



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي – تبسة  
Université LARBI TEBESSI – TEBESSA –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

**En : Génie Civil**

**Spécialité : Structure**

**Par : MESSAAD Yaaqoub**

**Sujet :**

### **PROPRIETES DU BETON A BASE DE DECHETS (ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE)**

**Présenté et soutenu, le 22/09/2020, devant le jury composé de :**

- |                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| - <b>GOUDJIL Fayçal</b>         | <b>Président</b> |
| - <b>SALHI Mohamed El Amine</b> | <b>Examineur</b> |
| - <b>BOULAARES Said</b>         | <b>Encadreur</b> |

**Promotion : 2019/2020**

## RESUME

Le béton fait partie des matériaux les plus utilisés dans le monde et connu pour ses propriétés qui permettent une demande accrue dans les travaux de construction. Initialement, il se compose de ciment, d'eau, de gravier et de sable, et ces dernières années, il s'est accompagné de produits secondaires tels que les déchets qui ont eu un effet direct et nocif sur notre environnement et ces déchets ont des types tels que : déchets de roues en caoutchouc, déchets de verre, déchets de briques, etc.

Ainsi, les chercheurs visent à étudier les propriétés en effectuant des tests sur ce béton, et ce, après avoir remplacé le sable par des granulés ou des poudres de matériaux secondaires, comme la poudre de pneu ou la poudre de verre, et les quantités de remplacement diffèrent d'un chercheur à l'autre car les résultats du nouveau béton supporté par les déchets ont montré une faiblesse de résistance mécanique et ont également montré que les déchets peuvent être utilisés comme substitut aux agrégats.

La méthodologie de recherche a permis d'atteindre des résultats scientifiquement satisfaisants sur certains aspects et importants sur d'autres.

Dans ce contexte, notre étude vise à analyser les résultats des études précédentes et à les comparer à travers des essais de compression et de traction pour le béton à base de caoutchouc, où une partie du sable a été remplacée par des roues en caoutchouc avec différents taux de substitution et différentes formes.

Les résultats obtenus ont montré que la substitution entraînait également une diminution de la résistance à la compression et à la traction par rapport au béton de référence, c'est-à-dire que ce remplacement entraînait une diminution des performances mécaniques du nouveau béton.

**Mots clés :** Le béton, les déchets, Résistance mécanique, béton base de caoutchouc, substitution

# REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu, le dieu tout puissant qui m'a donné la volonté et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement les enseignants du département de Génie civil ainsi que les membres du jury, et j'exprime ici toute ma gratitude.

Je remercie encore plus particulièrement Monsieur BOULAARES Saïd qui m'a encadré dans ce travail. Je lui remercie pour sa patience et le soutien qu'il m'a accordé tout au long de ce travail.

En fin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous mes amis pour leurs soutiens moral et matériel.

Je remercie également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail.

Pour terminer, je tiens sincèrement à remercier du fond du cœur ma mère et mon père pour m'avoir soutenu et encouragé dans mes études

# DEDICACE

A tous ceux dont  
le cœur vibre au  
rythme de mes  
succès comme  
mes échecs.

# Table des matières

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	- 1 -
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	3
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	4
<b>CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE</b> .....	6
<b>I.1. INTRODUCTION GENERALE</b> .....	6
<b>I.2. ORGANISATION DU MEMOIRE</b> .....	7
Chapitre I : Introduction générale. ....	7
Chapitre II : Propriétés des matériaux.....	7
Chapitre III : Recherches antérieures .....	8
Chapitre IV : Comparaison et conclusion .....	9
<b>CHAPITRE II : PROPRIETES DES MATERIAUX</b> .....	11
<b>II.1. LE BETON</b> .....	11
II.1.1. DEFINITION.....	11
II.1.2. GRANULATS .....	12
II.1.3. LE SABLE.....	13
II.1.4. LE CIMENT .....	14
II.1.5. L'EAU DE GACHAGE .....	15
<b>II.2. LES DECHETS</b> .....	16
II.2.1. ORIGINE DE LA PRODUCTION DE DECHETS .....	16
II.2.2. DIFFERENTS TYPES DE DECHETS .....	17
<b>II.3. ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRANULATS</b> .....	18
II.3.1. ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE .....	18
II.3.2. ABSORPTION D'EAU.....	23
<b>II.4. ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES SABLES</b> .....	23
II.4.1. ÉQUIVALENT DE SABLE.....	23
II.4.2. APPAREILLAGE .....	24
II.4.3. EXECUTION DE L'ESSAI.....	25
II.4.4. MESURES.....	25
II.4.5. EXPRESSION DES RESULTATS .....	26
<b>II.5. LA FORMULATION</b> .....	26
II.5.1. LE BUT .....	26
II.5.2. DEFINITION.....	26
II.5.3. PRINCIPE DE LA METHODE .....	26
II.5.4. MATÉRIEL NÉCESSAIRE.....	27

II.5.5. MODE OPERATOIRE.....	27
II.5.6. ESSAIS D'ETUDE - CORRECTIONS .....	32
<b>CHAPITRE III : RECHERCHES ANTERIEURES .....</b>	<b>36</b>
<b>III.1. AISSAOUI Walid .....</b>	<b>36</b>
<b>III.2. NGUYEN Vu Nam.....</b>	<b>41</b>
III.2.1. Partie 1 .....	41
III.2.2. Partie 2 .....	42
III.2.3. Partie 3 .....	44
<b>III.3. SERIFOU MAMERY.....</b>	<b>46</b>
III.3.1. Pneu.....	46
III.3.2. Le verre .....	47
III.3.3. Ciment durci.....	48
III.3.4. La résistance en compression.....	49
<b>III.4. MEDINE Malika .....</b>	<b>49</b>
<b>III.5. DJAKAM Imane.....</b>	<b>52</b>
III.5.1. Les essais .....	53
<b>III.6. RAMDANI Samiha.....</b>	<b>56</b>
<b>CHAPITRE IV : COMPARAISON ET CONCLUSION .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.1. COMPARAISON EN TERMES D'ESSAIS .....</b>	<b>63</b>
IV.1.1. LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS A L'ETAT FRAIS.....	63
IV.1.2. LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS A L'ETAT DURCI .....	65
IV.1.3. ANALYSE DES RESULTATS .....	68
<b>IV.2. CONCLUSION DE COMPARAISON.....</b>	<b>68</b>
<b>IV.3. RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>71</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau II.1 :** Familles de granulats.

**Tableau II.2 :** Classe de résistance des ciments selon la NF EN 197-1.

**Tableau II.3 :** Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S.

**Tableau II.4 :** Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

**Tableau II.5 :** Tableau pour mesurer la propreté d'un sable et la nature et la qualité.

**Tableau II.6 :** Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment.

**Tableau II.7 :** Valeur du coefficient de compacité.

**Tableau II.8 :** Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS.

**Tableau III.1 :** Désignations et notations des bétons retenus.

**Tableau III.2 :** Compositions des bétons étudiés pour 1m<sup>3</sup>.

**Tableau III.3 :** Masses volumiques des bétons à l'état durci.

**Tableau III.4 :** Résistances en compression sur cylindre à 28 jours des bétons étudiés.

**Tableau III.5 :** Résistances à la traction par flexion, exprimées en MPa.

**Tableau III.6 :** Caractéristiques granulométriques des SBC en fonction du temps de broyage.

**Tableau III.7 :** Présentation des sables recyclés du PN Recybéton.

**Tableau III.8 :** Teneur totale en alcalin des formulations OR-100R, C1\*, GN1, dopage.

**Tableau III.9 :** Equivalent de Sable des granulats ordinaires.

**Tableau III.10 :** Coefficients d'absorption (Ab) des granulats ordinaires et artificiels.

**Tableau III.11 :** Analyse granulométrique du sable normale.

**Tableau III.12 :** Masses Volumiques des Granulats.

**Tableau III.13 :** Coefficient d'Absorption d'Eau des Granulats (Ab).

**Tableau III.14 :** Équivalents de Sable.

**Tableau III.15 :** Porosité des Gravillons (n).

**Tableau III.16 :** Compacité et Indice de vide.

**Tableau III.17 :** Résistance à la Compression des Bétons sur Cube.

**Tableau III.18 :** La différence sur la vitesse d'impulsion ultrasonique des bétons d'études par rapport à C-ref.

**Tableau IV.1 :** Affaissement des bétons en fonction de Taux de substitution.

**Tableau IV.2 :** La masse volumique en fonction de taux de substitution.

**Tableau IV.3 :** La masse volumique en fonction de taux de substitution.

**Tableau IV.4 :** La masse volumique en fonction de taux de substitution.

**Tableau IV.5 :** Résistance en compression en fonction de taux de substitution.

**Tableau IV.6 :** Résistance à la traction en fonction de taux de substitution.

## LISTE DES FIGURES

**Figure II.1** : Appareillage spécifique (les tamis).

**Figure II.2** : Machine de vibration des tamis pour l'Analyse granulométrique.

**Figure II.3** : Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton et module de finesse.

**Figure II.4** : Illustration de l'essai de la masse volumique apparente.

**Figure II.5** : Appareillage d'essai équivalent de sable.

**Figure II.6** : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

**Figure II.7** : Variation de la correction à apporter au dosage en eau si la dimension maximale des granulats est différente de 25 mm.

**Figure III.1** : Mesure de la masse volumique des bétons à l'état durci.

**Figure III.2** : Evolution de la résistance à la compression des bétons étudiés dans le temps.

**Figure III.3** : Résistances par fendage à 28 jours des bétons étudiés.

**Figure III.4** : Historique typique du cisaillement (vitesse en rouge, couple en bleu).

**Figure III.5** : Granulats en caoutchouc de classe (0/4) mm utilisés [Ho, 10].

**Figure III.6** : Influence du dosage en G.C sur la résistance en compression à 7 et 28 jours (BAP dont le sable 0-4 mm remplacé par des G.C 0-4 mm).

**Figure III.7** : Eprouvettes après compression.

**Figure III.8** : Analyse granulométrique des granulats ordinaires et artificiels.

**Figure III.9** : Courbe granulométrique de granulats utilisés (0/5) ; (3/8) ; (8/16).

**Figure III.10** : Courbe granulométrique de granulats recyclés (0/5) ; (3/8) ; (8/16).

**Figure III.11** : Résistances à la compression et à la traction des mélanges de caoutchouc.

**Figure III.12** : La vitesse de l'impulsion ultrasonique et la résistance à la compression du caoutchouc et du verre, mélanges de poudres de sable.

**Figure III.13** : Perte de masse des bétons.

**Figure III.14** : Profondeur de pénétration de l'eau dans les mélanges de caoutchouc.

**Figure III.15** : Image MEB du béton de référence à 90 jours (X 5000, X 25000).

**Figure III.16** : L'image SEM du mélange contenant 15% de GP à 90 jours (X 5000, X 25000).

**Figure IV.1** : Affaissement des bétons en fonction de Taux de substitution.

**Figure IV.2** : Résistance en compression en fonction de taux de substitution.

**Figure IV.3** : Résistance à la traction en fonction de taux de substitution.

# CHAPITRE

## I

## CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

### I.1. INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un terme général faisant référence aux matériaux de construction composites dans les granulats (sable et gravier) agglomérés avec le liant, il peut s'agir de ce dernier hydraulique (ciment) ou hydrocarbure (bitume).

Depuis l'invention de ses ingrédients, ses ingrédients ont été trouvés en abondance dans la nature, car aucune autre substance ne pouvait rivaliser avec elle, et de nombreuses propriétés techniques et économiques. Au cours des dernières décennies, les domaines d'application du béton sont en constante expansion et c'est tout autour de nous, dans les maisons, les écoles, les hôpitaux, les ponts, les routes, les marchés, les bureaux, les usines et tout. . Éléments de la vie moderne.

C'est un excellent matériau de construction car il se distingue par sa durabilité, sa durabilité, son efficacité, son économie, sa durabilité et sa protection contre les intempéries. Avec l'augmentation de la croissance économique, l'augmentation de la population et l'expansion des zones urbaines, les villes ont été réaménagées et les routes ont été pavées, le besoin de construction, d'urbanisation et de nouvelles constructions a conduit à une augmentation des bâtiments, ce qui a conduit à une augmentation significative de l'utilisation du béton, car l'utilisation du béton est estimée à environ 30 milliards de tonnes par ans.

Partout dans le monde. Il joue un rôle important dans le développement de l'économie du pays. Mais cette augmentation de la demande d'utilisation et de production de béton est compensée par une diminution des matières premières bonnes et limitées sur nos terres.

L'industrie du béton consomme une grande quantité de matières premières naturelles et cela a un impact direct sur l'environnement, la consommation d'énergie et l'économie. En outre, le développement urbain a coïncidé avec la démolition d'anciens bâtiments et installations, ce qui a conduit à l'accumulation et à la production d'énormes quantités de déchets tels que le vieux béton, les métaux, le bois, le verre, la céramique et autres.

En conséquence, nous avons deux problèmes : le premier est la pénurie de matières premières pour produire du nouveau béton, et le second est la manière dont les déchets sont éliminés. De là est née l'idée d'utiliser des déchets de toutes sortes dans la production de béton neuf, qui est devenue une tendance mondiale qui retient beaucoup l'attention, en particulier dans les pays développés qui ont fait de grands progrès. En cours de réutilisation des déchets car il présente de grands avantages pour l'approvisionnement en matières premières. Et réduisez la consommation d'énergie et les émissions de chaleur.

Les chercheurs expérimentent et continuent d'expérimenter les technologies les plus prometteuses utilisées et résolvent des problèmes pratiques et techniques dans l'application et l'utilisation des déchets.

Dans nos recherches, nous avons traité de l'étude des déchets en général et des déchets de pneus en caoutchouc en particulier

Parce qu'il est devenu un obstacle majeur en raison de la difficulté de se débarrasser de celui-ci et qu'il est devenu avec le temps de plus en plus en grande quantité, et cette recherche contribue, même partiellement, à résoudre ce problème en produisant du nouveau béton en remplaçant une partie du sable par une partie des déchets de caoutchouc et en étudiant les propriétés de ce béton qui sont représentées dans ces objectifs :

- Étudiez l'effet de l'ajout de caoutchouc au béton sur certaines propriétés physiques et mécaniques du béton mou et sec telles que la résistance à la compression, l'affaissement et la densité.
- Comparaison des propriétés du béton armé de caoutchouc avec le béton de référence (normal).
- Comparaison des études des chercheurs avec certaines sur les propriétés de ce béton

Il est également évident que le béton présente un handicap en raison de sa fragilité et de sa faible résistance à la traction, c'est pourquoi il est fixé sur des barres d'acier. Il prend de la résistance à la traction et permet ensuite de réaliser des éléments flexibles. Cependant, il est encore relativement fragile et, par conséquent, les fabricants du monde entier

Ils devront faire face à cette situation en cherchant à réduire ses insuffisances. C'est pourquoi la valorisation des déchets est actuellement considérée comme une solution d'avenir.

Pour atteindre les objectifs de l'étude, nous avons divisé la thèse en quatre chapitres ;

Chapitre I : Introduction générale.

Chapitre II : caractéristiques des matériaux

Chapitre III : Recherches antérieures.

Chapitre IV : Comparaison et conclusion.

## **I.2. ORGANISATION DU MEMOIRE**

### **Chapitre I : Introduction générale.**

Dans le premier chapitre, nous avons présenté un examen détaillé qui est une clé pour le reste des chapitres, car ce chapitre parle du reste des chapitres et traite d'une description de leur contenu

### **Chapitre II : Propriétés des matériaux**

Il fournit une description et une définition des matériaux utilisés dans la préparation du béton, car le sable, le gravier et le ciment semblent avoir des propriétés uniques qui leur permettent de formuler le béton. Ce chapitre a également traité des caractéristiques des règles utilisées dans l'étude expérimentale et les expériences et essais utilisés sur ces matériaux selon les normes internationales adoptées.

Comme cette étude éclaire les propriétés des matériaux, les proportions sont choisies en fonction du type de travail requis et des matériaux disponibles et en mélangeant ces matériaux, on obtient un béton qui commence à durcir avec le temps pour devenir solide et solide.

Premièrement, nous avons fourni une définition de l'agrégat et le fait que la qualité et les caractéristiques des agrégats ont une grande influence car ils occupent environ 70 à 75% du volume total de la masse de béton. Les agrégats sont généralement constitués de grains rocheux gradués en taille aussi petit que le sable et gros comme le gravier, et cela donne au béton une meilleure durabilité que si la pâte de ciment était utilisée seule.

Ciment, nous avons donné une brève définition du ciment, qui est un liant hydraulique car il possède des propriétés cohésives et contiguës en présence d'eau, ce qui lui permet de lier les composants du béton et de le libérer également dans les composants, types et caractéristiques du ciment avec des noms différents, et malgré cela, ses composants de base restent les mêmes, même si leurs proportions diffèrent d'une espèce à l'autre.

L'eau, nous lui avons donné une définition, et c'est une substance nécessaire à la réaction chimique entre elle et le ciment, en plus de donner au mélange constitué d'agrégats grossiers et fins et de ciment un degré approprié de ductilité qui aide le béton à se former et à fonctionner.

Nous avons également abordé l'étude des déchets, sa définition et la description de ses différents types, et ce chapitre vise également à étudier les expériences et les tests qui sont utilisés sur les matériaux dans le but de les définir et les principes de leur utilisation avec toutes les lois qui y sont liées.

### **Chapitre III : Recherches antérieures**

Le troisième chapitre est considéré comme une étude bibliographique de certaines recherches et travaux qui ont été achevés et ont confirmé dans leur intégralité la possibilité d'utiliser les déchets comme substitut partiel des agrégats naturels au vu de la demande croissante de béton et de la pénurie de matières premières, il est donc devenu nécessaire d'exploiter de nouveaux matériaux et pour cela nous avons présenté cette étude bibliographique à certains chercheurs qui ont développé de nombreux travaux scientifiques. En perspective pour améliorer les propriétés du béton.

Dans cette voie, plusieurs études sont apparues dans divers pays du monde pour ajouter des déchets à la composition du mélange bitonisme, mais ses résultats ont été mitigés à un moment donné et acceptés à d'autres moments, laissant le champ libre à plus études et recherches.

La méthodologie de la recherche a permis d'obtenir des résultats scientifiquement satisfaisants sur certains aspects et importants sur d'autres.

La recherche a également fourni des résultats basés sur la compréhension scientifique et l'analyse mathématique qui pourraient établir de nouvelles sœurs de recherche

À partir des découvertes des chercheurs.

#### **Chapitre IV : Comparaison et conclusion**

C'est une conclusion au reste des chapitres où il parle des résultats entre les recherches, après que l'effet des déchets sur les propriétés du béton a été testé selon plusieurs critères qui variaient en termes de spécifications physiques et de taux d'utilisation, car ces déchets étaient utilisés comme substitut aux agrégats, après quoi les résultats ont été analysés par les chercheurs et l'effet des déchets a été comparé. Sur le béton et ses propriétés mécaniques.

