



# Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE : Master

**Filière : Génie Civil**  
**Option : Matériaux**

Présenté par

**LAIFAOUI Hadjer**

THÈME :

**Comportement des bétons à base des granulats  
de déchets de brique concassé sous différents  
conditions de durcissement**

Soutenu le : 21/06/2016

**Devant le jury :**

|                      |           |     |      |
|----------------------|-----------|-----|------|
| - BOUGUERRA Abdellah | Président | MAA | UBBA |
| - BENAICHI El Hadj   | Encadreur | MAA | UBBA |
| - ATTIA Abdelkader   | Examineur | MAA | UBBA |
| - AMRIOU A / Rachid  | Examineur | MAA | UBBA |



## *Remerciement*

*Mon premier remerciement va à Allah Azza wa Jalla.*

*Je tenais à remercier vivement mon encadreur*

*Mr. El Hadj Ben Aichi pour sa gentillesse, sa*

*disponibilité contribution générale à*

*L'élaboration de ce travail.*

*Je souhaiterais également remercier*

*mes professeurs de la faculté de la*

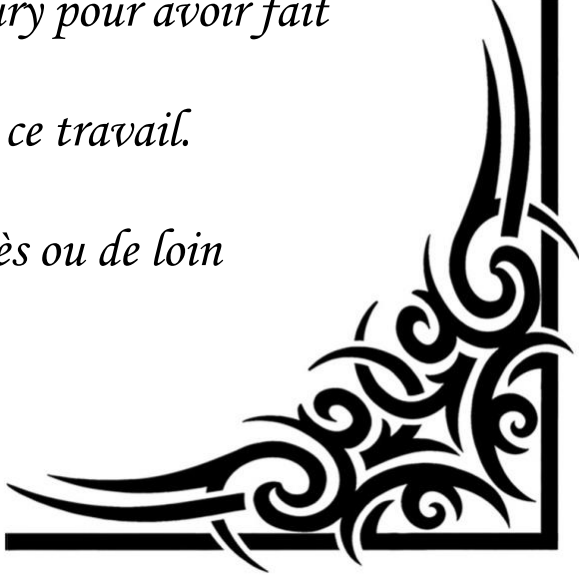
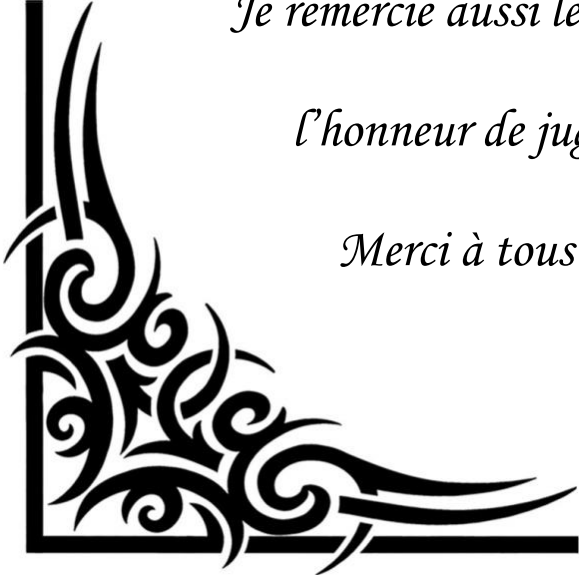
*Science et technologie pour tout le savoir*

*qu'ils nous a donné.*

*Je remercie aussi les membres de jury pour avoir fait*

*l'honneur de juger et d'évaluer ce travail.*

*Merci à tous ceux qui, de près ou de loin*





# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A ma mère qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui  
m'a donnée son amour pour reprendre mes études.*

*A mon père qui nous a quittés viola 6 ans.*

*A mes sœurs : Nour aya, Meriem, Dikra, Anfel.*

*A mon frère : islam.*

*A mon fiancé : M. Mounir.*

*A mes amies : Kanza, Khawla, Wissem, Lamia  
et tous mes camarades de la promotion 2016.*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit  
du primaire, moyen et secondaire ou  
de l'enseignement supérieur.*

*Hadjer*



## **Résumé :**

Depuis plusieurs années, des recherches sont effectuées dans les universités comme dans le domaine privé afin d'étudier le comportement des matériaux recyclés des débris routiers et des débris de construction provenant de la démolition comme agrégats dans la fabrication du béton, étant donné que la mise en décharge des déchets de ces matériaux présente de nombreux problèmes (la place occupée par les sites de stockage, importance des coûts, impact sur l'environnement). Donc il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets et par conséquent trouver une autre source des granulats.

Le but principal de notre étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser partiellement ou totalement les granulats (déchets brique de démolition) comme substitution des granulats naturels dans la fabrication du béton hydraulique.

L'étude expérimentale a porté sur les taux de substitution (0, 30, 50, 70, 100%) pour chaque type de granulat recyclé.

Les caractéristiques des agrégats recyclés ainsi que celles du béton frais et durci à base de ces matériaux sont analysées et comparées avec celles d'un béton témoin (100% granulats naturels).

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'il est possible de fabriquer un béton à base d'agrégats de brique de démolition avec des propriétés physiques et mécaniques comparables à celles du béton ordinaire avec un taux de remplacement des agrégats naturels par les agrégats recyclés de 30%, et qu'on peut l'améliorer jusqu'à 50% avec l'incorporation des ajouts minéraux (laitier et pouzzolane).

Les études des effets de la dégradation en milieux chimiquement agressifs sur les bétons à base de 50% de déchet de brique à moyenne terme montrent qu'on peut utiliser ce béton dans ces milieux.

**Mots-clés :** Agrégats recyclés, démolition, agrégats naturels, taux de substitution, résistance à la compression, caractéristiques physico-mécaniques, milieux agressifs

## ملخص:

لعدة سنوات، تم البحث في الجامعات والقطاع الخاص لدراسة سلوك المواد المعاد تدويرها لحطام الطريق ومخلفات البناء من هدم كما الركام في إنتاج الخرسانة، منذ وضع مكب النفايات أصبحت هذه المواد لديها العديد من المشاكل (مواقع التخزين، ارتفاع التكاليف والأثر البيئي). لذا فمن الضروري إيجاد وسيلة لاستعادة وإعادة استخدام النفايات وعليه نجد مصدرا آخر للركام، والغرض الرئيسي من دراستنا هو إظهار الناحية الفنية والقدرة على استخدام جزئيا أو كليا للمجاميع (الطوب هدم النفايات)، واستبدال المجاميع الطبيعية في صناعة الخرسانة المائية.

شملت الدراسة التجريبية على معدل الإحلال (0، 30، 50، 70، 100%) لكل نوع من الركام المعاد تدويره.

ويتم تحليل خصائص الركام المعاد تدويره مع الخرسانة الطازجة والصلبة المصنوعة من هذه المواد ومقارنتها مع تلك التي هي من خرسانة التحكم (100% للمجاميع الطبيعية).

تدعم النتائج استنتاج مفاده أنه من الممكن أن يصنع القائم على الخرسانة هدم المجاميع الطوب مع الخصائص الفيزيائية والميكانيكية مماثلة لتلك التي من الخرسانة العادية مع معدل استبدال المجاميع الطبيعية الركام المعاد تدويره 30 %، ويمكن أن تحسن حتى تصل إلى 50% مع إدراج المضافات المعدنية (الخبث والبوزلان).

دراسة تأثير التدهور في البيئات العدوانية الكيميائية على احتواء 50% على المدى المتوسط لنفايات الطوب التي يمكننا استخدامها في الخرسانة وفي هذه البيئات.

**الكلمات المفتاحية:** الركام المعاد تدويره، هدم، وحدات العمل الطبيعية، معدل الاستبدال، قوة الضغط ووسائل الإعلام العدوانية الجسدية الميكانيكية.

## **Abstract:**

For several years, research is done in universities and the private sector to study the behavior of recycled materials for road debris and construction debris from the demolition as aggregates in concrete production, since setting landfill of waste from these materials has many problems (the place of storage sites, high costs, environmental impact) .So it is necessary to find a way for the recovery and reuse of waste and therefore find another source of aggregates.

The main purpose of our study is to technically demonstrate the ability to use partially or totally aggregates (brick demolition waste) as substitution of natural aggregates in the manufacture of hydraulic concrete.

The experimental study involved the substitution rate (0, 30, 50, 70, and 100%) for each type of recycled aggregate.

The characteristics of recycled aggregates and those of fresh and hardened concrete made from these materials are analyzed and compared with those of a control concrete (100% natural aggregates).

The results support the conclusion that it is possible to manufacture a concrete-based demolition brick aggregates with physical and mechanical properties comparable to those of plain concrete with a replacement rate of natural aggregates by recycled aggregates 30 %, and can improve up to 50% with the incorporation of mineral additives (slag and pozzolan).

Studies of the effects of the deterioration in chemically aggressive environments on containing 50% medium term brick waste concrete show that we can use this concrete in these environments.

**Keywords:** recycled aggregates, demolition, natural aggregates, substitution rate compressive strength, physical-mechanical, aggressive media.

## Sommaire :

Remercîment

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

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

#### **I. Introduction générale**

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. Problématique.....   | 01 |
| 2. Objectifs.....       | 02 |
| 3. Plan de travail..... | 02 |

### **Chapitre II: Etude bibliographique**

#### **II. Revus de documentation**

##### **Partie A: Valorisation des déchets**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....                            | 04 |
| 2. Origine de la production de déchets.....     | 04 |
| 3. Définition.....                              | 04 |
| 4. Différents types de déchets.....             | 05 |
| 4.1. Déchets ultimes (DU) .....                 | 05 |
| 4.2. Déchets inertes (DI) .....                 | 05 |
| 4.3. Déchets assimilés (DA) .....               | 05 |
| 4.4. Déchets verts (DV) .....                   | 05 |
| 4.5. Déchets organiques (DO) .....              | 05 |
| 4.6. Déchets industriels banals (DIB) .....     | 06 |
| 4.7. Déchets dangereux (DD) .....               | 06 |
| 4.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS) ..... | 06 |
| 4.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS) .....    | 06 |
| 4.8. Les déchets d'emballages.....              | 06 |
| 5. Recyclage des déchets .....                  | 07 |
| 5.1. Définition .....                           | 07 |
| 5.2. Les types d'élimination.....               | 08 |

## **Partie B: Agrégats recyclés**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....                                      | 09 |
| 2. Construction et gestion des déchets de démolition..... | 09 |
| 2.1 États-Unis d'Amérique.....                            | 09 |
| 2.2. Gestion des déchets.....                             | 10 |
| 2.2.1. Définition.....                                    | 10 |
| 2.2.2. Principe de gestion des déchets.....               | 10 |
| 2.2.3. Technique de gestion des déchets.....              | 11 |
| 2.2.3.1. Décharge.....                                    | 11 |
| 2.2.3.2. Incinération.....                                | 12 |
| 2.2.3.3. Compost et fermentation.....                     | 14 |
| 2.2.3.4. Traitement biologique et mécanique.....          | 14 |
| 2.2.3.5. Pyrolyse et gazéification.....                   | 15 |
| 3. Composition des agrégats recyclés.....                 | 15 |

## **Partie C : Propriétés des agrégats recyclés**

|   |    |
|---|----|
| 1. Propriétés des agrégats recyclés.....                          | 16 |
| 1.1. Distribution granulométrique.....                            | 16 |
| 1.2. Masse volumique.....   | 16 |
| 1.3. Absorption.....  | 16 |
| 1.4. Résistance à l'abrasion.....                                 | 17 |
| 1.5. Impact du remplacement du granulat naturel.....              | 17 |
| 2. Propriétés du béton à l'état frais.....                        | 18 |
| 2.1. Propriétés du béton à l'état durci.....                      | 18 |
| 2.1.1. Zone de transition inter faciale.....                      | 18 |
| 2.1.2. Propriétés de transfert (perméabilité /porosité) .....     | 20 |
| 2.1.3. Propriétés mécaniques.....                                 | 21 |
| 2.1.3.1. Résistance à la compression.....                         | 21 |
| 2.1.3.2. Résistance à la traction par flexion et par fendage..... | 22 |
| 3. Durabilité du béton et mortier à base de granulat recyclé..... | 23 |
| 4. Effets du gel-dégel.....                                       | 23 |
| 4.1. Les cycles de gel-dégel.....                                 | 24 |
| 5. Mode d'action des environnements agressifs.....                | 24 |
| 5.1. Liquides.....  | 24 |
| 5.1.1. Eaux douces.....   | 24 |



|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 5.1.2. Solutions acides.....   | 24 |
| 5.1.3. Solutions basiques..... | 25 |

