

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 عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et Travaux Publics



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie Civil  
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
Filière : GÉNIE CIVIL  
Spécialité : STRUCTURE

Thème

**Étude du comportement mécanique des granulats  
recyclés (granulats de briques)**

**Présenté Par :**

- ❖ Belmedjadji kouider
- ❖ Badji badji

▪ Soutenu le .....

**Devant le jury composé de :**

Mr Kameche Zine El Abidine  
Mme Abdesselam Rabha  
Mme Cherifi Wafaa

UBBAT (Ain T'émouchent) Président  
UBBAT (Ain T'émouchent) Encadrante  
UBBAT (Ain T'émouchent) Examinatrice

*Année universitaire 2021/2022*

## ***DÉDICACES***

En signe de respect et de  
Reconnaissance, Je dédie

ce modeste travail à

Mes parents, pour leur  
patience et sacrifices.

A mes soeurs, à

Tous mes amis (es) , et à  
tous Personne ayant contribué

à ce travail de près ou de  
loin.

***BELMEDJAJI***

## ***DÉDICACES***

À la mémoire de mes défunts parents

À la plus belles créatures que Dieu a créées sur terre,,,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,,

À ma femme qui a toujours été à mes côtés

À mon grand frère

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2021/2022

Option : génie civil

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....

## **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions en premier lieu notre Dieu ALLAH le tout puissant qui nous a donné la force le courage la volonté et la bonne santé pour élaborer ce travail.*

*Notre grand remerciement à nos parents pour leur soutien, leur amour et leurs encouragements sans cesse renouvelés. Nous leur en sommes à jamais reconnaissants.*

*Nous tenons également remercier Madame « Abdesselam » pour avoir accepté de diriger ce projet, nous la remercions pour ses conseils, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail.*

*Un gros merci pour tous les membres de service au niveau de laboratoire 'kawther , nedjet et mr keddou ' d'université pour leurs présences et leur aide . Ainsi pour le personnel de bureau d'étude « Nour ».*

*Nous remercions, en particulier nos chers frères et soeurs. ; qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.*

*Nous remercions les membres de jury : ' dr kameche et mme cherifi ' qui nous feront l'honneur de présider et d'examiner ce travail. Afin de n'oublier personne, nous vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire*

*Enfin ; on remercie tous les enseignants de département de génie civil.*

**Belmedjadji\*\*\*\*\*Badji**

**Résumé :**

Aujourd'hui le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Les granulats représentent en moyenne 70% à 75% du volume du béton. A cet effet, il est opportun d'étudier la possibilité de valorisation des déchets de brique qui sont en abondance dans les briqueteries comme substituant des granulats naturels.

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

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

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

Ce travail vise alors à étudier le comportement mécanique du béton à base des granulats recyclés en substituant partiellement les granulats naturels par les granulas de brique à des pourcentages différents (25%, 50%, 75%).

Les bétons avec les granulats de briques ont donné des résultats acceptables par rapport au témoin de vis-à-vis la résistance mécanique.

**Mots clés :** béton, granulats, recyclage, brique, résistance.

## ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استخدامًا في البناء اليوم. الركام يمثل في المتوسط 70% إلى 75% من حجم الخرسانة. تحقيقًا لهذه الغاية ، من المناسب دراسة إمكانية استعادة نفايات الطوب التي توجد بكثرة في مصانع الطوب كبديل للركام الطبيعي.

إن نضوب الرواسب الطبيعية للركام والصعوبات في فتح محاجر جديدة تجعل من الضروري البحث عن مصادر جديدة للإمداد.

تعتبر إعادة التدوير واستعادة النفايات الآن حلاً للمستقبل من أجل سد العجز بين الإنتاج والاستهلاك وحماية البيئة.

تسعى هذه الأطروحة إلى تسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الطوب كركام معاد تدويره للخرسانة.

يهدف هذا العمل بعد ذلك إلى دراسة السلوك الميكانيكي للخرسانة على أساس الركام المعاد تدويره عن طريق الاستبدال الجزئي للركام الطبيعي بحبيبات الطوب بنسب مختلفة (25% ، 50% ، 75%).

أعطت الخرسانة مع مجاميع الطوب نتائج مقبولة مقارنة بشهادة مقابل المقاومة الميكانيكية.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة ، الركام ، إعادة التدوير ، الطوب ، المقاومة.

## ***Summary***

Concrete is the most widely used material in construction today. Aggregates represent on average 70% to 75% of the volume of concrete. To this end, it is appropriate to study the possibility of recovering brick waste which is in abundance in brickyards as a substitute for natural aggregates.

The depletion of natural deposits of aggregates and the difficulties in opening new quarries make it necessary to seek new sources of supply.

Recycling and recovery of waste are now considered a solution for the future in order to meet the deficit between production and consumption and to protect the environment.

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

This work then aims to study the mechanical behavior of concrete based on recycled aggregates by partially substituting natural aggregates with brick granules at different percentages (25%, 50%, 75%).

The concretes with the brick aggregates gave acceptable results compared to the witness of vis-à-vis the mechanical resistance.

**Keywords:** concrete, aggregates, recycling, brick , resistance.

## Notation et abréviation

Module de finesse : MF

Module de d'élasticité du béton instantané :  $E_i$

Equivalent de sable : ES

Coefficient d'aplatissement :  $A_p$

Masse volumique apparente :  $\rho_{\rho R_d}$

Masse volumique absolue :  $\rho_{\rho R_s}$

Porosité des gravillons : P

Coefficient los Angeles : LA

Béton ordinaire : B-O

Béton de brique concassée avec sable naturel : B-N-R

Affaissement au cône d'Abram : A

Dosage en ciment : C

Contrainte de compression :  $\sigma_{\sigma R_c}$

Resistance en compression de béton à 28j :  $f_{c28}$

Age du béton au moment de l'essai : j

Dimension maximale des granulats : D

Sable Naturel : SN

# Sommaire

DÉDICACE.....	I
DÉDICACE.....	II
Remerciement .....	III
Résumé .....	IV
ملخص .....	V
Summary .....	VI
Notation et abréviation .....	VII
Liste des Tableaux .....	
Liste des figures .....	

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. GÉNÉRALITÉS.....	1
2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE .....	2
3. PLAN DE TRAVAIL.....	2

## CHAPITRE I: Généralités sur les bétons

I.1. Introduction: .....	5
I.2. Historique :.....	5
I.3. Définition du béton : .....	6
I.4. Composition du béton: .....	6
I.5. les granulats :.....	6
I.5.1. définition : .....	6
I.5.2. Classification des granulats : .....	7
I.5.3. Les différents types de granulats : .....	7
I.6. - Le ciment.....	11
I.6.1. -Définition .....	11
I.6.2. Production de ciment .....	11
I.7. L'eau de gâchage:.....	12
I.8. -Les adjuvants.....	12
I.9. Dosage de béton : .....	13
I.10. Différents type de béton .....	13
I.11. Conclusion.....	17

## **CHAPITRE II: Le recyclage dans le domaine de génie civil**

II.1.	Introduction: .....	19
II.2.	Le Recyclage : .....	19
II.3.	Intérêt du recyclage dans le génie civil : .....	20
II.4.	Granulats recyclés : .....	20
II.5.	Élaboration des granulats recyclés : .....	20
II.6.	Technique de recyclage: .....	21
II.6.1.	Procédés du recyclage : .....	21
II.6.2.	Étapes du recyclage : .....	21
II.7.	Composition et propriétés physiques des granulats recyclés »s de béton : .....	22
II.8.	Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'État frais et à l'État durci : .....	23
II.8.1.	État frais : .....	23
II.8.1.1.	La teneur en air : .....	23
II.8.1.2.	Masse volumique : .....	23
II.8.2.	État durci : .....	24
II.8.2.1.	Absorption : .....	24
II.8.2.2.	Porosité : .....	24
II.8.2.3.	Perméabilité : .....	24
II.8.2.4.	Résistances à la compression : .....	24
II.8.2.5.	Résistances à la traction par flexion et par fendage : .....	25
II.8.2.6.	Module d'élasticité : .....	25
II.8.2.7.	Fluage et Retrait : .....	26
II.8.2.8.	Durabilité du béton à base des agrégats recyclés : .....	26
II.8.2.9.	Carbonatation : .....	27
II.9.	Conclusion.....	27

## **CHAPITRE III: Matériaux Procédés Expérimentaux**

III.1.	Introduction: .....	29
III.2.	Matériaux utilisés : .....	29
III.2.1.	Le ciment : .....	29
III.2.2.	Granulats : .....	31
III.2.3.	Eau de gâchage : .....	32
III.3.	Caractéristique des matières utilisant : .....	32

III.3.1.	Analyse granulométrique : .....	32
III.3.1.1.	Gravier naturel : de classe granulaire (3/8) .....	34
III.3.1.2.	Granulats du déchet de brique : de classe granulaire (3/8) .....	34
III.3.1.3.	Sable : de classe granulaire (0/5) .....	34
III.3.2.	Équivalente de sable : .....	35
III.3.3.	Masse volumique : .....	36
III.3.4.	Absorption d'eau .....	37
III.3.5.	Porosité .....	38
III.4.	Formulation du béton : .....	<b>38</b>
III.4.1.	Dosage des Bétons et formulation : .....	39
III.4.2.	La composition optimale d'un m <sup>3</sup> : .....	40
III.4.3.	Essai réalisées sur le béton : .....	40
III.4.4.	Confection et Cure des éprouvettes : .....	41
III.4.4.1.	Dimensions des éprouvettes .....	41
III.4.4.2.	Confection des éprouvettes .....	41
III.4.4.3.	Conservation des éprouvettes .....	41
III.4.4.4.	Mode opératoire de cette formulation .....	42
III.4.5.	l'affaissement au cône d'Abrams : .....	43
III.4.5.1.	But de l'essai : .....	43
III.4.5.2.	Comment mesurer l'affaissement du béton ? : .....	43
III.4.5.4.	Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône : .....	44
III.4.6.	Vibration: .....	44
III.4.7.	Essai de compression .....	45
III.5.	Conclusion .....	<b>48</b>

## **CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS**

IV.1.	Introduction : .....	<b>50</b>
IV.2.	Porosité : .....	<b>50</b>
IV.3.	Résistance à la compression des éprouvettes : .....	<b>51</b>
IV.4.	Conclusion : .....	<b>54</b>
	<i>Conclusion générale</i> .....	<b>56</b>
	<i>Référence bibliographique</i> .....	<b>58</b>

## *Liste des Tableaux*

### *CHAPITRE I: Généralités sur les bétons*

<b>Tableau 1 :</b> la teneur des constituants du béton en poids et en volume.....	6
<b>Tableau 2 :</b> classes granulaires principales .....	7
<b>Tableau 3 :</b> tableau des différents adjuvants .....	13
<b>Tableau 4 :</b> dosage de béton pour 1m <sup>3</sup> .....	13