# **CHAPITRE**

## **II**

## CHAPITRE II : PROPRIETES DES MATERIAUX

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature. Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région, les matériaux utilisés sont :

1. Le sable ;
2. Deux fractions de graviers (3/8,8/15) ;
3. Le ciment de CPJ - CEM II/B 42,5 ;
4. Déchets
5. Eau de gâchage : c'est l'eau potable

### II.1. LE BETON

#### II.1.1. DEFINITION

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci. [01]

Le béton est un matériau de construction remarquable. Près de 7 milliards de mètres cubes sont mis en place chaque année dans le monde. [01]

Ses qualités sont les suivantes :

- C'est un matériau « hydraulique » (car le ciment est un liant « hydraulique »), c'est-à-dire qu'il durcit par une réaction avec l'eau. En conséquence il ne craint pas l'eau, il en a même besoin.

Un minimum d'humidité doit être maintenu durant ses premiers jours de durcissement et, à condition de ne pas le délayer, c'est sous l'eau qu'il durcit le mieux. [01]

- Une fois durci, il est dur et solide comme de la pierre et même souvent plus.
- Il est moulable à température ambiante. Sa mise en place est donc simple et il s'adapte à toutes les formes désirées, même les plus complexes.

De très grands volumes peuvent être mis en place par addition de quantités plus faibles et, moyennant quelques précautions simples, l'ensemble obtenu se comporte de façon monolithique.

- Il est peu perméable, imputrescible, peu dégradable et incombustible (bien que pouvant être finalement détruit par un incendie il résiste longtemps avant d'être altéré).
- C'est un matériau lourd. Pour la construction des avions c'est un défaut. Mais pour les constructions courantes c'est souvent une qualité. Le poids s'avère notamment un atout pour résister au renversement. Il est également un atout pour l'isolation acoustique.
- Son PH basique ( $\text{PH} \geq 12$ ) aide à la protection des armatures métalliques contre la corrosion. [01]

Nous exposons dans ce travail un type de béton qui est le béton ordinaire, est un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) un liant. Le liant peut être «hydraulique», il est appelé ciment.

Dans ce chapitre nous avons élaboré une présentation générale sur le béton et ses composants

## II.1.2. GRANULATS

### DEFINITION SELON LA NORME XPP 18-540 [02]

Ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm.

Les granulats sont dits :

- **Naturels** : lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique ;
- **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 ;
- **Courants** : lorsque leur masse volumique réelle MVR (P 18-554, P 18-555) est supérieure ou égale à 2 Mg/m<sup>3</sup> (ou t/m<sup>3</sup>) ;
- **Légers** : lorsque leur masse volumique réelle MVR est inférieure à 2 Mg/m<sup>3</sup> (ou t/m<sup>3</sup>).

Ils sont désignés par d/D dans lequel d et D représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions du produit. Ces dimensions correspondent à la grosseur des grains (définie dans P 18-561) déterminée par l'analyse granulométrique par tamisage selon P 18-560.

Tout intervalle d/D ainsi défini est également appelé classe granulaire. Cette désignation des granulats en termes de dimensions inférieure (d) et supérieure (D) de tamis admet que des grains

puissent être retenus sur le tamis D et que d'autres puissent passer au travers du tamis d, dans les limites précisées dans les articles 7 et suivants.

Les dimensions d et D sont choisies dans la série suivante :

0 - 0,063 - 0,08 - 0,1 - 0,125 - 0,16 - 0,2 - 0,25 - 0,315 - 0,4 - 0,5 - 0,63 - 0,8 - 1 - 1,25 - 1,6 - 2 - 2,5 - 3,15 - 4 - 5 - 6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 14 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125 mm. [02]

**NOTE** : Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par le CEN (NF EN 933-2).

On distingue les familles de granulats suivantes :

▪ Fillers 0/D	où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
▪ Sablons 0/D	où $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
▪ Sables 0/D	où $1 < D \leq 6,3$ mm ;
▪ Graves 0/D	où $D > 6,3$ mm ;
▪ Gravillons d/D	où $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm ;
▪ Ballasts d/D	où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

**Tableau II.1** : Familles de granulats.

Tous les sables qu'ils soient d'origine unique, ou résultante d'un mélange, doivent satisfaire aux exigences de la présente norme pour pouvoir y faire référence. [02]

### II.1.3. LE SABLE

Grains de dimensions allant de 0 à D où  $1 < D \leq 6,3$  mm, d'après la norme P18-598, que l'essai d'équivalent de sable (ES), les sables ayant un ES compris entre 75 et 85%, de granularité définies principalement par les paramètres suivants :

- ✓ Teneur en fines (passant à 0,08mm  $\leq$  12%)
- ✓ Module de finesse ( $Mf = 1,8$  à 3,2)
- ✓ Bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton suivant la norme P18-541.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit :

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire. [03]

#### II.1.4. LE CIMENT

Les liants hydrauliques les plus utilisés dans la construction sont les ciments qui représentent une production d'environ 21 millions de tonnes en France en 2005. Les chaux hydrauliques qui constituent une autre famille représentent environ 400 000 tonnes. Ce sont des matériaux qui font l'objet de fabrications industrielles et de contrôles garantissant leur conformité aux normes.

##### II.1.4.1. DEFINITION

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

le ciment conforme à la NA 442, appelé CEM, mélangé avec des granulats et gâché avec l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve son ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance prescrits et aussi présenter une stabilité de volume à long terme. [04]

Le durcissement hydraulique du ciment CEM est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tel que, par exemple, les aluminates. Dans les ciments CEM, la somme des quantités relatives d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>) réactifs doit représenter une proportion au moins égale à 50% en masse, lorsqu'elles sont déterminées selon la norme **NA5042**.

Les ciments CEM sont constitués de différents matériaux et sont de composition statistiquement homogène du fait d'une assurance qualité couvrant les processus de production et de manutention. Le lien entre ces processus de production et de manutention et la conformité du ciment à la **NA 5040**.

##### II.1.4.2. LES CONSTITUANTS PRINCIPAUX

Les ciments normalisés peuvent contenir un ou plusieurs constituants de base qui sont :

- le clinker,
- le sulfate de calcium,
- le laitier de haut-fourneau,
- les cendres volantes,
- les pouzzolanes naturelles,
- les schistes calcinés,
- les fillers calcaires,
- les fumées de silice. [05]

### II.1.4.3. LES DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS COURANTS

Les ciments, définis dans la norme NF EN 197-1, sont subdivisés en cinq catégories principales qui sont repérées par des chiffres romains, le tableau suivant permet de retrouver la classification de ces différentes catégories :

- CEM I : Ciment PORTLAND ;
- CEM II : Ciment PORTLAND composé ;
- CEM III : Ciment de haut fourneau ;
- CEM IV : Ciment pouzzolanique ;
- CEM V : Ciment composé. [05]

### II.1.4.4. LES CLASSES DU CIMENTS

La dénomination retenue pour les ciments doit faire apparaître le type de ciment et un nombre indiquant la classe de résistance (32,5 - 42,5 - 52,5). La résistance à la compression est mesurée sur mortier normal (mortier fabriqué avec le sable normalisé, avec des proportions bien définies de sable / ciment / eau), conformément à la norme EN 196-1.

Les classes de résistance aux jeunes âges élevés sont définies par des valeurs minimales de résistances à deux jours les désignations normalisées sont alors suivi d'une lettre N (normal) ou R (rapide). [05]

Classe	Résistance à la compression en N/mm <sup>2</sup> (MPa)		
Résistance au jeune âge	Résistance normale		
2 jours	7 jours	28 jours	28 jours
32,5 N	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0		
42,5 N	≥ 10,0	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0		
52,5 N	≥ 20,0	≥ 52,5	
52,5 R	> 30,0		

**Tableau II.2 :** Classe de résistance des ciments selon la NF EN 197-1.

### II.1.5. L'EAU DE GACHAGE

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton.

D'une part, elle est nécessaire au durcissement du ciment, puisque la réaction chimique du ciment (hydratation) est induite par l'eau. D'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et une mise en place correcte du béton frais. [06]

L'eau de gâchage est la quantité d'eau additionnée au mélange de ciment, d'addition et de granulat lors du malaxage du béton.

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

- ✓ Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent) ;
- ✓ Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...). Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation :
  - ✓ Les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également. À côté, les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent :
    - ✓ Les eaux usées ;
    - ✓ Les eaux vannes ou contenant des détergents ;
    - ✓ Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques. Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non-nocivité avant tout emploi. La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraints, mais les spécifications du fascicule 65 A sont plus rigoureuses et en interdisent formellement l'emploi lors du gâchage. Bien que les textes officiels ne traitent pas de ce sujet, l'utilisation d'eau de mer pour le gâchage de bétons non armés ne présente pas de risque quant à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences dues à une migration des sels, pouvant apparaître sur les parements. [06]

## **II.2. LES DECHETS**

Les déchets ont tous des résidus d'un processus de production, de transformation ou de consommation, dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. Ces déchets peuvent exister sous différents types et formes. [07]

### **II.2.1. ORIGINE DE LA PRODUCTION DE DECHETS**

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

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

## **II.2.2. DIFFERENTS TYPES DE DECHETS**

### **II.2.2.1. DECHETS ULTIMES**

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration. [08]

### **II.2.2.2. DECHETS 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, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [08]

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

Ce sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux. [08]

### **II.2.2.3. DECHETS ASSIMILES**

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). [08]

### **II.2.2.4. DECHETS VERTS**

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...). [08]

### **II.2.2.5. DECHETS ORGANIQUES**

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

Il s'agit de :

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....- boues. [08]

### **II.2.2.6. DECHETS 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. [08]

### **II.2.2.7. DECHETS DANGEREUX**

#### **a. Déchets industriels spéciaux (DIS) :**

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

#### **b. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :**

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [08]

## **II.3. ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRANULATS**

Une série d'essais d'identification a été effectuée sur le matériau granulat utilisé, naturel et recyclé, sable et gravillon, Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats et sur la possibilité d'utiliser ces granulats dans la réalisation des ouvrages en béton. [09]

### **II.3.1. ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE**

L'analyse Granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. L'analyse a été effectuée conformément à la norme française P 18-560

#### **II.3.1.1. APPAREILLAGE**

- Appareillage spécifique à la norme P 18-553.
- Bacs, brosses, pinceaux ;
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Étuve ventilée réglée à  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
- Un dispositif de lavage. [09]



**Figure II.1 :** Appareillage spécifique (les tamis).

### **II.3.1.2. PRINCIPE DE L'ESSAI**

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

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisâtes sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). [09]

### **II.3.1.3. PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON POUR L'ESSAI**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. La masse  $M$  de l'échantillon pour essai doit être supérieure à  $0,2 D$ , avec  $M$  exprimé en kilogrammes et  $D$  plus grande dimension spécifiée en millimètres. [09]

### **II.3.1.4. EXÉCUTION DE L'ESSAI**

- Détermination de la masse sèche de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique : L'essai s'effectue sur le matériau à la teneur en eau à laquelle il se trouve avant l'analyse afin d'éviter un séchage qui présente des inconvénients : perte de temps due au séchage avant tamisage, risque d'agglomération des particules par séchage. À partir de l'échantillon pour laboratoire, il est donc préparé deux échantillons pour essai. [09]

L'un de masse  $M_{1h}$  pour déterminer la masse sèche de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique, l'autre de masse  $M_h$  pour effectuer l'analyse granulométrique.

- Pesée des deux échantillons  $M_{1h}$  et  $M_h$  ;
- Séchage à l'étuve jusqu'à masse constante (c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure, ne diffèrent pas de plus de 0,1 %) du premier échantillon  $M_{1h}$  et pesée, soit  $M_{1s}$  sa masse sèche. [09]

La masse sèche ( $M_s$ ) de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique est calculée de la manière suivante :

$$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} M_h$$

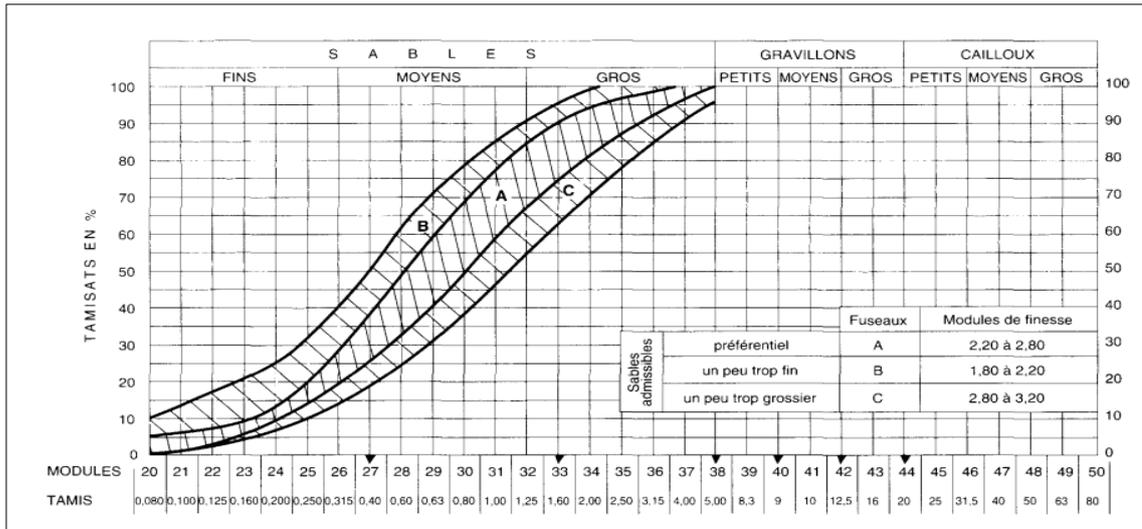


Figure II.2 : Machine de vibration des tamis pour l'Analyse granulométrique.

### II.3.1.5. MODULE DE FINESSE

Le module de finesse d'un granulat est égal au  $1/100^e$  de la somme des refus exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante 0.16-0.315-0.36-1.25-2.5-5-10-20-40 mm. Le module de finesse étant presque exclusivement sur les sables, les tamis concernés sont : (0.125, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5). Il est donné par la relation suivante : [10]

$$M_f = \Sigma RC / 100$$



**Figure II.3 :** Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton et module de finesse.

Des recherches sur l'influence de la finesse des sables sur les qualités divers du béton on conduit à délimiter certains fuseaux de granularités admissibles tels que ceux représentés sur la figure II.3 :

- ✓ La partie centrale A ( $2.2 < M_f < 2.8$ ) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisant et bonne résistance avec des risque de ségrégation limités.
- ✓ La partie supérieure B ( $1.8 < M_f < 2.2$ ) est à utiliser si l'on recherche particulier ment la facilité de mise en œuvre au déterminent probable de la résistance.
- ✓ La partie inférieur C ( $2.8 < M_f < 3.2$ ) correspond à des sables utiliser pour la recherche de résistance élèves .mais on aura en général une moins bonne ouvrabilité et des risque de ségrégation.

### II.3.1.6. MASSES VOLUMIQUES DES GRANULATS

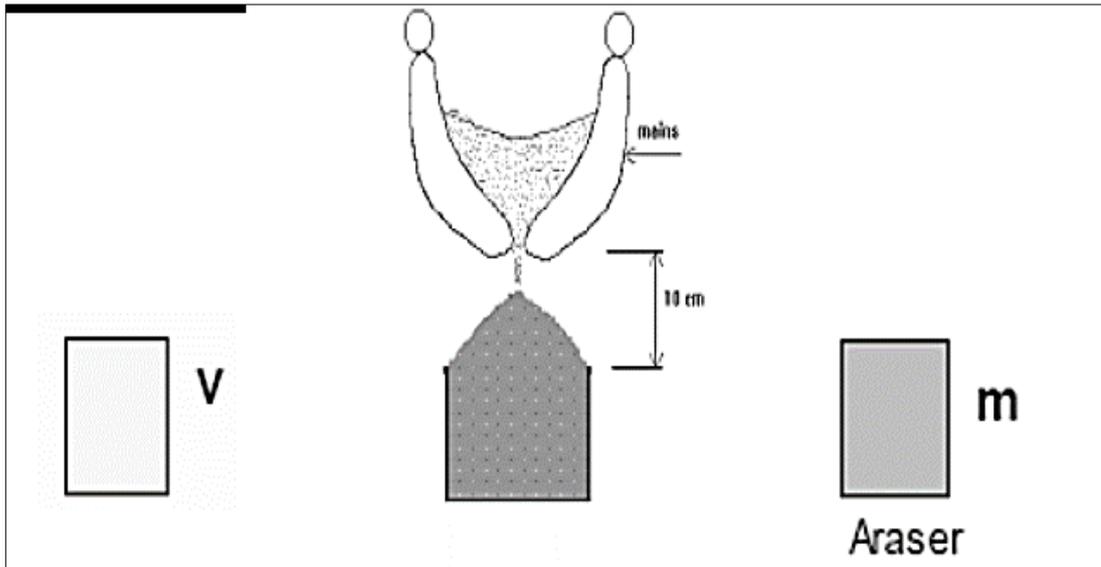
Nous avons déterminé les masses volumiques apparentes et absolues des graviers conformément à la norme NF EN 12620. [11]

#### – Masses volumiques apparentes

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

$$\rho = M / V \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

M étant la masse du granulat remplissant un récipient de volume V. [11]



**Figure II.4 :** Illustration de l'essai de la masse volumique apparente.

– **Masses volumiques absolues**

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume. [13]

**II.3.1.7. BUT DE LA MESURE**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple en élaboré une composition de béton .Ce paramètre, permet en particulier, de déterminer la masse la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristique sont imposées. [11]

**Définition :** la masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

**II.3.1.8. EXÉCUTION DE L'ESSAI**

La méthode utilisée est La méthode de l'éprouvette graduée. Cette méthode est très simple et très rapide et utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau.
2. Peser un échantillon sec  $M$  de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume  $V_2$ . [13]

La masse volumique est alors :  $\rho_s = \frac{M}{V_1 - V_2}$

### II.3.1.9. POROSITE

L'essai de porosité des gravillons a été effectué conformément à la norme française P 18 -554.

**Définition** : est définie comme le rapport des vides contenue dans les grains et accessibles a l'eau, au volume réel de l'échantillon : [15]

$$P (\%) = 100 \frac{M_w - M_s}{M_w - M_w}$$

### II.3.1.10. COMPACITE

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau. [07]

La compacité donnée par la formule :  $C (\%) = \left(\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) = 100 - P$

### II.3.1.11. L'INDICE DES VIDES

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide. Donnée par la formule : [07]

$$e = \left(\frac{V_v}{V_s}\right) = \frac{P}{100 - P}$$

## II.3.2. ABSORPTION D'EAU

Les coefficients d'absorption d'eau « Ab » ont été déterminés conformément à la norme P18-555, pour les sables et la norme P 18 – 554, pour les gravillons.