## **Chapitre III: Matériaux étudiés et méthodes expérimentales**

### **III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....                                    | 27 |
| 2. Matériaux utilisés.....                              | 27 |
| 2.1. Le ciment.....                                     | 27 |
| 2.2. Les granulats (naturels et recyclés) .....         | 28 |
| 2.2.1. Le sable.....                                    | 28 |
| 2.2.1.1. L'analyse granulométrique.....                 | 28 |
| 2.2.1.2. Masse volumique.....                           | 31 |
| 2.2.1.3. Absorption d'eau (NF P 18-555) .....           | 33 |
| 2.2.1.4. Equivalent du sable (NF P 18-598) .....        | 34 |
| 2.2.2. Le gravier.....                                  | 35 |
| 2.2.2.1. Analyse granulométrique.....                   | 35 |
| 2.3. Eau de gâchage.....                                | 38 |
| 2.3.1. Analyses physico-chimiques.....                  | 38 |
| 2.4. Les ajouts.....                                    | 39 |
| 2.4.1. Le laitier.....                                  | 39 |
| 2.4.2. Pouzzolane.....                                  | 40 |
| 3. Etudes des mortiers.....                             | 40 |
| 3.1. Confection des éprouvettes.....                    | 40 |
| 3.1.1. Résistance à la flexion.....                     | 41 |
| 3.1.2. Résistance à la compression.....                 | 41 |
| 4. Les compositions du béton.....                       | 41 |
| 4.1. Formulation des compositions.....                  | 42 |
| 4.2. L'exécution de malaxage.....                       | 44 |
| 4.2.1. Malaxage du béton.....                           | 44 |
| 4.2.2. Malaxage à la main.....                          | 45 |
| 4.2.3. Malaxeurs à béton.....                           | 45 |
| 5. Programme des essais.....                            | 45 |
| 5.1. Mesure de la consistance (Norme NF P 18 415) ..... | 45 |
| 5.2. L'essai Brésilien.....                             | 46 |
| 6. Préparation des éprouvettes.....                     | 47 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 7. Conclusion..... | 47 |
|--------------------|----|

## **Chapitre IV: Analyse et discussion des résultats**

### **IV. Analyse et discussion des résultats**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....  | 48 |
| 2. Etude de mortier.....  | 48 |
| 2.1. Comportement du mortier à l'état frais.....                                      | 48 |
| 2.1.1 .Ouvrabilité.....   | 48 |
| 2.2. Comportement du mortier à l'état durci.....                                      | 49 |
| 2.2.1. Résistance à la compression.....   | 49 |
| 2.2.2. Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression.....              | 51 |
| 2.2.3. Effet d'entraineur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la<br>compression..... | 52 |
| 3. Etude de béton.....  | 53 |
| 3.1. Propriétés des bétons frais.....   | 53 |
| 3.1.1. Consistance des bétons frais.....  | 53 |
| 3.2. Propriétés des bétons durcis.....  | 54 |
| 3.2.1. Résistance à la compression.....   | 54 |
| 3.3. Effet des ajouts minéraux.....   | 56 |
| 3.4. Etude de la résistance au gel.....   | 57 |
| 3.5 Action des milieux agressifs.....   | 58 |
| 3.6. Résistance à la traction.....  | 59 |
| 3.7. Absorption d'eau par immersion.....  | 62 |

## **Chapitre V : Conclusion générale**

### **V. Conclusion et recommandations**

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. Conclusion générale..... | 64 |
| 2. Recommandations.....     | 64 |
| Références bibliographiques |    |

## Liste des tableaux :

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau III.1:</b> Analyse chimique du ciment utilisé.....   | 27 |
| <b>Tableau III.2:</b> Composition minéralogique du clinker.....   | 27 |
| <b>Tableau III.3:</b> Essais physiques sur le ciment utilisé.....   | 28 |
| <b>Tableau III.4:</b> Analyse chimique des ajouts.....  | 28 |
| <b>Tableau III.5:</b> Les caractéristiques physiques des ajouts.....  | 28 |
| <b>Tableau III.6:</b> Analyse granulométrique du sable de dune (sable d'Oued Souf).....   | 29 |
| <b>Tableau III.7:</b> Analyse granulométrique du Sable de brique (SDBR) .....   | 29 |
| <b>Tableau III.8:</b> Les masses volumiques apparentes( $\gamma$ ) des sables.....  | 32 |
| <b>Tableau III.9:</b> Les masses volumiques absolues ( $\rho$ ) des sables.....   | 33 |
| <b>Tableau III.10:</b> Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés.....   | 33 |
| <b>Tableau III.11:</b> Pourcentages d'impureté dans les granulats fin.....  | 34 |
| <b>Tableau III.12:</b> Compacité et porosité des granulats fins.....  | 35 |
| <b>Tableau III.13:</b> Analyse granulométrique des granulats ordinaires (Classe 8/15) .....   | 36 |
| <b>Tableau III.14:</b> Analyse granulométrique des granulats ordinaires (Classe 15/20) .....  | 37 |
| <b>Tableau III.15:</b> Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage.....  | 39 |
| <b>Tableau III.16:</b> Le pourcentage de (SN, SDBR) .....   | 42 |
| <b>Tableau III.17:</b> Les valeurs des coefficients A et A' .....   | 43 |
| <b>Tableau III.18:</b> La dépense en eau en fonction du D max du gravier et l'ouvrabilité<br>requis.....  | 43 |
| <b>Tableau III.19:</b> Les valeurs de $\alpha$ en fonction de (E/C) La dépense en ciment.....   | 43 |
| <b>Tableau III.20:</b> Formulation des mélanges de béton pour Aff =5-6 cm avec un dosage<br>de ciment ( $350 \text{ Kg/m}^3$ ) .....  | 44 |
| <b>Tableau IV.21:</b> Quantité d'eau réellement utilisée pour un dosage de ciment de $350$<br>$\text{kg/m}^3$ .....   | 48 |
| <b>Tableau IV.22:</b> Résistance à la compression des mortiers à base de sables recyclés pour<br>un dosage de ciments, $500 \text{ kg/m}^3$ sur des éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ ..... | 50 |
| <b>Tableau IV.23:</b> Résistance à la flexion des mortiers à base de sables recyclés pour un<br>dosage de ciments, $500 \text{ kg/m}^3$ sur des éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ .....     | 50 |
| <b>Tableau IV.24:</b> Effet des ajouts sur la Résistance à la compression de mortier recyclés...  | 51 |
| <b>Tableau IV.25:</b> Effet d'entraîneur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la<br>compression .....   | 52 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau IV.26:</b> Quantités d'eau réellement utilisées et le slump pour les différents mélanges avec un dosage de ciment de 350 kg/m <sup>3</sup> .....          | <b>54</b> |
| <b>Tableau IV.27:</b> Résistances à la compression des bétons à base des granulats fin recyclés pour un dosage de ciment respectifs 350 kg / m <sup>3</sup> .....    | <b>55</b> |
| <b>Tableau IV.28:</b> Résistance à la compression des bétons recyclés ayant une teneur de 10% en pouzzolane et laitier pour un dosage de 350 kg/m <sup>3</sup> ..... | <b>56</b> |
| <b>Tableau IV.29:</b> Perte en en poids après les cycles des gels – dégel des bétons recyclés....  | <b>57</b> |
| <b>Tableau IV.30:</b> Résistance au gel des bétons recyclés.....   | <b>57</b> |
| <b>Tableau IV.31:</b> perte de masse dans les milieux agressifs.....   | <b>58</b> |
| <b>Tableau IV.32:</b> PH des différents milieux agressifs.....   | <b>58</b> |
| <b>Tableau IV.33:</b> Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.....   | <b>59</b> |
| <b>Tableau IV.34:</b> Résistances à la traction Rt28 (Essai Brésilien) .....   | <b>60</b> |
| <b>Tableau IV.35:</b> Les masses volumiques à l'état frais et la perte de masse après 24 heures pour chaque béton testé.....   | <b>61</b> |
| <b>Tableau IV.36:</b> Les masses volumiques à l'état durci et la perte de masse après 24 heures pour chaque béton testé.....   | <b>62</b> |
| <b>Tableau IV.37:</b> Absorption d'eau du béton étudié.....  | <b>63</b> |

## Liste des figures :

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure II.1:</b> Compositions des déchets du bâtiment.....  | <b>07</b> |
| <b>Figure II.2:</b> Formes des granulats recyclés.....   | <b>15</b> |
| <b>Figure II.3:</b> Absorption d'un granulats recyclé en fonction du temps.....  | <b>17</b> |
| <b>Figure II.4:</b> Zone de transition à l'interface granulats/pâte d'un béton conventionnel.....  | <b>19</b> |
| <b>Figure II.5:</b> Zone de transition à l'interface granulats/pâte d'un béton recyclé.....  | <b>20</b> |
| <b>Figure II.6 (1-2) :</b> Résistance en compression pour des bétons à partir de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution..... | <b>22</b> |
| <b>Figure III.7:</b> Courbe granulométrique du sable d'Oued Souf.....  | <b>30</b> |
| <b>Figure III.8:</b> Courbe granulométrique du sable recyclé de brique (SDBR) .....  | <b>30</b> |
| <b>Figure III.9:</b> Equivalent du sable.....  | <b>34</b> |
| <b>Figure III.10:</b> Courbe granulométrique des granulats ordinaires (Classe 8/15).   | <b>36</b> |
| <b>Figure III.11:</b> Courbe granulométrique des granulats ordinaires (Classe 15/20).  | <b>37</b> |
| <b>Figure III.12:</b> Schéma de flexion de trois points.....   | <b>41</b> |
| <b>Figure III.13:</b> Schéma de l'essai de compression.....  | <b>41</b> |
| <b>Figure III.14:</b> Distribution des contraintes lors de l'essai Brésilien.....  | <b>46</b> |
| <b>Figure IV.15:</b> La variation du rapport E/C des mortiers à base de sable de brique concassé pour un dosage de $350 \text{ kg/m}^3$ .....                      | <b>49</b> |
| <b>Figure IV.16:</b> Résistance à la compression des mortiers à base de sable De brique concassé.....  | <b>50</b> |
| <b>Figure IV.17:</b> Résistance à la flexion des mortiers recyclés dosé à $350 \text{ kg/m}^3$ .....   | <b>51</b> |
| <b>Figure IV.18:</b> Effet des ajouts sur la résistance à la compression à base de Déchet de brique concassé.....  | <b>52</b> |
| <b>Figure IV.19:</b> Effet d'entraîneur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la compression..  | <b>53</b> |
| <b>Figure IV.20:</b> Relation entre le rapport E/C des bétons et le pourcentage de substitution en sable de déchet de brique concassé.....                         | <b>54</b> |
| <b>Figure IV.21:</b> Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage .....   | <b>55</b> |
| <b>Figure IV.22:</b> Effet de l'ajout de pouzzolane et laitier sur la résistance de béton à base de 50% de déchet de brique concassé.....                          | <b>56</b> |
| <b>Figure IV.23:</b> Effet des conservations sur la résistance des bétons recyclés.....  | <b>59</b> |
| <b>Figure IV.24:</b> Evolution de la résistance à la traction des bétons en fonction de type de béton.....   | <b>60</b> |

## Liste des photos:

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Photo.II.1:</b> Les éprouvettes dans les milieux agrissifs Hcl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> après 28 jours.....                        | <b>25</b> |
| <b>Photo II.2:</b> Les éprouvette dans les solutions basiques (NaOH,Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Sulfate d'alumine) après 28 jours..... | <b>26</b> |
| <b>Photo III.3:</b> Sable naturel (SN) 0/5 provenant d'Oued Souf.....  | <b>31</b> |
| <b>Photo III.4:</b> Sable recyclé (SDBR) 0/5 produits par le concassage des déchets de briques.....  | <b>31</b> |
| <b>Photo.III.5:</b> Laitier forme de poudre.....   | <b>39</b> |
| <b>Photo III 6:</b> Pouzzolane forme de poudre.....  | <b>40</b> |
| <b>Photo.III.7:</b> Le malaxeur utilisé.....   | <b>45</b> |
| <b>Photo III.8:</b> Essai au cône d'abrams.....  | <b>46</b> |
| <b>Photo III.9:</b> Appareil de traction par fendage.....  | <b>46</b> |
| <b>Photo IV.10:</b> L'essai de la résistance à la compression.....   | <b>49</b> |
| <b>Photo IV.11:</b> l'essai de gel –dégel.....   | <b>57</b> |
| <b>Photo IV.12:</b> Rupture des éprouvettes ‘ ‘ l'essai brésilien’ ’.....  | <b>61</b> |



***Chapitre I:***  
***Introduction générale***

# I. Introduction générale

---

## 1. Problématique :

La protection de l'environnement est un élément fondamental, qui est directement liée à la survie de l'être humain, la faune et la flore. Paramètres comme l'environnement, la protection de la nature, le développement durable jouent un rôle important dans la satisfaction des exigences modernes pour les travaux de construction.

La poussée écologique imposa de tenir compte de l'environnement soit en évitant des empreintes de matériaux naturels, soit en éliminant des sous-produits et déchets dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel ce qui nécessitera la mobilisation de capitaux très importants.

Les chantiers de construction et de démolition génèrent une grande diversité de déchets qui constituent une partie importante des coûts de production des déchets solides dans le monde. Environ 90 % d'entre eux sont éliminés en décharge.