### *CHAPITRE III: Matériaux Procédés Expérimentaux*

<b>Tableau 5 :</b> Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment.....	30
<b>Tableau 6 :</b> Compositions chimique du Ciment de BENISAFCEMII/A42.5 .....	31
<b>Tableau 7 :</b> analyse granulométrique par tamisage du gravillon naturel (3/8).....	34
<b>Tableau 8 :</b> analyse granulométrique par tamisage du gravillon recyclé (3/8) .....	34
<b>Tableau 9 :</b> analyse granulométrique par tamisage du Sable (0/5) .....	35
<b>Tableau 10 :</b> Masse volumique apparente ( $\gamma$ )du mâtereaux utilisés.....	37
<b>Tableau 11 :</b> Masse volumique absolue( $\rho$ ) du mâtereaux utilisés .....	37
<b>Tableau 12 :</b> Coefficient d'absorption d'eau des granulats.....	38
<b>Tableau 13 :</b> Porosité des gravillons .....	38
<b>Tableau 14 :</b> Formulation du béton .....	39
<b>Tableau 15 :</b> Donnés de bases pour la formulation .....	40
<b>Tableau 16 :</b> Composition optimale d'un m3 du béton ordinaire (B-O).....	40
<b>Tableau 17 :</b> Eau totale et eau ajouté aux mélanges béton.....	40
<b>Tableau 18 :</b> composition optimales des bétons type B.N.R.....	41
<b>Tableau 19 :</b> Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.....	44

### *CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS*

<b>Tableau 20 :</b> Porosité de béton.....	50
<b>Tableau 21 :</b> Résistance à la compression des éprouvettes .....	52

## *Liste des figures*

### *CHAPITRE I: Généralités sur les bétons*

<b>Figure 1:</b> Constituants de béton .....	6
<b>Figure 2 :</b> Dimension des granulats .....	7
<b>Figure 3 :</b> Différents types de granulats .....	8
<b>Figure 4 :</b> <b>Sable de rivière</b> .....	9
<b>Figure 5 :</b> Sable de mer .....	9
<b>Figure 6 :</b> Sable de carrière .....	10
<b>Figure 7 :</b> Sable artificiel .....	10
<b>Figure 8 :</b> Sable de dune .....	10
<b>Figure 9 :</b> Sable recyclé .....	11
<b>Figure 10 :</b> Le Ciment .....	11
<b>Figure 11 :</b> Constituants du béton .....	11
<b>Figure 12 :</b> Béton léger .....	13
<b>Figure 13 :</b> Béton de fibres .....	14
<b>Figure 14 :</b> Béton conventionnel .....	14
<b>Figure 15 :</b> Béton auto plaçant .....	15
<b>Figure 16:</b> Béton projeté .....	15
<b>Figure 17 :</b> Béton coloré .....	16
<b>Figure 18 :</b> Béton compactés ou rouleau (PCR) .....	16

### *CHAPITRE II: Le recyclage dans le domaine de génie civil*

<b>Figure 19 :</b> Collecte de déchets .....	21
<b>Figure 20 :</b> Transformation des déchets .....	22
<b>Figure 21 :</b> Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton .....	22
<b>Figure 22 :</b> Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'État durci .....	24
<b>Figure 23 :</b> Résistances à la compression .....	25
<b>Figure 24 :</b> Résistances à la traction par flexion et par fendage .....	25
<b>Figure 25 :</b> Module d'élasticité .....	26
<b>Figure 26 :</b> Fluage et Retrait .....	26

### *CHAPITRE III: Matériaux Procédés Expérimentaux*

<b>Figure 27 :</b> le ciment utilisé dans notre béton CEM II/A 42,5 .....	29
<b>Figure 28 :</b> sable naturel de classe granulaire (0/5) .....	31
<b>Figure 29 :</b> Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8) .....	31
<b>Figure 30 :</b> gravillon recyclés de classe granulaire (3/8) .....	32
<b>Figure 31 :</b> Eau de gâchage .....	32
<b>Figure 32 :</b> tamiseuse électrique du laboratoire .....	33
<b>Figure 33 :</b> les tamis utilisés dans l'essai d'analyse granulométrique du gravillon .....	33
<b>Figure 34 :</b> essai d'analyse granulométrique du sable .....	33
<b>Figure 35 :</b> essai d'équivalent de sable dans laboratoire .....	36
<b>Figure 36 :</b> essai de Masse volumique apparente dans laboratoire UAT .....	37
<b>Figure 37 :</b> Conservation des éprouvettes dans l'eau de gâchage .....	41

<b>Figure 38</b> : démoulage des éprouvettes .....	42
<b>Figure 39</b> : le béton préparé.....	42
<b>Figure 40</b> : l'affaissement au cône d'Abrams .....	43
<b>Figure 41</b> : l'affaissement au cône d'Abrams d'un béton .....	44
<b>Figure 42</b> : la table de vibration du laboratoire de UAT .....	45
<b>Figure 43</b> : Schéma sur essai de compression .....	45
<b>Figure 44</b> : machine de compression du laboratoire UAT .....	46
<b>Figure 45</b> : Écrasement des éprouvettes (7×7×7cm <sup>3</sup> ) à la machine 250KN .....	47
<b>Figure 46</b> : la résultat d'écrasement des éprouvettes.....	47

#### ***CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS***

<b>Figure 47</b> : Porosité de béton.....	51
<b>Figure 48</b> : Résistance à la compression des éprouvettes (courbes).....	52
<b>Figure 49</b> : Résistance à la compression des éprouvettes (Histogramme) .....	53

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

### 1. GÉNÉRALITÉS

Le béton est l'un des matériaux le plus utilisé dans le monde de la construction. Ces performances ne cessent de s'améliorer l'occurrence les résistances mécanique et la durabilité. Hier c'était le béton aujourd'hui ce sont les bétons grâce au développement technologique et à la recherche scientifique des nouveaux types par mes cette types les bétons de granulats recyclés.

Les bétons de granulats recyclés ; d'une masse volumique de 1500a1900kg/m<sup>3</sup> (2200 à 2600k/gm<sup>3</sup>) pour les bétons ordinaires, ont une résistance comparable aux bétons de granulats rigides tout en étant de 25 à35% plus légers. Ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies.

Le granulats est une matière première indispensable dans les industries du bâtiment et des travaux publics. Elle est produite et utilisée en très grandes quantités.

Dans tous les pays du monde, toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation. Les granulats sont des matériaux dont le prix d'achat double tous les 50 kilomètres.

En parallèle, l'essor rapide du tissu urbain, dans tous les pays du monde, a provoqué une augmentation impressionnante des quantités de sous-produits et de déchets. Ces sous-produits proviennent des industries de fabrication de matériaux de construction et les déchets sont produits a des opérations de construction, rénovation et de déconstruction.

Les sous-produits et les déchets, qui autrefois ne suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude, ont commencé à constituer un problème économique et écologique vers la fin du 20eme siècle. Les quantités énormes qui sont produites sans cesse immobilisent de plus en plus de grandes surfaces pour le stockage des déchets et réduisent ainsi les disponibilités de terrains sans compter la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

Pour répondre d'une part, au besoin vital de la construction et d'autre part, au besoin universel de conserver les ressources et de protéger l'environnement, il a été question de se pencher beaucoup plus sur l'étude et la production de matériau granulats tant en quantité qu'en qualité .Par conséquent ,une grande importance a été accordée a l'usage de déchets et de sous-produits comme granulats pour le béton.

Les déchets (dits inertes) peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers des travaux publics ou encore en 'autres applications dans le domaine de la construction, en particulier comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication du béton.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Cependant le premier emploi considérable de brique recyclée comme granulats dans le béton a été marqué à la fin de la seconde guerre mondiale, dans les pays d'Europe qui ont été très ravagés, comme la République fédérale Allemande par exemple. Les travaux, qui ont été réalisés en utilisant les types de brique qui sont utilisés communément dans la construction d'aujourd'hui, se sont concentrés plus sur les propriétés mécaniques du béton du granulats de brique, plutôt que sur les propriétés du granulats de brique lui-même. Ils ont montré que ;-Il était possible de réaliser un béton de haute résistance en utilisant la brique concassée comme granulats grossier, avec réduction en poids. Une haute résistance au cisaillement dans les poutres fabriquées du béton du granulats de brique, à comparer avec ceux du béton normal. Une perte de 7% dans la résistance de compression du béton en utilisant de la brique hollandaise concassée comme granulats grossier, comparée avec celle du béton fait avec les granulats naturels. En effet, l'usage de granulats de brique pour la fabrication du béton est jugé, par conséquent, pour être une solution pour les gérions ou les granulats naturels font défaut et ou une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

### 2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

- L'étude donc consiste à étudier les caractéristiques physico mécaniques et chimiques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés du béton à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser dans certains domaines de la construction.
- L'objectif visé par ce travail est d'évaluer expérimentalement le béton à base de déchets de brique en comparaison avec le béton ordinaire.
- Pour que nos résultats soient exploitables, en particulier dans le domaine de la construction, notre étude a été protégée la composition des bétons à partir d'un mélange te maire de sable (0/5).de gravillon (3/8).
- Étude du comportement des bétons.

### 3. PLAN DE TRAVAIL

Le présent travail de recherche portant sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés (brique), est scindé en deux parties : une recherche bibliographique et une étude expérimentale.

- ❖ La première partie qui est destinée à la recherche bibliographique, se divise en deux chapitres :
  - Le premier chapitre du mémoire présente des généralités sur le béton par savoir ces constituants et leur défèrent types sur tout le type on a utilisé dans son travail (le béton à base de granulats recyclés).et aussi les caractéristiques des bétons.
  - Le deuxième chapitre présente emploi des déchets dans le domaine génie civil.
- ❖ Étude expérimentale présente les matériaux utilisés et aussi formulation des bétons et aussi l'analyse des résultats

# CHAPITRE I

---

## GÉNÉRALITÉ SUR LES BÉTON

---

### **I.1. Introduction:**

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

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

### **I.2. Historique :**

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

Si l'on s'en tient à la définition du béton, mélange d'un liant et de granulats, son usage remonte à la haute Antiquité (3 000 à 700 avant J.-C.), avec les mélanges à base d'argile en Mésopotamie notamment. Mais ce matériau se dégradant rapidement, peu de vestiges attestent son utilisation.

Le « véritable » béton est utilisé dès l'époque romaine : les nombreux bâtiments de la Rome antique encore visibles témoignent de la résistance de leurs constructions.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, grâce à l'industrialisation de la fabrication du ciment, de nombreuses avancées successives assurent le succès du béton. Un jardinier créatif, Joseph Monier (1823-1906) dépose, entre 1867 et 1891, plusieurs brevets décrivant un système de construction à base de fer et de ciment, destiné à fabriquer des jardinières, tuyaux et réservoirs à eau. Il est l'inventeur du « ciment armé ».

Les brevets se succèdent. En 1867, un immeuble en béton aggloméré est breveté à Paris par François Hennebique (1842-1921). Celui-ci imagine ensuite la première dalle en béton de ciment armé de fers ronds (1880), les poutres creuses en béton armé (1892), le pilote en béton armé à ligatures rapprochées (1896).

#### **Du béton aux bétons multiples**

La composition du béton est fixée en 1906 par un règlement, selon lequel 1 m<sup>3</sup> de béton ordinaire est fabriqué à partir de 350 kg de ciment, 590 kg de sable, 1 180 kg de gravier, et 210 litres d'eau.

Mais les déclinaisons et applications du béton se multiplient au XX<sup>e</sup> siècle : béton à poudres réactives, plus résistant, béton précontraint, contenant des câbles d'acier en tension, béton allégé, grâce à des billes de polystyrène...

Enfin, apparaissent à la fin des années 1980 les bétons hautes performances (BHP), puis les bétons autoplaçants et les bétons fibrés à ultra hautes performances.

La famille des bétons ne cesse de s'agrandir[1].