### Définition :

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, a la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h a 20 °C à la pression atmosphérique. [07]

$$Ab = 100 \frac{Ma - Ms}{Ms}$$

## II.4. ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES SABLES

### II.4.1. ÉQUIVALENT DE SABLE

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floclent. La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floclat et de la partie sableuse sédimentée

Il a été effectué conformément à la norme française P18-598. [14]

## II.4.2. APPAREILLAGE

Appareillage d'usage courant :

- Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond.
- Spatule et cuillère.
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200 ml.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Chronomètre donnant la seconde.
- Réglet de 500 mm, gradué en millimètres.
- Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes.
- Bacs pour tamisage.
- Appareillage spécifique
- Éprouvettes cylindriques et transparentes en matière plastique
- Un piston taré constitué par :
  - Une tige de 440 mm  $\pm$  0,25 mm de longueur ;
  - Une embase de 25 mm  $\pm$  0,1 mm de diamètre
  - Un manchon de 10 mm  $\pm$  0,1 mm d'épaisseur
  - Un poids fixé à l'extrémité supérieure de la tige pour donner à l'ensemble du piston taré, hormis le manchon, une masse totale de 1 kg  $\pm$  5 g
- Un tube laveur
- Un flacon, transparent en verre ou en matière plastique
- Un tube de caoutchouc, ou de plastique, de 1,50 m de longueur environ et de 5 mm de diamètre intérieur environ reliant le tube laveur au siphon ;
- Un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon dans l'éprouvette cylindrique
- Une machine d'agitation, manuelle ou électrique, capable d'imprimer à l'éprouvette un mouvement horizontal, rectiligne et périodique de 20 cm  $\pm$  1 cm d'amplitude et de période 1/3 seconde. [14]

La solution lavante est préparée, en prenant 125 ml  $\pm$  1 ml de la solution concentrée et en diluant à 5 l  $\pm$  0,005 l avec de l'eau distillée.



**Figure II.5 :** Appareillage d'essai equivalent de sable.

### II.4.3. EXECUTION DE L'ESSAI

La solution lavante ayant été siphonnée dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait repère inférieur, la prise d'essai humide, correspondant à une masse sèche de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  de matériau, est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement. Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon. [14]

Laisser reposer dix minutes.

À la fin de cette période de dix minutes, boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation.

Faire subir à l'éprouvette  $90 \text{ cycles} \pm 1 \text{ cycle}$  en  $30 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$ .

Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essais.

Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante.

En descendant le tube laveur dans l'éprouvette rincé les parois de l'éprouvette avec la solution lavante, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette.

Faire remonter les éléments argileux, tout en maintenant l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante : l'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur, relever le tube laveur, de façon à ce que le niveau du liquide se maintienne à hauteur du trait repère. Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur. [14]

### II.4.4. MESURES

Laisser reposer pendant  $20 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$ .

Au bout de ces 20 min, mesurer à l'aide du régleur la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.

Mesurer également la hauteur  $h_2$  du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette.

Lorsque l'embase du piston repose sur le sédiment, bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston. Introduire le régleur dans l'encoche du manchon, faire venir buter le zéro contre la face inférieure de la tête du piston.

Lire la hauteur du sédiment  $h_2$  au niveau de la face supérieure du manchon.

Arrondir les hauteurs  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_2$  au millimètre le plus voisin. [14]

## II.4.5. EXPRESSION DES RESULTATS

L'équivalent de sable est donné par la formule :  $E_s = 100 \frac{h_2}{h_1}$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :  $E_{sv} = 100 \frac{h_2'}{h_1'}$

## II.5. LA FORMULATION

### II.5.1. LE BUT

Cette méthode a pour seule but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchées d'essais et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés. [10]

### II.5.2. DEFINITION

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de l'élément d'ouvrage en cause.

Plusieurs méthodes sont proposées parmi lesquelles la méthode pratique simplifiée dite méthode "Dreux Gorisse"

Elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié mais que, seules quelques gâchées d'essais et la confection des éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

Les paramètres essentiels utilisés sont :

- **f<sub>C28</sub>** : Résistance en compression à 28 jours d'une éprouvette cylindrique 16x32,
- **A** : Affaissement au cône d'ABRAMS en cm,
- **D** : Dimension maximale des granulats en mm. [10]

### II.5.3. PRINCIPE DE LA METHODE

Nous disposons en général des informations suivantes :

- La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé,
- La connaissance d'une résistance nominale ( $s_n$ ) en compression à 28 jours et en admettant un coefficient de variation, la résistance moyenne serait :

$$s_{28} \gg s_n + 15\% \cdot s_n$$

- La consistance désirée est fonction de la nature de l'ouvrage, de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc...

- La plasticité désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abraham. [10]

Plasticité	Serrage	Affaissement A en cm	N Nombre de chocs test C.E.S
<b>Béton très ferme</b>	Vibration puissante	0 à 2	> 60
<b>Béton ferme</b>	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
<b>Béton plastique</b>	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
<b>Béton mou</b>	Piquage	10 à 13	10 à 15
<b>Béton fluide</b>	Léger piquage	>= 14	< 10

**Tableau II.3 :** Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S.

#### II.5.4. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Bétonnière.
- Moules cylindriques 16x32,
- Cône d'Abrams,
- Table vibrante
- Eprouvette graduée,
- Balance 30 Kg
- **Consommables :**
  - o Ciment
  - o Eau,
  - o Sable,
  - o Gravier
  - o Huile de coude [10]

#### II.5.5. MODE OPERATOIRE

##### II.5.5.1. Dosage en ciment, en eau

A partir de la formule ci-dessous on détermine le rapport  $\frac{C}{E}$

$$G_{28} = G_{6c} \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Avec :

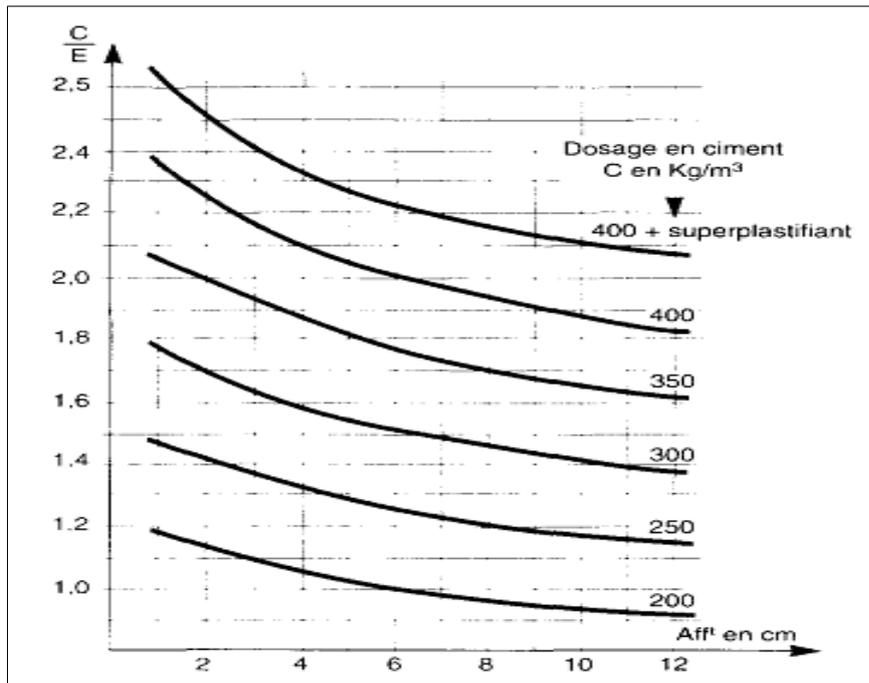
$G_{28}$  : Résistance moyenne en compression désirée à 28 j en bars

$G_c$  : Classe vraie du ciment (à 28 j) en bars

C : Dosage en ciment (en kg/m<sup>3</sup>)

G : Coefficient granulaire. (Voir tableau ci-dessous)

E : Dosage en eau sur matériaux secs (en litres pour 1 m<sup>3</sup> de béton). [10]



**Figure II.6 :** Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

Qualités des granulats	Dimension des granulats		
	Fins (D < 16 mm)	Moyens (25 < D < 40 mm)	Grossier (D > 63 mm)
<b>Excellente</b>	0.55	0.60	0.65
<b>Bonne, courante</b>	0.40	0.50	0.55
<b>Passable</b>	0.35	0.40	0.45

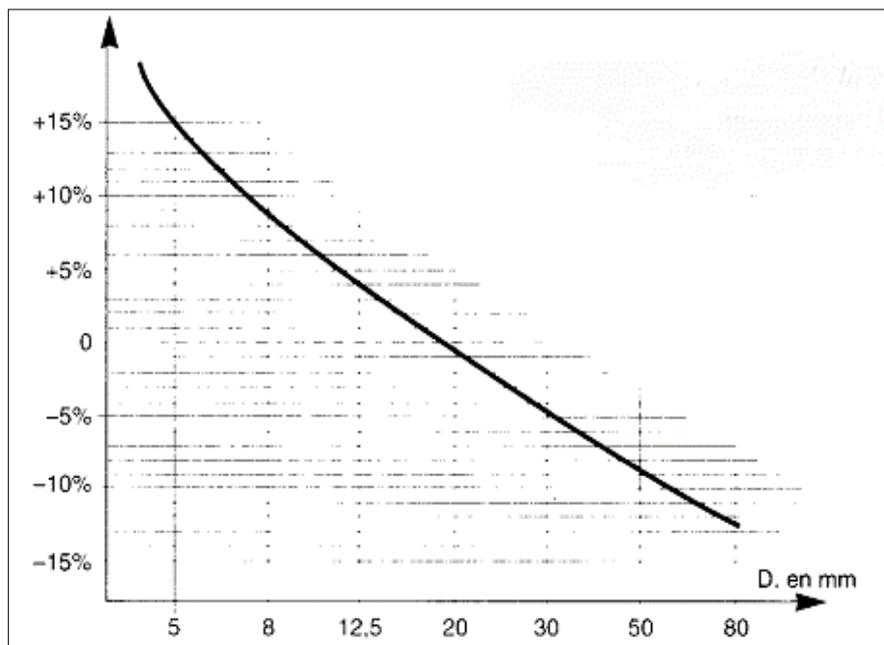
**Tableau II.4 :** Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).

Il faut souligner que le dosage en ciment est fonction du rapport  $\frac{C}{E}$ , du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. Ainsi l'abaque ci-après permet d'évaluer approximativement C en fonction de  $\frac{C}{E}$  et de l'ouvrabilité désirée qui est souvent fonction des moyens de serrage du béton.

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, on déduit alors le dosage approximatif en eau E qu'il conviendrait d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

L'abaque ci-dessous nous permet d'effectuer une première correction en tenant compte de la dimension maximale des granulats (D max). [10]



**Figure II.7 :** Variation de la correction à apporter au dosage en eau si la dimension maximale des granulats est différente de 25 mm.

### II.5.5.2. Choix des granulats

#### 1. Tracé de la courbe granulatoire de référence

Les graviers doivent être de bonne qualité minéralogique, suffisamment durs et bien propres, mais de préférence alluvionnaire.

Le sable quant à lui a sur le béton, une influence prépondérante selon ses qualités :

- Sa propriété à vérifier par l'Equivalent de Sable (E.S)
- Son module de finesse  $M_f$  à calculer : des refus (% ramené à l'unité) de tamis de module suivant 23, 26, 29, 32, 35, 38 Sa courbe granulométrique. [10]

En ce qui concerne les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable E.S, on trouve :

ES à vue	ES Piston	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	<b>Sable argileux</b> : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 < ES < 75	60 < ES < 70	<b>Sable légèrement argileux</b> de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 < ES < 85	70 < ES < 80	<b>Sable propre à faible</b> pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité (valeur optimale : ES piston = 75 - ES à vue = 80).
ES ≥ 85	ES ≥ 80	<b>Sable très propre</b> : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Tableau II.5 :** Tableau pour mesurer la propreté d'un sable et la nature et la qualité.

**2. Correction éventuelle du module de finesse du sable**

On pourra utiliser la règle d'Abrams : supposons par exemple que l'on dispose d'un sable S1 de module de finesse trop fort M1 et que l'on désire y ajouter un sable fin S2 de module de finesse M2 afin d'obtenir un mélange dont le module de finesse serait Mf ; les proportions des deux sables composant devront être les suivantes : [10]

$$\text{Proportions S1} = \frac{Mf - Mf_2}{Mf_1 - Mf_2}$$

$$\text{Proportions S2} = \frac{Mf_1 - Mf}{Mf_1 - Mf_2}$$

**3. Graphique d'analyse granulométrique**

Après le tamisage des granulats, on trace sur le même graphique les courbes granulométriques des différents granulats. Ensuite on trace la courbe granulaire de référence OAB : le point 0 étant l'origine, le B (à l'ordonnée 100 %) correspond à la dimension Dmaxi du plus gros granulat et le point A dit le point de brisure a les coordonnées ainsi définies en abscisse à partir de Dmaxi :

- Si : Dmaxi < 20 mm, alors l'abscisse  $XA = \frac{Dmaxi}{2}$
- Si Dmaxi > 20 mm, XA est située au milieu du "segment gravier" limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à Dmax. Et l'ordonnée (YA) est donnée par la formule :  $YA = 50 - \sqrt{Dmaxi} + K$

Avec K (voir tableau ci-dessous) un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (En particulier la forme du sable). [10]

Vibration		Faible		Normal		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

**NOTA 1 :** Correction supplémentaire Kp :  
 Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $Kp = 6 M \square \square 15$  ( $M \square$  étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

**NOTA 2 :** Correction supplémentaire Kp :  
 Si la qualité du béton est précisée « pompable », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur  $Kp = + 5$  à 10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

**Tableau II.6 :** Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment.

**II.5.5.3. Dosage des granulats**

**4. Coefficient de compacité**

Le coefficient de compacité  $\gamma$  est le rapport des volumes absolus des matières solides ( $V_m = V_g + V_s + V_c$ ) au volume total du béton frais en œuvre soit un mètre cube.

$$\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000} \text{ (en litres), avec :}$$

$V_g$  : Volume absolu du gravier

$V_s$  : Volume absolu du sable

$V_c = \frac{C}{3.1}$  Volume absolu du ciment

Ce coefficient  $\gamma$  est fonction de :

$D_{max}$  : dimension maximale des granulats

$C$  : Dosage en ciment et  $E$  dosage en Eau

$\frac{G}{S}$  : Rapport de composition gravier, sable

Forme des granulats (concassés ou roulés)

Moyen de serrage (vibrations, piquage) [10]

Consistance	Serrage	Coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
<b>Molle</b>	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
<b>Plastique</b>	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
<b>Ferme</b>	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

**NOTA :** Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon, il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- Sable roulé et gravier concassé 0,01
- Sable et gravier concassé 0,03
- $C \square 350$

Pour un dosage en ciment  $C \square 350 \text{KN/m}^3$ , on apportera le terme correctif suivant : 3000

**Tableau II.7 :** Valeur du coefficient de compacité.

La courbe granulaire de référence OAB étant tracée, on trace alors les lignes de partage des courbes granulaires en joignant le point à 95 % de la courbe granulaire du leur granulat, au point de 5 % de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite.

On lira alors, sur la courbe de référence OAB au point de croisement (intersection) avec la ou les droites de partages de courbes, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : soit  $g_1$ ,  $g_2$  etc... [10]

$$\text{A partir de : } \gamma = \frac{Vg + Vs + Vc}{1000} \Rightarrow Vg + Vs = V = 1000g - Vc$$

Ainsi les volumes absolus de chacun des granulats sont :

$$\begin{aligned} V_1 &= g_1 (Vg + Vs) = g_1 \cdot V \\ V_2 &= g_2 \cdot V \quad \text{etc...} \end{aligned}$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont  $w_1$ ,  $w_2$  etc... alors les masses de chacun d'eux seront :

$$\begin{aligned} P_1 &= w_1 \cdot V_1 \\ P_2 &= w_2 \cdot V_2 \quad \text{etc...} \end{aligned}$$

Soit  $P$  la masse totale des granulats. Ainsi on aura défini la formule de composition pour 1 m<sup>3</sup> de béton à savoir :

- Dosage en ciment :  $C$  (Kg/ m<sup>3</sup>)
- Dosage en eau :  $E$  (l/ m<sup>3</sup>)
- Dosage des granulats :  $G, S$ . (kg ou litres pour 1 m<sup>3</sup>) [10]

## II.5.6. ESSAIS D'ETUDE - CORRECTIONS

### II.5.6.1. Confection du béton même

La formule de composition étant déterminée, on procède alors à réaliser divers essais d'étude pour contrôler les résistances et certains critères essentiels afin de corriger éventuellement la formule ainsi proposée.

Pour effectuer ces corrections, on observera les différents cas suivants : [10]

#### ➤ Résistance insuffisante :

Si la résistance est insuffisante, il faut soit :

- Augmenter le dosage en ciment,
- Diminuer le dosage en eau mais pour maintenir une plasticité suffisante il faut faire appel éventuellement à un adjuvant fluidifiant,
- Diminuer le dosage en éléments fins du sable au profit des éléments plus gros (majoration du module de finesse) mais dans ce cas, attention à la diminution de l'ouvrabilité et à l'augmentation de la ségrégabilité,

- Augmenter le rapport  $\frac{G}{S}$  en diminuant un peu la quantité du sable au profit du gravier ; il suffit d'abaisser un peu le point A de la courbe de référence.

Des essais d'écrasement des éprouvettes doivent être effectués afin d'adopter la correction satisfaisante à retenir. [10]

➤ **Ouvrabilité insuffisante, ségréabilité**

Pour améliorer l'ouvrabilité, il faut soit :

- Vérifier que le sable n'a pas un module de finesse trop fort ; dans ce cas, ajouter un sable fin de façon à corriger ce module ou faire appel à un adjuvant plastifiant,
- Augmenter le dosage en eau, si le béton a un aspect trop sec, mais attention à la chute de résistance,
- Augmenter le dosage des éléments les plus fins au détriment des plus gros, ce qui revient à diminuer le rapport  $\frac{G}{S}$ ; il suffit de relever un peu le point A, d'où à choisir une valeur de K un peu plus élevée. [10]

➤ **Ajustement de la formule au m<sup>3</sup>**

Si la masse totale des granulats est P, si la masse du ciment est C et le dosage en eau est E (en litres/m<sup>3</sup> sur matériaux secs), la densité du m<sup>3</sup> de béton frais serait théoriquement :

$$\Delta_0 = \frac{P + C + E}{1000}$$

On peut en pesant une ou plusieurs éprouvettes mesurer la densité réelle (D) du béton frais en œuvre. Ainsi :

Si  $\Delta \approx \Delta_0$ , la formule étudiée correspond bien au m<sup>3</sup>,

Si  $\Delta < \Delta_0$ , la formule étudiée donne un peu plus d'un mètre cube (m<sup>3</sup>) de béton et le dosage réel en ciment se trouve inférieur à celui théoriquement prévu et vice versa,

La correction à apporter sur la masse totale des granulats est alors :

$$x = 1\,000 (\Delta - \Delta_0) \text{ (en kg)}$$

Si  $\Delta - \Delta_0 < 0$ , la correction est à déduire car la formule proposée faisait plus du m<sup>3</sup>,

Si  $\Delta - \Delta_0 > 0$ , la correction est à ajouter car la formule proposée faisait alors moins du m<sup>3</sup>.

Sur la masse de chacun des granulats dont les % sont g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>, g<sub>3</sub> et les masses P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> ; la correction à apporter sera :

$$\frac{XP_1}{P} \qquad \frac{XP_2}{P} \qquad \frac{XP_3}{P} ; \qquad \text{Etc...}$$

On gâchera suffisamment pour la confection d'au moins 4 éprouvettes, 6 recommandés.

### II.4.5.2. Dosage des granulats

On utilise des récipients tarés en volume (de préférence utilisation de volumes rencontrés très souvent sur les petits chantiers, tel seau, brouette ...), étant rare d'avoir sur chantier un dispositif de pesage (raison pour laquelle la composition granulaire de la méthode est exprimée en volumes).

