conservation des éprouvettes 10x10x10 cm<sup>3</sup> dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours, et en utilisant une balance hydrostatique, soit :

- $M_{eau}$  : la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau
- $M_{air}$  : la masse de l'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé (masse saturée dans l'air)
- $M_{sec}$  : la masse de l'éprouvette après séchage a une température  $105 \pm 5$  °C jusqu'à une masse constante.

$$P_0 = \frac{V_0}{V_a} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}}$$

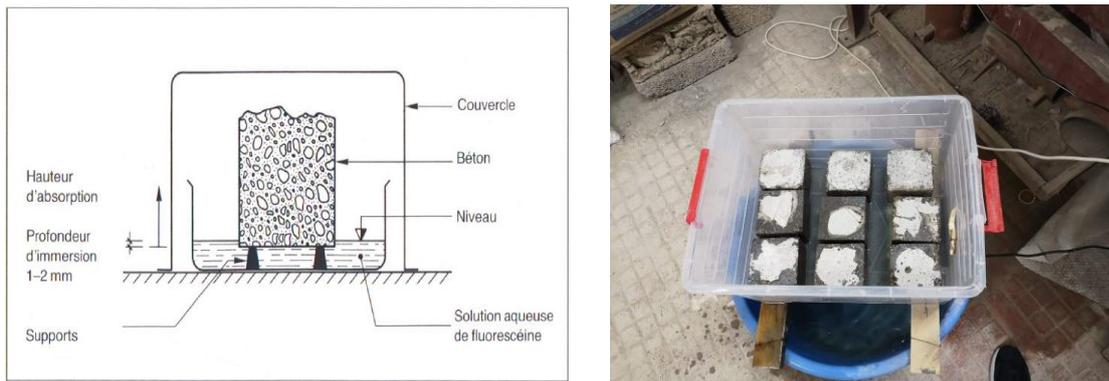
### II.7.2.4.2. Absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau par capillarité mesure le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes du béton non saturées, mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique. Il est utilisé en complément à d'autres essais pour caractériser la durabilité du béton et du mortier [34].

#### Conduite de l'essai

Après démoulage, les éprouvettes cubiques du béton (10×10×10) cm<sup>3</sup> sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau. Elles sont ensuite extraites de l'eau et conservées dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à une masse constante. Ensuite les faces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées par la résine dont le but de forcer l'eau à adopter un cheminement uni-axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces.

Après le séchage complet de la résine, les éprouvettes sont immergées dans une nappe d'eau de hauteur 3mm durant 48 h.



**Figure II.17 :** dispositif essai de capillarité

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5 et consiste à déterminer la quantité d'eau absorbée par le béton en fonction du temps ( 1min, 4min, 9min, 16min, 25min, 36min, 49min, 64min, 2h, 4h, 8h, 24h, 48h) À chaque échéance, les éprouvettes sont sorties du récipient, essuyées à l'aide d'une chiffon humide, pesées puis replacées dans le récipient.

Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire « CA » est exprimée en grammes par millimètre carré ( $g/mm^2$ ), par la formule suivante :

$$CA = \frac{M_j - M_0}{S_2}$$

Avec

$M_0$  : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en gramme.

$M_j$  : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.

$S$  : section de la base de l'éprouvette en millimètre c'est-à-dire 100mm.

#### **II.7.2.4.3. Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)**

Le principe de l'essai consiste à appliquer du l'eau sous pression de  $500 \pm 50$  kPa sur la surface du béton durci pendant 72 heures. Après les 72 heures les éprouvettes sont écrasées par fendage, et on mesure la profondeur de pénétration d'eau.

Le dispositif permet de placer l'éprouvette, de dimension donnée, de telle façon que la pression d'eau peut s'exercer sur la zone d'essai . L'éprouvette doit être cubique, cylindrique

ou prismatique. La dimension de l'arête ou du diamètre ne doit pas être inférieure à 150 mm[35].

Pour notre travail on a utilisé des éprouvettes cubiques ( $15 \times 15 \times 15 \text{cm}^3$ ). La surface de l'éprouvette qui reçoit la pression d'eau est rendue rugueuse à l'aide d'une brosse métallique, immédiatement après le démoulage.



**Figure II.18.** Perméabilimètre à l'eau.

## II.8. CONCLUSION

- Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés ainsi que leurs propriétés physiques
- Les essais de caractérisation de la phase inerte : sable + gravier laissent apparaître que les granulats utilisés dans notre travail se sont des granulats courant utiliser pour les bétons hydrauliques.
- Le projet expérimental associe : essais de caractérisation à l'état frais des différentes compositions du béton ainsi des essais de caractérisation à l'état durci : physique, mécanique (essai de compression et de flexion) et de durabilité.

Les résultats expérimentaux de ce programme d'essai sont présentés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III :  
RESULTATS  
EXPERIMENTAUX  
ET ANALYSES

### III.1. INTRODUCTION

Ce travail est consacré à l'étude expérimentale des indicateurs généraux de la durabilité (porosité accessible à l'eau, absorption par immersion totale, absorption capillaire et perméabilité à l'eau) d'un béton ordinaire et des bétons confectionnés à base du granulat de caoutchouc en variant le pourcentage de caoutchouc (10%, 20% et 40%).