### I.3. Définition du béton :

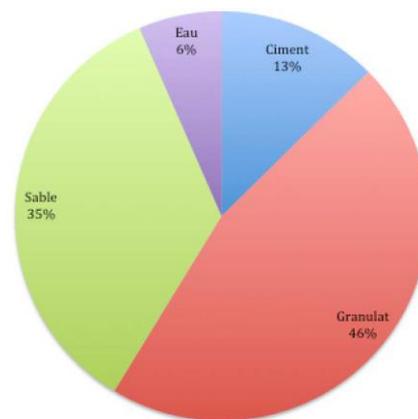
Un béton est un matériau composite résultant du mélange judicieusement dosé d'un squelette granulaire (gravier et sable) et d'une matrice pâteuse durcissable composée de ciment, d'eau, le plus souvent, parfois d'adjuvants. Après le durcissement il devient un matériau pierreux[2].

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

**Tableau 1:** la teneur des constituants du béton en poids et en volume

### I.4. Composition du béton:

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydratée et le sable constituent le mortier. Celui-ci à 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.



**Figure 1:** Constituants de béton

### I.5. les granulats :

#### I.5.1. définition :

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

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



**Figure 2 :** Dimension des granulats

### I.5.2. Classification des granulats :

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

d: dimension inférieure du granulat

D: dimension supérieure du granulat [3]

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

**Tableau 2 :** classes granulaires principales

### I.5.3. Les différents types de granulats :

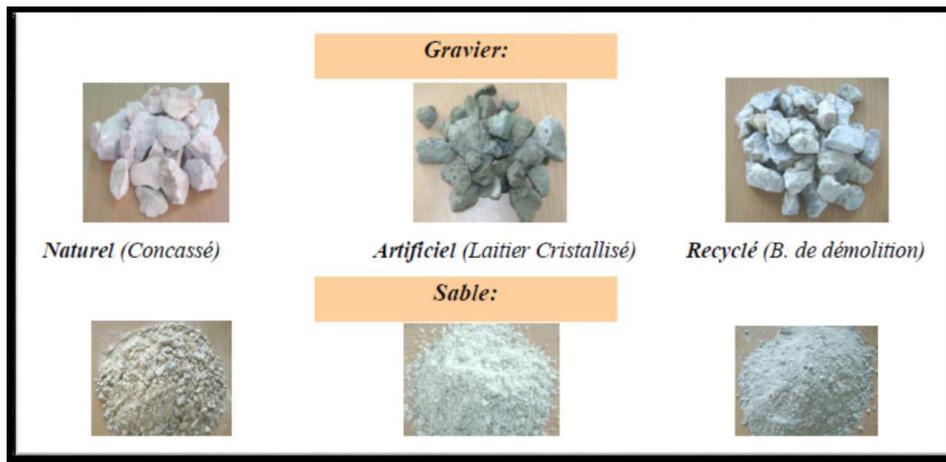
Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

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

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

- ✓ Éruptives : granites, basaltes porphyres,
- ✓ Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- ✓ Métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires [5].



**Figure 3 :** Différents types de granulats

**b) Les Granulats Alluvionnaires:** Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement). [6] Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [7].

**c) Les Granulats de Carrières:** Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [8].

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [9].

**d) Les Granulats Artificiels:** Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous produits industriels transformés.

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

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

**f) Les gros granulats (gravier et pierres concassées) :**

**Les granulats de rivière :**

Ils proviennent de la désagrégation des roches (gravier) ils sont en général très durs et très propres, cependant les grains par le frottement n'offrent pas une très bonne adhérence au liant [10].

**Les granulats de concassage :**

Les sont obtenus en concassant des roches dures (siliceuses, calcaires ou granitiques). Les grains sont anguleux, ils doivent être soigneusement lavés afin de les débarrasser des poussières qui les recouvrent au moment du concassage (pierres concassées) [10].

**g) Les granulats fins (sable) :**

**Définition :**

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre  $80\mu\text{m}$  et  $05\mu\text{m}$  ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, c'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à  $6.3\text{mm}$  et dont le passant à  $80\mu\text{m}$  n'excède pas 30%. Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à  $5\text{mm}$ . les fines [11].

□ **Origine des sables :**

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

**1) Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons [12].



**Figure 4 :** Sable de rivière

**2) Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel [12].



**Figure 5 :** Sable de mer

**3) Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire [12].



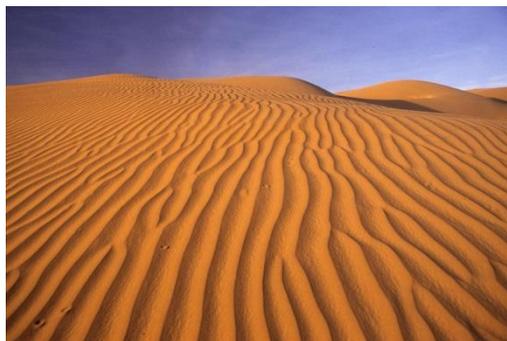
**Figure 6 :** Sable de carrière

**4) Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines [12].



**Figure 7 :** Sable artificiel

**5) Sable fin:** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara[12] .



**Figure 8 :** Sable fin

**6) Sable recyclé :** Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments[12] .



Figure 9 : Sable recyclé

## I.6. - Le ciment

### I.6.1. -Définition

Le ciment est le liant hydraulique par excellence .Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile, il fait partie des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance[13].



Figure 10 : Le Ciment

### I.6.2. Production de ciment

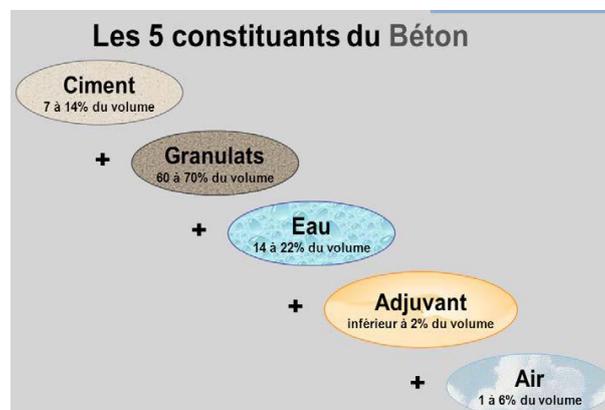


Figure 11 : Constituants du béton

**I.7. L'eau de gâchage:**

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

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement sur le durcissement (matières organiques telles que le huiles, les graisses, et les sucres ...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...). L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir. On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes [14]

**I.8. -Les adjuvants**

les adjuvants sont des produits chimiques ajoutés lors du malaxage du béton et faiblement dosés lors de la préparation(moins de 5% de la masse du béton).Ils offrent la possibilité d'améliorer certaines caractéristiques du béton telles que son temps de prise ou son étanchéité Très répandus aujourd'hui, il existe différents types d'adjuvants qui vous permettront d'obtenir le béton de vos rêves[15].

<b>Nature</b>	<b>Effets</b>
<b>Prise et durcissement</b>	<input type="checkbox"/> Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton. <input type="checkbox"/> Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton. <input type="checkbox"/> Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.
<b>Ouvrabilité du béton</b>	<input type="checkbox"/> Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer. <input type="checkbox"/> Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange. <input type="checkbox"/> Super plastifiant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonction fluidifiant : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance.</li> <li>• Fonction réducteur : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.</li> </ul>
<b>Modification de certaines propriétés</b>	<input type="checkbox"/> Entraîneur d'air : permet la formation de

	<p>petites bulles d'air réparties de manière homogène Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton a l'état solide.</p> <p>□ Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</p> <p>□ Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</p>
<b>Les produits de cure</b>	Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation

**Tableau 3 :** tableau des différents adjuvants

### I.9. Dosage de béton :

	<b>Béton de fondation</b>	<b>Dallage béton</b>	<b>Béton armé</b>
<b>Ciment</b>	350 kg	300 kg	400 kg
<b>Granulat</b>	1050 kg	1100 kg	980 kg
<b>Sable</b>	800 kg	830 kg	720 kg
<b>Eau de gâchage</b>	175 L	155 L	195 L

**Tableau 4 :** dosage de béton pour 1m<sup>3</sup>

### I.10. Différents type de béton

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est constante évolution le béton est un matériau dont la composition peut évoluer .On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées. En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous différentes formes, répond à nos besoins.

#### ❖ Béton léger

Ce béton est jusqu' à 25% plus léger que le béton conventionnel grâce à l'utilisation de billes de styromousse, de colcrete ou de zonalité. Il est surtout utilisé comme isolant thermique et sonore pour les toitures, comme couche de nivellement pour les planchers et les toits ainsi que pour les murs coupe -feu.



**Figure 12 :** Béton léger

### ❖ Béton de fibres

Servant de renfort structural, ce béton contient des fibres réparties uniformément dans le mélange. Ces fibres synthétiques ou en acier réduisent les contraintes internes et préviennent la fissuration, augmentant la durabilité du béton.



**Figure 13 :** Béton de fibres

### ❖ Béton conventionnel

Couramment utilisé pour les fondations, les trottoirs, les bordures et les planchers, ce béton peut contenir de l'air entrainé afin d'améliorer sa résistance au cyclé gel –dégel à l'épandage d'agents déglacant.



**Figure 14 :** Béton conventionnel

### ❖ Béton à haute performance

Avec une force résistance de compression de plus de 50MPa, ce béton est souvent utilisé pour les éléments de béton préfabriqué ou précontraint nécessitant une résistance initiale élevée. Il est formulé à partir de ciment hydraulique binaire et d'adjuvants, ce qui augmente sa résistance à l'abrasion, sa durabilité aux ions chlorure. Sa durée de vie est donc prolongée dans certaines conditions climatiques.

### ❖ Béton auto plaçant

Utile dans les endroits difficiles d'accès, les coffrages complexes ou comportant une forte densité d'armature d'acier, ce béton très fluide se place tout seul sous l'effet de la gravité. En plus d'assurer un étalement pouvant atteindre 750mm, il possède une cohésion suffisante pour combler presque tous les types d'espace sans ségrégation ni ressuage.



**Figure 15 :** Béton auto plaçant

❖ **Béton anti lessivage**

Principalement utilisé pour des coulées sous l'eau, ce béton très fluide et sans ségrégation (affaissement de 200mm, plus ou moins 40mm) contient des adjuvants qui préservent ses caractéristique physiques et l'empêchent de se désagréger, même au contact de l'eau.

❖ **Béton anti retrait**

Comportant un agent chimique anti retrait conçu pour les dalles, ce béton permet d'obtenir des surfaces extraordinairement planes. La réduction du retrait, qui atteint 80% après 28jours, prévient la fissuration lors de la cure du béton.

❖ **Béton projeté**

Propulsé à grande vitesse sur une surface sans coffrage, ce béton est surtout utilisé pour les parois, les barrages et les tunnels de mine.



**Figure 16:** Béton projeté

❖ **Béton coloré**

En ajoutant des granulats colorés ou des pigments au mélange, il est possible d'obtenir un béton de la couleur de son choix. Ce béton est surtout utilisé pour les dalles de béton et les produits décoratifs



**Figure 17 : Béton coloré**

❖ **Béton de remblai sans retrait**

Ce béton très maigre, dont la résistance est de 0.7MPa, est un matériau de remblayage auto compactant à densité contrôlée. Aucun compactage n'est donc nécessaire pour obtenir une capacité de support suffisante. Il est utilisé pour les fouilles et les tranchées des services publics.

❖ **Béton de sable**

Béton dans lequel le sable constitué le seul granulat. Sa composition diffère d'un Mortier car il contient généralement plus de fines. Ce type de béton, utilisé pour valoriser les ressources naturelles locales en l'absence d'autres granulats, possède une résistance mécanique faible que les bétons courants.