Il conviendra de tarer ces volumes, voire de confectionner des règles d'arasement associées à ces derniers. [10]

### II.5.6.3. Dosage et qualité du ciment

Le dosage en ciment donné par la méthode est toujours indiqué en kg/m<sup>3</sup> de béton. Arrondir ce dosage au multiple de 25 kg supérieur (car le ciment est conditionné en sac de 50 Kg).

La méthode est valable pour les ciments Portland Artificiels ; les abaques ont été tracés pour un ciment CPA ou CPJ dans la classe 35 (⇔ dans la nouvelle classification à un CPACEM I ou CPJ-CEM II de classe 32,5). Elles restent donc utilisables pour des ciments CPA ou CPJ de classe supérieure (45 ou 55). [10]

#### ➤ Essai d'affaissement au cône

PLASTICITE	SERRAGE	AFFAISSEMENT (en cm)
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9
Béton mou	Piquage	10 à 13
Béton liquide	Léger piquage	> 14

**Tableau II.8 :** Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS.

#### ➤ Essai d'écrasement d'éprouvette

# **CHAPITRE**

## **III**

## CHAPITRE III : RECHERCHES ANTERIEURES

On estime à près de 23 millions de tonnes la quantité de déchets solides générée annuellement en Algérie, dont plus de la moitié est constituée de déchets ménagers et assimilés (DMA) - entreprises, hôpitaux, écoles, collectivités, etc. - représentant la part la plus importante des déchets solides générés en Algérie, soit autour de 11 millions de tonnes par an en 2014. Un Algérien génère en moyenne près de 1kg de DMA par jour.

La quantité de ces déchets augmente annuellement de 3%, selon les chiffres de l'Agence nationale des déchets (AND). Une étude allemande (GIZ) a estimé à plus de 2,5 millions la quantité annuelle des déchets industriels. Les déchets ne manquent pas, mais c'est le sort qui leur est réservé qui pose problème. Près de la moitié des déchets ménagers et assimilés sont déversés dans des décharges.

Certains déchets ont fait l'objet ces dernières décennies, de multitudes travaux de recherches afin de les recycler dans le domaine du génie civil.

La consommation mondiale annuelle en ciment et en granulats s'élève à plusieurs dizaines milliards de tonnes par année. Dans le but de conserver les ressources naturelles, protéger l'environnement, et rationaliser la consommation en énergie, il apparaît donc opportun d'étudier la faisabilité de recycler certains déchets générés par les différentes activités industrielles et autres, dans les filières du béton, des ciments et des ajouts cimentaires. Cette approche nécessite dans un premier un recensement des déchets aptes à être recyclés en génie civil et dans une seconde phase, l'étude du comportement (sous différents angles), des matériaux élaborés à partir de ces recyclât.

Dans ce travail de mémoire de fin d'études, nous nous proposons, à travers une recherche

Bibliographique détaillée, d'étudier le potentiel de valorisation des Déchets divers dans le domaine de la construction, particulièrement dans la fabrication des bétons et des ciments.

**III.1. EN 2018 AISSAOUI Walid**, il a présenté un thème intitulé Etude expérimentale des propriétés mécaniques des bétons élaborés à base de granulats en caoutchouc

Dans ce projet de fin d'études. Il vise à étudier le comportement mécanique, à travers des essais en compression, de fendage et de traction par flexion, de quatre bétons dans lesquels une partie du sable a été substitué par de la poudre de caoutchouc issues de pneus recyclés. Les taux de substitution étudiés varient entre 10 et 25%, et qui correspond aux taux standards retrouvés au niveau de la littérature spécialisée.

Les résultats obtenus montrent que le comportement rhéologique de ces bétons à l'état frais est pratiquement similaire au comportement des bétons ordinaires, et que cette substitution s'accompagne d'une baisse des performances mécaniques du béton en compression, en traction par flexion et en fendage. Cependant des mesures de résistances par scléromètre digital aboutissent aux contraires à des améliorations des résistances à 28 jours

Les bétons qui ont fait l'objet de la présente étude ont été élaborés à partir de constituants locaux. La conception des bétons (un béton ordinaire et trois bétons caoutchoutés) et les essais ont été réalisés conjointement au sein du laboratoire pédagogique du département de génie civil et du laboratoire de recherche (LGCH) de l'Université 8 mai 1945 de Guelma. Les protocoles expérimentaux ont été effectués conformément aux normes en vigueur en Algérie (normes NA).

Les désignations ainsi que les notations des bétons conçus sont consignées dans le tableau ci-dessous :

NOTATION	DISIGNATION
BO	Béton ordinaire
BC <sub>10</sub>	Béton contenant 10% de poudrette de caoutchouc
BC <sub>17.5</sub>	Béton contenant 17.5% de poudrette de caoutchouc
BC <sub>25</sub>	Béton contenant 25% de poudrette de caoutchouc

**Tableau III.1 :** Désignations et notations des bétons retenus.

Pour chacune des compositions énumérées dans le tableau 1, ils ont mesurée expérimentalement les propriétés suivantes :

1. La masse volumique du béton à l'état durci,
2. Les résistances à la compression sur cylindre à 14, 28 et 45 jours,
3. Les résistances par fendage sur cylindre à 14, 28 et 45 jours,
4. Les résistances à la traction par flexion à 28 jours,
5. Les résistances à la compression à l'aide d'un scléromètre digital à 28 jours.

Les compositions, des bétons, retenues pour cette étude sont présentées dans le tableau 3.2 :

Notion	Ciment	Eau	Gravillon 4/8	Gravier 8/16	Sable	Poudrette de caoutchouc
BO	400	242	337	843	591	0
BC <sub>10</sub>	400	242	337	843	532	20.6
BC <sub>17.5</sub>	400	242	337	843	488	36
BC <sub>25</sub>	400	242	337	843	443	51.4

**Tableau III.2 :** Compositions des bétons étudiés pour 1m<sup>3</sup>.

La mesure de la masse volumique des bétons à l'état durci s'est effectuée par simple pesée des moules cylindriques (16x32) cm<sup>2</sup> comme le montre la figue suivante :



**Figure III.1 :** Mesure de la masse volumique des bétons à l'état durci.

Les résultats obtenus sont directement reportés sur le tableau suivant :

DISIGNATION	Masses volumiques
BO	2353
BC10	2281(3.2%)
BC17.5	2274(+3.5%)
BC25	2236(+5.2%)

**Tableau III.3 :** Masses volumiques des bétons à l'état durci.

L'objet de l'essai résistance à la compression est déterminé la résistance nominale en compression simple d'un béton.

Les résistances ultimes des bétons sur cylindre à 28 jours sont reportées sur le tableau 3.4 :

Désignation du béton	Théorique	BO	BC10	BC17.5	BC25
Résistance en compression a 28 jours (Mpa)	25.6	21.7	20.13 (-7.2%)	16.3 (24.9%)	17.3 (-20.3%)

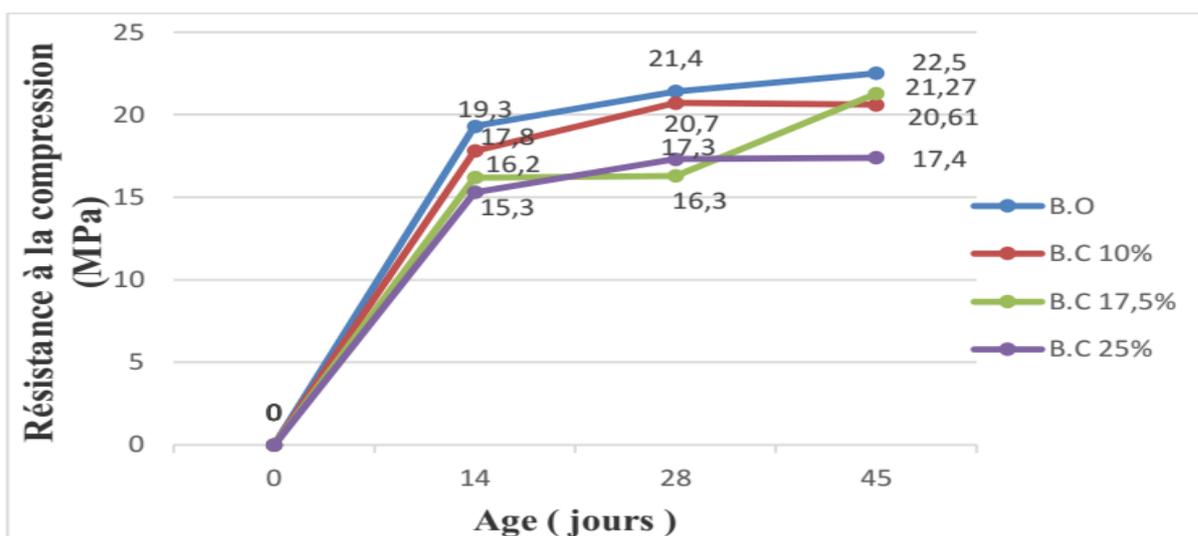
**Tableau III.4 :** Résistances en compression sur cylindre à 28 jours des bétons étudiés.

L'incorporation de poudrette de caoutchouc s'accompagne d'une chute de la résistance du béton à 28 jours. Les chutes constatées varient entre 7,2 et 24,9% et suivent le même sens que le taux de substitution. A titre d'exemple, la substitution de 10% du poids du sable par de la poudrette de caoutchouc fait passer la résistance en compression sur cylindre de 21,7MPa à 20,13MPa, soit une baisse de 7,2%.

Par ailleurs nous constatons un écart relativement important entre résistance en compression prévue (selon la formule de FAURY) et celle mesurée (25,6MPa contre 21,7MPa) pour le béton de référence. Cet écart de 15,2% peut s'expliquer notamment par la qualité relativement médiocre du sable utilisé (et principalement son équivalent de sable très bas) ainsi que les températures de conservation des éprouvettes. Sur ce point et selon les normes en vigueur, les éprouvettes doivent être conservées sous une température de 20°C, condition que l'on ne pouvait pas respecter faute de système de contrôle de la température disponible au niveau du laboratoire.

Enfin concernant le mode de rupture, l'on constate qu'à la charge maximale, les 12 échantillons testés se sont séparés en plusieurs morceaux et les modes de ruptures observés ne sont pas influencés par l'opération de substitution

Les résistances des bétons en compression simple sur cylindres sont présentées en fonction du temps. En voyant les courbes de cette figure, on peut constater que ces résistances évoluent toutes de manière similaire

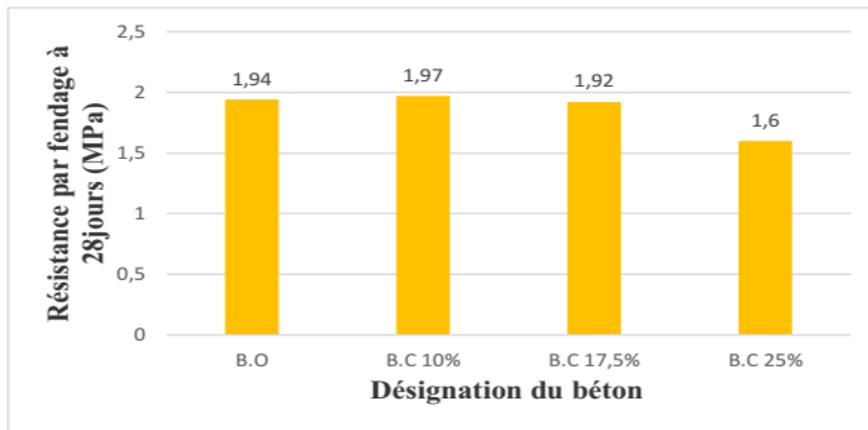


**Figure III.2 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons étudiés dans le temps.

Les essais de résistances des bétons en traction par flexion à 28 jours ont été conduits à vitesse de chargement constant, et les résultats obtenus sont directement reportés sur le tableau ci-dessous :

Désignation du béton	BO	BC10	BC17.5	BC25
Résistance en traction par flexion (Mpa)	2.8	1.8 (17.4%)	1.82 (16.5%)	2 (8.3%)

**Tableau III.5 :** Résistances à la traction par flexion, exprimées en MPa.

**Résistances des bétons par fendage à 28 jours**

**Figure III.3 :** Résistances par fendage à 28 jours des bétons étudiés.

Au niveau des résistances des bétons par fendage, les écarts de résistances sont minimes pour le béton ordinaire et les deux bétons contenant respectivement 10 et 17,5% de substitution, cependant pour le taux de substitution, la chute est notable et s'élève à plus de 17,5%.

D'une manière générale, cette étude a mis en évidence que la substitution d'une partie des granulats naturels (le sable) par des pneus usagés découpés en poudrettes engendrait des différences mineures au niveau des propriétés rhéologiques du béton à l'état frais. En effet les différences constatées entre densités théoriques et expérimentales pour les bétons testés varient entre 0,4 et 1%, est sont donc minimes. Concernant l'ouvrabilité, les 3 bétons caoutchoutés qui étaient élaborées avec des taux de substituant compris entre 10 et 25%, présentaient des affaissements au cône d'ABRAM'S variant entre 7, et 9cm, contre un affaissement pour le béton sans substitution. Les quatre compositions peuvent être classées parmi la catégorie des bétons dits plastiques.

Concernant l'état durci, l'ensemble des essais réalisés montre sans équivoque que l'incorporation des granulats de caoutchouc est très préjudiciable vis-à-vis des résistances à la compression, au fendage et à la traction par flexion. Ces résistances mécaniques diminuent avec l'augmentation du dosage de substitution en poudrette de caoutchouc. Ces baisses constatées peuvent s'expliquer notamment par une faible adhérence des déchets avec la matrice cimentaire. En effet, une adhérence insuffisante est souvent source de développement de fissures.

Par ailleurs la chute de la résistance, le béton de G.C sous la contrainte laisse apparaître difficilement les fissures. Les fissures qui représentent le principal handicap des matériaux cimentaires (béton). Ces baisses des performances mécaniques risquent d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité du nouveau béton. Des études poussées dans ce domaine sont donc à prévoir.

### **III.2. EN 2016 NGUYEN Vu Nam**, il a présenté un thème intitulé Valorisation de fines et granulats issus de bétons recyclés comme matériaux cimentaires

Le thème a pour objectif d'apprécier la valorisation du recyclage des matériaux issus des bétons déconstruits en les intégrant dans de nouveaux bétons.

La consommation de béton étant devenue de plus en plus importante en raison de l'urbanisation accrue nécessite la réhabilitation et la construction de bâtiments et d'infrastructures. Cependant la production de béton qui doit accompagner le développement urbain pose des problèmes environnementaux liés à la conservation de ressources naturelles inépuisables. Malgré les efforts de recyclage, la plupart des matériaux recyclés sont généralement utilisés travaux routiers ou barrages.

Le présent travail a donc pour mission de quantifier des propriétés des matériaux cimentaires aux différents états lors de l'utilisation de :

- Granulats recyclés dans le squelette granulaire,
- Fines de sable broyé (SBC) et de fines de dépoussiérage (FBC) en tant qu'additions minérales.

La première partie est dédiée à l'étude de l'influence de l'état hydrique des granulats recyclés (sable et gravillon) sur l'évolution de la rhéologie du béton dans le temps, et à l'étude de leur incidence sur la résistance à la compression à 28 jours. Les résultats obtenus dans la limite du contexte expérimental nous permettent de suggérer des recommandations sur l'état hydrique initial des recyclés et sur leur taux d'incorporation dans le mélange de béton.

La deuxième partie présente l'évaluation de la faisabilité d'utiliser des sables de bétons concassés et des fines de bétons concassés (récupérées industriellement) comme addition minérale dans les matériaux cimentaires. A partir des résultats obtenus, il est possible d'apprécier dans quelle mesure ces fines sont compatibles avec les matrices cimentaires aux états frais, durcissant et durci.

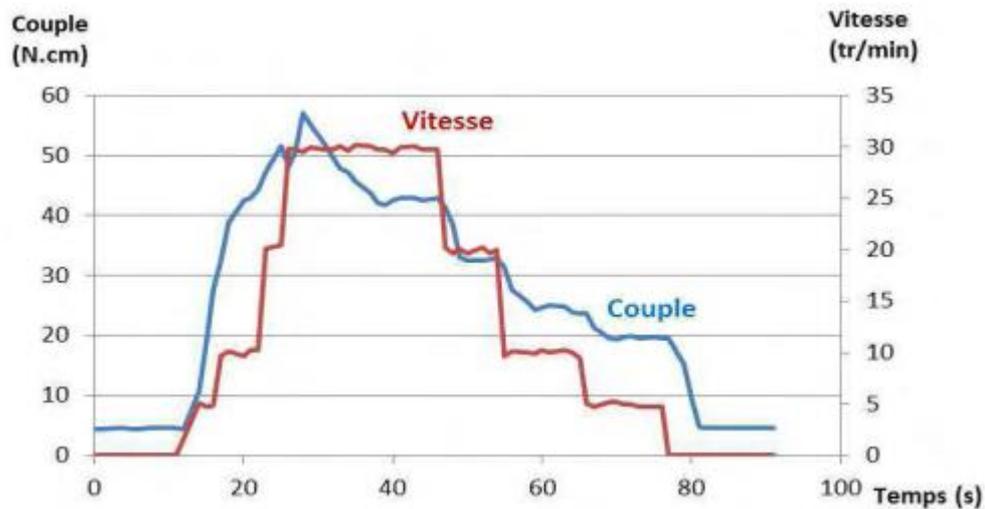
La troisième partie propose une piste pour limiter le problème de la Réaction Alkali-Granulat (RAG) dans le béton de granulats recyclés. La stratégie est basée sur deux volets. La première insiste à vérifier l'applicabilité du fascicule de documentation FD P18-464 lors de l'utilisation de granulats recyclés. Le deuxième examine l'intérêt de l'utilisation des additions minérales pour limiter, voire empêcher la RAG.

#### **III.2.1. Partie 1**

Il présenter dans cette partie l'ensemble des résultats du comportement à l'état frais ainsi que les résistances à la compression à 28 jours de 9 bétons.

A l'état frais, dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'exploitation des mesures d'affaissement au cône d'ABRAMS et des masses volumiques. Il détailler ensuite les résultats rhéologiques pour mettre en évidence :

- L'évolution du couple en fonction de la vitesse dans le temps pour un taux de saturation donné ;
- l'évolution du couple en fonction de la vitesse par rapport au taux de saturation pour une échéance de mesure donnée.



**Figure III.4 :** Historique typique du cisaillement (vitesse en rouge, couple en bleu).

Ce chapitre synthétise les résultats obtenus, au sujet de l'effet de l'état hydrique des granulats recyclés (gravillons ou sable), en substitution aux granulats naturels, sur les propriétés du béton à l'état frais (affaissement au cône, paramètres d'écoulement déterminés par essais rhéométriques) et à l'état durci (résistance à la compression à 28 jours).

Les essais ont été conduits sur des bétons dont la formulation n'incorporant que des granulats naturels (OR-OR) se situe dans la classe de résistance C25/30 pour une classe de consistance visée S4.

Deux taux de substitution aux granulats naturels ont été étudiés séparément :

- 100% massique des gravillons ;
- 30% massique du sable.