Ce chapitre est divisé en deux parties, la première concerne l'étude des caractéristiques mécaniques, et le second est consacré à étudier la durabilité des mêmes bétons cités ci-dessus.

### III.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

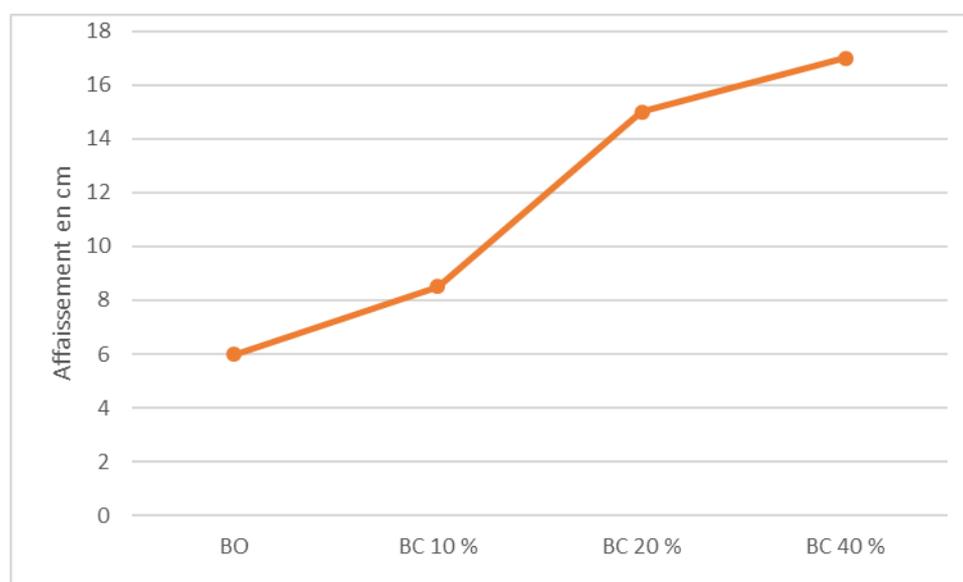
#### III.2.1. essai sur béton frais

##### a) Essai d'affaissement

Le tableau III.1 et les figure III.1 présentent les valeurs de l'affaissement en fonction du taux d'incorporation des G.C. pour les différentes compositions retenues.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Affaissement (cm)	6	8,5	15	17

**Tableau III.1** : valeurs d'affaissement pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.1** : valeurs d'affaissement pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.2 :**Essai d'affaissement du béton BC40%.

### Commentaire

D'après la Figure III.1 on peut constater que l'affaissement augmente avec l'incorporation des G.C. En effet il passe de 6cm pour le béton ordinaire à 8,5cm pour un béton contenant 10% de substitution et 15cm pour un taux de substitution de 20%

Par ailleurs, on constate que le BC40 présente une grande ouvrabilité (17cm), il y a donc un risque accru de ségrégation pour cette composition.



**Figure III.3 :** distribution des particules de caoutchouc dans une éprouvette BC40% écrasé par fendage.

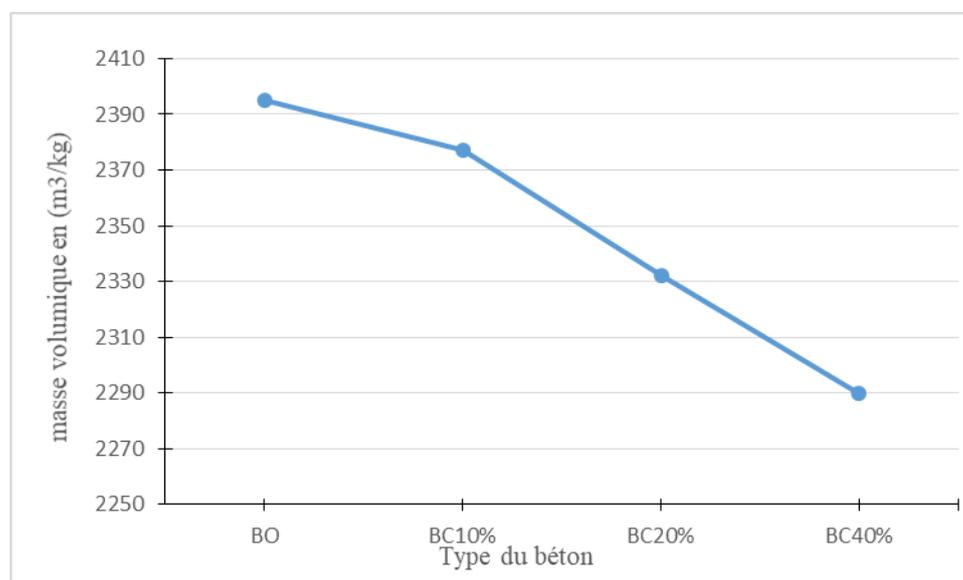
Donc on remarque que pour un pourcentage de 40% de substitution, le béton de caoutchouc reste toujours homogène, et pas de ségrégation remarquée.