❖ **Béton compactés ou rouleau(PCR)**

Le pavage en béton compacté au rouleau (BCR) est composé de ciment, de granulats, d'adjuvants, d'eau et d'ajouts cimentaires si requis, qui nécessite l'apport d'une énergie de compactage externe pour être bien consolidé.

C'est un béton à faible teneur en eau, sans affaissement, mis en place et compacté par des équipements de terrassement en couches minces 250 mm. Le BCR n'est pas armé et sa mise en place se fait sans coffrage. Du point de vue structural, un revêtement en BCR est un ouvrage rigide au même titre que toute autre dalle de béton et est soumis aux mêmes critères de conception. Utilisé pour les grands ouvrages de Génie Civil et de travaux publics comme les barrages, les stationnements, les routes municipales, etc.



**Figure 18 : Béton compactés ou rouleau (PCR)**

**I.11. Conclusion**

Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable. L'emploi du béton, en grande quantité, nous permet d'affirmer que ce matériau est toujours en évolution. Ainsi, aujourd'hui, on dispose d'une large gamme de bétons et lois donc, pour chaque type d'ouvrage le béton adéquat.

# **CHAPITRE II**

---

Le recyclage dans le domaine de  
génie civil

---

**II.1.Introduction:**

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

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

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

**II.2.Le Recyclage :**

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

La brique, le béton et le mortier peuvent être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysage et pour d'autre application dans le domaine de la construction.

En Algérie, suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues ou par vieillissement et dégradation des bâtiments publics, des ponts et des installations industrielles sont démolis mais jamais recyclés. Les ressources naturelles dans certaines régions sont donc épuisées. Les granulats de brique cuite concassés issus de produits de construction et/ou de démolition présentent un intérêt particulier, car leur valorisation permet de contribuer à la résolution du problème de stockage des déchets, à la réduction de la pollution de l'environnement, à la préservation des ressources naturelles, à la réduction du coût de construction et enfin à la résolution du problème d'approvisionnement en sable et graviers. Le manque de connaissances sur les déchets de brique engendre la méfiance des usagers, par conséquent, une meilleure connaissance du comportement des bétons incluant de tels granulats pourrait contribuer au développement de l'industrie de recyclage et à la valorisation des déchets de construction et de démolition en Algérie [KEN 02]. La brique est largement connue comme un additif pouzzolanique pour les matériaux de construction composites [16]. Peu de tentatives de valorisation dans ce domaine ont été entreprises à El-ASNAM (CHLEF actuellement) suite au tremblement de terre de 1980 en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique de Construction (C.S.T.C) Belge. Aux alentours de Touggourt, la valorisation des DBR qui sont en abondance a montré une résistance à la compression acceptable et comparable à celle du béton ordinaire avec réduction en poids du béton appréciable .

Par ailleurs, pour le même niveau du béton, la résistance à la traction des bétons à base de déchets de brique dépasse celle du béton normal. Cependant, ils ont une porosité et une absorption capillaire assez importantes que le béton ordinaire malgré la défaillance mécanique de ces granulats [BAR 06] [17]. L'utilisation de fines d'argile rouge écrasé par [VIE 16] [18] leur a permis de conclure que le DBR fournit de meilleures performances en termes d'absorption d'eau par capillarité et de pénétration des ions de chlorure, contrairement au rétrécissement, l'absorption d'eau par immersion et la pénétration de la carbonatation. D'après les chercheurs [NAI 15] [19], l'addition de 40% de DBR améliore la résistance à 7 et 28 jours des pâtes mélangées alcalins activés par du laitier et des mortiers. Une autre recherche menée par [FAT 12] [20] montre que les effets de DBR sont associés à la fissuration, à la perte des propriétés mécaniques et à la dégradation de la chimie du gel silice alcalin. Les propriétés à haute température des blocs de béton de mur de séparation préparés avec les agrégats de DBR recyclés et de démolition des constructions ont été étudiées par [ZHA 13] [21]. Ces auteurs ont prouvé que ce matériau conduit à de meilleures performances en termes de durabilité et de sécurité incendie.

### **II.3. Intérêt du recyclage dans le génie civil :**

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

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

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

### **II.4. Granulats recyclés :**

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

- Granulats de (débris) BÉTON.
- Granulats de (débris) MIXTE.
- Granulats de (débris) MAÇONNERIE.
- Granulats de (débris hydrocarbonés) TARMAC

### **II.5. Élaboration des granulats recyclés :**

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

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

- Installation fixe : installation avec un ou plusieurs concasseurs d'une assez grande capacité.

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

## II.6. Technique de recyclage:

### II.6.1. Procédés du recyclage :

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

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

### II.6.2. Étapes du recyclage :

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes.

#### Étape 1 : Collecte de déchets :

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

La collecte s'organise en conséquence.

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

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

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



**Figure 19** :Collecte de déchets

### . Étape 2 : Transformation :

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



**Figure 20 :** Transformation des déchets

### . Étape 3 : Commercialisation et conservation :

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

## II.7. Composition et propriétés physiques des granulats recyclés »s de béton :

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

- Des granulats naturels concassés partiellement.
- De la pâte de ciment hydraté concassée enrobant les granulats naturels.



**Figure 21 :** Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton

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

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

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

- La masse volumique des granulats recyclés semble plus faible que celle des granulats naturels.

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

- Le coefficient de Los Angeles est élevé comparé à celui exigé par la norme XP P 18-540-article 10. Cette tendance est confirmée par les travaux de Sanchez de Juan & Gutierrez qui expliquent que cette valeur élevée du coefficient de Los Angeles est due à la quantité de pâte de ciment présent autour des granulats naturels concassés.

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

## **II.8. Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'État frais et à l'État durci :**

### **II.8.1. État frais :**

#### **II.8.1.1. La teneur en air :**

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

Cette augmentation de teneur en air peut être attribuée à la plus grande porosité des agrégats recyclés[22].

#### **II.8.1.2. Masse volumique :**

La Masse volumique apparente du béton frais à base des agrégats naturels est dans la plage de 2400 kg/m<sup>3</sup>, alors que le béton à base des agrégats recyclés est nettement plus léger, 2150 kg/m<sup>3</sup>, quel que soit le type de ciment.

La densité plus faible est le résultat de la masse volumique des granulats, qui est liée à la nature du béton utilisé pour la production de l'agrégat. En outre, l'augmentation de la teneur en air dans le béton recyclé, conduit à une réduction supplémentaire de la masse volumique du béton frais[23].

## II.8.2. État durci :



**Figure 22 :** Propriétés du béton à base des agrégats recyclés à l'État durci

### II.8.2.1. Absorption :

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

Ce critère influe considérablement sur le comportement rhéologique des bétons frais. Les compositions du béton de granulat recyclé nécessitent une quantité d'eau supplémentaire pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle requièrent approximativement 15% d'eau supplémentaire pour un même affaissement qu'un béton classique[23].

### II.8.2.2. Porosité :

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

La porosité des bétons de granulat recyclé est généralement corrélée à leur capacité d'absorption. La forte capacité d'absorption des bétons de granulats recyclés est liée à une forte porosité de ce matériau. Le taux de ciment dans le béton parent influe également sur la porosité du béton de granulat recyclé. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pâte de ciment[24].

### II.8.2.3. Perméabilité :

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

### II.8.2.4. Résistances à la compression :

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

Bien que les chercheurs ont signalé une réduction de la résistance du béton à base de granulat recyclé, il convient de noter que l'ampleur de la réduction est liée à des paramètres tels que le type de béton utilisée pour la fabrication des agrégats recyclé (élevé, moyen, ou faible

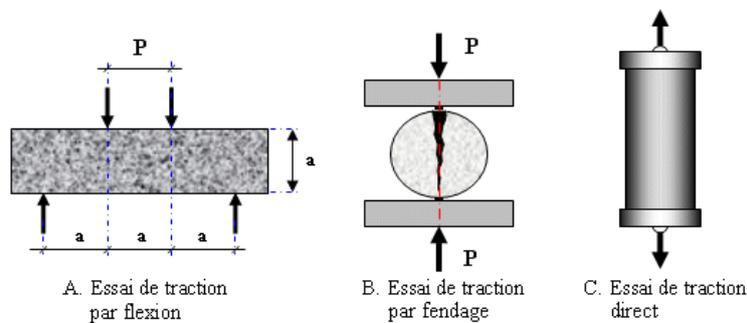
résistance), le ratio de remplacement, de l'eau / ciment et l'état d'humidité des granulats recyclés[25].



**Figure 23** : Résistances à la compression

#### II.8.2.5. Résistances à la traction par flexion et par fendage :

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



**Figure 24** : Résistances à la traction par flexion et par fendage

#### II.8.2.6. Module d'élasticité :

Pour un béton ordinaire, le module d'Young augmente en fonction de l'âge du béton tandis que le module d'Young des bétons de granulats recyclés (26.6 GPa) [26] ne semble pas dépendre de l'âge de l'éprouvette de béton (à rappeler que la valeur conventionnellement utilisée pour un béton ordinaire est (35 GPa).

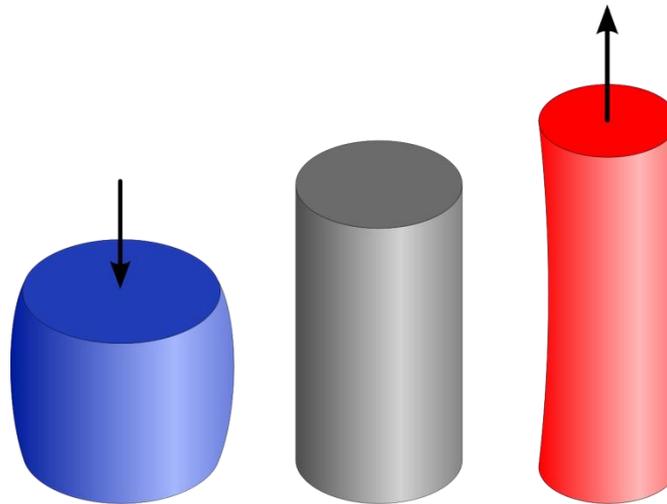


Figure 25 : Module d'élasticité

### II.8.2.7. Fluage et Retrait :

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

Cependant, les résultats des tests pour le fluage en condition normales de laboratoire ne sont pas si évidents, si certaines études ont montré la tendance à s'inverser, c'est-à-dire le fluage après 1 an est d'environ 20% inférieure à celle du béton avec béton à base de granulat naturel Bien que davantage de travaux de recherche sont nécessaires dans le domaine, il semble que le comportement global du béton à base de granulat recyclé et béton à base de granulat peut être comparable lors de l'affichage de l'effet combiné du retrait et du fluage[27].



Figure 26 : Fluage et Retrait

### II.8.2.8. Durabilité du béton à base des agrégats recyclés :

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

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

### II.8.2.9. Carbonatation :

Sur la base du test de carbonatation fait après 6 mois de séchage, la profondeur de la carbonatation du béton recyclé a été jugée fois supérieurs à celle du béton à base de granulats naturels. On voit que pour le même ratio liant de l'eau, la profondeur de carbonatation du béton à base de granulats recyclés est légèrement plus élevée que celui du béton à base de granulats naturels.