L'épuisement de sources naturelles disponibles des granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent le recyclage des déchets de chantier.

Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux publics mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages.

Actuellement, la valorisation de déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et connaît un développement assez important et le taux de recyclage des débris de construction / démolition atteint dans certains pays les 80 %.

En Algérie, l'interdiction des matériaux alluvionnaires à partir du 04 juillet 2007 (Loi N : 05/ 12 du 04/08/2005), l'épuisement de certains gisements naturels de granulats et les difficultés pour mettre en place de nouvelles carrières (la protection de l'environnement en granulats pour béton afin de répondre aux besoins des grands chantiers lancés par le gouvernement Algérien (Autoroute Est-Ouest, la réalisation de un (01) million de logements et d'autres infrastructures...).

Comme le béton constitue presque 75 %, en poids, des constructions. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton.

Les granulats issus de recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans le béton



# **I. Introduction générale**

---

hydraulique est freinée par le fait qu'ils sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de control des propriétés du béton frais et par conséquent, influençant la résistance et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

Les études sur l'utilisation des granulats recyclés durent depuis 50 ans. Et parallèlement, on a constaté selon différentes sources bibliographique le manque d'études sur la composition d'un béton à base de granulats recyclés. Ceci constitue un problème voire une insuffisance majeure.

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit, il a pour objectif principale de contribuer à la valorisation de la fraction inerte des matériaux de démolition et principalement les bétons comme substitut aux granulats naturels, dans la production de nouveaux bétons structurels, dans le but :

- Contribuer à préserver l'environnement par l'élimination du dépôt sauvage des gravats et la limitation d'extraction des granulats de carrière et alluvionnaires.
- Répondre à la demande croissante en granulats.
- Contribuer à mettre en valeur des granulats recyclés.
- Contribuer aux études menées sur l'emploi des granulats recyclés dans les bétons en substitution des granulats naturels.

## **2. Objectifs :**

Notre travaille a pour objectif premier de caractériser les agrégats recyclés provenant de la démolition. Ces matériaux qui sont récupérés principalement des déchets de brique concassés sous forme d'agrégat fin recyclés (sable) qui par la suite, peuvent être mélangés partiellement avec les agrégats naturels pour former un autre type de granulats fin recyclés.

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats fins recyclés sur les caractéristiques physico –mécaniques, rhéologiques ainsi que la durabilité des bétons et mortiers conçus à base de ces agrégats sous l'effet des différentes milieux agressifs.

## **3. Plan de travail :**

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés précédemment. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des parties suivantes :

- Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés.
- Une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les agrégats recyclés et leur utilisation à travers quelques pays et évidemment leur influence dans la fabrication de béton.

# I. Introduction générale

---

- Une étude expérimentale a été réalisée afin d'établir en premier lieu les caractéristiques des agrégats recyclés et ensuite étudier l'effet de remplacement des agrégats naturels par les agrégats recyclés sur les propriétés du béton et mortier à l'état frais et durci à travers un programme d'essais qui tient compte des propriétés physiques et mécaniques ainsi que la durabilité du béton, et l'influence des ajouts minéraux actifs (Pouzzoles, laitier) et de MEDA-AIR sur le comportement rhéologique des béton et mortiers, et l'effets des milieux chimiquement agressifs sur le comportement du bétons à bases des agrégats recyclés fin
- Une analyse et une discussion des résultats obtenus tout en faisant des observations sur le béton témoin composé à 100% des granulats naturels.

Enfin, une conclusion générale sur cette étude avec des recommandations qui porte sur les particularités des agrégats recyclés ainsi que les mesures à prendre en compte lors de l'utilisation de ces agrégats dans la fabrication du béton.



***Chapitre II:***

***Etude***

***bibliographique***

## **II. Revus de documentation**

---

### **Partie A: Valorisation des déchets.**

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

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde.

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

#### **2. Origine de la production de déchets :**

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

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

#### **3. Définition:**

Usuellement, un déchet désigne : la quantité perdue dans l'usage d'un produit, ce qui reste après l'utilisation.

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

## **II. Revus de documentation**

---

### **4. Différents types de déchets :**

#### **4.1. Déchets ultimes (DU) :**

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri.

#### **4.2. Déchets inertes (DI) :**

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

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

Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

#### **4.3. Déchets assimilés (DA) :**

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

#### **4.4. Déchets verts (DV) :**

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

#### **4.5. Déchets organiques (DO) :**

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

Il s'agit de :

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

## **II. Revus de documentation**

---

### **4.6. Déchets industriels banals (DIB) :**

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

### **4.7. Déchets dangereux (DD) :**

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

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

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

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

### **4.8. Les déchets d'emballages. :**

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons....etc. [1].

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets [2].

- Béton (40%),
- Brique (30%),
- Bois (10%),
- Plastique (5%),
- Métaux (5%),
- Autres éléments (10%).

Le traitement de ces déchets permet d'extraire les éléments non appropriés (comme les métaux) dans la fabrication de granulats recyclés pour usage routier. On distingue trois types de matériaux Issus du recyclage:

- Granulat recyclé béton.

## II. Revus de documentation



Figure II.1: Compositions des déchets du bâtiment [2].

### 5. Recyclage des déchets :

#### 5.1. Définition :

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage. Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de pair avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait

## II. Revus de documentation

---

d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période.

En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

### 5.2. Les types d'élimination:

Selon le type et la nature du déchet obtenu ; on doit choisir le type d'élimination appropriée parmi les types suivants :

- Décharge ou réutilisation du déchet (remplissage ou remblai).
- Déchet recycle.
- Valorisation énergétique.
- Incinération.
- Déchet recyclable après de contamination.



## II. Revus de documentation

---

### Partie B: Agrégats recyclés.

#### 1. Introduction :

Les granulats sont considérés comme des constituants essentiels dans la composition du béton ordinaire ou des mortiers.

L'utilisation des granulats recyclés à une grande importance du point de vue environnement car d'un côté 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 côté ; leurs réutilisations permet de protéger la nature de l'exploitation excessive de la réserve des granulats ordinaires.

#### 2. Construction et gestion des déchets de démolition :

##### 2.1 États-Unis d'Amérique : [3]

Sur les quelque 2,7 milliards de tonnes de granulats utilisés actuellement aux Etats-Unis, le compte trottoirs pour 10-15%, alors que d'autres la construction de routes et les travaux d'entretien consomme un autre 20-30%, et le volume d'environ 60-70% d'agrégats sont utilisés dans le béton de structure. RA aux États-Unis est produit par les producteurs d'agrégats naturels, des entrepreneurs et des centres de recyclage de débris, qui ont une part de 50%, 36% et 14%, respectivement. Mesures incitatives pour le transport des déchets de béton et de granulats transformés à partir de sites de production sont donnés à promouvoir l'utilisation de la RA, mais une grande partie de la production est approprié seulement comme matériau de remblai ou de base de la construction.

##### - Processus de fabrication des agrégats recyclés :

Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont :

- Sélection, stockage et traitement des produits bruts.
- Préparation des matériaux avant concassage : cette étape consiste à réduire les plus gros éléments l'aide d'un brise roche hydraulique (BRH) et à retirer les impuretés les plus grosses.
- Trimaneul.
- Déferrage électromagnétique.
- Concassage et criblage : étape destinée à les matériaux de faibles caractéristiques.
- Concassage secondaire éventuel de la fraction supérieure issue du concassage primaire.
- Stockage.
- Analyses éventuelles avant utilisation.

## II. Revus de documentation

---

### 2.2. Gestion des déchets :

#### 2.2.1. Définition :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité.

#### 2.2.2. Principe de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions.

La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire.
- Réutiliser.
- Recycler.

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième R » : « Repenser », qui implique que le système actuel a des faiblesses et qu'un système parfaitement efficace exigerait qu'un regard totalement différent soit porté sur les déchets. Certaines solutions " repensées sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile. Afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles, afin de pouvoir utiliser les chutes pour découper les petites pièces du patron. Ainsi, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile.

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, les apports de matières premières et la composition des produits. Parfois le principe de « prévention de la pollution » indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source.

## II. Revus de documentation

---

Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. Plusieurs villes aux États-Unis ont mis en place des taxes dont le montant est fonction des quantités d'ordures déposées (Paye quand tu jettes : Pay As You Throw - PAYT) qui se sont révélées efficaces pour réduire le volume des déchets urbains.

L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets. Une autre approche, plus controversée, est de considérer la réduction de l'utilisation de substances toxiques. On s'intéresse ici à réduire l'utilisation de substances toxiques, alors même que la tendance est plutôt à la hausse. Cette approche, dans laquelle c'est le principe de précaution qui est mis en avant, rencontre une vive opposition des industries chimiques. Ils accusent cette démarche de stigmatiser les produits chimiques. Certains états américains, comme le New Jersey et l'Oregon ont mis en place des politiques de réduction des déchets toxiques.

### **2.2.3. Technique de gestion des déchets :**

#### **2.2.3.1. Décharge :**

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

Les anciennes carrières ou celles mal gérées peuvent avoir de forts impacts sur l'environnement, comme l'éparpillement des déchets par le vent, l'attraction des vermines et les polluants comme les lixiviats qui peuvent s'infiltrer et polluer les nappes phréatiques et les rivières. Un autre produit des décharges contenant des déchets nocifs et le biogaz, la plupart du temps composé de méthane et de dioxyde de carbone, qui est produit lors de la fermentation des déchets.

Les caractéristiques d'une décharge moderne sont des méthodes de rétention des lixiviats, tels que des couches d'argile ou des bâches plastiques. Les déchets entreposés doivent être compactés et recouverts pour éviter d'attirer les souris et les rats et éviter l'éparpillement.

Beaucoup de décharges sont aussi équipées de systèmes d'extraction des gaz installés après le recouvrement pour extraire le gaz produit par la décomposition des déchets. Ce biogaz est souvent brûlé dans une chaudière pour produire de l'électricité. Il est même préférable pour l'environnement de brûler ce gaz que de le laisser s'échapper dans l'atmosphère, ce qui permet de consommer le méthane, un gaz à effet de serre encore plus nocif que le dioxyde de carbone.

## II. Revus de documentation

---

Une partie de ce biogaz peut aussi être utilisé comme carburant.

Beaucoup d'autorités locales, particulièrement dans les zones urbaines, ont des difficultés pour ouvrir de nouvelles décharges car les riverains s'y opposent. Peu de personnes veulent d'une décharge dans leur voisinage. C'est pourquoi le coût de stockage des déchets solides dans ces régions est plus coûteux, les détritrus devant être transportés plus loin pour être stockés.

Certains s'opposent aux décharges quelque soient les conditions ou le lieu, en expliquant qu'au final le stockage en décharge laissera une planète véritablement polluée avec plus aucune fissure ou espace sauvage. Certains futurologues ont déclaré que les décharges seront les « mines du futur » : comme certaines ressources s'appauvrissent, on pourra justifier qu'il est nécessaire de les extraire des décharges où elles avaient été enfouies considérée alors comme non valorisable.

Cet état de fait et la prise en compte croissante des impacts de la consommation excessive des ressources a permis, dans plusieurs régions, d'accroître les efforts pour minimiser la quantité de déchets mis en décharge. Ces efforts sont la mise en place de taxes ou prélèvements sur les déchets mis en décharge, le recyclage des matériaux, leur transformation en énergie, la conception de produits nécessitant moins de ressources, et une législation imposant aux fabricants la prise en charge des coûts d'emballage et de stockage des déchets. Un sujet connexe est le concept d'écologie industrielle, où les flux de matière entre les industries sont étudiés. Les sous-produits d'une industrie peuvent être utiles à une autre, cela permet de réduire les flux de déchets.

### **2.2.3.2. Incinération :**

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays

## **II. Revus de documentation**

---

en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons. Les controverses concernent généralement les problèmes environnementaux et sanitaires liés aux incinérateurs qui ont fonctionné dans le passé, avant l'application des normes actuelles.

En premier lieu, il s'agit d'un mode d'élimination de déchets qui a un taux de valorisation limité. L'incinération détruit les ressources naturelles contenues dans les déchets et ne permet pas de récupérer 100% du pouvoir calorifique des déchets. L'énergie récupérée, sous la forme de chaleur ou d'électricité, provient du refroidissement des fumées de combustion dans une chaudière, qui permet de récupérer de la chaleur, qui peut être utilisée directement ou à son tour entraîner une turbine pour produire de l'électricité. L'incinération est malgré tout identifiée en France en 2002 comme la deuxième source d'énergie renouvelable pour la production d'électricité (après l'hydraulique) et pour la production de chaleur (après la biomasse).

Deuxièmement, l'incinération des déchets solides des villes produit une certaine quantité de polluants atmosphériques (dioxines et furannes, métaux lourds, gaz acides, poussières), dont les valeurs limites d'émissions sont fixées par la réglementation. Au cours des années 1990, des avancées dans le domaine du contrôle des rejets et de nouveaux règlements gouvernementaux ont permis une réduction massive de la quantité des différents polluants atmosphériques, y compris les dioxines et de furannes. L'Union européenne et l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) ont pris la décision de créer des normes très strictes concernant l'incinération des déchets.