### a) Masse volumique à l'état frais

Dans le tableau III.2 et la figue III.4 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique pour les 04 formulations du béton d'étude.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2395	2377	2332	2290

**Tableau III.2** : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.4** : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.

### Commentaire

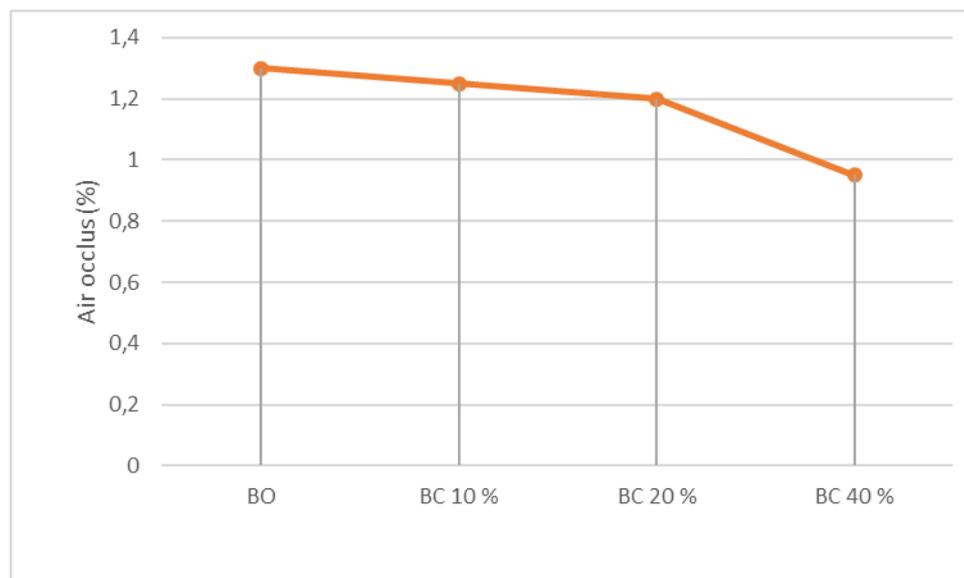
La masse volumique à l'état frais des bétons diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat en caoutchouc, ceci s'explique logiquement par le fait que le produit de substitution (granulats de caoutchouc) est beaucoup plus léger que le sable naturel (densité de 2,5 pour le sable contre 0,87 pour le GC).

### b) Teneur en air occlus

Dans le tableau III.3 et la figure III.5 nous avons rassemblé les résultats des mesures de l'air occlus pour les 04 formulations du béton d'étude.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Air occlus (%)	1,3	1,25	1.2	0.95

**Tableau III.3** : valeurs de l'air occlus pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.5** : valeurs de l'air occlus pour les 04 formulations du béton.

### Commentaire

La Figure III.5 présente l'évolution de la teneur en air en fonction du taux d'incorporation des G.C. pour les différentes compositions.

On peut constater que les valeurs de la teneur en air diminuent avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc. La diminution maximale dans la fourchette adoptée dans cette étude (0 à 40 %) était de 27 %.

## III.2.2. A l'état durci

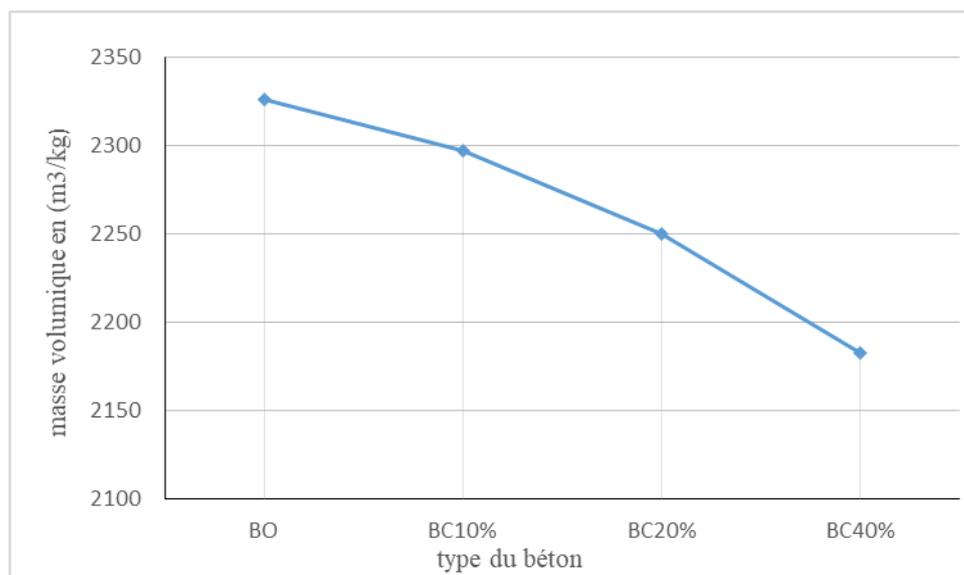
### III.2.2.1. Caractéristiques physiques