✓ **Résultat 1 :**

L'utilisation de sable recyclé peut conduire à des problèmes de régularité des bétons produits, tant sur l'ouvrabilité que sur les résistances mécaniques. Ce constat est expliqué par la variabilité de la teneur en fines des sables, liée à la teneur en résidu de pâte sur les grains.

**III.2.2. Partie 2**

Ce chapitre synthétise les résultats d'une étude dont le but est d'évaluer la possibilité d'utiliser des sables de bétons recyclés broyés (SBC) et des fines de dépoussiérage de bétons recyclés (FBC) en tant qu'addition minérale dans les matériaux cimentaires.

L'étude vise à établir la carte d'identité des SBC et FBC (caractérisation physico-chimique), à évaluer leurs activités hydraulique et pouzzolanique dans des pâtes, ainsi qu'à déterminer leur effet à court et moyen termes sur des mortiers (en vue notamment d'une évaluation normative). Quatre SBC en provenance de quatre régions (Paris, Lyon, Lille et Strasbourg) et une FBC (Paris) sont étudiés, la surface spécifique Blaine des SBC obtenue par broyage étant entre 4500 et 7500 cm<sup>2</sup>/g.

Dans ce paragraphe de caractérisation, deux types de fines sont étudiées :

- Les sables de bétons concassés (i.e. broyage de sable recyclé) notés SBC.
- Une fine de béton concassé (i.e. fines de dé poussiérage) noté FBC.

Avant de présenter les résultats obtenus sur matériaux cimentaires incorporant des SBC ou des FBC, un travail préliminaire de broyage et d'optimisation des SBC doit être introduit. En effet, l'obtention de ce type de fine doit satisfaire certaines caractéristiques granulométriques (d<sub>50</sub> par exemple) et de finesse (valeur Blaine) usuellement fournies sur des fiches techniques. Basé sur ces critères, un compromis entre le temps de broyage et une finesse visée a été décidé afin d'assurer une éventuelle viabilité industrielle du procédé.

Fines	Temps (min)	d <sub>50</sub> (µm)	*dMoyen (µm)	Passant 5µm (%)	Passant 80µm (%)
SBC-Par	30'	21,4	37,6	21,8	84,3
60'	14,3	24,0	28,1	95,9	
90'	12,8	20,7	31,1	98,8	
120'	12,2	20,1	31,6	98,7	
SBC-Lyo	30'	16,8	30,2	24,2	90,0
60'	12,3	20,3	29,6	98,6	
90'	10,5	17,1	32,7	99,8	
120'	9,7	15,1	34,4	99,8	

**Tableau III.6 :** Caractéristiques granulométriques des SBC en fonction du temps de broyage.

Désignation	Paris (Par)	Lyon (Lyo)	Strasbourg (Stra)	Lille (Lil)
Provenance	Gonesse	Armailler	Leonhart	Matériaux du Nord
Coupure (mm)	0/4	0/6	0/4	0/6
Module finesse (%)	3,00	3,66	2,99	3,72
Teneur en eau (%)	10,24	3,44	2,99	11,58

**Tableau III.7 :** Présentation des sables recyclés du PN Recybéton.

✓ **Résultat 2 :**

Après une première étape essentielle d'optimisation du broyage afin d'obtenir un produit viable industriellement, un premier bilan sur cette phase de fabrication peut être tiré :

- Le temps de broyage retenu est de 30 minutes, compromis entre une finesse usuelle et un temps de broyage limité ; les fines de SBC ainsi obtenues présentent une finesse de 4500 cm<sup>2</sup>/g. Les SBC plus fines (7500 cm<sup>2</sup>/g) seront aussi testées afin d'apprécier l'impact de la finesse sur la réactivité.

- Les caractéristiques physiques des fines recyclées sont proches de celles d'un ciment ou d'un filler (siliceux ou calcaire).

- Chimiquement, la composition des fines recyclées est très complexe car très variable. Cette variabilité est due à la provenance des matériaux de base du béton à recycler. En effet, l'approvisionnement en granulats à béton (sable et gravillon), en ciment ou en additions dépend généralement du marché local pouvant varier du bassin parisien à la région lyonnaise.

- En terme de composition de phase, on retrouve des phases traditionnellement observées pour des bétons hydratés d'un certain âge : phase granulaire (calcaire, quartz, dolomite), phases de matrice hydratée (CSH, AFt, CH, aluminates hydratés), anhydres (C3S et C2S en faible quantité) ou carbonatée (CaCO<sub>3</sub>).

- Morphologiquement, les particules de fines recyclées sont plus ou moins anguleuses (Différence entre SBC et FBC). Les grains se composent d'un noyau issu d'un granulats naturel enrobé d'une coquille d'hydrates vestige de l'ancienne matrice cimentaire.

A ce stade de l'étude, il est maintenant essentiel de s'intéresser à l'impact de l'incorporation de ce type de fines sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais, durcissant et durci à long terme.

### III.2.3. Partie 3

Les travaux menés ont été effectués sur deux séries de formulations de bétons qui remplacent partiellement ou totalement les granulats naturels par des granulats recyclés.

Pour le premier aspect, la vérification consiste à tester le critère de performance (selon [NF P18-454 et FD P18-456]) ; les formulations de bétons ont été effectuées afin de contrôler toutes les combinaisons possibles des trois exigences posées par le fascicule [FD-18-464] :

- Critère des granulats : le dossier carrière montre-t-il que les granulats sont non réactifs ?
- Critère des alcalins : la formulation satisfait-elle au bilan des alcalins ?
- Critère de performance : la formulation satisfait-elle aux critères de l'essai de performance ?

Pour le deuxième aspect, l'étude vise à vérifier si l'utilisation de métakaolin (à 20% de remplacement de ciment) ou de laitier (à 50% de remplacement de ciment) peut limiter les gonflements causés par la RAG.

Ils présenter dans cette partie les résultats obtenus après un suivi de cinq mois (20 semaines) pour les bétons des deux séries. En s'appuyant sur les formulations, ils s'intéresseront à étudier l'influence des granulats recyclés sur le critère de performance vis-à-vis de la RAG.

L'objectif de cette étude est de vérifier le critère de performance sur des bétons dont les gravillons recyclés sont soit NR, soit PR avec le taux des alcalins élevé (dopage).

Dans un premier temps, les essais ont été effectués sur les bétons 0R-100R de série 1 (le sable naturel est GN1) où trois types des gravillons recyclés sont utilisés : Paris (PR), Lille (PR) et Strasbourg (NR). Le ciment C1\* est utilisé. La teneur totale en alcalin est donnée dans le Tableau suivant :

<b>Formulation 0R-100R, C1*, GN1, dopage</b>			
Granulats recyclés	Paris	Lille	Strasbourg
Taux d'alcalin (kg/m <sup>3</sup> )	6,19	6,29	6,08

**Tableau III.8 :** Teneur totale en alcalin des formulations 0R-100R, C1\*, GN1, dopage.

Ces nouvelles valeurs montrent que le critère de performance est satisfait pour le cas de Strasbourg et non pour les cas de Paris et Lille, même si les écarts au seuil ne sont pas significatifs.

Les premiers résultats suivants peuvent être retenus :

➤ Lors de l'emploi de 100% de gravillons recyclés avec un taux élevé en alcalins, le critère de performance est satisfait pour les gravillons recyclés non réactifs (cas de Strasbourg), et non satisfait pour ceux potentiellement réactifs (cas de Paris et Lille). Cela veut dire qu'une formulation qui satisfait au critère sur les granulats recyclés est acceptée vis-à-vis de la RAG.

La démarche est donc correcte et applicable aux gravillons recyclés.

➤ Lors de l'emploi de 100% de gravillons recyclés potentiellement réactifs, le critère de performance est satisfait pour le taux faible en alcalins, et non satisfait pour le taux élevé.

Cela exprime qu'une formulation qui satisfait au bilan des alcalins est acceptée vis-à-vis de la RAG. La démarche fonctionne donc dans le cas des gravillons recyclés.

➤ Dans ce cadre d'étude, le sable recyclé potentiellement réactif peut être utilisé à un taux de 30% sans problème vis-à-vis de la RAG. Néanmoins, la substitution totale des granulats naturels par des recyclés (sables et gravillons) n'est pas préconisée car le dosage en alcalin peut être augmenté et favorise l'apparition de la RAG.

➤ L'incorporation de métakaolin ou de laitier peut diminuer efficacement le gonflement dû à la RAG lorsque les gravillons recyclés potentiellement réactifs et un taux élevé des alcalins sont utilisés. Cela confirme également la recommandation donnée dans la démarche.

A partir des remarques précitées, on peut conclure que la démarche consignée dans le fascicule [FD P18-464] peut être utilisée comme une méthode pour prévenir et limiter le problème de la RAG lors de l'emploi de granulats recyclés.

### **III.3. EN 2013 SERIFOU MAMERY**, il a présenté un thème Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation

L'objectif du travail proposé est de trouver un substitut au granulats naturels (roche concassée) à travers l'incorporation de déchets non biodégradables (ex : granulats de caoutchouc (G.C), concassé de verre (C.V), concassé ciment durci (C.D) dans le béton afin de pérenniser et préserver les ressources naturelles dans le cadre de l'assainissement de l'environnement et du cadre de vie. Pour cela, on va étudier l'influence des granulats recyclés sur les propriétés d'un béton cimentaire afin d'en proposer une application.

#### **III.3.1. Pneu**

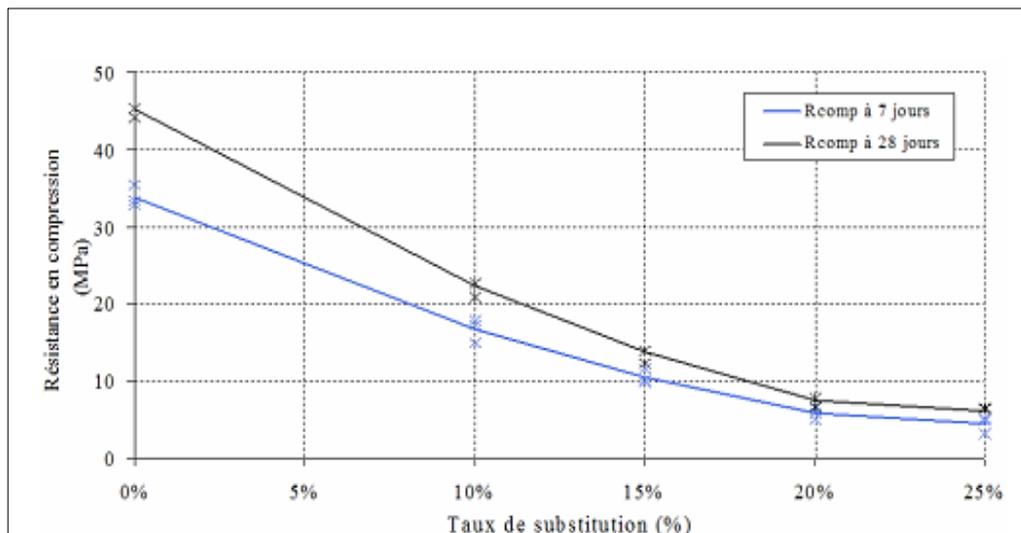
Les granulats en caoutchouc (G.C) utilisés par (Garros, 2007) lors de ces travaux sont des broyages de pneus usagés et utilisés en remplacement volumique partiel du sable. Ces granulats dont la dimension du plus gros grain est la même que celle du sable, soit 4 mm. La photographie de la figure 1.6 montre les G.C utilisés dans ce travail.



**Figure III.5 :** Granulats en caoutchouc de classe (0/4) mm utilisés [Ho, 10].

La caractéristique essentielle des matériaux cimentaires durcis est la résistance en compression à un âge donné. Dans les matériaux cimentaires, dont une partie des granulats naturels est remplacée par des G.C de nature, de forme, de densité et en général de propriétés physiques différentes de celles des granulats naturels, de toute évidence il est attendu que ces propriétés du caoutchouc vont influencer la résistance en compression des composites obtenus.

Les chercheurs qui ont travaillé récemment sur les matériaux cimentaires incorporant des G.C ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des G.C entraînait inévitablement une chute de la résistance en compression.



**Figure III.6 :** Influence du dosage en G.C sur la résistance en compression à 7 et 28 jours (BAP dont le sable 0-4 mm remplacé par des G.C 0-4 mm).

Par rapport à la résistance à la compression, la résistance à la traction du béton est faible mais on a parfois besoin de la connaître. Elle est généralement indirectement déterminée par le biais d'essais de traction par flexion ou de traction par fendage dit essai brésilien. Quant à l'essai de traction directe, il est certainement le plus noble en la matière, mais il demeure délicat à réaliser car il nécessite le collage de têtes de traction parfaitement centrées et doit être réalisé sans effort de flexion parasite

### III.3.2. Le verre

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciable de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est broyé finement.

Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement partiel du ciment Portland dans les bétons (Rachida, 2009). Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les 52 bétons ont gonflé et fissuré. (Pike et al., 1960; Schmidt et al., 1963; Pattengil et al., 1973). Depuis, l'idée a été en partie abandonnée.

Le sujet est redevenu d'actualité depuis un certain nombre d'année. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables décideurs et ceux-ci ont encouragé différents études ont traité également ce point : nous pouvons citer les travaux de (Dyer et al., 2001); (Polley et al., 1998); (Park et al., 2004); (Lker et al., 2004); (Kojima et al., 2000); (Jin et al., 1999-2000); (Shi et al., 2004), et de (Shayan et al., 2004); (Özkan et al., 2008).

Les travaux de l'ensemble de ces auteurs mesurent les variations des expansions des bétons en fonction de la teneur en verre. Cependant, cette tendance varie selon les auteurs, et nous pouvons les cataloguer en trois groupes. Le premier qui affirme que l'expansion des bétons augmenterait avec leur teneur en verre, le second avance l'inverse, et enfin le dernier que les 54

gonflements des bétons ne changerait pas en fonction de leur teneur en verre. Ces oppositions s'expliquent vraisemblablement dans les conditions de déroulement des travaux.

En effet, (Dyer et al., 2001) ont travaillé avec trois différents pourcentages de remplacement de ciment par trois différentes couleurs de verre. Ces auteurs ont conclu que quel que soit la couleur du verre utilisé, les gonflements des bétons sont réduits avec la croissance de la teneur du verre dans les bétons (figure 5). Même tendance pour les travaux de (Polley et al., 1998) et ceux de (Özkan et al., 2008). Les auteurs expliquent ce phénomène par le verre qui devait réagir avec la chaux pour former des silicates de calcium hydratés avec de faibles rapport C/S qui retiennent les alcalins.

(Park et al., 2004) ainsi que (Jin et al., 2000) et (Shayan et al., 2004), leurs travaux ont montré que plus-il plus y avait de verre dans les mélanges, plus importante était l'expansion, expérimentales. En effet, le premier groupe a utilisé du verre comme remplacement du ciment en présence de granulats inertes ou réactif, quant au second groupe, il a utilisé le verre comme granulats.

### **III.3.3. Ciment durci**

Le concassé de ciment durci ayant des caractéristiques voisine à celles du concassé de granite, le comportement des bétons de ces granulats suit la même tendance. C'est-à-dire, une résistance à la compression voisine.

Toutefois, le ciment durci est un déchet qui doit disparaître à cause du coût de production et le prix d'achat du ciment. Sa fabrication est accompagnée d'un dégagement de CO<sub>2</sub> très nocif pour l'environnement

Cette étude montre que l'utilisation du verre dans les bétons est possible. Nous avons vu aussi que la taille des grains influence la performance du béton. Son incorporation sous forme de fine améliore les résistances en compression des bétons et sous forme de granulats entraine des gonflements liés à la réaction alcali-silice.

Aussi, l'influence de la taille des verres dans les bétons dépend de plusieurs paramètres :

- Type du verre (composition chimique du verre) ;
- Teneur du mélange en verre ;
- Utilisation du verre en remplacement de ciment ou de sable

L'analyse des caractéristiques mécaniques des granulats a porté sur le Los Angeles (L.A), le module de Young et la résistance en compression. Les valeurs de Los Angeles ont été déterminées expérimentalement sur les graves et le ciment durci. Par contre, le module de Young et la résistance en compression sont des valeurs non mesurées expérimentalement mais issu de la bibliographie.

### III.3.4. La résistance en compression

La résistance en compression a été déterminée sur des éprouvettes cylindriques en béton, en suivant la norme française NF P18-406. La capacité maximale du chargement de la presse est de 1500 kN avec une vitesse de charge 5 kN/s.

Pour chaque gâchée, trois éprouvettes ont été testées. L'effet de l'association est aussi observé sur les éprouvettes après être soumis à une contrainte. La figure ci-dessous montre les photos des éprouvettes après avoir subi les contraintes de compression.



**Figure III.7 :** Eprouvettes après compression.

D'une manière générale, cette étude a mis en évidence que la substitution des granulats naturels par des concassés de ciment durci, de verre, de pneu découpé et de retour de toupie engendrait des différences importantes dans les propriétés du béton, avec toutes les conséquences sur sa durabilité.

**III.4. EN 2018 Mme MEDINE Malika**, elle a présenté un thème Etude expérimentale des bétons légers Incorporant des granulats issus du broyage Des pneus usés

Les pneus usagés sont des déchets abondants et préoccupants. L'incorporation de granulats issus du broyage de ces déchets est une voie de valorisation ainsi qu'une contribution à la protection de l'environnement. Le but de ce travail de thèse était d'étudier expérimentalement des bétons confectionnés par substitution partielle des graviers ou sable par des agrégats fins ou grossiers en caoutchouc.

Le travail présenté, dans le cadre de cette recherche a débuté en 2011, il porte sur l'étude des propriétés pouvant être assurées par des bétons légers incorporant des volumes de 5%, 7,5% et 10% de granulats et de poudrette de caoutchouc, remplaçant partiellement les mêmes volumes des granulats naturels.

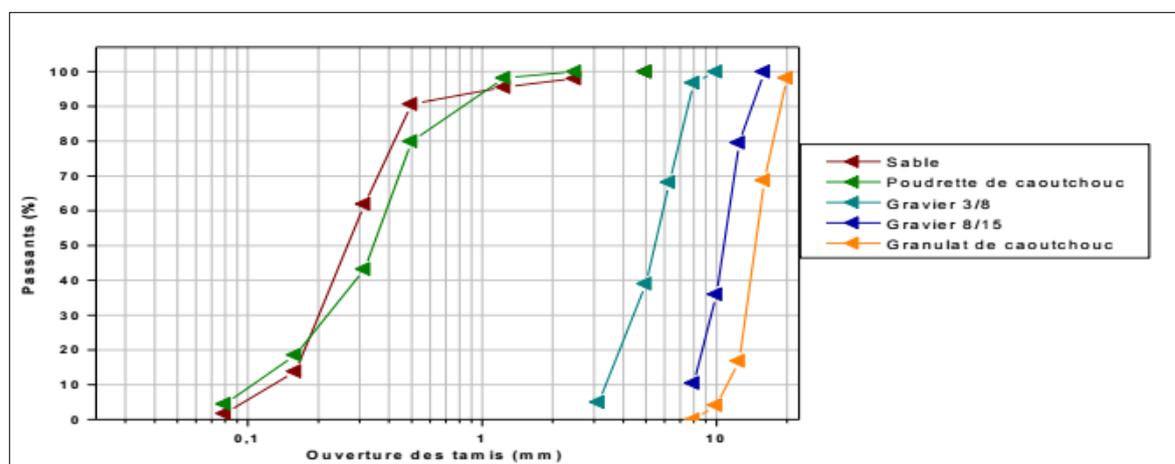
Les compositions étudiées dans ce travail, sont prévus pour la réalisation non structurelle telle que les grandes surfaces. La première partie, consiste en une caractérisation de ces matériaux à l'état frais et durcis.