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

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

## II.9. Conclusion

La protection de l'environnement révèle d'une importance capitale ces dernières années. Les déchets ménagers et les déchets industriels stockés dans les décharges illégales ou même légales sont généralement incinérés, ou enfouis avec pour conséquences des effets néfastes sur l'environnement. Le recyclage des déchets des bétons de démolition peut présenter des avantages et des solutions très intéressantes pour préserver l'environnement et doit être considéré comme une source supplémentaire importante de granulats. Nous avons donc étudié le comportement des granulats de béton avec des ajouts de brique de différentes dimensions soumis à plusieurs sollicitations voire essais Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats obtenus sont ensuite comparés à ceux des granulats naturels soumis aux mêmes types d'essais. Nous visons dans cette recherche à étudier les propriétés du béton recyclé (granulats de la brique). Les granulats de la brique concassée produisent des bétons d'une résistance acceptable. Le granulats de la brique peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité. Des essais effectués sur des bétons de débris de brique ont montré que, pour des bétons de masse volumique apparente de l'ordre de  $2000\text{kg/m}^3$ , on avait des résistances à la compression identiques à celle des bétons normaux.

# CHAPITRE III

---

Matériaux Procédés Expérimentaux

---

### III.1. Introduction:

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

### III.2. Matériaux utilisés :

#### III.2.1. Le ciment :

##### ❖ Caractéristiques du ciment utilisé:

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment **CPJ-CEM II/A 42,5** [28], provient de la cimenterie **Beni-saf** c'est un ciment pour les travaux dans les milieux fortement agressifs , selon la norme NA 442/2000est constitué de:

- Minimum de 80-94 % de clinker ;
- 6–20 % de la pouzzolane naturelle.



Figure 27 : le ciment utilisé dans notre béton CEM II/A 42,5

#### CPJ-CEM II/A 42,5 :

##### □ Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :

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

##### □ Spécifications mécaniques et physiques :

Les résistances la compression du **CPJ-CEM II/42,5** déterminées selon la norme **NA 234** Font l'objet d'un contrôle statistique faisant apparaître une valeur moyenne des résultats obtenus à 28 jours voisine 55 N/mm<sup>2</sup>[29].

La majorité des résultats obtenus se situe entre 42,5 N/mm<sup>2</sup> et 62,5 N/mm<sup>2</sup>. Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieures et supérieures des spécifications mécaniques du ciment CPJ-CEM II/A 42,5.

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

- 10,0 N/mm<sup>2</sup> à 02 jours ;
- 40,0 N/mm<sup>2</sup> à 28 jours.

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

**□ Spécifications chimiques :**

La proportion des sulfates (SO<sub>3</sub>) dans le ciment CPJ-CEM II/A 32,5 est inférieure à 3,5%.

La teneur en chlorures (Cl) est inférieure à 0,10%.

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

<b>1. SPECIFICATIONS 1.1 Essais physico Mécaniques</b>	<b>Valeur mesurée</b>	<b>Norme NA 422/2013</b>
<b>Refus à 90um(%)</b>	2.84	--
<b>Consistance (%)</b>	24.98	--
<b>Début de prise (mn)</b>	168	>60mm
<b>Compression 02 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	17.18	>10.0
<b>Compression 07 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	31.84	--
<b>Compression 21 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	46.48	--
<b>Flexion 02 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	3.52	--
<b>Flexion 07 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	5.52	--
<b>Flexion 28 jours (N/mm<sup>2</sup>)</b>	7.14	--
<b>Expansion à chaud sur pâte (mm)</b>	0.59	--

**Tableau 5 : Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment**

<b>Composition Minéralogique Clinker</b>	<b>C3S 63.91%</b>	<b>C2S 12.57%</b>	<b>C3A 8.29%</b>	<b>C4AF 10.32%</b>
<b>Composition chimiques Ciment</b>	<b>Valeur mesurée</b>		<b>Norme NA 442/2013</b>	
<b>Perte au feu (en%)</b>	1.38		--	
<b>Cao libre (en%)</b>	0.69		--	
<b>SiO<sub>2</sub> (en%)</b>	28.14		--	
<b>Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> (en %)</b>	5.56		--	
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (en%)</b>	3.20		--	
<b>Cao (en%)</b>	56.00		--	
<b>Mg O (en %)</b>	1.05		<5	

SO <sub>3</sub> (en%)	2.00	<3.5
Chlorures (en%)	0.030	<0.1
Insolubles (en%)	9.59	--

**Tableau 6 :** Compositions chimique du Ciment de BENISAFCEMII/A42.5

### III.2.2. Granulats :

On a deux types de granulats :

- Granulats Naturels
- Granulats recyclés

**Les granulats naturels sont :**

- Le sable naturel de classe granulaire (0/5)



**Figure 28 :** sable naturel de classe granulaire (0/5)

- Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8)



**Figure 29 :** Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8)

**Les granulats recyclés :** sont obtenus par concassage des déchets de la brique, ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire.

A défaut de concasseur à mâchoire dans le laboratoire, déchets de la brique a été concassée à l'aide des marteaux.



**Figure 30** : gravillon recyclés de classe granulaire (3/8)

### III.2.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, le béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.

L'eau utilisée pour les différentes gâchées de béton est issue du robinet du laboratoire de génie-civil et hydraulique de l'université HADJ BOUCHAIB ; elle est propre et potable.



**Figure 31** : Eau de gâchage

## III.3. Caractéristique des matières utilisant :

### III.3.1. Analyse granulométrique :

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon [31].

- **Principe de l'essai :**

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

Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau.

Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique



**Figure 32 :** tamiseuse électrique du laboratoire



**Figure 33 :** les tamis utilisés dans l'essai d'analyse granulométrique du gravillon



**Figure 34 :** essai d'analyse granulométrique du sable

## III.3.1.1. Gravier naturel : de classe granulaire (3/8)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentages des refus cumulés R (%)	Pourcentages des tamisât cumulés T (%)
8	1	1	0.1	99.9
6.3	75.3	76.3	07.63	92.37
5	250.5	326.8	32.68	67.32
4	317.3	644.1	64.41	35.59
2	328.5	972.6	97.26	02.74
Fond	27.4	1000	100	00

Tableau 7 : analyse granulométrique par tamisage du gravillon naturel (3/8)

## III.3.1.2. Granulats du déchet de brique : de classe granulaire (3/8)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentages des refus cumulés R (%)	Pourcentages des tamisât cumulés T (%)
8	5.5	5.5	0.55	99.45
6.3	184.2	189.7	18.97	81.03
5	246.5	436.2	43.62	56.38
4	184.3	620.5	62.05	37.95
2	343.1	963.6	96.36	03.64
Fond	38.5	1002.1	100	00

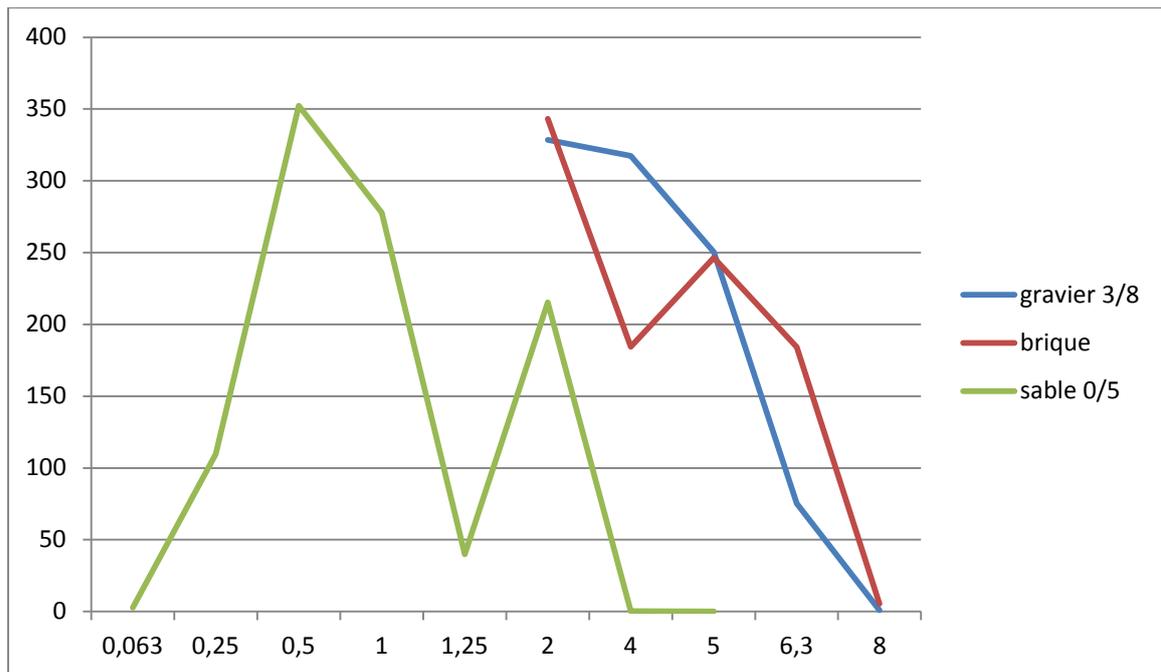
Tableau 8 : analyse granulométrique par tamisage du gravillon recyclé (3/8)

## III.3.1.3. Sable : de classe granulaire (0/5)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentages des refus cumulés R (%)	Tamisa cumulés (g)	Pourcentages des tamisât cumulés T (%)
5	0	0	0	1000	100
4	0.2	0.2	0.02	999.8	99.98
2	215.4	215.6	21.56	784.4	78.44
1	277.8	493.4	49.43	505.6	50.56

<b>0.5</b>	352.4	845.8	84.58	154.2	15.42
<b>0.25</b>	109.6	955.4	95.54	46.4	04.64
<b>1.25</b>	39.8	995.2	99.52	4.8	0. 48
<b>0.063</b>	2.8	998	99.8	0.2	0.02
<b>fonf</b>	0	998	99.8	0.2	0.02

**Tableau 9** : analyse granulométrique par tamisage du Sable (0/5)



**Figure 35** : courbe d'analyse granulométrique

### III.3.2. Équivalente de sable :

Essai d'équivalent de sable est spécifique aux sols grenus, il permet de mettre en évidence la proportion relative fine nuisible ou d'élément argileux dans les sols ou agrégats fins, ainsi de mesurer le taux de propreté des sables. Il a été effectué conformément à la norme (NF P18-598), pour le sable naturel[31].

□ **But de l'essai** : Cet essai consiste à déterminer la quantité d'élément fins (argile, limons, impuretés) contenus dans le sable par rapport à la quantité d'élément sableux.

□ **Mode opératoire** :

- Remplir l'éprouvette d'une solution la vente jusqu'au premier repère.
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de  $120 \pm 1$  g dans l'éprouvette et toper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main a fin de libéré les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 min.

- Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontal en 30 s à la main à l'aide de l'agitateur mécanique.
- Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec solution la vente au-dessus l'éprouvette et rincer de l'éprouvette ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.



**Figure 35** : essai d'équivalent de sable

L'équivalent de sable est donné par :

$$ES = (h_1/h_2) \times 100\%$$

L'essai a donné les résultats suivants :  $h_1=3.8\text{cm}$ ,  $h_2=4.8\text{cm}$

$$ES = (3.8/4.8) \times 100\% = 79\%$$

### III.3.3. Masse volumique :

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

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

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

#### a. Masse volumique apparente ( $\gamma$ ) :

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



Figure 36 : essai de Masse volumique apparente dans laboratoire UAT

L'échantillon	ciment	Les granulats		
Masse volumique apparente	11.1	Sable	G.N (3/8)	G.R (3/8)
		1.22	1.31	0.99

Tableau 10 : Masse volumique apparente ( $\gamma$ ) du matériaux utilisés

**b. La masse volumique absolue( $\rho$ ) :**

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

❖ **Mode opératoire :**

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

$$\rho_g = \rho_1 \times \rho_e(\rho_0)$$

L'échantillon	ciment	Les granulats		
Masse volumique absolue	2.89	Sable	G.N (3/8)	G.R (3/8)
		2.66	2.4	1.84

Tableau 11 : Masse volumique absolue ( $\rho$ ) du matériaux utilisés

**III.3.4. Absorption d'eau**

C'est une mesure des pores accessible à l'eau , les coefficients d'absorption d'eau ont été déterminés conformément à la norme p 18-554v(18) [33], pour les gravillons et la norme p 18-555(19) [34], pour les sables .