#### a) Masse volumique à sec

Dans le tableau III.4 et la figure III.6 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique à sec pour les 04 formulations du béton d'étude, Les masses volumiques ont été mesurées tout de suite après la période de malaxage.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
$\rho_b$ (Kg/m <sup>3</sup> )	2326	2297	2250	2183

**Tableau III.4** : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.6** : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton

### Commentaire

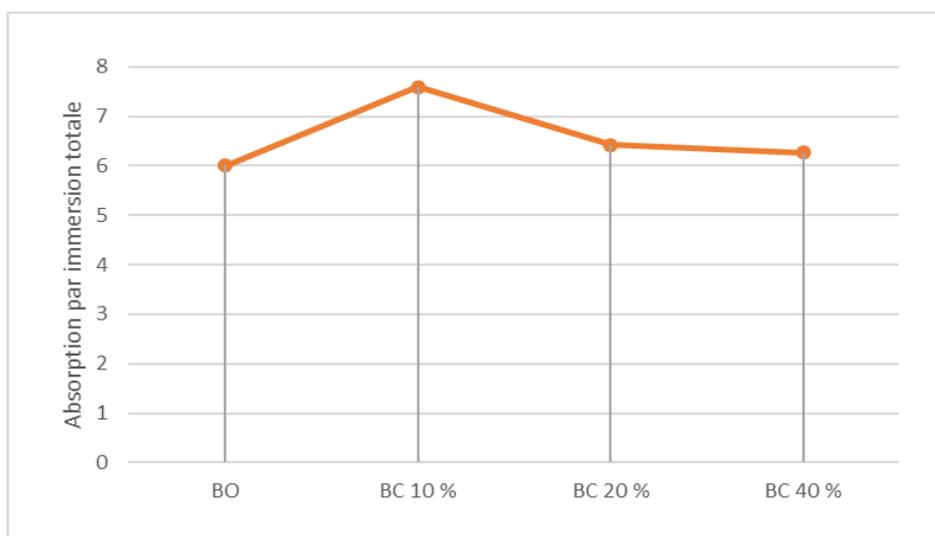
Au niveau de la masse volumique à l'état durci, nous observons une chute peu significative de cette grandeur, en effet on prend le béton ordinaire comme référence, on voit que la baisse varie entre 1,25% et 6,15%.

### b) Absorption par immersion totale

Dans le tableau III.5 et la figure III.7 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la absorption par immersion totale pour les 04 formulations du béton d'étude.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
$A_w$ (%)	6.01	7,6	6.42	6.27

**Tableau III.5** : valeurs de l'absorption par immersion totale pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.7 :** valeurs de l'absorption par immersion totale pour les 04 formulations du béton

### Commentaire

Pour l'essai de l'absorption par immersion totale, on remarque que la masse absorbée par les bétons de caoutchouc est plus grande que celle du béton ordinaire, on observe aussi pour les bétons de caoutchouc, l'absorption diminue avec l'augmentation du dosage en caoutchouc.

### III.2.2.2. Caractéristiques mécaniques

#### a) Résistance à la compression

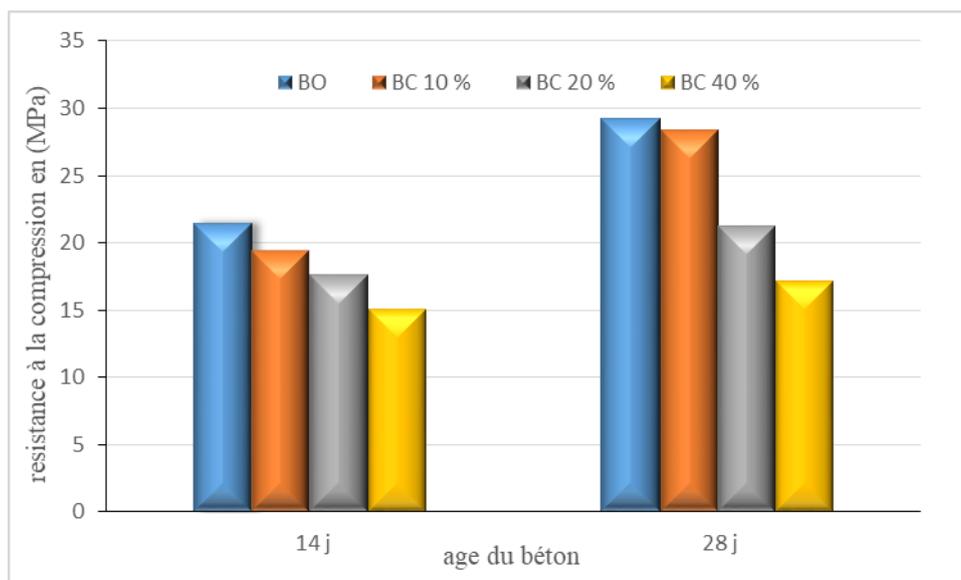
L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 14 jours et 28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :



**Figure III.8 :** Essai d'écrasement.

		BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Résistance à la compression (MPa)	14 j	21.46	19.38	17.58	15.06
	28 j	29.15	28.31	21.16	17.06

**Tableau III.6** : valeurs de Résistance à la compression pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.9** : variation de la résistance a la compression en fonction du temps pour les 04 formulations du béton

### Commentaire

La substitution d'une partie du sable par des granulats en poudrette de caoutchouc s'accompagne d'une baisse de la résistance en compression, et ça pour les différents âges étudiés. A titre d'exemple, un taux de substitution en G.C. de 40 % entraîne une chute de résistance de 30 % à l'âge de 14 jours, cette chute est de l'ordre de 41,5 % à l'âge de 28 jours pour la même formulation. Cette chute de résistance en compression est expliquée par la faible rigidité des granulats du caoutchouc par rapport à celle des granulats naturels.

### b) Résistance à la traction par flexion

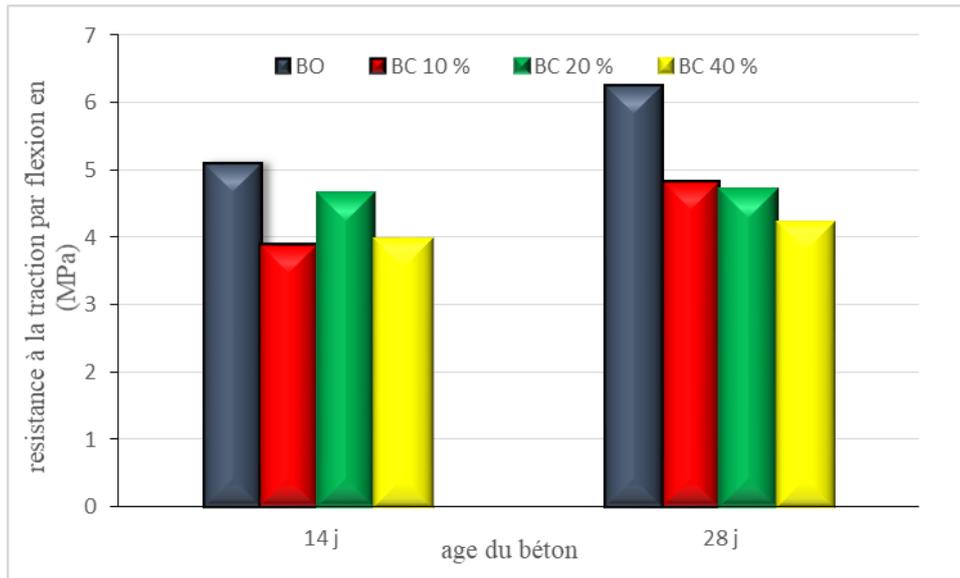


**Figure III.10** : Essai de la traction par flexion.

L'évolution de la résistance à la traction par flexion a été étudiée à l'âge de 14 jours et 28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	BO		BC 10 %		BC 20 %		BC 40 %	
	F(KN)	$\sigma$	F(KN)	$\sigma$	F(KN)	$\sigma$	F(KN)	$\sigma$
Résistance à la flexion a l'âge de 14 j (MPA)	5546	5,09	4221	3,88	5069	4,65	4328	3,97
Résistance à la flexion a l'âge de 28 j (MPA)	6799	6.24	5235	4.81	5.131	4.71	4,583	4,21

**Tableau III.7** : valeurs de Résistance à la traction par flexion pour les 04 formulations du béton.



**Figure III.11** : variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du temps pour les 04 formulations du béton.

### Commentaires:

La même remarque observée Au niveau des contraintes ultimes en traction par flexion, les résultats indiquent des chutes significatives par rapport à celle du béton de référence. Par exemple, on remarque une chute de résistance de 23 % à l'âge de 14 jours pour un taux de substitution en G.C. de 40 % et de 33% à l'âge de 28 jours pour la même formulation.

### III.2.2.3. durabilité

#### 1) Porosité accessible à l'eau

Dans le tableau III.10 et la figue III.12 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la porosité accessible à l'eau pour les 04 formulations du béton d'étude.

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40%
$P_o$ (%)	13.64	16,81	14.12	13.4