L'incinération produit aussi un grand nombre de résidus solides (mâchefers) qui doivent être éliminés en décharge ou qui font l'objet d'un traitement si une valorisation en technique routière est envisagée. Dans les années 1980, l'entreposage en lieu sûr des mâchefers, qui à cette époque étaient aussi mélangés aux cendres, était un problème environnemental important.

Au milieu des années 90, des expériences en France ont été réalisées pour traiter et élaborer des mâchefers (extraction des métaux ferreux et d'aluminium, criblage, broyage, concassage, maturation à l'air libre pour favoriser des réactions de carbonatation et d'oxydation). Les résultats positifs des suivis de plate-forme expérimentales utilisant des mâchefers sous les routes ont permis le développement de cette filière.

### **2.2.3.3. Compost et fermentation :**

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau

## II. Revus de documentation

---

pour l'agriculture ou le jardinage.

Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers. Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.

### 2.2.3.4. Traitement biologique et mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un traitement mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques.

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage. La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage.

Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre.

Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage.

TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environmental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

### 2.2.3.5. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être

## II. Revus de documentation

---

raffinés en d'autres produits. Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs.

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

### 3. Composition des agrégats recyclés :

Les agrégats 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 [4]; [5] ; [6] :

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

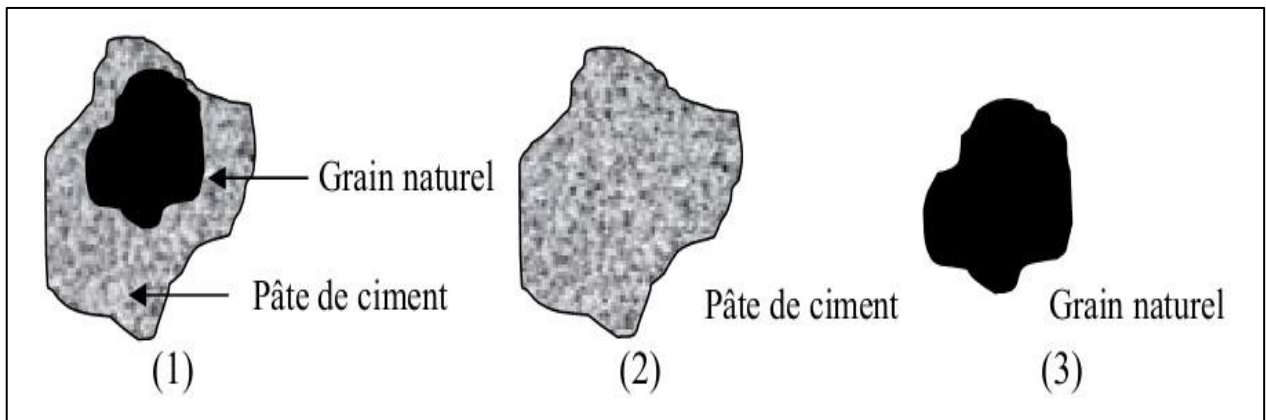


Figure II.2: Formes des granulats recyclés.

## II. Revus de documentation

---

### Partie C : Propriétés des agrégats recyclés.

#### 1. Propriétés des agrégats recyclés :

La présence du mortier résiduel attaché au granulat original affecte plusieurs propriétés du granulat. Les propriétés détaillées dans cette section sont la distribution granulométrique, la masse volumique, l'absorption d'eau et la résistance à l'abrasion. Les méthodes de mesure du mortier résiduel sont aussi présentées.

##### 1.1. Distribution granulométrique :

Les granulats recyclés ont souvent plus de particules fines que les granulats naturels [7].

Cependant, on ne peut pas généraliser cette caractéristique puisqu'elle varie beaucoup en fonction du type de granulat recyclé utilisé et du type de granulat naturel auquel on le compare.

##### 1.2. Masse volumique:

La densité relative du granulat recyclé est moins grande que celle du granulat naturel [7]; [4]; [8]; [5]; [9]. La littérature à ce sujet indique que la densité relative des granulats recyclés se situe généralement entre 2,4 et 2,5 (2400 à 2500 kg/m<sup>3</sup>) alors que les granulats naturels ont généralement une masse volumique de l'ordre de 2,75 (2750 kg/m<sup>3</sup>). La masse volumique plus faible du granulat recyclé est causée par la présence du mortier résiduel qui a une masse volumique plus faible que celle du granulat original et diminue par conséquent la masse volumique totale du granulat recyclé [7].

Cette réduction en densité est fonction de la teneur en mortier résiduel [4].

##### 1.3. Absorption :

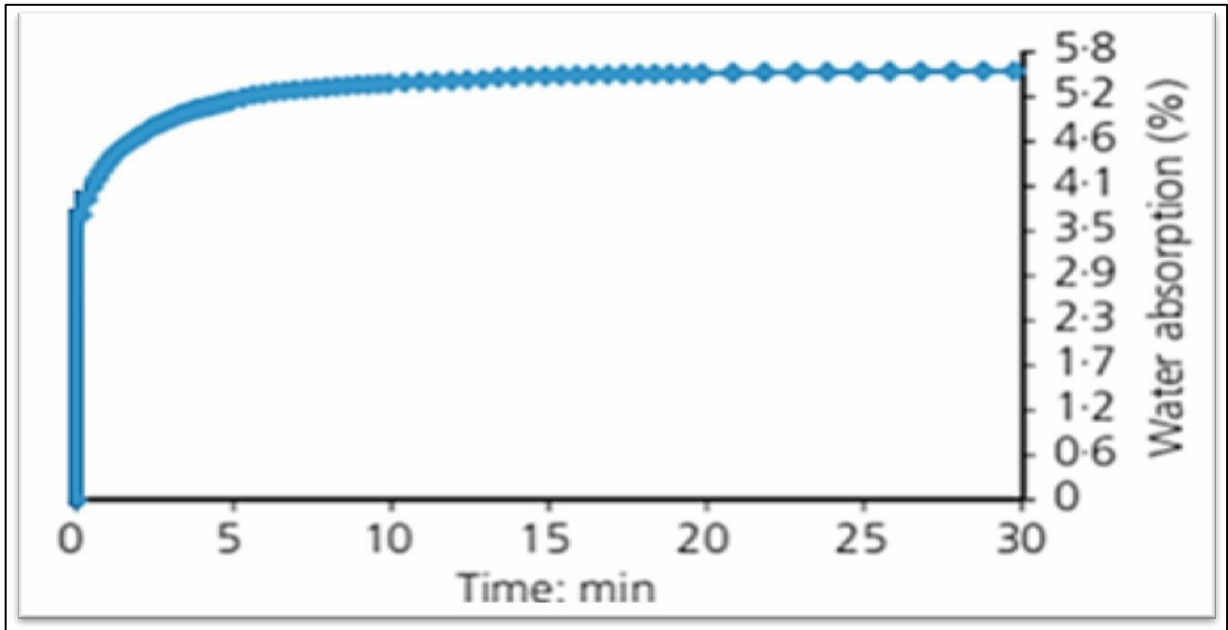
Les études réalisées sur les granulats recyclés ont relevé des valeurs d'absorption d'eau beaucoup plus grande pour les granulats recyclés que les granulats naturels [10]; [8]; [11]; [12]; [9]; [13]. Cette propriété est vraisemblablement la plus grande différence entre le granulat recyclé et le granulat naturel [5]. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés se situent généralement entre 3 et 10% alors que pour un granulat naturel celles-ci sont souvent en deçà de 1%, mais peuvent augmenter jusqu'à une valeur de 5% [13].

La mesure de l'absorption d'un granulat recyclé est une méthode simple qui peut être utilisée pour évaluer la qualité de celui-ci. Comme l'absorption du granulat est due en grande partie au mortier résiduel, une valeur d'absorption élevée indique la présence d'une grande teneur en mortier résiduel [13] et par le fait même, un impact plus important sur les propriétés du béton et mortier préparé avec ce granulat. Cette propriété est particulièrement importante



## II. Revus de documentation

puisque'elle affecte la quantité d'eau à ajouter au mélange pour une maniabilité donnée.



**Figure II.3 :** Absorption d'un granulat recyclé en fonction du temps [14].

### 1.4. Résistance à l'abrasion :

Lors de l'essai de résistance à l'abrasion Los Angeles, tout le mortier résiduel lié au granulat d'origine se détache de celui-ci sous l'effet de l'abrasion [de Juan et Gutierrez, 2009]. On observe ainsi une grande perte de masse pour le granulat recyclé ce qui explique des coefficients Los Angeles plus élevés que ceux généralement relevés pour des granulats naturels [7];[15];[5];[9];[16]. La résistance à l'abrasion est donc directement reliée à la résistance à la teneur en mortier résiduel [4].

### 1.5. Impact du remplacement du granulat naturel :

Plusieurs propriétés du béton et mortier sont affectées par le remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé. L'effet sur les propriétés du béton de ce remplacement dépend de plusieurs facteurs et peut être complexe à évaluer. En effet, les études effectuées sur les propriétés des bétons recyclés varient beaucoup tant au niveau des variables évaluées, de la formulation des mélanges, du type de liant utilisé ainsi que du type de granulats recyclés. Les facteurs affectant les propriétés du béton recyclé sont notamment : les types de liants utilisés, la source des granulats recyclés, le taux de remplacement, le rapport eau/ciment ou eau/liant et la teneur en eau des granulats [16].

## II. Revus de documentation

---

### 2. Propriétés du béton à l'état frais :

Plusieurs recherches ont montré que pour une teneur en eau identique, l'ouvrabilité d'un béton recyclé sera inférieure à celle d'un béton standard, et ceci plus particulièrement quand le pourcentage de remplacement de granulats excède 50% [Topç 2004] [Seng 2004].

Cette différence est très certainement due à la plus grande porosité des granulats recyclés par rapport aux granulats naturels. Afin de pallier ce problème, différentes études ont été réalisées en faisant varier les conditions de préparation des granulats, et il en est ressorti qu'un ajout d'eau correspondant à l'absorption d'eau des granulats testés améliore significativement l'ouvrabilité du béton frais [Rao 2005]. L'eau peut être ajoutée de différentes manières, soit en pré-saturant les granulats préalablement au malaxage, soit en compensant en ajoutant directement l'eau d'absorption dans l'eau de gâchage [Ferr 2011] [Zhao 2014].

De la même manière, la quantité d'air occlus est légèrement supérieure (de 4 à 5%) dans le cas des bétons recyclés avec un taux de remplacement de 100%.

La masse volumique du béton frais naturel est connue pour être aux alentours de  $2400\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dans le cas des bétons formulés à partir de granulats recyclés, la valeur est clairement inférieure (aux alentours de  $2150\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) et ce quel que soit le type de ciment utilisé. [Topç 1995] [Katz 2003].

#### 2.1. Propriétés du béton à l'état durci :

##### 2.1.1. Zone de transition inter faciale :

Il n'est pas tout à fait exact de considérer le matériau béton comme étant un composite à deux phases : granulat et matrice cimentaire. En réalité, la pâte de ciment n'est pas complètement homogène et sa microstructure est modifiée à proximité des granulats. Cette zone est généralement appelée « zone de transition interfaciale » ou ITZ (Interfacial Transition Zone). Pendant le coulage du béton, la concentration volumique en grains anhydres s'appauvrit quand on se rapproche du granulat, par conséquent dans le béton frais la porosité et le rapport E/C augmentent de la matrice vers la surface des granulats. Cette perturbation, qui est plus significative sur quelques dizaines de microns autour de la surface du granulat entraîne un certain nombre de perturbations:

- Le relativement large espace laissé vacant à proximité de la surface du granulat combiné à la mobilité des ions résultant des composés anhydres, conduit, pendant l'hydratation, à une cristallisation préférentielle des hydrates correspondants aux ions les plus mobiles (Ca, Na, S): ettringite et portlandite.
- Un rapport E/C localement plus élevé induit moins de sites de nucléation, moins de germes et des cristaux plus gros, mieux formés et préférentiellement orientés.