Les coefficients d'absorption d'eau ( $A_b$ ) est défini par la relation :

$$A_b\% = M1/M2 \times 100$$

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau suivant :

Coefficient d'absorption d'eau	Gravillon	
	Naturel (3/8)	Recyclé (3/8)
Ab(%)	0.91	8.45

**Tableau 12 :** Coefficient d'absorption d'eau des granulats

On remarque gravillons naturels qui ont une faible absorption contrairement aux gravillons recyclés, absorbent beaucoup plus d'eau.

### III.3.5. Porosité

L'essai de porosité à été effectué conformément à la norme P 18-554 est défini par la relation :

Porosité	Gravillon naturel (3/8)	Gravillon recyclé (3/8)
(n)%	4.12	20.63

**Tableau 13 :** Porosité des gravillons

On remarque que le gravillon recyclé est beaucoup plus poreux que le gravillon naturel.

### III.4. Formulation du béton :

La fabrication d'un béton requiert pour sa mise en œuvre une formulation définie qui varie en fonction de la taille du sable et des graviers, voici une formulation typique du béton : granulats (51%), sable (34%), ciment (10%) et eau (5%).

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. on a Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- la méthode Baron ;
- la méthode Bolomey ;
- la méthode de Féret ;
- la méthode de Faury ;
- la méthode Dreux-Gorisse.

Il existe autant de bétons que d'applications. La formulation d'un béton consistera donc à optimiser le choix de ses ingrédients de manière à répondre au cahier des charges du béton considéré. Ce cahier des charges doit être établi à partir de la durée de projet et de la classe d'exposition auxquelles l'ouvrage, ou la partie d'ouvrage, construit sera soumis. Mais il comprendra aussi d'autres aspects relatifs au chantier comme l'ouvrabilité, la résistance au jeune âge du béton (qui permet des cycles de fabrication plus rapides) ou des aspects architecturaux (couleur du parement par exemple). Bien entendu, le cahier des charges doit aussi être conforme à la norme EN 206, particulièrement en ce qui concerne la durabilité. Enfin, sur certaines applications, le cahier des charges peut indiquer des spécifications particulières : par exemple, une valeur élevée du module d'élasticité pour des pièces très élancées, exposées à un risque d'instabilité élastique (flambement), ou une élévation de température à ne pas dépasser pour des structures très massives. Il faut toutefois faire attention aux incompatibilités possibles : par exemple, il est difficile d'exiger pour des raisons de mise en œuvre un maintien de l'ouvrabilité sur une longue période et une résistance au jeune âge élevée pour un cycle de fabrication rapide.

D'autres exigences de la norme NF EN 206-1 imposent l'emploi de ciment particuliers en raison de milieux plus ou moins agressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que ce soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, etc[35].

Donc nous présentons la compositions granulométriques des différents bétons a étudier dans le tableau suivant :

Type de béton	Granulats naturel		Granulat recyclé
	Sable naturel	Gravillon Naturel (3/8)	Gravillon recyclé (3/8)
<b>B-O</b>	x	x	--
<b>B-N-R 25%</b>	x	x	x
<b>B-N-R 50%</b>	x	x	x
<b>B-N-R 75%</b>	x	x	x

**Tableau 14** : Formulation du béton

Nous désignerons, dans ce qui suit, type de bétons à base de déchets de brique, par les indications suivantes :

- Béton ordinaire (B-O)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 25%)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 50%)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 75%)

#### **III.4.1. Dosage des Bétons et formulation :**

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange de ces différents constituant pour obtenir un béton dont les qualités soient celles recherchées la construction de l'ouvrage à réaliser.

La résistance en compression du béton à 28j :  $f_{c28}$

L'ouvrabilité affaissement au cône d'Abram : A

Dans le cadre de notre travail, pour la formulation des mélanges nous avons donc opté pour l'utilisation de la méthode pratique pour la composition des bétons dit Dreux-go risse.

Cette méthode est simplifiée a été pour l'élaboration du B-O, celle de « Dreux- go risse ».

Elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié.

Le béton témoin étudié est un béton propriétés spécifiées qui d'après la norme NF EN206-1[36]

Nous présentons les données de base pour la formulation de notre béton dans le tableau suivant :

Données de base	Description (valeur)
Béton normal de classe	C25/30
Consistance	Béton plastique
Dimension maximale des granulats	D=8
Affaissement	6 à 9
Serrage	Vibration normale (courante)
Dosage en ciment	350 kg/m <sup>3</sup>
Qualité des granulats	Bonne (courante)
Résistance en compression du béton à 28j	Fc28=25Mpa

**Tableau 15 :** Données de bases pour la formulation

#### III.4.2. La composition optimale d'un m<sup>3</sup> :

La composition optimale d'un m<sup>3</sup> du béton ordinaire est représenté dans le tableau suivant :

	Sable 0/5	Gravie 3/8	Eau E	Ciment C	E/C
<b>Volume</b>	253	139	197	112	0.56
<b>Poids (kg)</b>	630	1200	197	350	

**Tableau 16 :** Composition optimale d'un m<sup>3</sup> du béton ordinaire (B-O)

#### III.4.3. Essai réalisées sur le béton :

	B.O	B.N.R 25%	B.N.R 50%	B.N.R 75%
<b>Ciment (kg)</b>	350	350	350	350
<b>E/C</b>	0.56	0.56	0.56	0.56
<b>Affaissement (cm)</b>	5.5	6	7	7
<b>Eau</b>	197	197	197	197
<b>Eau ajout</b>	0	20	30	50
<b>Total d'eau</b>	197	217	227	247

**Tableau 17 :** Eau totale et eau ajouté aux mélanges béton

	B.N.R 25%	B.N.R 50%	B.N.R 75%
<b>Sable nature D/5 (kg)</b>	630	630	630
<b>Gravier naturel 3/8 (kg)</b>	900	600	300

<b>Brique 3/8 (kg)</b>	300	600	900
<b>Eau</b>	197	197	197
<b>Ciment (kg)</b>	350	350	350
<b>E/C</b>	0.56	0.56	0.56
<b>Affaissement (cm)</b>	6	7	7
<b>Eau ajout</b>	20	30	50

**Tableau 18** : composition optimales des bétons type B.N.R

### III.4.4. Confection et Cure des éprouvettes :

#### III.4.4.1. Dimensions des éprouvettes

Les éprouvettes doivent être de forme cubique de  $7 \times 7 \times 7$  cm

#### III.4.4.2. Confection des éprouvettes

Après la détermination du dosage des différents constituants, on opère par la préparation des éprouvette soigneusement suivant les conditions et les normes recommandes à cette procédure.

La préparation des mélanges à été effectuée suivants un dosage pondéral des granulant. La confection de l'éprouvette est faite conformément aux normes NF P18-404 (déc.1981) [37].

Qui consiste à introduire, en premier lieu dans un malaxeur les constituantes (sable, gravillon, ciment) et malaxer à sicles éléments, ajouter l'eau de gâchage et le malaxage pendant 4 min.

Le moulage des éprouvettes se fait immédiatement après la préparation du béton. Le moule fixés sur la table à chocs, introduire à l'aide d'une cuillère appropriée, en plusieurs fois, la première des deux couches de béton dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage. Étaler la couche uniformément à l'aide de la spatule.

#### III.4.4.3. Conservation des éprouvettes

Après la mise en place du béton les éprouvettes sont conservées dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire à un bassin d'eau.



**Figure 37** : Conservation des éprouvettes dans l'eau de gâchage

Les éprouvettes confectionnées sont démoulées 24 heures après leur mise en place puis conservées dans un milieu approprié.



**Figure 38** : démoulage des éprouvettes

#### III.4.4.4. Mode opératoire de cette formulation

Premièrement tout le malaxage qui on fait est manuel et cet présenté par les étapes suivant :

- Préparation des moules (nettoyage et graissage)
- Prépare et pesée chaque compensant utilisé (ciment, granulats, brique, eau de gâchage)
- Verser l'eau dans le récipient
- Malaxage à sec des constituants solide (granulats de brique : gravier 3/8, sable fin, ciment)
- Ajoute de 1/3 du mélange d'eau
- Malaxage
- Ajoute des 2/3 restants d'eau
- Fin de malaxage.

Après avoir le béton est bien malaxé en arrêt et on fait l'essai d'affaissement au cône d'Abrams pour déterminer sa consistance.



**Figure 39** : le béton préparé

### III.4.5. l'affaissement au cône d'Abrams :

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance. L'affaissement est aussi connu sous le nom de slump provenant de l'anglais. La norme NF EN 12350-2 décrit cet essai[38].

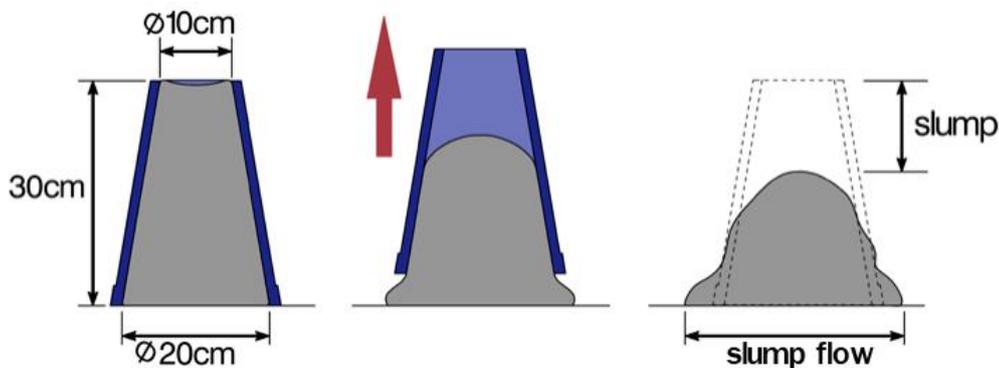


Figure 40 : l'affaissement au cône d'Abrams

#### III.4.5.1. But de l'essai :

Le but de l'essai est de déterminer la consistance de ce béton frais. La norme NF EN 12350-3 décrit cet essai[39].

#### III.4.5.2. Comment mesurer l'affaissement du béton ? :

La mesure et le contrôle de la fluidité du béton Sa mesure peut être facilement effectuée avec la méthode du cône d'Abrams ou « slump test », qui est un essai d'affaissement d'un volume de béton de forme tronconique.

#### III.4.5.3. Mode opératoire :

Cône d'Abrams Pour réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés :

la plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante ;

le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 20cm, un diamètre intérieur à son sommet de 10 cm et une hauteur de 30 cm. Il porte le nom de son inventeur Duff Abrams; une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;

le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige ;

le cône est arasé avec une tige ;

le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ; l'affaissement du béton frais est mesuré.

- Remplissage
- Piquage
- Démoulage
- Mesure de la hauteur

L'affaissement est la distance mesurée entre le sommet du cône et le haut du béton affaissé.

#### III.4.5.4. Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône :

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
S1	Ferme	0 à 4
S2	Plastique	5 à 9
S3	Très plastique	10 à 15
S4	Fluide	16 à 21
S5	Très fluide	≥22

**Tableau 19 :** Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.



**Figure 41 :** l'affaissement au cône d'Abrams d'un béton

#### III.4.6. Vibration:

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

- On commence par piquer de vibration qui utilise pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappant 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.