**Tableau III.8** : valeurs de la Porosité accessible à l'eau pour les 04 formulations du béton.

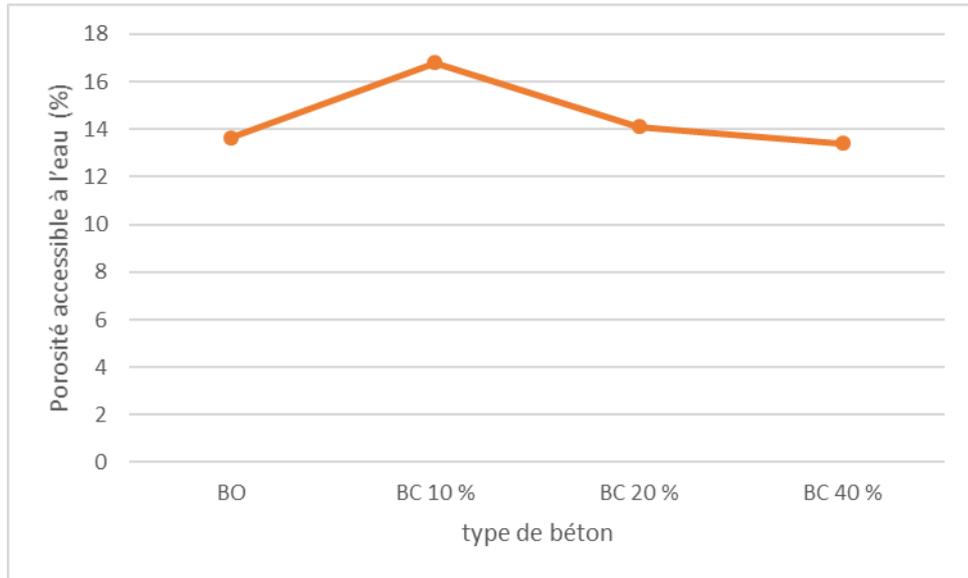


Figure III.12 : valeurs de la porosité accessible à l'eau pour les 04 formulations du béton

**Commentaire**

Pour la porosité accessible à l'eau on remarque que la porosité des bétons de caoutchouc diminue avec l'augmentation du dosage en caoutchouc. Et pour un taux de substitution de 40% la porosité est inférieure à celle du béton ordinaire, on peut justifier cette diminution par que le caoutchouc est un matériau hydrophobe n'absorbe pas l'eau.

**2) Absorption d'eau par capillarité**



Figure III.13 : essai absorption d'eau par capillarité.

	0min	1min	4min	9min	16min	25min	36min	49min	64min	2H	4H	8H	24H	48H
<b>BO</b>	0,00	0,0005	0,0009	0,0012	0,0014	0,0016	0,0018	0,0021	0,0024	0,0030	0,0038	0,0051	0,008	0,0091
<b>BC10</b>	0,00	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	0,0017	0,0019	0,0024	0,0034	0,0048	0,0075	0,0087
<b>BC20</b>	0,00	0,0006	0,0009	0,0012	0,0014	0,0017	0,0018	0,0020	0,0023	0,0028	0,0034	0,0043	0,0062	0,0078
<b>BC40</b>	0,00	0,0005	0,0008	0,0010	0,0012	0,0014	0,0016	0,0017	0,0019	0,0024	0,0029	0,0036	0,0050	0,0062

Tableau III.9 : Valeurs de l'absorption capillaire en fonction du temps pour les 04 formulations du béton

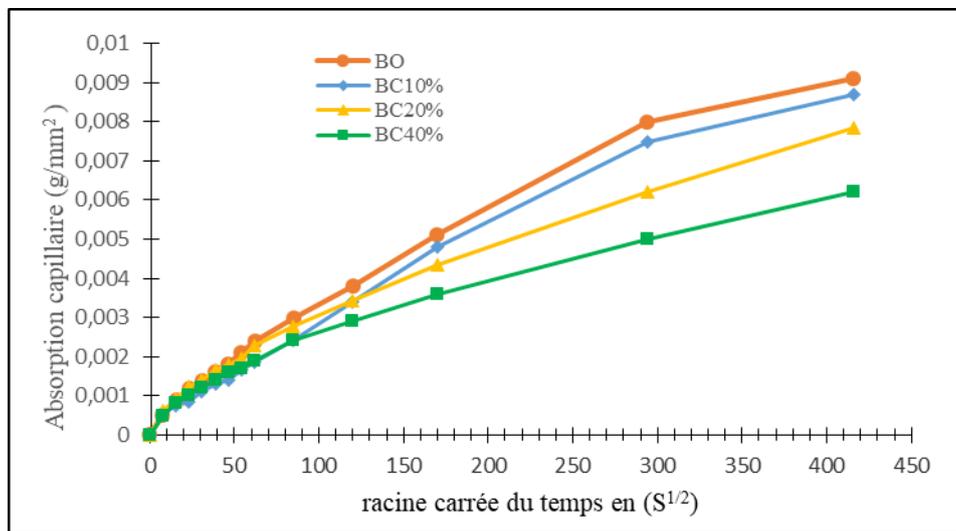


Figure III.14 : essai absorption d'eau par capillarité.

**Commentaire**

D'après la figure, on remarque que les granulats de caoutchouc abaissent la quantité d'eau absorbée au fur et à mesure que le taux de granulats de caoutchouc augmente, après 48H la quantité d'eau absorbée par les bétons BC10%, BC20% et BC40% a diminuée respectivement de 10.71%, 26.19% et 33.33% par rapport à celle du béton de référence BO.