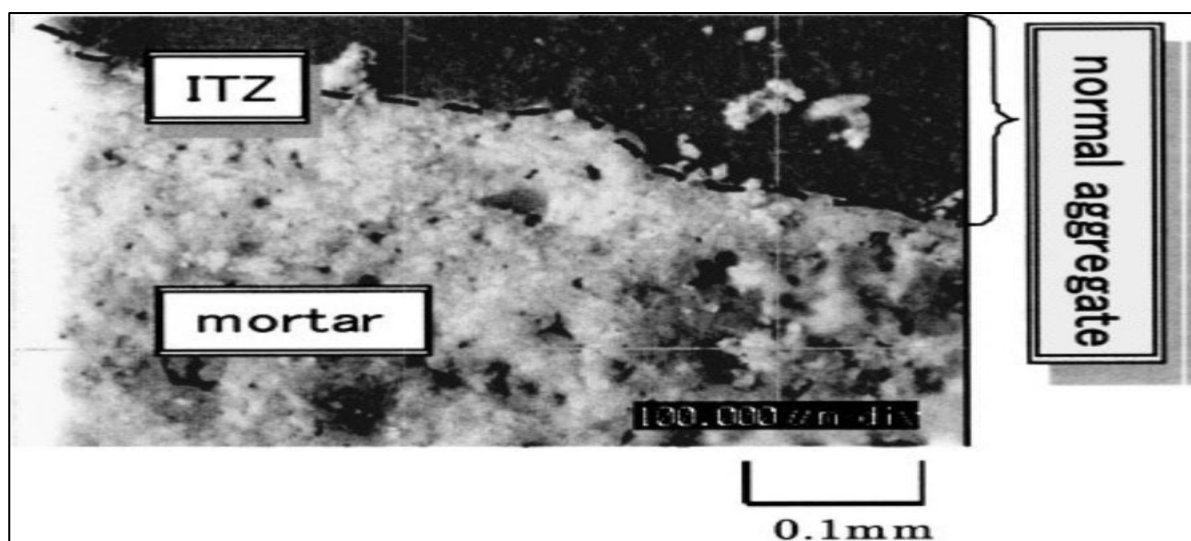
## II. Revus de documentation

- Finalement, comme les pores à remplir sont plus larges, la porosité, à tout âge, sera supérieure au reste de la matrice.

La conséquence principale de cette variation de microstructure est une résistance mécanique localement inférieure au reste de la matrice. Quand les granulats sont solubles dans la solution interstitielle en surface, les ions provenant des granulats (en plus grande concentration dans la zone de transition) peuvent se combiner avec les ions mobiles provenant des grains de ciment. [Olli 1995]

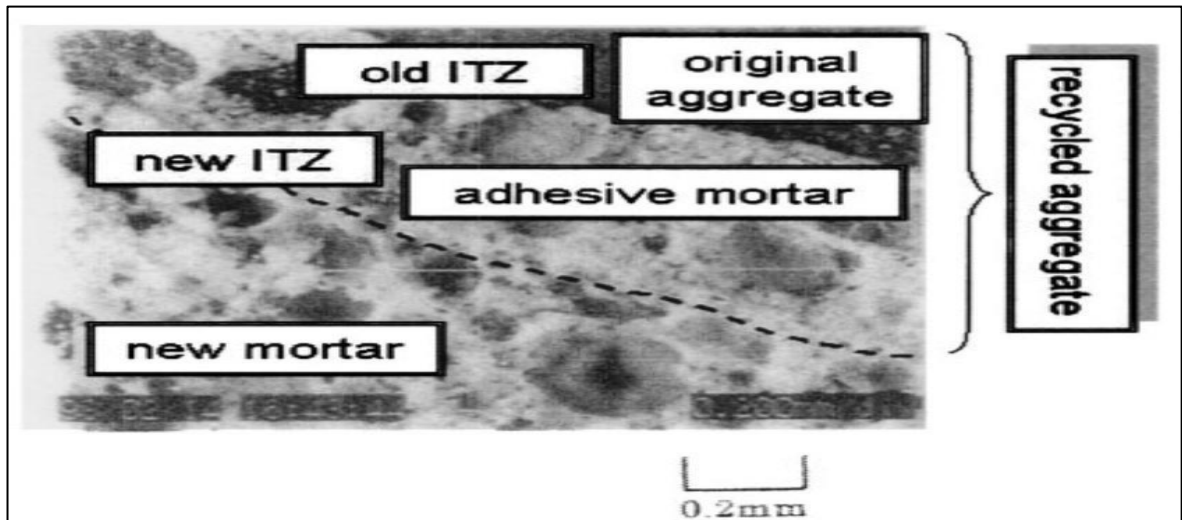
Ce phénomène de zone de transition et l'influence qu'il peut avoir sur les performances mécaniques du béton semblent, d'après Diamond [Diam 2001], concerner plus particulièrement les bétons à hautes performances.

Dans le cas des bétons fabriqués à partir de granulats recyclés, il a été montré dans différentes études que la présence d'ancien mortier autour des granulats améliore significativement les performances mécaniques de la zone de transition. En effet, on observe une bonne interaction entre l'ancien et le nouveau mortier et également une bonne résistance à l'abrasion [Kou 2011] [Evan 2007].



**Figure II.4 :** Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton conventionnel [17].

## II. Revus de documentation



**Figure II.5 :** Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton recyclé [17].

La micro dureté Vickers de la nouvelle zone de transition augmente lorsque le rapport E/L diminue pour les bétons incorporant des granulats recyclés ainsi que pour les bétons contenant des granulats naturels. La micro dureté Vickers de la vieille zone de transition est quant à elle contrôlée par la qualité du mortier résiduel. La quantité de mortier attaché au granulat recyclé ne semble pas avoir d'impact sur la micro dureté Vickers de la vieille zone de transition [17].

### 2.1.2. Propriétés de transfert (perméabilité /porosité):

Du fait de la présence de mortier attaché aux granulats, la structure des bétons recyclés est globalement plus poreuse qu'un béton naturel, et cela est d'autant plus vrai que le taux de remplacement est important [Evan 2007] [Gome 2002] [Topç 2004] [Rao 1996] [Queb 1996] [Hadj 1998] avec une diminution de la densité totale du matériau de l'ordre de 5 à 10% pour une substitution à 100% des gravillons naturels par des granulats recyclés. Les valeurs de porosité obtenues dans la littérature vont de 14% à 20,1%. Cependant il a été observé une diminution de porosité significative une fois que le béton a mûri quelques temps. En effet, Gomez-Soberon [Gome 2002] a montré que le taux de remplacement des granulats est directement corrélé au volume de pores total et à leurs tailles, mais que si cette influence est tout à fait vérifiée au jeune âge du béton, elle s'atténue à mesure que le béton vieillit. Ceci semble dû à la cristallisation de nouveaux produits qui réduisent à la fois le nombre et la taille des pores.

Il a été largement prouvé que les bétons fabriqués à partir de granulats recyclés sont nettement plus perméables que les bétons classiques, cela dit, il faut tout de même noter que cette perméabilité peut facilement être réduite en utilisant des fines (cendres volantes, fillers, fumée de silice... etc.).

## II. Revus de documentation

---

### 2.1.3. Propriétés mécaniques :

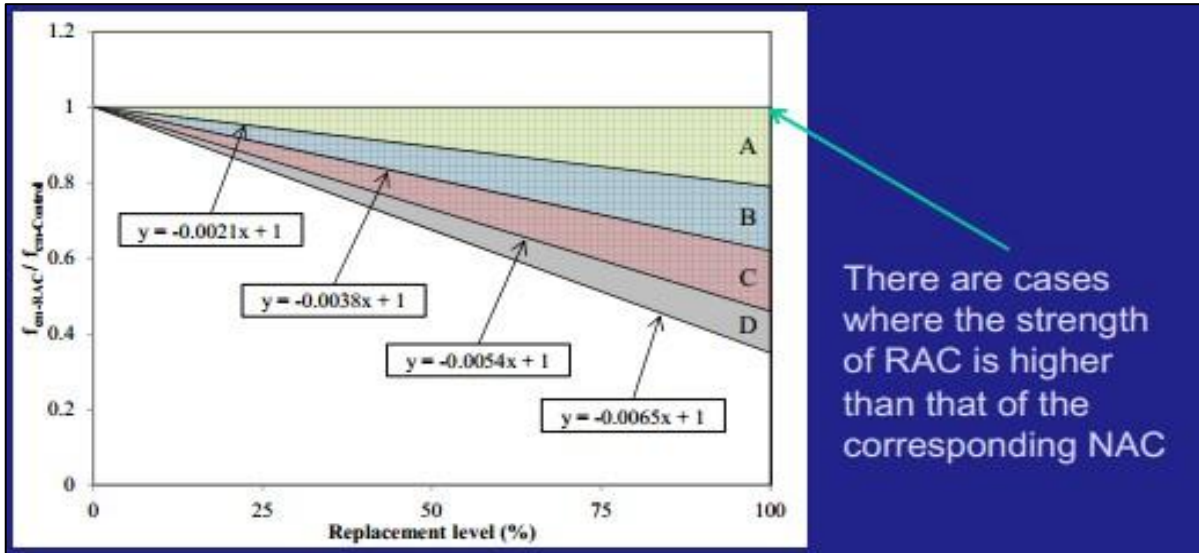
#### 2.1.3.1. Résistance à la compression :

De manière générale, il a été souvent constaté [Butl 2013] [Duan 2014] [Paul 2014] que les bétons formulés à partir de granulats recyclés présentent des résistances à la compression inférieures aux bétons standards. Et cette diminution de performance varie fortement selon un certain nombre de paramètres, tels que le taux de remplacement de granulats, les conditions de préparation des granulats (saturés ou non), la qualité du béton parent, ou encore le rapport eau/ciment (E/C).

Il a été montré par exemple qu'à E/C élevé (entre 0,6 et 0,75), la résistance d'un béton recyclé est comparable à celle d'un béton standard jusqu'à un taux de remplacement aussi important que 75%. [Katz 2003]. Rao et al. [Rao 2005] ont également constaté que pourvu que le rapport E/C soit supérieur ou égal à 0.55, les résistances des bétons recyclés étaient comparables à celles des bétons standards même au taux de remplacement de 100%. Cette tendance est liée au fait qu'à rapport E/C élevé, la résistance en compression est liée à la qualité de la pâte et de l'interface pâte-granulats, moins résistantes que les granulats. En revanche, avec un rapport E/C réduit à 0.4, la valeur de la résistance chute de 25%. Le peu d'études réalisées jusqu'à présent cherchant à relier la résistance en compression aux conditions de préparation des granulats (séchés en étuve, séchés à l'air, imbibés surface sèche...) n'ont pas donné de résultats très concluants [Poon 2004] [Rao 2005]. De manière générale, on peut dire que plus le rapport granulats recyclés/granulats naturels augmente, plus la résistance à la compression diminue, mais qu'en ajustant ce ratio, on parvient toujours à atteindre les résistances requises. [Evan 2007] [Gome 2002] [Topç 2004] [Rao 1996] [Queb 1996]. De Brito a également constaté que la qualité du granulat recyclé joue un rôle très important dans la résistance en compression du béton dans lequel il est incorporé (Figure 1.2).

De plus, il est extrêmement important de noter que si, à 28 jours, le béton naturel présente clairement une meilleure résistance à la compression, sur le long terme en revanche (un an), le béton recyclé présente le meilleur gain de performance, et peut aller jusqu'à dépasser le béton standard sur le très long terme (5 ans) [Kou 2011] [Evan 2007]

## II. Revus de documentation



Avec

| Aggregate class                                 | A    |      |      | B    |      |      | C    |      |      | D        |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
|   | I    | II   | III  | I    | II   | III  | I    | II   | III  |          |
| Minimum oven-dried density (kg/m <sup>3</sup> ) | 2600 | 2500 | 2400 | 2300 | 2200 | 2100 | 2000 | 1900 | 1800 | No limit |
| Maximum water absorption (%)                    | 1.5  | 2.5  | 3.5  | 5    | 6.5  | 8.5  | 10.5 | 13   | 15   |          |
| Maximum LA abrasion mass loss (%)               | 40   |      |      | 45   |      |      | 50   |      |      |          |

**Figure II.6 (1-2) :** Résistance en compression pour des bétons de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution.

### 2.1.3.2. Résistance à la traction par flexion et par fendage :

Les études réalisées concernant la résistance en traction des bétons recyclés présentent des résultats légèrement différents les uns des autres. Si toutes indiquent une perte de résistance pour le béton recyclé par rapport au béton standard, certains ont obtenu une réduction de 15 à 20% à un taux de remplacement de 100% [Rao 2005] et d'autres une perte de moins de 10% pour un essai réalisé à 28 jours [Ajdu 2002]. Ces auteurs ont également constaté que l'utilisation de divers adjuvants, tels que la fumée de silice par exemple, permet d'améliorer les performances du béton recyclé.

De la même manière que pour la résistance à la compression, il a été constaté que sur le long terme (5 ans), le gain de performance en traction d'un béton recyclé est clairement

## II. Revus de documentation

---

meilleur que celui d'un béton naturel. [Gome 2002]

zone de transition) peuvent se combiner avec les ions mobiles provenant des grains de ciment. [Olli 1995].

Ce phénomène de zone de transition et l'influence qu'il peut avoir sur les performances mécaniques du béton semblent, d'après Diamond [Diam 2001], concerner plus particulièrement les bétons à hautes performances.

Dans le cas des bétons fabriqués à partir de granulats recyclés, il a été montré dans différentes études que la présence d'ancien mortier autour des granulats améliore significativement les performances mécaniques de la zone de transition. En effet, on observe une bonne interaction entre l'ancien et le nouveau mortier et également une bonne résistance à l'abrasion [Kou 2011] [Evan 2007].