L'évaluation de l'impact de l'environnement sur l'ensemble des mélanges étudiés, à travers plusieurs essais expérimentaux stimulant les effets de certaines agressivités environnementales

particulières, a été aussi abordée. Dans la deuxième partie de cette étude, l'estimation de l'impact de ces mélanges sur l'environnement, est également évaluée. Ceci, permet de mieux cerner les différents intervenants pouvant influencer l'utilisation de ces granulats.

Les granulats constituent le squelette du béton et représentent environ 60% à 80% du volume du béton. Ils sont divers, même s'ils sont de même origine ; naturelles ou recyclés. Les essais sont, donc une étape indispensable pour déterminer leurs grandeurs caractéristiques.

1. L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat (NF P 18-560). Elle fait l'objet d'une représentation graphique, cette courbe représente la distribution en pourcentage des poids des matériaux passant dans le tamis et passoirs de dimensions normalisées.



**Figure III.8 :** Analyse granulométrique des granulats ordinaires et artificiels.

2. L'essai d'équivalent de sable, a pour but d'évaluer la propreté des granulats, entrant dans la composition des bétons, en séparant les particules du sable des fines contenues dans les échantillons étudiés.

	ES = 100*(h2/h1)		ES moy%
	Sable 0.5	Esv	73.33
74.48			
Esp		61.43	62.20
	62.98		
	75.47		

**Tableau III.9 :** Equivalent de Sable des granulats ordinaires.

3. Les masses volumiques absolues ou apparentes, ont été mesurées conformément à la norme NF P18-554, cette dernière a été appliquée sur les granulats naturels et recyclés. En ce qui concerne les granulats en caoutchouc, un pycnomètre à gaz est indispensable pour la détermination de sa masse volumique absolue.

4. L'absorption est une propriété importante pour la maîtrise de la rhéologie des composites cimentaires. Une partie du volume de l'eau de gâchage, est absorbée par les

granulats, en particulier si ses granulats sont stockés dans une atmosphère. Les mesures du coefficient d'absorption ( $A_b$ ) selon la norme NF P 18-555, consiste à réaliser des pesées hydrostatiques des granulats Le coefficient d'absorption est calculé à partir de la formule :  $A_b = 100 (M_a - M_s) / M_s$ .

Type de granulat		Coefficient d'absorption $A_b$ (%)
Gravier	3/8	$0.88 < 2,5$
	8/15	$1.04 < 2,5$
Granulats de caoutchouc Poudrette de caoutchouc		$0.07 < 2,5$

**Tableau III.10 :** Coefficients d'absorption ( $A_b$ ) des granulats ordinaires et artificiels.

En autre coté Les essais à l'état frais, sont obligatoires pour la connaissance des mélanges modifiés par incorporation des granulats en caoutchouc. Ces essais peuvent décrire leur comportement lors de leur mise en œuvre. Le prélèvement des échantillons mis aux essais a été effectué conformément à la norme NF P 18-437.

- 1- Mesure de l'ouvrabilité (Essai au cône d'Abrams) (NF P 18-451)
- 2- Mesure de la teneur en air occlus (NF P18-443)
- 3- Mesure de la masse volumique à l'état frais (NF P18-440)
- 4- Mesure du ressuage et de la ségrégation des bétons légers

L'étude expérimentale, se poursuit par la mise au point du comportement mécanique des différents bétons légers présentés précédemment. Le choix des tests effectués, est guidé par l'analyse que l'on souhaite faire de l'influence de ces granulats sur la qualité du béton léger durcis. La masse volumique à l'état durci, la résistance à la compression et à la traction, ainsi que les propriétés acoustiques, ont été évalués dans cette partie du travail.

1. Mesure de la masse volumique des bétons légers durcis (NF P 18-435)
2. Mesure de la résistance à la compression (NF P 18-455)
3. Mesure de la résistance à la traction par flexion (NF P 18-407)
4. Mesure de la vitesse d'impulsion ultrasonore (NF P 18-418)

Les bétons légers caoutchoutés des deux compositions, se sont montrés plus durables que le béton de référence, ils ont des résistances satisfaisantes aux différentes agressions environnementales et des impacts réduits durant leurs cycles de vie.

Toutefois, avant d'utiliser un nouveau matériau dans la construction, il est nécessaire de connaître ses propriétés et d'évaluer les indices indiquant son comportement pendant son service et de s'assurer qu'il remplit les conditions de la durabilité et de l'environnement. Il est également essentiel, d'étudier ses processus de dégradation. Suit à une exposition à des conditions sévères.

Il est fortement recommandé dans un essai de s'approcher plus de la réalité des mécanismes du phénomène naturel visé dans l'essai en question, afin de le mieux reproduire.

Le concepteur doit être informé des mesures d'atténuation nécessaires pour réduire les impacts environnementaux. Il peut également, conduire à l'élaboration d'exigences moins strictes pour l'utilisateur des granulats de caoutchouc lorsque le milieu est agressif ou subissant des changements de températures extrêmes. La mise en place d'incitations attrayantes aux sujets des techniques et des couts facilitant l'intégration de l'analyse de cycle de vie des matériaux et des constructions et promouvoir son utilisation à grande échelle par les concepteurs pour de meilleures prises de décisions.

Dans une démarche d'innovation toute la priorité, devrait être portée à la réduction des consommations énergétiques nécessaires aux activités de production des matériaux de construction et tout processus relatif à cette dernière, y compris la réduction de la consommation des carburants.

Vu leurs performances, intéressantes et leur coût réduit en termes de production et de réalisation, il faut faire des efforts pour intégrer l'idée de l'utilisation des granulats de caoutchouc dans les composites cimentaires en Algérie afin d'avoir des matériaux durables.

**III.5. Mlle DJAKAM Imane**, elle a présenté un thème intitulé Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux

L'objectif principal est d'étudier les caractéristiques physico mécaniques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés des bétons à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser, dans certains domaines de la construction, comme granulats artificiels plus légers que les granulats courants.

L'étude a été portée sur trois classes granulaires : sable (0/5), gravillon (3/8) et gravillon (8/16) des granulats de la brique concassée ainsi que des granulats naturels.

Le gravier et le sable naturel sont remplacés partiellement (25, 50, 75 et 100%) par le mélange de gros et fins granulats à base de brique concassée. Par comparaison avec un béton a base de 100% de granulats naturels, et l'utilisation de poudre d'aluminium pour obtenir un béton de « lever » et d'emprisonner de l'air sous forme de petites bulles.

Les propriétés des bétons à base de déchets de brique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles du béton ordinaire.

Dans cette thèse, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

- 1) Le sable de dune fin d'origine silicique ;
- 2) Deux fractions de graviers roulés (3/8,8/16) : le gravier est d'origine calcaire ;
- 3) Le ciment de CPJ - CEM II/B 42,5 ;
- 4) Déchets de briques (deux fractions de granulats recycle 3/8 ; 8/16 et sable 0/5) ;
- 5) Poudre d'aluminium ;
- 6) Eau de gâchage : c'est l'eau potable.

**III.5.1. Les essais :**

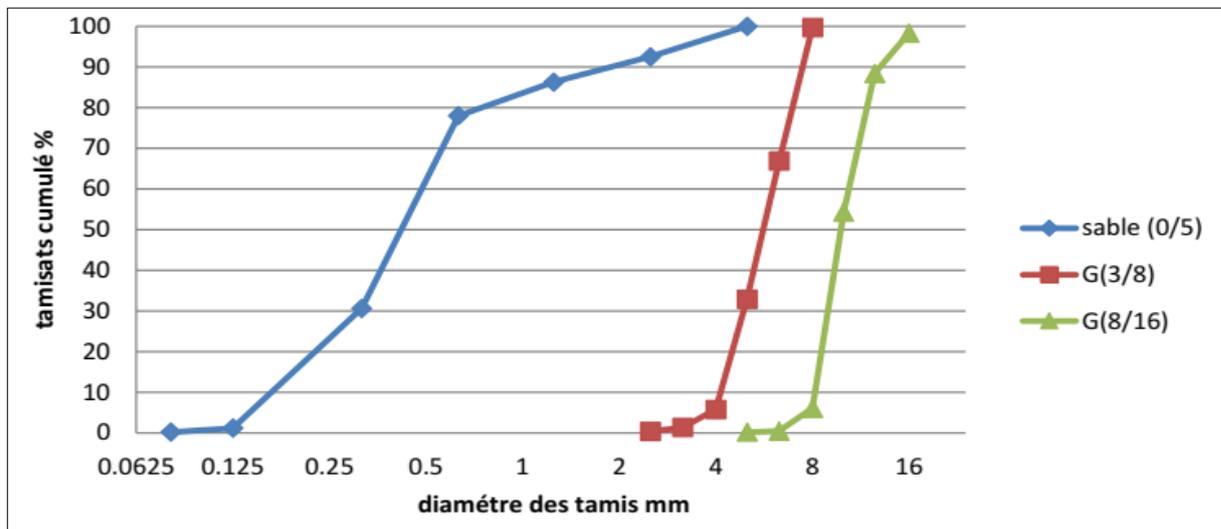
**III.5.1.1. ESSAI SUR GRANULAT**

Une série d'essais d'identification a été effectuée sur le matériau granulat utilisé, naturel et recyclé, sable et gravillon, Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats et sur la possibilité d'utiliser ces granulats dans la réalisation des ouvrages en béton.

**1- Analyse granulométrique**

Sable N 0/5	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Rufus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2.5	150	150	7.5	92.5
1.25	124	274	13.7	86.3
0.63	166	440	22	78
0.315	948	1388	69.4	30.6
0.125	588	1976	98.8	1.2
0.08	20	1996	99.8	0.2
Fond	4	2000	100	0

**Tableau III.11 :** Analyse granulométrique du sable normale.



**Figure III.9 :** Courbe granulométrique de granulats utilisé (0/5) ; (3/8) ; (8/16).

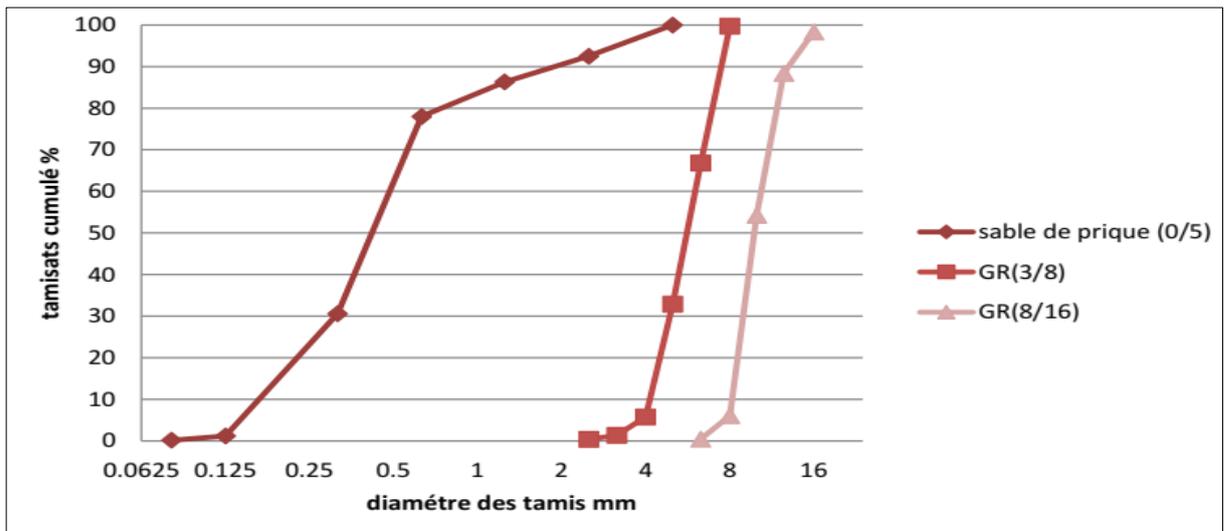


Figure III.10 : Courbe granulométrique de granulats recyclé (0/5) ; (3/8) ; (8/16).

2- Masses volumiques apparentes et Masses volumiques absolues

Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Sable (0/5)		Gravillon (3/8)		Gravillon (8/16)	
	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé
Masse volumique apparente	1.43	1.22	1.49	1.04	1.51	1.07
Masse volumique absolue	2.7	2.4	2.60	2.14	2.60	2.14

Tableau III.12 : Masses Volumiques des Granulats.

3- Absorption d'eau

Coefficient d'absorption d'eau en( %)	Sable (0/5)		Gravillon (3/8)		Gravillon (8/16)	
	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé
(Ab) (%)	-	29.81	1.1	8.31	0.81	7.52

Tableau III.13 : Coefficient d'Absorption d'Eau des Granulats (Ab).

III.5.1.2. ESSAI SUR SABLE

▪ Équivalent de sable

Équivalent de sable	SN (0/5)	SR (0/5)
(ESV)	51.84	71.05
(ESP)	54.80	56.81

Tableau III.14 : Équivalents de Sable.

### III.5.1.3. ESSAI SUR GRAVILLON

#### 1. Porosité :

Porosité	GN		GR	
	3/8	8/16	3/8	8/16
(n) En (%)	43.2	41.9	51.44	50.04

**Tableau III.15 :** Porosité des Gravillons (n).

#### 2. Compacité et Indice de vide :

	GN		GR	
	3/8	8/16	3/8	8/16
Compacité (%)	56.8	58.1	48.55	49.99
Indice de vide	0.76	0.72	1.05	1

**Tableau III.16 :** Compacité et Indice de vide.

### III.5.1.4. ESSAIS SUR BETONS

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton fait avec granulats en brique concassée et comparer ceux-ci aux propriétés de béton ordinaire.

#### 1- ESSAI D'AFFAISSEMENT

L'essai d'affaissement (Slump-Test) a été effectué conformément à la norme européenne NF EN12350-2.

#### 2- MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON FRAIS

La masse volumique du béton frais a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne NF EN12350-6.

#### 3- MESURE DE L'AIR OCCLUS

La mesure de l'air occlus, a été faite, par la méthode du manomètre, conformément au mode opératoire de la norme allemande DIN 1048.

#### 4- MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON DURCI

La masse volumique du béton durci a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne NF EN12390-7.

### 5- ESSAI DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

L'essai de résistance à la compression du béton a été effectué conformément à la norme européenne NF EN12390-3.

Désignation	BO	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4
RC (Mpa) 28j	30.32	13.83	13.31	14.33	19.45
(%) 28j	100	46	44	47	64

**Tableau III.17** : Résistance à la Compression des Bétons sur Cube.

### 6- ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5.

**III.6. EN 2019 RAMDANI Samiha**, elle a présenté un thème de doctorat intitulé Etude de l'influence de l'incorporation dans le béton des déchets recyclés issus du broyage des pneus usagés et verre broyé sur leurs caractéristiques et comportement.

Cette étude présente des résultats expérimentaux sur l'effet de l'incorporation d'agrégats de caoutchouc usé de broyage de pneus usagés en combinaison avec de la poudre de verre ou de la poudre de sable de dune celui obtenue à partir de broyage mécanique de sable naturel, sur les performances des mélanges de ciment. Des granulats de caoutchouc (RW) ont été utilisés pour remplacer le sable concassé dans les mélanges de béton dans des proportions de 10%,

20%, 40% et 60%, tandis que de la poudre de verre (GP) et de la poudre de sable naturel (SP) ont été utilisées pour remplacer le ciment en poids. Neuf formulations différentes de béton avec les déchets séparés d'une part, d'autre part combiné ont été préparées.

Les mélanges ont été caractérisés à l'état frais, durci et durable, au moyen de la maniabilité, de la densité fraîche, des résistances à la compression et à la traction, de la propagation des ondes ultrasonores, de la déformabilité et des attaques à l'acide sulfurique, de la perméabilité à l'eau et des analyses de SEM.

1- Les pneus usés utilisés peuvent être incorporés dans le mortier et le béton sous forme d'agrégats ou de miettes. Par conséquent, le béton de caoutchouc se révèle avoir une bonne esthétique, une maniabilité acceptable et un poids unitaire plus petit que le béton ordinaire. Cependant, le béton de caoutchouc n'a pas été aussi performant que le béton ordinaire lors de cycles répétés de gel et dégel. Présente une résistance à la compression et à la traction inférieure à celle du béton normal.

Contrairement au béton ordinaire, le béton de caoutchouc a la capacité d'absorber une grande quantité d'énergie plastique sous des charges de compression et de traction. Il n'a pas démontré la rupture fragile typique, mais plutôt le cas d'un dysfonctionnement en plastique ductile.

Plusieurs auteurs ont étudié la consistance du béton et du mortier modifiés à l'aide de miettes et d'agrégats de caoutchouc et ont observé une diminution de l'ouvrabilité du béton de caoutchouc avec une augmentation de la teneur en caoutchouc due à l'augmentation de la viscosité du mélange.

Le remplacement des granulats naturels a été effectué avec trois tailles d'agrégats de caoutchouc de 2 mm, 5 mm et 10 mm à des rapports volumiques de 10%, 20%, 30% et 40% pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques du béton auto tassant.

Affaissement réduit, la raison de cette diminution est due à la forme de l'agrégat de caoutchouc qui affecte la résistance du béton. En outre, indique que la taille et la forme des agrégats de caoutchouc obtenus par broyage cryogénique des pneus usagés (agrégat rond) présentaient une valeur d'affaissement plus élevée que les agrégats de caoutchouc broyés mécaniquement (particules à angle long), ce qui est dû à la surface spécifique réduite et à la rugosité réduite des assemblages de pneus dans le processus cryogénique.

A l'appui de ces résultats,] d'autres notent. Le remplacement de l'agrégat naturel par des groupes de caoutchouc déchiqueté a réduit l'affaissement du béton plus que s'il avait été remplacé par du caoutchouc ou des cendres de caoutchouc.

2- Lors de l'étude du béton avec du verre en poudre, ils ont montré la fluidité du béton. Il a légèrement augmenté lorsque le contenu GP a augmenté. Cette légère amélioration est due au remplacement particules de ciment avec particules GP, qui ont une faible absorption d'eau et des surfaces plus lisses.

Une autre explication de l'augmentation de la maniabilité tout en augmentant la teneur en GP est la dilution du ciment, cela tend à réduire la formation de produits hydratants au ciment dans les premières minutes de mélanger. Par conséquent, il n'y a pas assez de produits pour lier les différentes particules entre elles Une observation similaire a montré que la poudre de ciment de verre augmentait le niveau de substitution augmente l'affaissement du béton.