### 3) Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)

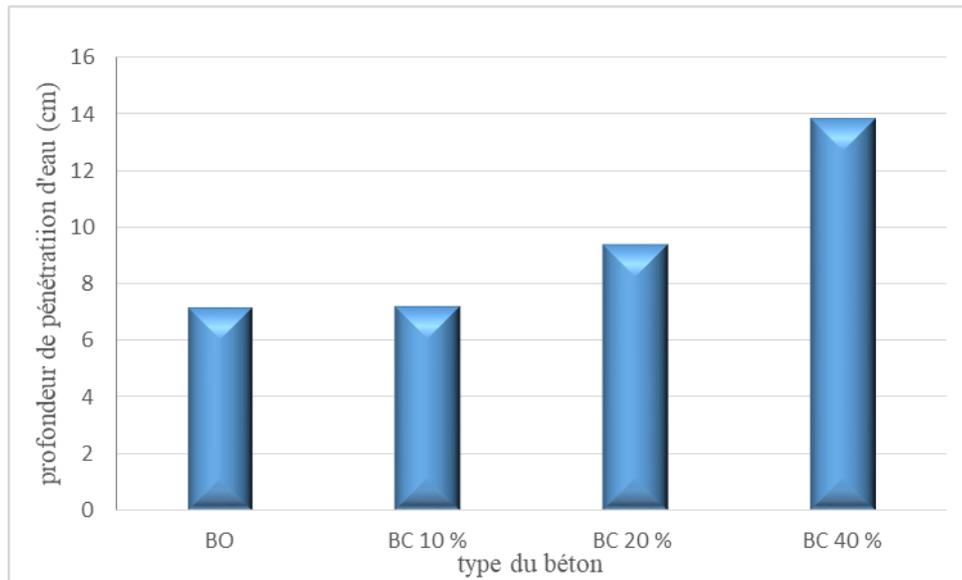


**Figure III.15 :** Perméabilité à l'eau.

L'effet de l'incorporation du granulats de caoutchouc sur la profondeur de pénétration d'eau dans les bétons est résumée par le tableau III.10 et illustré par la figure III.16:

	BO	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Profondeur de pénétration d'eau en (cm)	7.15	7.2	9,4	13.8

**Tableau III.10 :** Valeurs de l'essai de perméabilité à l'eau.



**Figure III.16** Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du type du béton

### Commentaire

On remarque que la perméabilité à l'eau des bétons contenant des GC est supérieure à celle du béton ordinaire, et qu'elle augmente avec l'augmentation du taux de GC. Le taux d'accroissement est de 1%, 24% et 48% lors de la substitution volumique du sable par 10%, 20% et 40%

### III.3. CONCLUSION

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent l'influence de l'incorporation de granulats de caoutchouc sur les propriétés du béton à l'état frais et durci. On a constaté que :

- La présence des granulats en caoutchouc a augmenté la maniabilité du béton.
- Pas de ségrégation pour des taux de substitution allant jusqu'à 40% du volume du sable.
- La masse volumique des bétons incorporant des GC plus faible que celle du BO, cette diminution est due à la faible densité du caoutchouc par rapport à celle des granulats naturels.
- La teneur en air diminue avec l'augmentation du taux de substitution des granulats de caoutchouc.
- L'incorporation de granulats en caoutchouc diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution en G.C. est élevé plus les valeurs des propriétés mécaniques diminuent.
- La porosité accessible à l'eau des bétons de caoutchouc est plus élevée que la porosité d'un ordinaire.
- La porosité accessible à l'eau diminue avec l'augmentation du taux de substitution.
- les granulats de caoutchouc abaissent la quantité d'eau absorbée par capillarité.
- la perméabilité à l'eau des bétons contenant des GC est supérieure à celle du béton ordinaire.

# CONCLUSIONS GENERALES

---

## CONCLUSIONS GENERALES

Dans ce mémoire on a étudié la possibilité de valoriser les pneus usagés dans le béton. Dans ce but, on a étudié l'effet de la substitution des granulats naturels par des granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés sur les performances du béton à l'état frais et à l'état durci.

D'après les résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La substitution du sable naturel par des granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés augmente l'ouvrabilité du béton
- La masse volumique a du matériau varie en sens inverse. On notera que cette baisse de la masse volumique est due à la faible densité des G.C.
- L'incorporation de granulats en caoutchouc diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution en G.C. est élevé plus les valeurs des propriétés Mécaniques diminuent, ce que confirme les études réalisées précédemment.
- Le taux de substitution en G.C. de 10% a donné propriétés satisfaisantes à l'état frais qu'à l'état durci.
- La porosité accessible à l'eau diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Pour un taux de substitution de 40% est inférieure à celle du béton ordinaire.
- Les granulats de caoutchouc abaissent la quantité d'eau absorbée par capillarité.
- La perméabilité à l'eau des bétons contenant des GC est supérieure à celle du béton ordinaire.

D'après cette étude, on distingue que pour un taux de substitution de 40%, les bétons contenant des GC présentent une durabilité plus au moins importante que celle du béton ordinaire.

### **Perspectives :**

Comme perspective d'avenir, il sera nécessaire de compléter ce travail par :

- Compléter l'étude des caractéristiques mécaniques par l'étude de la déformation de ce type du béton.