### 3. Durabilité du béton et mortier à base de granulats 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 et mortier à base de granulats recyclés. Cependant, certaines études ont montré que le béton à base de granulats recyclés est beaucoup plus perméable que le béton à base de granulats naturels, donc est un béton moins résistant à un degré satisfaisant aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration.

Il a été noté que les propriétés de durabilité peuvent être améliorées par l'utilisation des cendres volantes, fumée de silice condensée, etc.

### 4. Effets du gel-dégel :

Lorsque les conditions en service font que la température d'un béton saturé passe en dessous du point de congélation, l'eau contenue dans les pores capillaires de la pâte durcie gèle progressivement, d'une façon identique à celle des pores d'une roche et donne lieu à une expansion. Le gonflement induit par le gel est un phénomène cumulatif, c'est-à-dire qu'il augmente au fur et à mesure que le béton est soumis à des cycles répétés de gel-dégel.

Le phénomène d'expansion du béton sous l'effet du gel se produit principalement dans la pâte de ciment hydraté. Les vides les plus importants, dus à un serrage ou compactage incomplet du béton sont habituellement remplis d'air et ne contribuent donc pas de manière sensible au gonflement du béton.

Un granulats ne sera pas sensible au gel s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macrospores (qui jouent le rôle de bulles d'air). Cependant, un granulats dans le béton peut être considéré comme un volume fermé, car la faible perméabilité de la pâte environnante ne permettra pas à l'eau de se déplacer assez rapidement dans les vides d'air.

## II. Revus de documentation

---

Les granulats utilisés habituellement ont une porosité de l'ordre de 0 à 5% et il est préférable d'éviter les granulats qui ont des porosités élevées.

Cependant, l'emploi de tels granulats n'entraîne pas obligatoirement des problèmes de durabilité au gel. En effet, les pores de grande dimension présents dans les bétons aérés et dans le béton sans fines contribuent probablement à la résistance au gel de ces matériaux. De plus, même pour les granulats ordinaires, aucune relation simple entre la porosité des granulats et la résistance au gel-dégel du béton n'a encore été établie.

De façon générale, les granulats de grande dimension sont plus sensibles au gel, de plus l'emploi de granulats de dimension maximale élevée ou une proportion importante d'éléments plats est à déconseiller puisque des poches d'eau de ressuage peuvent se former sous les granulats.

### 4.1. Les cycles de gel-dégel :

L'endommagement de surface est augmenté par une température minimale basse (dans la gamme allant de 0°C à 20°C) et une durée de sollicitation longue [Sellevold 1991] [kaufmann1999] [Jacbsen1997]. cet effet est plus sensible sur les bétons de résistance intermédiaire (résistance en compression de l'ordre de 50 Mpa) que sur les BHP (résistance en compression supérieure à 70 Mpa) et les bétons ordinaires (résistance en compression de 20 à 40 Mpa) [Lindmark 1997].

Le taux de descente en température ne semble pas avoir une importance majeure [Sellevold 1991]. Cependant une légère augmentation de l'écaillage semble se produire pour de faible taux de gel (Fagerlund et Struder cités par [kaufmann 1999]).

On notera des différences notables sur le nombre et la durée des cycles de gel -dégel appliqués : 300 cycles de 4-6h pour le gel interne, 56 cycles de 24h pour l'écaillage.

## 5. Mode d'action des environnements agressifs :

### 5.1. Liquides :

#### 5.1.1. Eaux douces :

Les eaux pures ou très peu chargées peuvent dissoudre les constituants calciques du béton. La dissolution est accélérée en présence d'ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  et retardée par les ions  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$ . Les eaux dont le titre alcalimétrique complet (TAC) est inférieur à 1 m<sup>e</sup>/l sont faiblement agressives.

#### 5.1.2. Solutions acides :

Les solutions acides sont caractérisées par un  $\text{PH} < 7$ . l'agressivité des acides minéraux ou organiques dépend de la solubilité des sels formés.



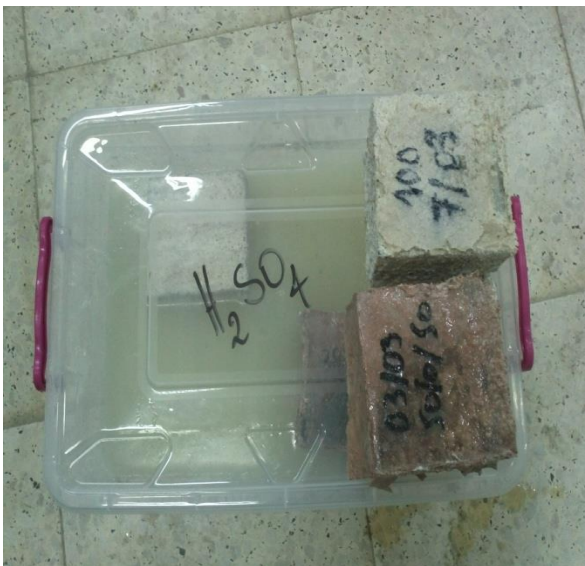
## II. Revus de documentation

Les acides minéraux libres ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sont des acides forts ayant un effet dissolvant sur le ciment et les granulats calcaires. L'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  est doublement agressif par son acidité suffisante et la concentration de l'anhydride carbonique agressif doit être mesurée séparément.

Pour l'acide carbonique contenu dans certaines eaux, la valeur du pH n'est pas un critère et la concentration de l'anhydride carbonique agressif doit être mesurée séparément.

Les acides organiques libres, tels que les acides acétique, lactique, butyrique, formique contenus dans certaines eaux usées provenant des sucreries, papeteries, teintureries, conserveries, distilleries, tanneries, laiteries, etc. Attaquent les constituants calciques du ciment. Ils sont généralement moins agressifs que les acides minéraux et peuvent même former des couches protectrices dans le cas des acides oxalique et tartrique par exemple. Toutefois, ces acides faibles peu dissociés peuvent être très agressifs vis-à-vis du béton malgré des pH peu inférieurs à 7: leur neutralisation par des ions alcalins ou alcalino-terreux entraîne la permanence de la dissociation et par suite une importante émission cumulée d'ions  $\text{H}^+$ .

Les acides humiques présentent moins de risques pour les bétons durcis. Mais, dans certains cas, ils peuvent échanger leurs ions  $\text{H}^+$  contre des actions de sels neutres et former ainsi des acides libres qui sont surtout des acides minéraux. Ils sont susceptibles également de retarder ou d'inhiber la prise du ciment.



**Photo.II.1 :** Les éprouvettes dans les milieux agressifs  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  après 28 jours.

### 5.1.3. Solutions basiques :

Les solutions basiques sont caractérisées par un  $\text{pH} > 7$ . Les ciments portland résistent généralement bien aux solutions basiques de concentration modérée (exemple  $\text{NaOH} < 10\%$ ).

Toutefois, des précautions (durcissement suffisant, imperméabilité) doivent être prises si le béton est en contact par l'une de ses faces avec la solution, l'autre face étant soumise à

## II. Revus de documentation

---

l'évaporation. Dans ce cas, l'accumulation des sels peut provoquer des dégradations même pour de faibles concentrations.

Les ciments avec ajouts résistent un peu moins bien à ces solutions que les ciments portland. Les ciments alumineux sont détruits.

- 5% d'acide chlorhydrique (HCL) acide fort.
- 5% d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) acide fort.
- 10% hydroxyde de sodium (NaOH) solution basique.
- 10% sulfate d'alumine solution basique.
- 10% sulfate de sodium ( $Na_2SO_4$ ) solution basique.



**Photo II.2 :** Les éprouvette dans les solutions basiques (NaOH,  $Na_2SO_4$ , Sulfate d'alumine) après 28 jours.



***Chapitre III:***

***Matériaux étudiés***

***et méthodes***

***expérimentales***

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

#### 1. Introduction :

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

Nous avons utilisé des matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de Elbachir El Ibrahimy Bordj Bou Arreridj.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats fins recyclés (sable) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons.

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de brique concassée (fin) comme granulats dans le béton en substitution volumique de sable, avec des taux de substitution de (30%, 50% et 70%) et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires (témoin).

#### 2. Matériaux utilisés :

##### 2.1. Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment le CRS-CEM I 42,5 (GIKA) provenant de la cimenterie d'Ain El Kbir. Les propriétés physico-chimiques ont été étudiées conformément la norme algérienne (NA 443) et européenne (NE CE 197-1).

##### a. Propriétés chimiques et minéralogiques :

Tableau III.1 : Analyse chimique du ciment utilisé.

| Les composants | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO  | P à F |
|----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------|------------------|------|-------|
| Valeur%        | 20.77            | 4.41                           | 5.19                           | 64.81 | 1.97            | 0.293            | 1.27 | 1.29  |

Tableau III.2 : Composition minéralogique du clinker.

| Composants                           | Valeur % |
|--------------------------------------|----------|
| Silicates tricalciques C3S           | 63.33    |
| Silicates bicalciques C2S            | 11.80    |
| Aluminates tricalciques C3A          | 2.91     |
| Alumino ferritestetra calciques C4AF | 15.79    |

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Tableau III.3 : Essais physiques sur le ciment utilisé.

| Finesse<br>Cm <sup>2</sup> /g | Consistance normal<br>(%) | Début de prise<br>(heure : min) | Fin de prise<br>(heure : min) |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 4050                          | 27                        | 2 :40                           | 3 :45                         |

#### b. Les caractéristiques chimiques :

La composition chimique des ajouts a été déterminée dans le laboratoire de la cimenterie d'Ain El Kbir. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.4.

Tableau III.4: Analyse chimique des ajouts.

| Les ajouts    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | P à F  |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|--------|
| Pouzzolane(%) | 38.57            | 16.77                          | 11.77                          | 15.39 | 3.09 | 0.34            | 1.638            | 12.419 |
| Laitier(%)    | 35.52            | 8.88                           | 2.92                           | 26.11 | 2.58 | 1.50            | 1.268            | 21.205 |

Tableau III.5 : Les caractéristiques physiques des ajouts.

| Les ajouts | Masse volumique<br>apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique<br>absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Surface spécifique de<br>Blaine (cm <sup>2</sup> /g) |
|------------|---|---|--|
| Pouzzolane | 2.73  | 2.52  | 3560   |
| Laitier    | 2.94  | 2.91  | 3520   |

#### 2.2. Les granulats (naturels et recyclés) :

##### 2.2.1. Le sable:

- Sable naturel (SN) 0/5 provenant de Oued Souf.
- Sable recyclé (SDBR) 0/5 produit par le concassage de la brique cuit de la briqueterie des Bordj Bou Arreridj.

Le concassage de sables recyclés était assuré après tirage des impuretés par un marteau.

##### 2.2.1.1. L'analyse granulométrique :

###### - But de l'essai:

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

###### - 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.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique.

Les résultats des analyses granulométriques des différents sables étudiés sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.6 :** Analyse granulométrique du sable de dune (sable d'Oued Souf).

| Fraction et masse                                       | Diamètre des tamis (mm) | Refus élémentaire (g) | Refus cumulés (g) | Refus cumulés (%) | Tamisât cumulés (%) |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| <b>0/5<br/>1000 (g)</b>                                 | 5                       | 0                     | 0                 | 0                 | 100                 |
|   | 2.5                     | 16                    | 1,6               | 1,6               | 98,4                |
|   | 1.25                    | 63                    | 6,3               | 7,9               | 92,1                |
|   | 0.63                    | 198,5                 | 19,85             | 27,75             | 72,25               |
|   | 0.315                   | 374,5                 | 37,45             | 65,2              | 34,8                |
|   | 0.16                    | 296                   | 29,6              | 94,8              | 5,2                 |
|   | 0.08                    | 47                    | 4,7               | 99,5              | 0,5                 |
|   | Fond                    | 5                     | 0,5               | 100               | 0                   |
| $MF = (\sum \text{refus cumulés}) / 100$<br>$MF = 1.97$ |                         |                       |                   |                   |                     |

**Tableau III.7 :** Analyse granulométrique du Sable de brique (SDBR).

| Fraction et masse                                       | Diamètre des tamis (mm) | Refus élémentaire (g) | Refus cumulés (g) | Refus cumulés (%) | Tamisât cumulés (%) |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| <b>0/5<br/>1000 (g)</b>                                 | 5                       | 0                     | 0                 | 0                 | 100                 |
|   | 2.5                     | 389,5                 | 38,95             | 38,95             | 61,05               |
|   | 1.25                    | 252                   | 25,2              | 64,15             | 35,85               |
|   | 0.63                    | 139                   | 13,9              | 78,05             | 21,95               |
|   | 0.315                   | 85                    | 8,5               | 86,55             | 13,45               |
|   | 0.16                    | 58                    | 5,8               | 92,35             | 7,65                |
|   | 0.08                    | 44                    | 4,4               | 96,75             | 3,25                |
|   | fond                    | 31,5                  | 3,15              | 99,9              | 0,1                 |
| $MF = (\sum \text{refus cumulés}) / 100$<br>$MF = 3.60$ |                         |                       |                   |                   |                     |