- On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre ai laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau.



Figure 42 : la table de vibration du laboratoire de UAT

#### III.4.7. Essai de compression

Il consiste à comprimer l'éprouvette avec une force croissante jusqu'à l'apparition de fissures afin de déterminer sa résistance à la compression et donc si le matériau béton est capable de résister à la charge prévue. On utilise des machines à compression ou presses à éprouvettes pour réaliser ce test.

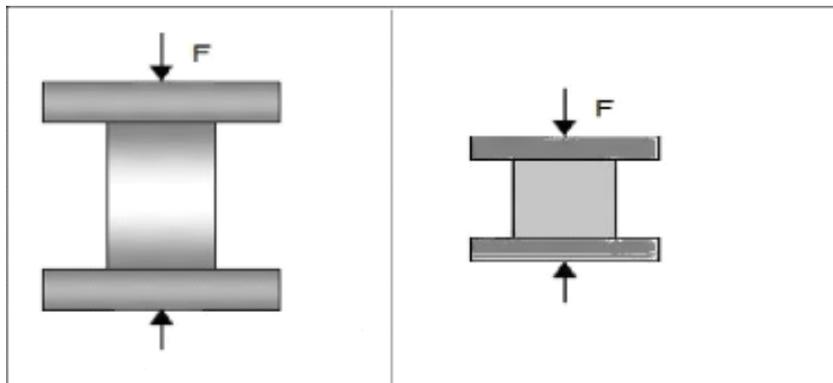


Figure 43 : Schéma sur essai de compression

##### III.4.7.1. But d'Essai :

Déterminer la résistance caractéristique du béton à partir d'un échantillon sous forme d'éprouvettes.

A l'âge de 28 jours d'où la détermination du  $f_{c28}$

A l'âge de 7 jours pour déterminer la résistance donnant une idée sur la résistance de béton qu'il faudra obtenir à 28 jours.

**III.4.7.2. Machine d'essai :**

La machine d'essai est une presse de force, conforme aux normes NFP 18-411. Les plateaux où contre plateaux de la presse doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieures à celle des faces de l'éprouvette soumise à l'essai[40].



**Figure 44 :** machine de compression du laboratoire UAT

**III.4.7.3. Mode opératoire :**

Préparation et positionnement des éprouvettes :

Essuyer toute humidité excessive de la surface de l'éprouvette avant de la positionner dans la machine d'essai.

Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés et toutes particules ou corps étrangers retirés des surfaces de l'éprouvette qui seront en contact avec eux.

Positionner les éprouvettes de façon que le chargement s'effectue perpendiculairement au sens de coulage.

Centrer l'éprouvette sur le plateau inférieur avec une précision de 1 % de la dimension nominale pour les éprouvettes cubiques ou du diamètre pour les éprouvettes cylindriques. Avec des machines d'essai à deux colonnes, il convient de placer la surface moulée des éprouvettes cubiques en face de l'un des montants.

Appliquer la charge d'une manière continue et sans chocs jusqu'à rupture de l'éprouvette, la vitesse de chargement doit être constante pendant toute la durée de l'essai et égale à 0.5 MPa/s, avec une tolérance de  $\pm 0.20$  MPa/s.



**Figure 45:** Écrasement des éprouvettes ( $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ ) à la machine 250KN

#### III.4.7.4. Expression des résultats :

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

$f_c$  : est la résistance en compression, exprimée en MPa (Newtons par millimètres carrés)

$F$  : est la charge maximale, exprimée en N.

$A_c$  : est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression appliquée

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa ( $\text{N/mm}^2$ ) près.



**Figure 46:** la résultat d'écrasement des éprouvettes

### III.5. Conclusion

La caractérisation des matériaux (granulats) permet d'éclairer leur choix et les destiner pour la confection d'un béton. Dans ce chapitre on remarque les gravillons recyclés présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants. Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui peut diminuer fortement la résistance globale du béton. Le ciment, l'eau de gâchage ainsi que les gravillons naturels sont appropriés pour la confection des bétons, ils n'existe pas une relation rigoureuse entre la résistance des granulats et celle des bétons ; cependant de nombreux essais ont montré que plus la résistance du granulat est élevée, plus la résistance à la compression du béton est élevée, Une attention particulière est demandée lors de la composition des mélanges avec du sable naturel, du fait qu'il est peu chargé en éléments fins. En conclusion, des différents mélanges seront confectionnés à base de ces matériaux afin d'apprécier les caractéristiques des granulats en brique concassée ainsi que leur influence sur les performances du béton. nous avons aussi dans cette étude expérimentale exposé les constituants et les procédures utilisées pour la formulation de béton ordinaire (B-O), et de béton à base de granulats de brique (B-N-R). la caractérisation de béton concassée par granulats de brique à partir du ciment, granulats de brique, sable de mer et l'eau, il est passé par des opérations et des essais normalisés et ça dans le but de réduire au maximum toutes erreurs ou incertitudes, pour avoir un béton de bonne qualité. Dans le prochain chapitre on citera les différents résultats d'essais obtenus et leurs interprétations pour finir son travail

# CHAPITRE IV

---

Analyse Et Discussion Des Résultats

---

**IV.1. Introduction :**

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

**IV.2. Porosité :**

Le béton est un matériau poreux. En d'autres termes, il comporte des pores ou vides. Ces pores sont déterminants pour la résistance et la durabilité du béton. En effet, une faible porosité constitue le meilleur moyen de défense des bétons contre tous les agents agressifs.

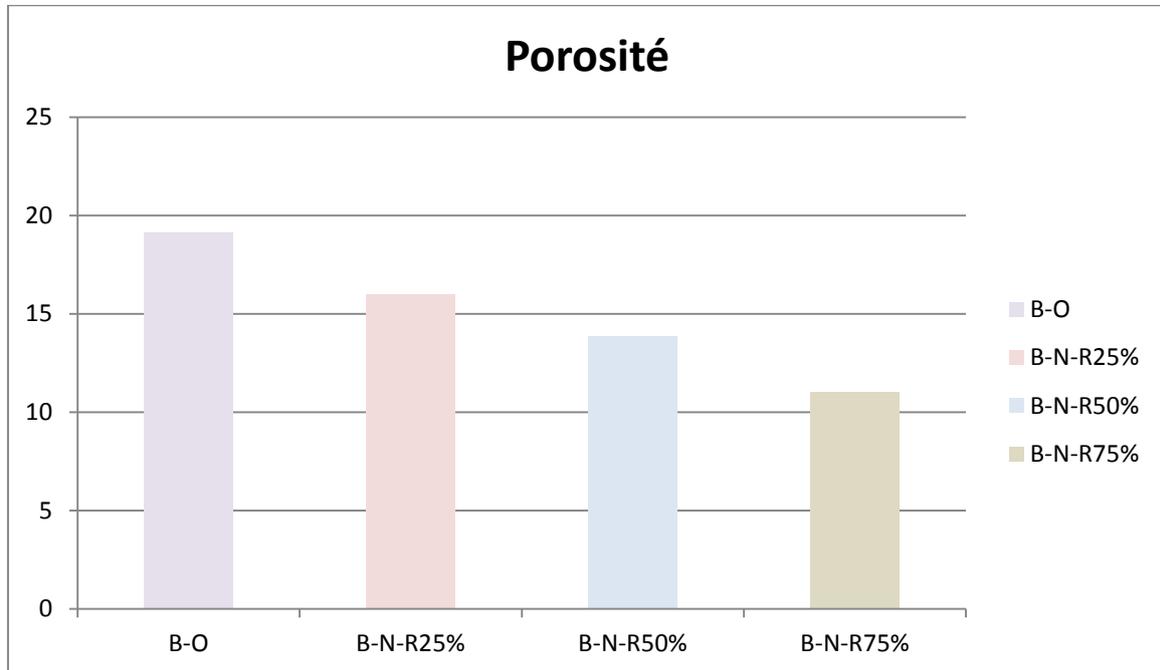
Les propriétés de transfert des matériaux (perméabilité, diffusion des ions) dépendent de la porosité mais elles sont aussi influencées par la taille des pores et leur connexion. La connexion des pores peut être décrite au moyen de la théorie de la percolation.

Elle se mesure généralement par l'essai d'absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique. En effet, pour obtenir la porosité d'un béton, il suffit de multiplier l'absorption d'eau par immersion (en %) par la masse spécifique sèche de ce béton

L'analyse des résultats du tableau et la figure a conduit de conclure ce qui suit :

	<b>B-N-R75%</b>	<b>B-N-R50%</b>	<b>B-N-R25%</b>	<b>B-O</b>
<b>Porosité</b>	11.02	13.86	16.02	19.14

**Tableau 20 : Porosité de béton**



**Figure 47:** Porosité de béton

**On remarque :**

Le béton de brique concassée avec sable naturel (B-N-R) est le moins poreux que le béton ordinaire (B-O).

**IV.3. Résistance à la compression des éprouvettes :**

La résistance à la compression des bétons courants est comprise entre 20 et 50 MPa (au-delà de cette résistance on parle de BÉTONS à HAUTES PERFORMANCES)

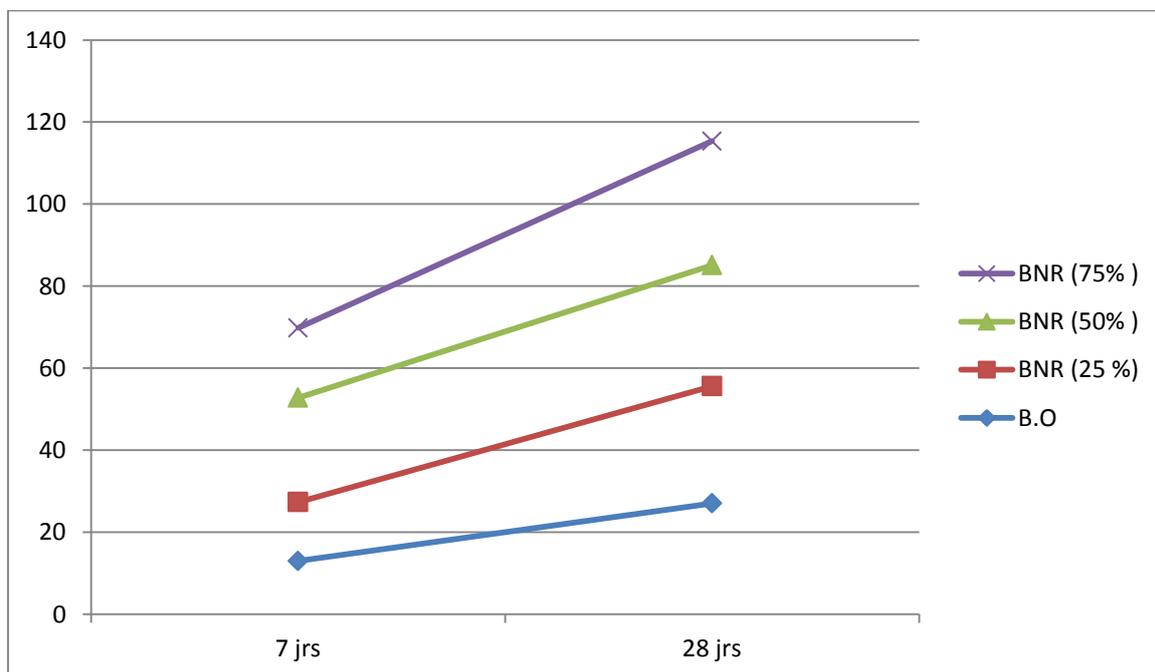
Il s'agit de déterminer la contrainte de compression  $\sigma_c = P/A$