Ces résultats sont en accord avec les résultats du test d'eau une exigence pour produire un mastic de ciment standard cohérent dans lequel de la poudre de verre est utilisée réduit la teneur en eau requise pour produire la même consistance. Ce comportement peut être en raison de la surface vitreuse et de la faible absorption d'eau de la poudre de verre, cela peut être attribué à grosses particules de poudre de verre par rapport au ciment. Un autre accord a été mentionné

Il y a une augmentation systématique du jeu car il est tracé en fonction de la teneur en poudre de verre. Verre Poudre plus de poudre de verre dans le mélange. L'affaissement variait d'environ 40 mm à mélange de référence (c.-à-d. 0% de poudre de verre) à 160 mm à 40% de poudre de verre.

De plus, les valeurs de stagnation et de teneur en air se situaient dans les plages prévues plus de détails des études en laboratoire montrent que GP améliore l'opérabilité tangible en outre. Il a étudié l'impact de l'utilisation de déchets de verre recyclé comme substitut partiel des sable propriétés fraîches et durcissant es du béton auto compressant. Remarquez que la stagnation le flux augmentait à mesure que le contenu de verre recyclé augmentait.

Certains résultats expérimentaux obtenus sur des composés environnementaux sont basés sur Granulés de caoutchouc en tant que substitut partiel du sable concassé à des niveaux de 10%, 20%, 40%, 60% et Remplacement de 15% de ciment par de la poudre de verre et du sable de dune.

1) À l'état frais :

- Essai cône d'ABRAMS.
- Densité.

2) À l'état durci :

1. Résistances à la compression et à la traction

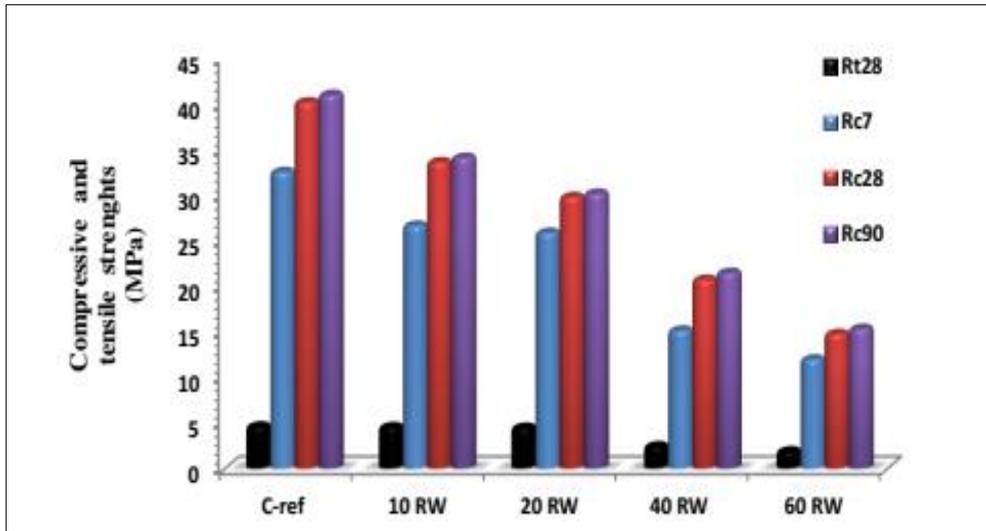


Figure III.11 : Résistances à la compression et à la traction des mélanges de caoutchouc.

2. Vitesse d'impulsion ultrasonique

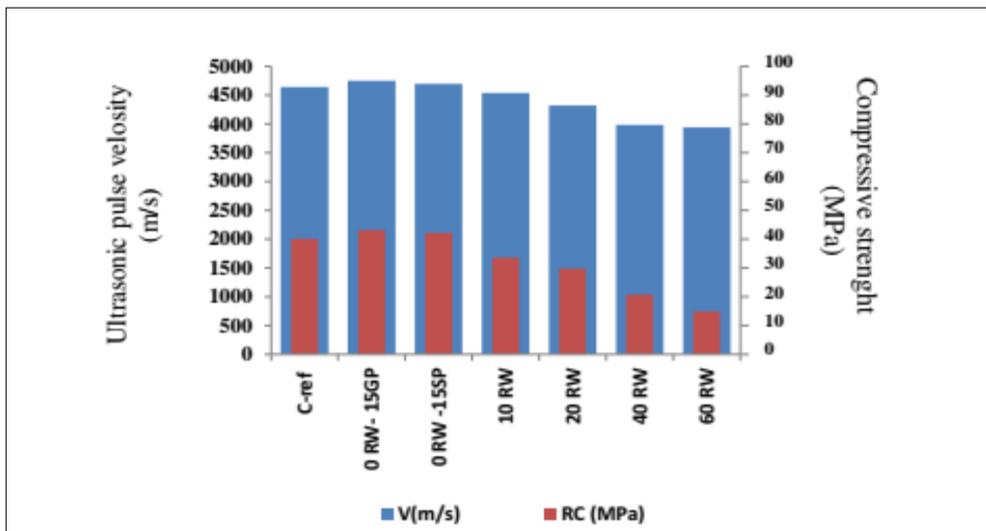


Figure III.12 : La vitesse de l'impulsion ultrasonique et la résistance à la compression du caoutchouc et du verre, mélanges de poudres de sable.

La figure montre les résultats d'essais expérimentaux réalisés sur du béton A étudié à 28 jours. L'évolution des vitesses de propagation des impulsions a été examinée par ultrasons en fonction de RW, GP et SP, et on peut voir que comme prévu, la teneur en caoutchouc dans le béton

augmente et la vitesse d'impulsion diminue et donc la résistance du béton diminue. Les valeurs de vitesse d'impulsion variaient de 4 640 m/s à 3 940 m/s (60 m/s). Ils sont d'une valeur de 4.540 m/s pour un taux de RW de 10%, d'une valeur de 4.320 m/s pour un taux de RW de 20%, d'une valeur de 3.985 m/s d'un taux de RW de 20% et de 3.940 d'une valeur de de 60% de RW de RW.

### 3. Module statique de déformabilité

Concretes	Modulus of elasticity GPa	Average strain %	Peak-stress (MPa)
<b>C-ref</b>	34.49	0.137	40.89
<b>10RW</b>	29.03	0.192	34.03
<b>20RW</b>	21.69	0.375	30.13
<b>40RW</b>	15.19	0.448	21.5
<b>60RW</b>	13.10	0.281	15.39

**Tableau III.18** : La différence sur la vitesse d'impulsion ultrasonique des bétons d'études par rapport à C-ref.

Ce test consiste à découvrir la différence entre le comportement du béton à base de caoutchouc. La référence est sous charge de pression. Les composés de caoutchouc contiennent-ils la capacité de résister aux fissures dans les structures des bâtiments plutôt que le contrôle du béton ?

On a constaté que l'incorporation en volume partiel de l'agrégat de caoutchouc remplaçait l'agrégat fin réduire le module d'élasticité du béton.

Le tableau représente les résultats moyens de trois tests effectués au même âge et dans les mêmes conditions. En ce qui concerne béton de caoutchouc, le module statique des valeurs d'élasticité était de 34,49 Go, 29,03 Go, 21,69 GPa, 15,19 GPa et 13,10 GPa pour les mélanges C-Ref, 10RW, 20RW, 40RW et 60RW, on constate, respectivement, que l'augmentation de la teneur en agrégats de caoutchouc conduit à augmentation des contraintes et réduction du module d'élasticité statique lors de la réduction du maximum Stress.

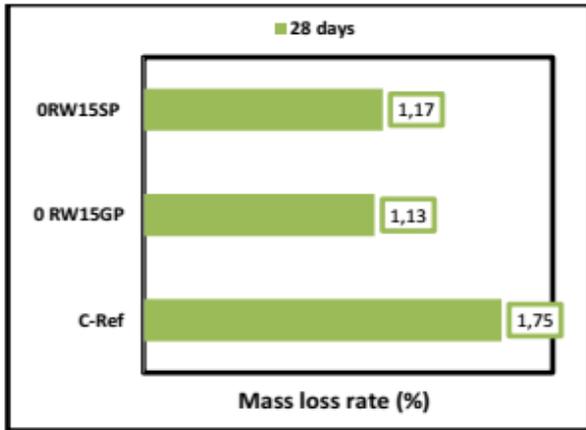
### 4. Résistance à l'attaque sulfurique acide H2SO4

Dans cette étude, l'endommagement des échantillons de béton lors de l'attaque à l'acide sulfurique a été observé et la perte de poids calculée a été évaluée par rapport au poids des échantillons auxquels l'acide n'était pas exposé, exprimé en pourcentage. Les résultats pour le béton avec différentes proportions d'agrégat de caoutchouc (RW), GP ou SP dans une solution à 10% de H2SO4 sont présentés dans la figure suivante.

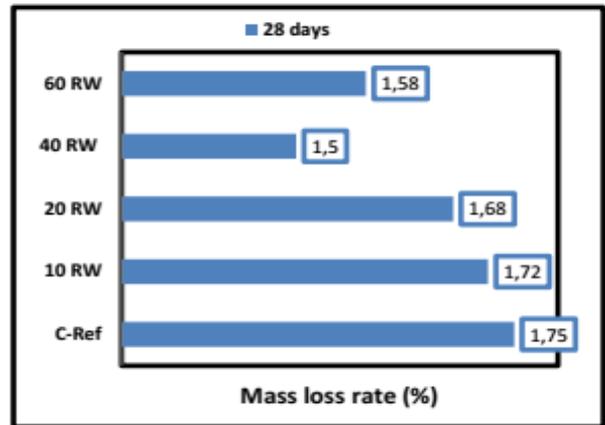
Il a été constaté pour les mélanges de caoutchouc qu'une augmentation du pourcentage de caoutchouc affecté la perte de masse est positive à tous les niveaux (RW) par rapport à la référence.

Cela signifie qu'un fichier les échantillons de béton de référence, ont enregistré une perte de masse maximale de 1,75%, et les échantillons modifiés ont été enregistrés par des agrégats de caoutchouc uniquement, avec 40% (RW) enregistrant la plus faible perte en masse 1,5%.

Cependant, il faut noter que la perte de masse diminue progressivement jusqu'à le mélange avec 0% (RW) était de 1,75% et celui-ci en mélange avec 10% (RW) était de 1,72%, mélange avec 20% (RW) était de 1,68%, le mélange avec 40% (RW) était de 1,5% et le mélange avec 60% (RW) était 1,58.



Perte de masse des bétons GP et SP  
attaqué par la solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Perte de masse de GC concrètes attaqué  
par la solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figure III.13 : Perte de masse des bétons.

### 5. Perméabilité à l'eau

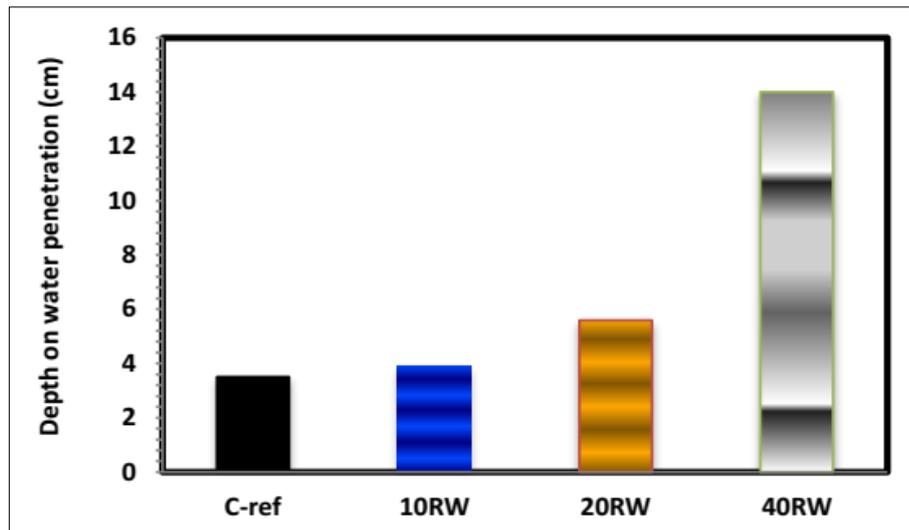
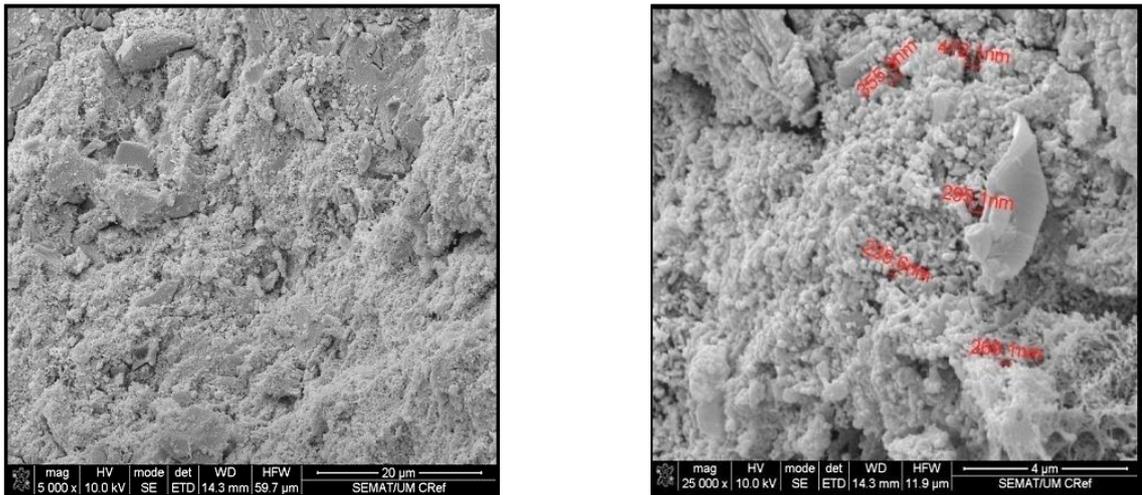


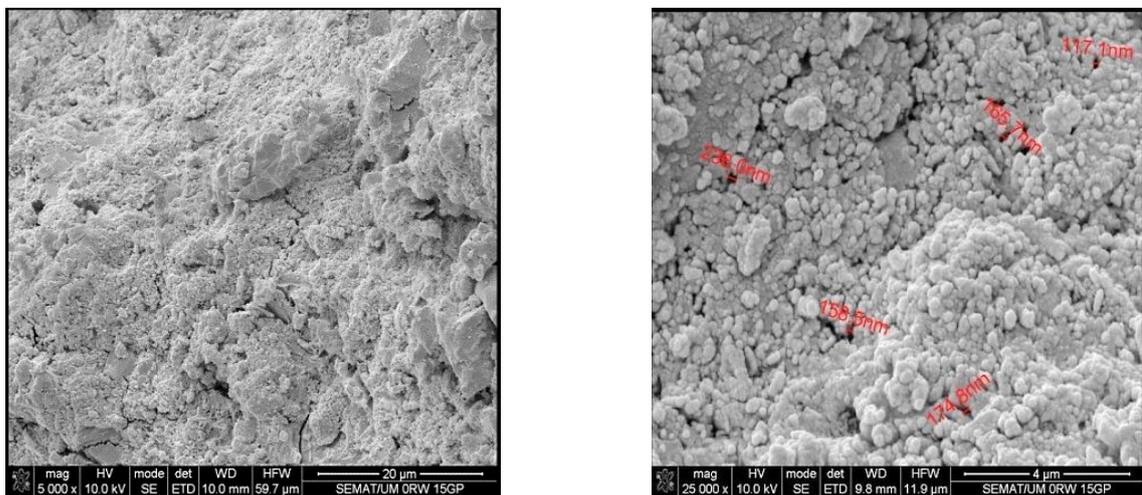
Figure III.14 : Profondeur de pénétration de l'eau dans les mélanges de caoutchouc.

### 6. Porosité :

Les figures (3.15, 3.16) montrent des échantillons de béton de référence et de béton de caoutchouc à 10% RW à un grossissement variable à travers un microscope électronique à balayage (SEM), nous avons confirmé que la structure de la pâte de ciment GP et de la pâte de référence est différente. Le mélange modifié GP a clairement une microstructure compacte par rapport à la référence. On constate également que le remplacement partiel du ciment par 15% GP a conduit à une diminution du pourcentage de vides, et ces observations ont confirmé les résultats précédents.



**Figure III.15 :** Image MEB du béton de référence à 90 jours (X 5000, X 25000).



**Figure III.16 :** L'image SEM du mélange contenait 15% de GP à 90 jours (X 5000, X 25000).

# **CHAPITRE**

## **IV**

## CHAPITRE IV : COMPARAISON ET CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous présentons une comparaison entre trois recherches que nous avons choisies, et cette comparaison est basée sur les essais qui ont été utilisées et les résultats qui y sont liés.

Notre sélection de ces études en comparaison était due à leur étude d'un sujet qui est l'utilisation des déchets de roue dans le béton.

### IV.1. COMPARAISON EN TERMES D'ESSAIS

Les essais différaient d'un chercheur à l'autre, certains chercheurs utilisaient les mêmes essais, et d'autres ajoutaient d'autres essais.

#### IV.1.1. LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS A L'ETAT FRAIS

##### IV.1.1.1. Le test D'ABRAMS ;

C'est une expérience qui a été dans les trois articles. Ce test, également appelé test d'affaissement du cône ABRAMS, permet de mesurer la fluidité du béton après malaxage.

C'est l'un des tests les plus couramment utilisés sur le chantier et il exprime l'affaissement du béton mou après l'enlèvement immédiatement après avoir rempli le moule.

Chercheur	Taux de substitution	0	5	7.5	10	15	17.5	20	25	30	50
AISSAOUI Walid	6				8.5		9		7		
SERIFOU MAMERY	6					6.5		7		8	7.5
MEDINE Malika			2.2	3	3.5						

**Tableau IV.1** : Affaissement des bétons en fonction de Taux de substitution.

1. À cet égard, les recherches de **M<sup>me</sup> MEDINE Malika en 2018** : L'ouvrabilité du béton léger a été évaluée dans cette étude par des mesures d'affaissement prises à la fin du malaxage. On a trouvé que maniabilité de ces matériaux changeait et on a remarqué que l'addition de groupes de caoutchouc réduisait l'aptitude au fonctionnement des mélanges étudiés.

2. Quant à la recherche de **AISSAOUI Walid en 2018** : Il a été constaté qu'il y a une diminution de l'affaissement par rapport au béton de référence.

3. Quant à Les propriétés à l'état frais du béton **SERIFOU MAMERY en 2013** ont été limitées aux essais de cône d'ABRAMS la maniabilité est moindre dans le béton neuf, surtout lorsque les taux de remplacement sont supérieurs à 50%.