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

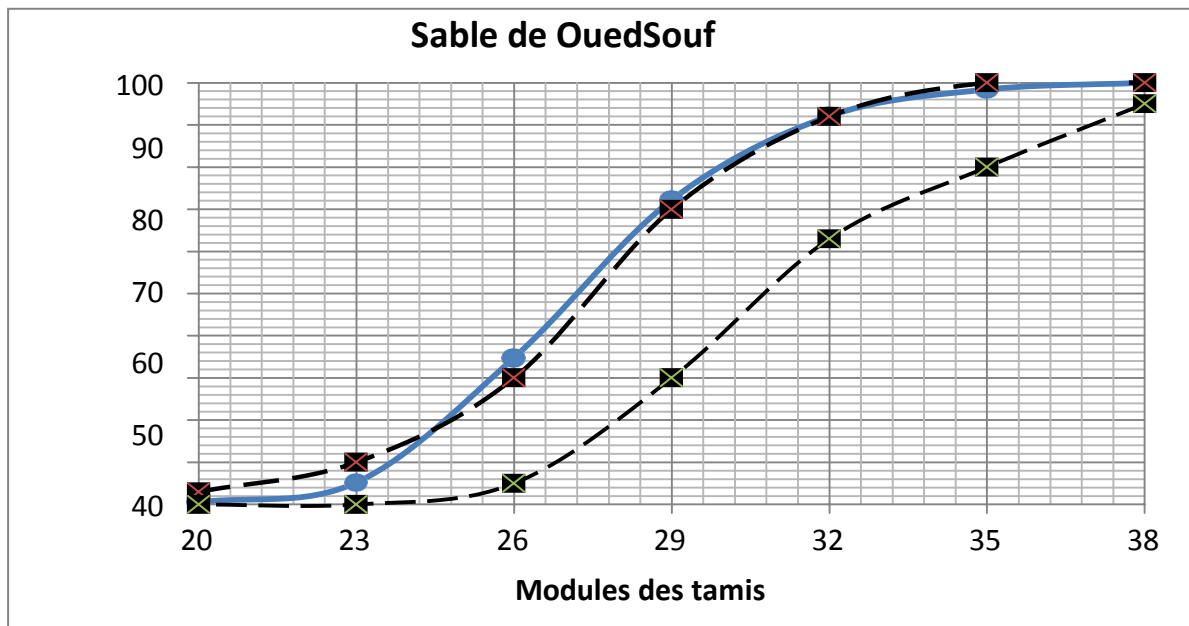


Figure III.7: Courbe granulométrique du sable d'Oued Souf.

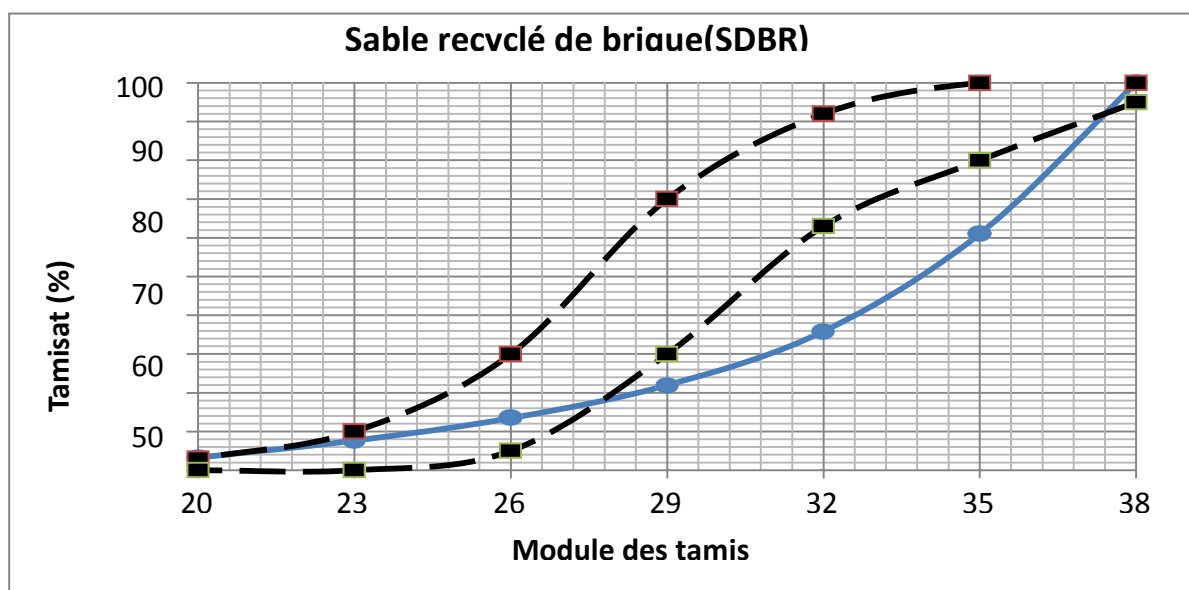


Figure III.8: Courbe granulométrique du sable recyclé de brique (SDBR).

D'après les résultats obtenus de l'essai granulométrique on peut dire :

- Le sable d'Oued Souf est un sable fin (nécessite une correction).
- Le sable recyclé de brique (SDBR) est un sable grossier (nécessite une correction).
- Les courbes granulométriques des sables utilisées sont présentées dans les figures III.7, III.8, III.9. Nous remarquons d'après ces courbes granulométriques des différents sables utilisés sont acceptables pour la confection des mortiers.
- Le module de finesse est de 1.97 et 3.60 respectivement pour les sables naturels (SN), le sable recyclé (SDBR).

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales



**Photo III.3:** Sable naturel (SN) 0/5 provenant d'Oued Souf.



**Photo III.4 :** Sable recyclé (SDBR) 0/5 produits par le concassage des déchets de briques.

#### 2.2.1.2. Masse volumique :

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

##### a. La masse volumique apparente ( $\gamma$ ) :

C'est le rapport entre la masse et le volume apparent d'un matériau (y compris les vides). Elle est exprimée en ( $\text{g/cm}^3$ ;  $\text{Kg/m}^3$ ;  $\text{t/m}^3$ ).

##### - Principe:

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.



### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement.

**- Mode opératoire:**

- Peser le récipient à vide et noter M1.
- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir.
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement. Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,
- La règle à eraser.
- Peser le contenu et noter M2.
- Il résulte que:

$$\gamma = (M_2 - M_1) / V$$

M1 : masse du récipient vide. M2 :  
 masse du récipient et sable. V :  
 volume de récipient.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.8 :** Les masses volumiques apparentes( $\gamma$ ) des sables.

| La masse volumique apparente ( $\gamma$ ) |        |      |         |                 |
|---|--------|------|---------|-----------------|
| Matériaux                                 | M1 (g) | V(l) | M2 (g)  | $\gamma$ (kg/l) |
| Sable d'Oued Souf                         | 75     | 1    | 1697.5  | 1.622           |
| Sable recyclé de brique (SDBR)            | 75     |      | 1289.33 | 1.211           |

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

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en ( $t/m^3$ ,  $Kg/m^3$ ,  $g/cm^3$ ).

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

#### - Principe:

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée.

#### - Mode opératoire:

- Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau  $V_1$  (200ml).
- Peser une masse  $M$  du corps (200 g) et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien éliminer les bulles d'air
- Lire le nouveau volume  $V_2$ .
- Le volume absolu ou réel est :  $V = V_2 - V_1$
- La masse volumique réelle est:  $\rho = M / (V_2 - V_1)$

L'opération se fait 03 fois et en prendre la moyenne.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.9** : Les masses volumiques absolues ( $\rho$ ) des sables.

| Les masses volumiques absolues ( $\rho$ ) |       |         |         |                     |
|---|-------|---------|---------|---------------------|
| Matériaux                                 | M1(g) | V1 (ml) | V2 (ml) | $\rho_{moy}$ (g/ml) |
| Sable d'Oued Souf                         | 200   | 200     | 278.9   | 2.556               |
| Sable recyclé de brique (SDBR)            |       |         | 298.66  | 2.230               |

On remarque que la masse volumique des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels, ce qui est conforme avec les résultats trouvés par d'autres chercheurs la variation est de l'ordre de 6 % pour le sable recyclé de brique

#### 2.2.1.3. Absorption d'eau (NF P 18-555) :

C'est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22°C à la masse sèche de l'échantillon.

Les résultats de cet essai sur les granulats étudiés sont portés au tableau III.10.

**Tableau III.10** : Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés.

|       | SN   | SDBR |
|-------|------|------|
| A (%) | 4.65 | 17.5 |

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Nous remarquons que les sables recyclés absorbent beaucoup plus que les sables naturels. Cela dû à la présence d'ancien mortier dans les granulats de béton concassé. Par contre, il semble que pour les granulats de brique cela dû à la porosité élevée de ces derniers

#### 2.2.1.4. Equivalent du sable (NF P 18-598) :

Le but de cet essai est de mettre en évidence la propreté du sable. Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau III.11.

**Tableau III.11:** Pourcentages d'impureté dans les granulats fin.

|                                   | H1(cm) | H2(cm) | H'2(cm) | ESV   | ESP   |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|-------|-------|
| sable d' Oued<br>Souf             | 8.8    | 10.2   | 8.4     | 86.27 | 82.35 |
| Sable recyclé de<br>brique (SDBR) | 12.8   | 13.4   | 12.7    | 95.52 | 94.77 |

On remarque une augmentation de l'équivalent de sable recyclé de brique de 12% par rapport à celui du sable naturel, ceci confirme les résultats d'autres chercheurs ou la de 18 à 20 pour les sables recyclés de la brique concassé.



**Figure III.9:** Equivalent du sable.

#### Compacité et porosité des granulats (NFP18-554) :

La compacité est définie par le rapport du volume de matière pleine au volume total. Alors que la porosité (P) est par définition le complément à l'unité de la compacité.

$$\ll P = 1 - C \gg.$$

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

---

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.12.

**Tableau III.12:** Compacité et porosité des granulats fins.

|                           | SN    | SDBR  |
|---------------------------|-------|-------|
| <b>Compacité (%) =</b>    | 63.30 | 49.69 |
| <b>Porosité (%) = 1-C</b> | 36.70 | 50.31 |

D'une façon générale on remarque que les sables recyclés ont des faibles compacités et ont des grandes porosités comparativement au sable naturel ; pour les sable de béton concassé 21.5 % pour le sable de la de la brique concassé (SDBR).

La compacité du sable pour béton hydraulique selon Dreux doit être entre 60 et 70%.

Les résultats ci-dessus montrent que les sables recyclés (SDBR) sont assez peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel ce qui peut engendrer une ségrégation du béton.

#### 2.2.2. Le gravier:

- Gravier 8/15 de la carrière de Setif.
- Gravier 15/20 de la carrière de Setif.

##### 2.2.2.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un échantillon. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Classe 8/15 :

Tableau III.13 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (Classe 8/15).

| Poids utilisé pour l'essai (g) | Ouverture (mm) | Module tamis | Poids du refus cumulé | Pourcentage refus cumulé | Complément A 100 des refus cumulés |
|--------------------------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 3000                           | 25             | 45           |                       |                          |                                    |
|                                | 20             | 44           |                       |                          |                                    |
|                                | 16             | 43           | 0                     | 0                        | 100                                |
|                                | 12,5           | 42           | 1157                  | 38,56                    | 61,44                              |
|                                | 10             | 41           | 2163                  | 72,10                    | 27,90                              |
|                                | 8              | 40           | 2790                  | 93,00                    | 7,00                               |
|                                | 5              | 38           | 2976                  | 99,20                    | 0,80                               |
|                                | 2,5            | 35           |                       |                          |                                    |
|                                | 1,25           | 32           |                       |                          |                                    |
|                                | 0,63           | 29           |                       |                          |                                    |
|                                | 0,315          | 26           |                       |                          |                                    |
|                                | 0,16           | 23           |                       |                          |                                    |
|                                | 0,08           | 20           |                       |                          |                                    |