- P : la charge appliquée
- A : la section de l'éprouvette

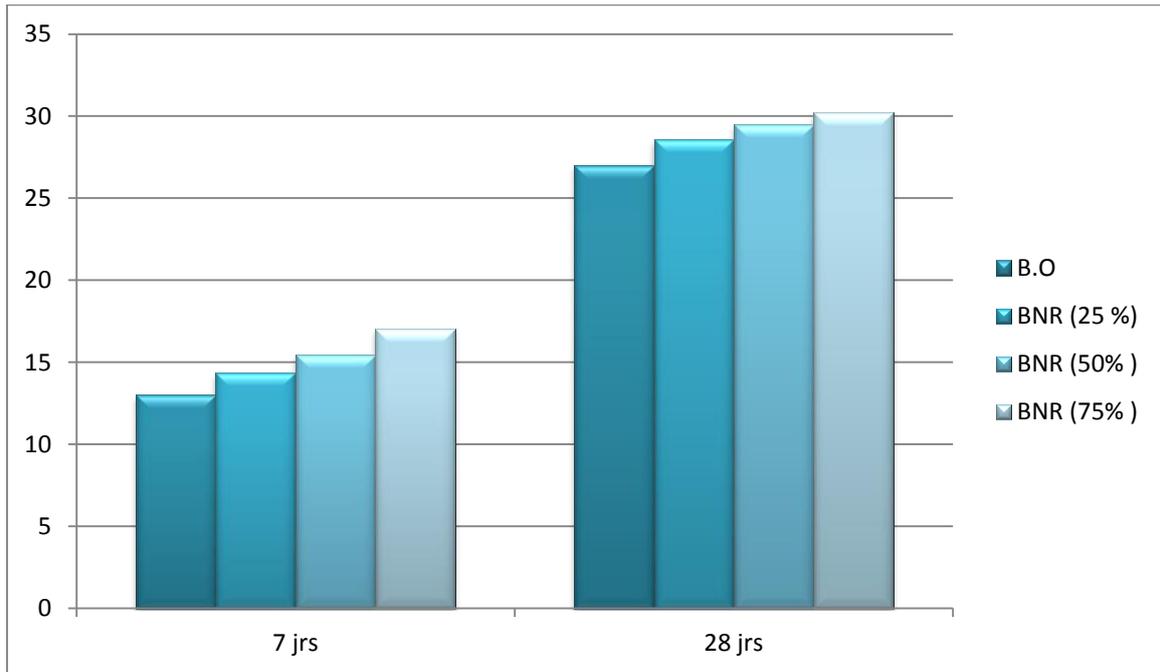
Les résultats sont donnés sur le tableau et sur la figure suivante :

Types des bétons	7 jrs	28 jrs
<b>B.O</b>	13 MPA	27.03 MPA
<b>BNR (25 %)</b>	14.36 MPA	28.58 MPA
<b>BNR (50%)</b>	15.43 MPA	29.5 MPA
<b>BNR (75%)</b>	17.03 MPA	30.23 MPA

**Tableau 21** : Résistance à la compression des éprouvettes



**Figure 48** : Résistance à la compression des éprouvettes (courbes)



**Figure 49:** Résistance à la compression des éprouvettes (Histogramme)

**On remarque :**

Que le béton recycle est très résistant en compression par rapport le béton ordinaire.

**IV.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre on à présentés les résultats de nôtres essais expérimentaux, on rappelle l'essai de la résistance à la compression sur des éprouvettes de béton à base de granulats de brique (B-N-R), pour objet d'évaluer leur résistance et comparassions avec béton ordinaire.

- Le béton de brique concassée avec sable naturel (B-N-R) est le moins poreux que le béton ordinaire (B-O).
- D'ici nous concluons que béton concassée par granulat de brique (B-N-R) qu'il a très on résistance par comparaison avec le béton ordinaire

---

## Conclusion générale

---

### *Conclusion générale*

Les granulats qui constituent la matière première indispensable à l'industrie des travaux publics du bâtiment, est produite et utilisée en grande quantité; toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation.

En revanche, les sous-produits et les déchets, qui autrefois suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude ont commencé constituer un problème économique et écologique vers la fin du 20ème siècle.

Les déchets dits inertes peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés comme granulats pour le béton.

Dans notre étude, nous visons de valoriser ce type de béton "béton à base de granulats recyclés (briques) " en testant la résistance et comparassions avec béton ordinaire

L'étude des caractéristiques et les propriétés des bétons à base de déchets de brique ces Granulats ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de

Tirer les conclusions suivantes :

Le recyclage des déchets inertes pour produire des granulats contribue à limiter :

- ✓ La mise en décharge de ces déchets.
- ✓ Le déficit en granulats de la région.
- ✓ Les transports des granulats vierges, et les transports de déchets (en sens inverse).
- ✓ Le recyclage des déchets de brique comme granulats est moins onéreux et ne demande

Pas pour son élaboration un matériel ou des stations spéciales comme celles conçues à L'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.

Des recherches antérieures ont montré que :

- ✓ Il est possible de valoriser les déchets de brique comme granulats pour la
- ✓ Fabrication du béton.
- ✓ Les granulats de la brique concassée produisent, en général, des bétons dont la très bon
- ✓ Le granulat de la brique concassée peut être utilisé pour produire du béton de haute Qualité.
- ✓ La résistance du béton est en fonction de la densité des granulats de brique. Plus- la Densité des granulats est importante plus la résistance du béton est grande.

- ✓ Réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le Béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir Corrosion et efflorescence dans le béton.
- ✓ La masse volumique apparente des granulats recyclés expérimentés est de l'ordre de 33%

Inférieure à celle des granulats naturels, ce qui représente un avantage économique en Poids du béton.

- ✓ La quantité d'eau ajoutée aux mélanges à base de granulats de déchets de brique
- ✓ Représente le coefficient d'absorption d'eau de ces granulats.
- ✓ Les bétons à base de déchets de brique confectionnés, présentent une homogénéité Convenable et comparable à celle des bétons ordinaires.
- ✓ La masse volumique apparente du béton de brique concassée avec sable naturel est Approximativement de 20 % inférieure à celle du béton normal.
- ✓ Les bétons à base de déchets de brique obtenus sont des « bétons légers », d'après la Norme européenne [NF EN 206 -1].
- ✓ L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassée est presque le double de Celle du béton ordinaire.
- ✓ La porosité du béton augmente (compacité diminue) par substitution successive des Granulats naturels par les granulats de brique concassée.

Enfin, les recherches antérieures ont montré que l'utilisation du granulat grossier de brique Concassée peut produire un béton de structure de haute résistance avec, une économie de poids et,

*Référence bibliographique*

[1] **DR. P. BOERAEVE** : «Technologie du béton », Edition 1994, Groupement Belge du béton

[2] **JEAN-MICHEL TORRENTI**, « BÉTON», Histoire du béton

[3] **G. Maucuit-Lecomte**, CIMPÉTON : Fiches technique Tome 2 : « Les bétons, composition, fabrication et mise en oeuvre », 2005

[4] **R. MAILLOT**, "*Mémento technique des Granulats*", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).

[5] **DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE**, "*La Technologie du Béton*", Guf\Formation\Béton\Techno béton V05\_01U, 140 p

[6] **J. BARON, et R. SAUTREY**, "*Le béton hydraulique*", *Presse de l'école nationale des ponts et chaussées*, Paris, 560 p., (1982).

[7] **V. PHOUMMAVONG**, "*Cours en ligne matériaux de construction*", *Université Nationale du Laos*,

[8] **A. M. NEVILLE**, "*Propriétés des bétons*", traduit par le CRIB, *Edition Eyrolles*, 806p. (2000).

[9] **BELAGRAA.L** : *cours matériau de construction, à l'Université El Bachir Ibrahim*, 3ème année, département de génie civil, 2011

[10] **KATTAB.R**, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.

[11] **REZIG Salima**, Mémoire de Master «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux», Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 2012.

[12] **NABIL BOUZOUBAA ET SIMON FOO**, « utilisation de cendres volantes et de laitier dans le béton » guide des règles de l'art, laboratoire de la technologie des matériaux, Canada. 2005

[13]: **PRODUCT. R**; mars 1996, cembureau, international ciment reviw, juillet 1997

[14] : **CHICHAOUI. R**; Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister-USTMB d'Oran -2008)

[15]: Société suisse des ingénieurs et Architect, Norme SIA 215,«liant minéraux », Zurich 1978

[16] : L'emploi d'ajouts cimentaire dans les revêtements de chaussée en béton exposés aux cycles de gel-dégel et aux produits chimiques de déglçage «ciment ASSOCIATION of CANADA» par Norman F.Macleod, ing .Mars 2005

[17]: **MILIER E.W**, «Blended ciments Applications and implication» ciment and concrete composites, vol. 15, No .4/PP.237-245,1993

[18] : **Dupain .R et Lanchon .R** : « Granulats, sols, ciment et bétons » Edition CASTEILLA-PARIS-2004

[19] : **Aitcin .P.C et Baron .J** : « Bétons haute performance », Ed. Eyrolles, 1996.

[20] CIM béton : le ciment et ses applications, fiches technique 2000.

[21] Richard Et Cheyrezy.m « les bétons de poudres réactives », annales I'TBTP. Série béton 320,1995

[22] **Ademe P-C**, “ Guide des Déchets de l’Artisanat “, APCEDE, [en ligne], 2004.

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

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

[25] **FICHE 4.1 : L’UTILISATION DES GRANULATS ISSUS DU RECYCLAGE–**  
DECEMBRE 2010

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

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

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

[29]**Norme NF P 18-555** : Granulats –Mesures des masses volumique, coefficient d’absorption et teneur en eau des sables, Expérimentale décembre 1990.

[30]**Norme Européenne NF P18-573** : décembre 1990, granulats Essai los Angeles, Edition AFNOR, paris, 1990.

[31] **Norme Française NF P 18-598** : Octobre.1991, Granulats de sable, Edition ANFOR, paris ,1991.

[32]**Norme Française XP P18-303**: aout, 1999, Eau de Gâchage pour béton, Edition AFNOR, paris, 1999

- [33] **Norme NF EN 933-1**: Mai 2012, Essais pour déterminer les caractéristiques granulométriques des granulats –partie 1 : détermination de la granularité-Analyse granulométrique par tamisage.
- [34] **Kleinlogel A** : l'influence des drives élément physico-chimique sur les bétons Edition duond, paris, 1960.
- [35] **MIN LI**, mechanical properties of high-strength concrete after fire. *Cément and concrète resarci*. 200
- [36] **Ajdukiewicz A, Kliszczewicz Alina** «Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/I-WC. *Cement Concrete Composites*» 2001, 24 : 269-79.
- [37] **Oikonomou N.D** «Recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites* » 27 (2), pp. 315-318, 2005.
- [38] **Levy Salomon K, Paulo Helene** «Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development». *Cem Concr Res* 2004, 34(11):175-80.
- [39] **Ostuki N, Miyazato S, Yodsudjai W**. «Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete». *ASCE J Mater Civil Eng* 2003.
- [40] **Khalaf FM, DeVenny AlnaS**. « Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in Concrete: review ». *ASCE J Mater Civil Eng* 2004:331-40
- [41]: **R.DAUPAIN, J.-C. Saint-Arroman** « Granulâtes, sols, ciment et Béton », édition, 2009.