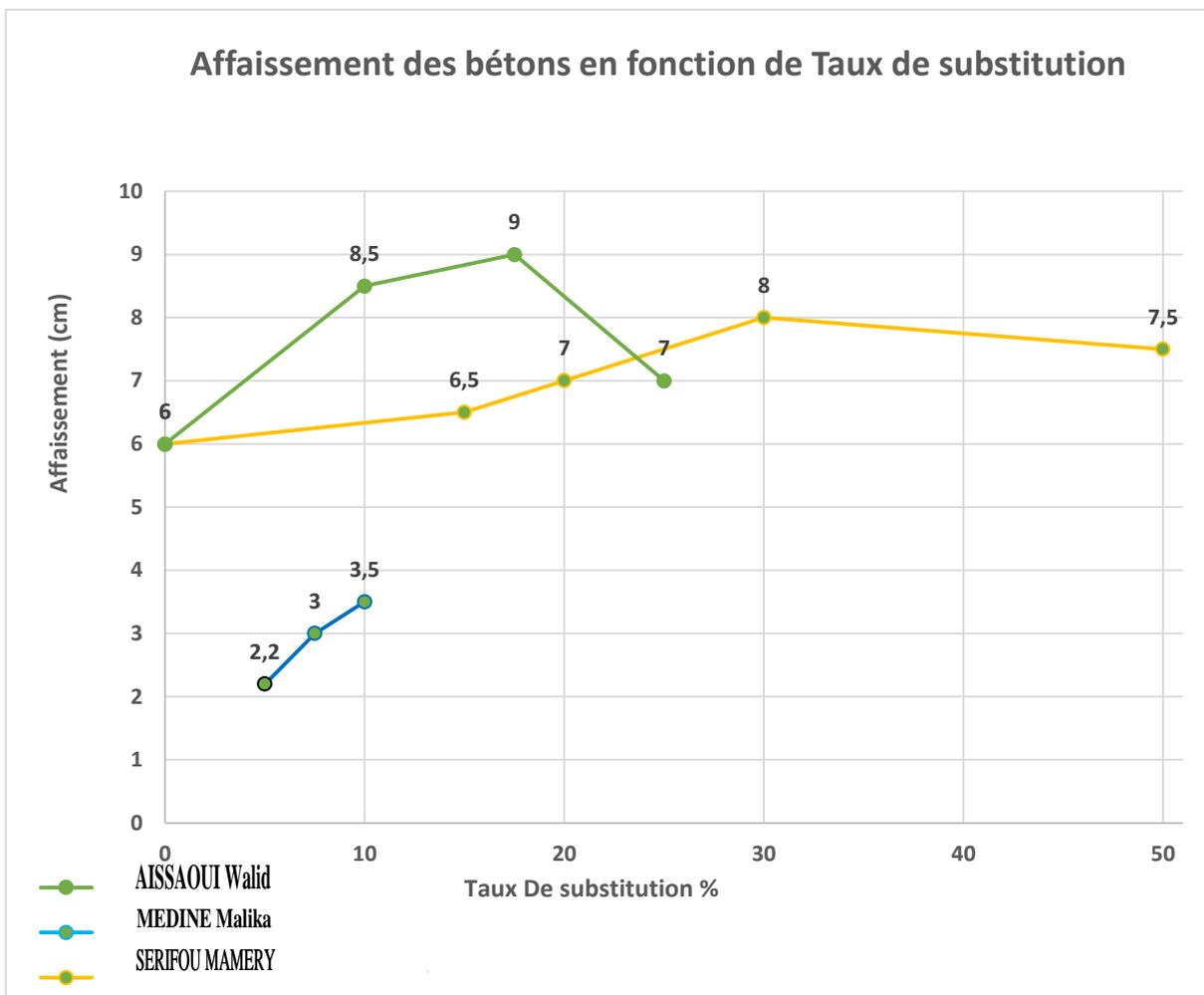


Figure IV.1 : Affaissement des bétons en fonction de Taux de substitution.

#### IV.1.1.2. La densité

1) En ce qui concerne M<sup>me</sup> MEDINE Malika en 2018 la densité du béton a été mesurée en général, les résultats obtenus traduisent une diminution continue de la densité en présence de ces granulats.

Taux de substitution	5	7.5	10
Masse volumique expérimentale (kg/m <sup>3</sup> )	2300	2285	2270

Tableau IV.2 : La masse volumique en fonction de taux de substitution.

2) Les résultats obtenus dans la recherche de AISSAOUI Walid en 2018 expriment que la densité diminue que le pourcentage d'additifs de caoutchouc augmente, et que la différence entre les densités théorique et expérimentale du béton testé est minime et ne dépasse pas la limite admissible de 5%.

<b>Taux de substitution</b>	10	17.5	25
<b>Masse volumique expérimentale (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2390	2350	2298

**Tableau IV.3 :** La masse volumique en fonction de taux de substitution.

3) Ainsi que ce que **SERIFOU MAMERY en 2013** tire des résultats de la densité, car il a enregistré une diminution à mesure que le pourcentage de remplacement augmentait :

<b>Taux de substitution</b>	15	20	25	30
<b>Masse volumique expérimentale (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2070	2050	2020	1890

**Tableau IV.4 :** La masse volumique en fonction de taux de substitution.

#### IV.1.1.3. Analyse des résultats

On remarque après l'étude des résultats des expériences applicables dans les trois recherches :

Dans l'expérience de l'affaissement du cône d'ABRAMS, nous notons qu'il y a une diminution de la quantité de béton affaissé dans toutes les recherches. Quant à l'expérience de mesure de la densité, qui est le principal facteur lié au poids du béton, où le poids du béton est plus léger dépend de sa densité. Ainsi qu'une diminution de la densité du béton dans les trois études

### IV.1.2. LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS A L'ETAT DURCI

#### IV.1.2.1. La résistance à la compression

1. Dans les études de **AISSAOUI Walid en 2018**, la combinaison de la fibre en caoutchouc a entraîné une diminution de la résistance du béton, et la diminution a varié entre 7.2 et 24.9 Mpa et que la résistance à la pression sur le béton a changé de 21.7 à 20.1 Mpa et ici nous remarquons une diminution de 7.2 % par rapport Avec le béton de référence et cette différence est relativement grande en résistance à la compression.

2. Quant à **M<sup>me</sup> MEDINE Malika en 2018** l'utilisation d'agrégats de caoutchouc comme alternative aux agrégats naturels a entraîné une perte de résistance à la pression. En comparaison avec la résistance à la compression du béton de référence, on note une diminution de cette résistance de type de compositions de béton étudiées. Il diminue de 27,65 MPa, jusqu'à atteindre une résistance minimale d'environ 20,90 MPa, pour le BCg10. La diminution de la résistance à la compression structurelle (BCg) était d'environ 2,10%, 14,21% et 24,41% pour BCg5, BCg7,5 et BCg10, respectivement.

3. Quant à **SERIFOU MAMERY en 2013** on a remarqué qu'il y avait une diminution de la résistance aux contraintes mécaniques à un âge précoce, par exemple le remplacement de 50% des granulats entraînait une diminution de 24% de la résistance aux contraintes mécaniques.

Résistance en compression/ Chercheur	Taux de substitution	0	5	7.5	10	15	17.5	20	25	30	50
AISSAOUI Walid		21.7			20.13		16.3		17.3		
SERIFOU MAMERY								8.5	6.9	3.9	0.6
MEDINE Malika		27.65	24	23.5	20.9						

Tableau IV.5 : Résistance en compression en fonction de taux de substitution.

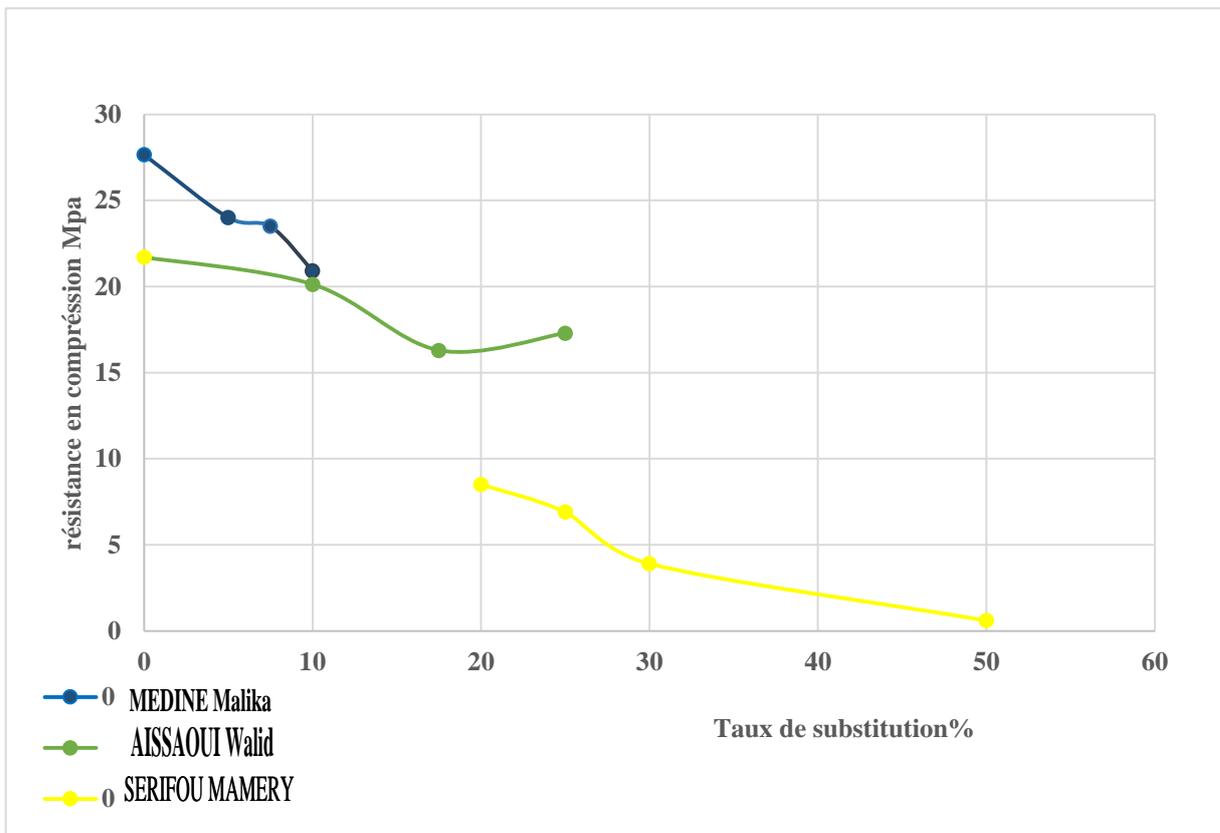


Figure IV.2 : Résistance en compression en fonction de taux de substitution.

Le tableau et la figure montre l'effet de différentes proportions de déchets de pneus sur la résistance à la compression du béton. Et les résultats ont montré une diminution de la résistance à la compression du béton des déchets de pneus y sont ajoutés par rapport au mélange de référence et le pourcentage de diminution augmente avec une augmentation déchets de pneus.

Cela est dû au fait que les particules de pneus de rebut sont faibles et comprimées, et que la résistance à la compression du béton sera réduite en raison de son influence par la résistance des autres composants du béton.

**IV.1.2.2. La résistance à la traction**

De notre étude des résultats des trois études que nous avons trouvées on peut constater la même évolution que la résistance à la compression.

On note que l'incorporation de miettes de caoutchouc aux roues sous forme de granulats a affecté la résistance aux contraintes mécaniques et conduit à sa diminution par rapport au béton de référence.

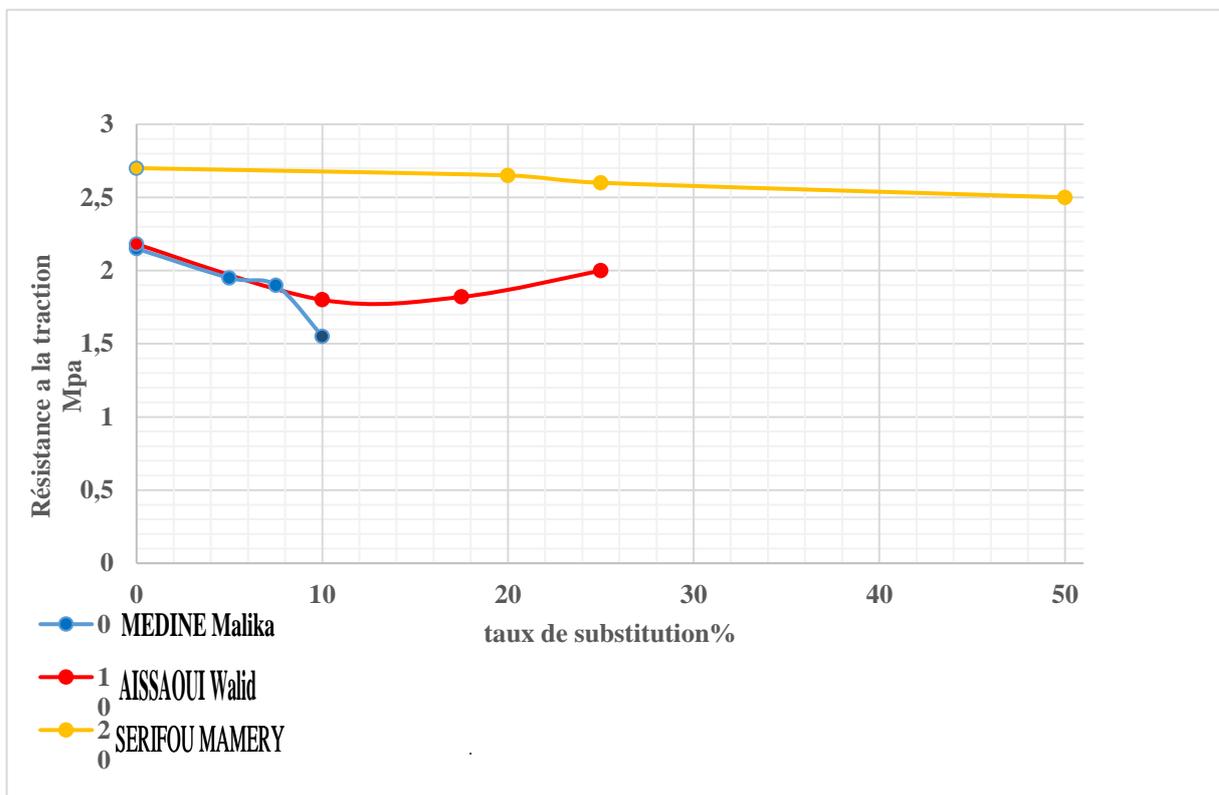
1- Les résultats de **AISSAOUI Walid en 2018** montrent une diminution de la valeur de la résistance à la traction au taux d'addition de 10 % , donc c'est 1.8 et il en va de même lorsque le rapport d'addition 17.5% et c'est 2 Mpa quand 25% par rapport au béton de référence.

2- Concernant les résultats, chez **SERIFOU MAMERY en 2013** une légère diminution de la contrainte de traction a été observée lors d'une substitution de 25%, contrairement à d'autres alternatives, une diminution plus importante de la résistance à la traction a été observée.

3- Chez **M<sup>me</sup> MEDINE Malika en 2018** les résultats du remplacement des agrégats naturels par des agrégats de caoutchouc ont donné les résultats d'une diminution de la résistance à la traction.

Résistance à la traction / Chercheur	Taux de substitution %	0	5	7.5	10	15	17.5	20	25	30	50
<b>AISSAOUI Walid</b>		2.18			1.8		1.82		2		
<b>SERIFOU MAMERY</b>		2.7						2.65	2.6		2.5
<b>MEDINE Malika</b>		2.18	1.95	1.9	1.55						

**Tableau IV.6 : Résistance à la traction en fonction de taux de substitution.**



**Figure IV.3 :** Résistance à la traction en fonction de taux de substitution.

Le tableau et la figure montre l'effet de différentes proportions de déchets de pneus sur la résistance à la traction du béton, et les résultats ont montré une diminution de la résistance à la traction du béton des déchets de pneus y sont ajoutés par rapport au mélange de référence et le pourcentage de diminution augmente avec une augmentation des déchets de pneus.

#### IV.1.3. ANALYSE DES RESULTATS

Avec cette comparaison entre les chercheurs sur les propriétés mécaniques du nouveau béton, le résultat du remplacement de l'agrégat naturel et avec différents degrés de substitution par des agrégats de caoutchouc est un béton de faible performance (une forte réduction de la résistance à la compression et une légère diminution de la résistance à la traction).

### IV.2. CONCLUSION DE COMPARAISON

Au cours des expériences et des résultats, et de notre comparaison, il a été constaté que :

1. L'affaissement diminue en augmentant les pourcentages de caoutchouc par rapport au mélange de référence sans additif.
2. La densité du béton diminue en augmentant le pourcentage de caoutchouc, réduisant ainsi le poids et devenant du béton léger.
3. Ces diminutions observées s'expliquent notamment par l'adhérence réduite des déchets sur la matrice cimentaire.

4. La résistance à la compression du béton de caoutchouc diminue en augmentant le pourcentage de caoutchouc.

5. La différence entre le coefficient de dilatation du caoutchouc et le coefficient de dilatation du béton car le coefficient de dilatation du caoutchouc est remarquablement élevé, de sorte que la poudre de caoutchouc durcie ne supporte pas la charge dans la texture du béton.

6. L'hétérogénéité dans la distribution des granules de poudre de caoutchouc entraîne un affaiblissement de la résistance du béton.

7. Le poids spécifique du caoutchouc est inférieur au poids spécifique du reste des éléments en béton, en plus de l'utilisation d'un vibreur pour béton de caoutchouc qui fait flotter une partie des granules de caoutchouc à la surface du béton.

### **IV.3. RECOMMANDATIONS**

Grâce à l'étude et en passant en revue les études antérieures sur le même sujet, nous vous recommandons :

- ✓ Les déchets de caoutchouc peuvent être utilisés dans le domaine de la construction.
- ✓ Il peut être utilisé dans la construction de trottoirs en béton à base de caoutchouc ou des passages pour piétons et les planchers.
- ✓ Les mélanges de béton de caoutchouc conviennent à des fins non liées à la construction, comme les murs en béton léger, les façades de bâtiments et les unités architecturales.
- ✓ L'utilisation de ces bétons de caoutchouc pour l'isolation phonique et thermique.
- ✓ Si nous voulons améliorer la résistance à la compression du béton, nous devons penser aux additifs chimiques et minéraux.

**RÉFÉRENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] GRANJU, Jean-Louis. Introduction au béton armé, Edition AFNOR.
- [02] Normalisation française XP P18-540, octobre 1997.
- [03] BENAMRANE, Dounia Zed. L'effet de la formulation sur la résistance à la pression du béton, mémoire de fin d'étude, Université de Ouargla, 2016/2017.
- [04] Ciment et Béton « collection technique CIMBETON », Paris, 2005.
- [05] Normes Algérienne N A 442.
- [06] LUNK, Peter et autre. Guide pratique du béton, Edition HOLCIM, 6<sup>ème</sup> Ed, Suisse, 2015.
- [07] FERGUENE, Habib. Valorisation des granulats recyclés de déchets des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants, mémoire de Master, Université de Boumerdes, 2016.
- [08] SAADANI, Sabrina. Comportement du béton à base de granulats recyclés, Mémoire de Magister, Université de Constantine.
- [09] Normalisation française P18-560.
- [10] FESTA, Jean. DREUX, Georges. Nouveau guide béton et ses constituants, Eyrolles, 8<sup>è</sup> Ed, 1998.
- [11] DUPAIN, R. LANCHON, R. SAINT-ARROMAN, J.-C. Granulats, Sol, Ciment et béton, Ecole Française du béton.
- [12] ZOUBIRI, Amina. Comportement du béton à base de la poudre de verre à haute température Effet de l'âge, Mémoire de Master, Université de Msila, 2015/2016.
- [13] Norme française P18-555.
- [14] Norme française P18-589.