- 
- Compléter l'étude de durabilité par d'autres essais, par exemple essai gel-dégel, essai de carbonatation.

# BIBLIOGRAPHIE

---

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] **ZAIDI S. et LABADLIA K.** « l'influence des adjuvants sur la composition des bétons autoplaçants », mémoire de master, Université 08 MAI 1945 Guelma, Juin 2016
- [2] **RACHIL, DENDANI.M,** «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.
- [3] **DREUX, J. :** « Nouveau guide de béton et de ses constituants » 8ème édition, Eyrolles, 1998.
- [4] **HANI A. :** « Etude de Comportement d'un Béton Hydraulique Modifié (déchets des pneus), mémoire de master, université Kasdi Merbah Ouargla, 2016
- [5] **CHAREF A. :** « La problématique des granulats au Maroc », Push-Button Publishing, (2007).
- [6] **MAILLOT R.,** « Mémento technique des Granulats », les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., 2001.
- [7] **BARON J. et SAUTREY R.,** « Le béton hydraulique », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., 1982.
- [08] **PHOUMMAVONG V.,** « Cours en ligne matériaux de construction », Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>
- [09] **NEVILLE A. M.,** « Propriétés des bétons », traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p., 2000.
- [10] **Le LERM** « Déchets de chantiers de bâtiment », enquête CEBTP/DEMAIN pour FFB et ADEME, 1999.
- [11] **BOURMATTE N.,** « Granulats Recyclés de substitution pour Bétons Hydrauliques, Caractérisation, Performances, Durabilité », Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 159 p., 2005.
- [12]: **ARQUIE G.et TOURENQ C.,** « Granulats », Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 717 p., 1990.

---

[13] **ALEXANDRE J. et SEBILEAU J.**, « Laitier de haut fourneau », Centre Technique et de Promotion des Laitiers, Paris édition, 340 p., 1988.

[14] **BONNET S, TURATSINZE A et GRANJU J-L.** « Effets de l'incorporation de granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration d'un mortier de ciment ». Annales du bâtiment et des travaux publics N° 6 2004.

[15] **Abdelhalim AIT IDIR** « VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES PNEUMATIQUES USAGÉS NON RÉUTILISABLES » sonatrach. ERA 2017

[16] : **moussai boubaker, seghiri mohamed**, « béton compacté avec des ajouts granulats caoutchoucs » mémoire de fin d'étude, juin 2009.

[17] : ministère de l'industrie de la petit et moyenne entreprise et de la promotion de l'investissement « Etude d'un Projet Industriel de Fabrication d'articles en caoutchouc pour automobiles »

[18] : **F. Abdelouahab, z. djidjeli** « recherche-valorisation des pneumatique-usages dans la protection de l'environnement »

[19] : **Habib trouzine et al.** « Problématique des pneumatique usagés en algérie »

[20] : **Ammar Benazzouk, Omar Douzane** « Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment ».

[21] **Philippe gotteland et all** « réponse défi de la valorisation des déchets de pneus ; comportement mécanique et modélisation numériques de mélanges de copeaux de pneus-sol »

[22].**Khaloo A. R., Dehestani M. and Rahmatabadi P.**, Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire--rubber particles. Waste Management 28, 2472-- 2482, 2008.

[23].**Demirboga R. and Gil R.**, Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures. Energy and Buildings 35, 1155-1159, 2003.

[24].**Domone P.L.J. and Jin J.** "Properties of mortar for Self-Compacting Concrete" Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7, 1999, Paris, pp. 109-120.

---

[25].**Turatsinze A., Bonnet S. and Granju J.L.**, Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance. *Construction and Building Materials*, 21: 176-181, 2005

[26] **BRAHIM N.** « développement des bétons autoplaçants à hautes performances : influence de la composition », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra 2018

[27] **la norme P18-560** : Granulats - Analyse granulométrique par tamisage Septembre 1990

[28] **la Norme Française XP P 18-573**, « *Granulats - Essai Los-Angeles*, AFNOR, (1990).

[29] **DRISSI M.** « comportement des bétons : expérimentation et modélisation des paramètres technologiques influant les propriétés physico-chimiques, mécaniques et rhéologiques des bétons frais et durcis », Université Mohamed Khider – Biskra 2018

[30] N.P. 303, Qualité requise de l'eau de gâchage : concentration en matière de suspension et sels dissous, AFNOR, 1997.

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

[32] NBN B 15-215. « Essais des bétons : absorption d'eau par immersion » Janvier 1989.

[33] **HANI,A** : « etude de comportement d'un béton hydraulique modifié (déchets des pneus) » mémoire de master Université Kasdi Merbah -Ouergla (2016)

[34] **REDADAA F. MAHAMDI S.** « Caractérisation physiques et de durabilité Des ciments composés à base de brique », mémoire de master, université 08 Mai 1945 Guelma, 2018.

[35] **MAANSAR A.** « Etude de l'effet des adjuvants sur la durabilité des bétons», thèse de doctorat, université 08 Mai 1945 Guelma, 2018.