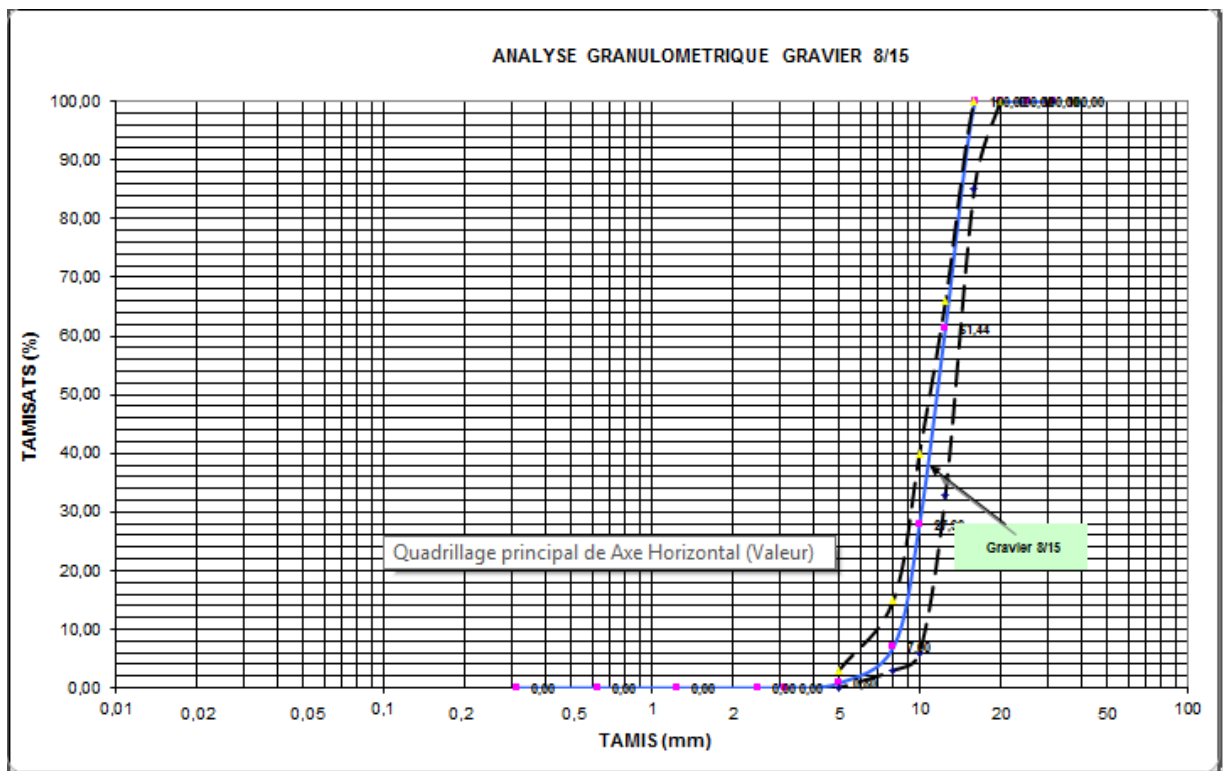


Figure III.10: Courbe granulométrique des granulats ordinaires (Classe 8/15).

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Classe 15/20 :

Tableau III.14 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (Classe 15/20).

| Poids utilisé pour l'essai(g) | Ouverture (mm) | Module tamis | Poids du refus cumulé | Pourcentage refus cumulé | Complément A 100 des refus cumulés |
|-------------------------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 5000                          | 25             | 45           | 0                     | 0                        | 100                                |
|                               | 20             | 44           | 1157                  | 23,14                    | 76,86                              |
|                               | 16             | 43           | 4040                  | 80,8                     | 19,2                               |
|                               | 12,5           | 42           | 4939                  | 98,78                    | 1,22                               |
|                               | 10             | 41           | 4995                  | 99,9                     | 0,1                                |
|                               | 8              | 40           |                       |                          |                                    |
|                               | 5              | 38           |                       |                          |                                    |
|                               | 2,5            | 35           |                       |                          |                                    |
|                               | 1,25           | 32           |                       |                          |                                    |
|                               | 0,63           | 29           |                       |                          |                                    |
|                               | 0,315          | 26           |                       |                          |                                    |
|                               | 0,16           | 23           |                       |                          |                                    |
|                               | 0,08           | 20           |                       |                          |                                    |

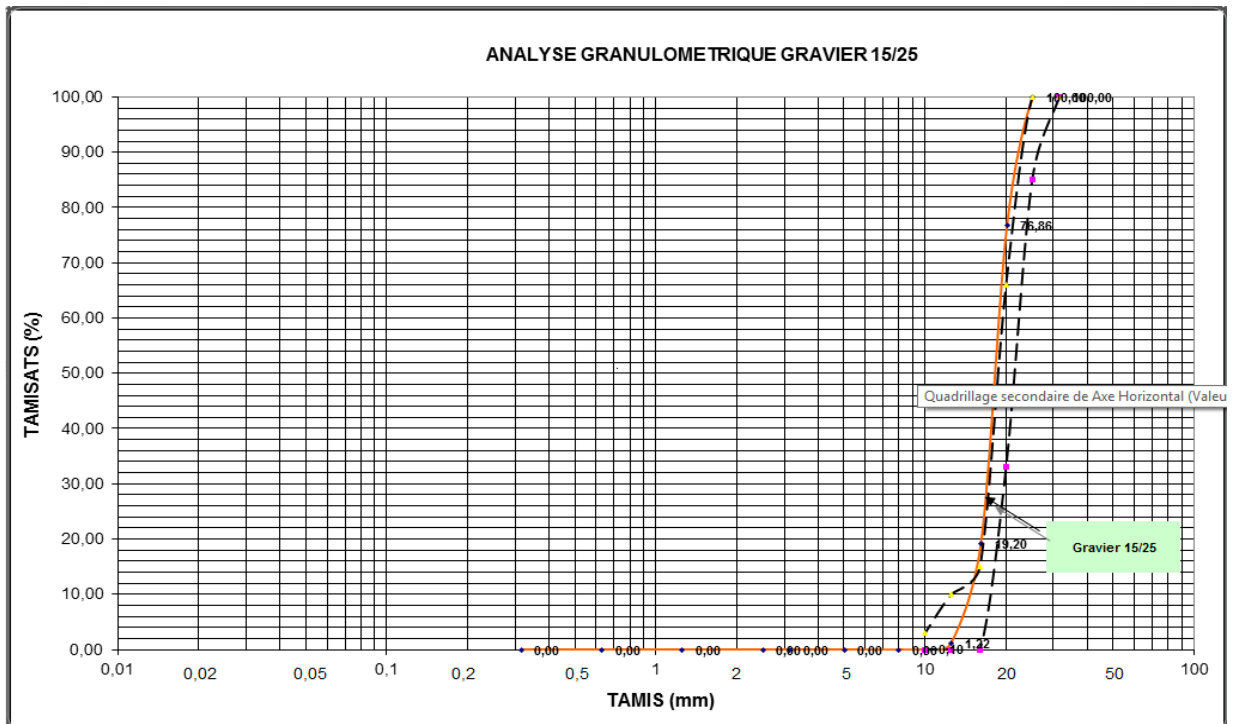


Figure III.11: Courbe granulométrique des granulats ordinaires (Classe 15/20).

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

#### a. La masse volumique apparente ( $\gamma$ ) :

| Classe       | Volume (l) | M <sub>1</sub> (g) | M <sub>2</sub> (g) | $\gamma$ apparent<br>(kg/l) | $\gamma$ moy |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| Classe 8/15  | 5          | 1.079              | 7.891              | 1.362                       | 1.365        |
|              |            |                    | 7.836              | 1.351                       |              |
|              |            |                    | 8.002              | 1.384                       |              |
| Classe 15/25 | 5          | 1.079              | 7.969              | 1.378                       | 1.375        |
|              |            |                    | 8.058              | 1.395                       |              |
|              |            |                    | 7.841              | 1.352                       |              |

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

| Classe       | Masse (g) | V <sub>1</sub> (ml) | v <sub>2</sub> (ml) | ( $\rho$ ) absolues(g/ml) | ( $\rho$ ) moy |
|--------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| Classe 8/15  | 300       | 300                 | 415                 | 2.608                     | 2.595          |
|              |           |                     | 420                 | 2.5                       |                |
|              |           |                     | 412                 | 2.678                     |                |
| Classe 15/25 | 300       | 300                 | 410                 | 2.727                     | 2.71           |
|              |           |                     | 410                 | 2.727                     |                |
|              |           |                     | 412                 | 2.678                     |                |

#### 2.3. Eau de gâchage :

L'eau utilisée lors de la fabrication des mélanges de mortier est celle provenant du robinet du laboratoire. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoique le mortier obtenu à une température assez constante d'un mélange à l'autre, de 18 à 20°C.

##### 2.3.1. Analyses physico-chimiques :

Le tableau suivant rassemble les résultats obtenus concernant les analyses physico-chimique.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Tableau III.15 : Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage.

| Paramètres physiques                 | Méthodes utilisés | Résultat   | Normes                     |
|--------------------------------------|-------------------|------------|----------------------------|
| PH                                   | pH mètre          | 6.6        | 6,5-8,5                    |
| Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$ | Conductimètre     | 1250       | 2800                       |
| Turbidité NTU                        | Turbidimètre      | 1.44       |                            |
| Chloe total                          | Photo-Flex        | 244.9      | 0,05-0,5                   |
| Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )<br>mg/l | Photo-Flem        | < 0,<br>15 | Concentration<br>max = 0,1 |
| Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )<br>mg/l | Photo-Flex        | < 1.8      | Concentration<br>max =50   |
| phosphates mg/l                      | Photo-Flex        | < 0,5      | 0,5-25,00                  |
| Magnésium                            | Photo-Flex        | 35         | 5-215                      |
| Sulfate mg/l                         | Photo-Flex        | 151        | 25-250                     |
| Dureté $\text{TH}^\circ\text{F}$     | Photo-Flex        | 6.56       | 15-50                      |

#### 2.4. Les ajouts :

##### 2.4.1. Le laitier :

Le laitier correspond aux scories qui sont formées en cours de fusion ou d'élaboration de métaux par voie liquide. Il s'agit d'un mélange composé essentiellement de silicates, d'aluminates et de chaux, ainsi que d'oxydes métalliques. Ses rôles dans la métallurgie des métaux en fusion sont multiples.

Cette matière est un important coproduit de la sidérurgie ; ils sont appréciés comme remblai et comme matière première dans la fabrication du ciment.

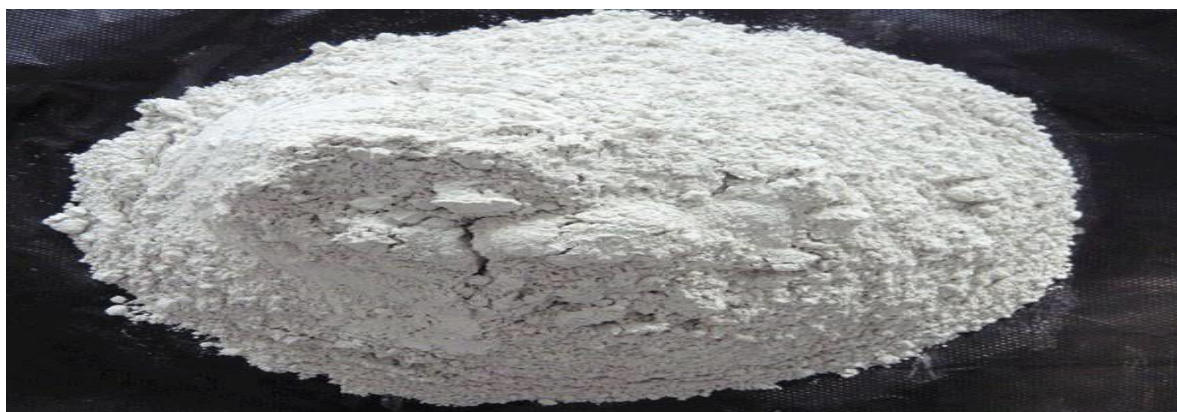


Photo.III.5: Laitier forme de poudre d'Ain El Kbir.



### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

---

#### 2.4.2. Pouzzolane :

Le terme pouzzolane tire son nom de Pouzzole, une localité près de Naples en Italie, riche en terre volcanique. La pouzzolane naturelle est une roche siliceuse légère produite par des projections volcaniques basaltiques. Elle comporte de la silice, de l'alumine, de l'oxyde ferrique (qui lui donne sa couleur rouge), ainsi que de la chaux et de la magnésie. Elle sert d'ajout cimentaire. Il existe également des pouzzolanes artificielles, obtenues par calcination de terres argileuses, de basaltes ou de schistes : leurs propriétés sont équivalentes à celles de la pouzzolane naturelle.



**Photo III.6 :** Pouzzolane forme de poudre d'Ain El Kbir. .

### 3. Etudes des mortiers :

Après avoir défini les principales caractéristiques de tous les matériaux, l'étude de l'évolution des propriétés des mortiers en fonction de la qualité et nature de sable a été effectuée.

La quantité d'eau de gâchage conditionne, en grande partie l'ouvrabilité d'un mortier. Le degré d'ouvrabilité s'il existait toutes fois un moyen de la spécifier et de le mesurer serait fonction de la maniabilité.

#### 3.1. Confection des éprouvettes :

Des moules prismatique (4 x 4 x 16) cm<sup>3</sup> ont été réalisés pour les essais de compression, La confection des éprouvettes est faite conformément aux normes EN 196-1. La conservation des éprouvettes couvertes par du plastique a été à l'air pendant 24h ensuite, après démoulage ils sont conservés dans l'eau à 20°C.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

#### 3.1.1. Résistance à la flexion :

La mesure de la résistance à la flexion a été effectuée à l'aide d'un appareil **MATEST**. Pourvu d'un dispositif de flexion trois points (Figure III.10).

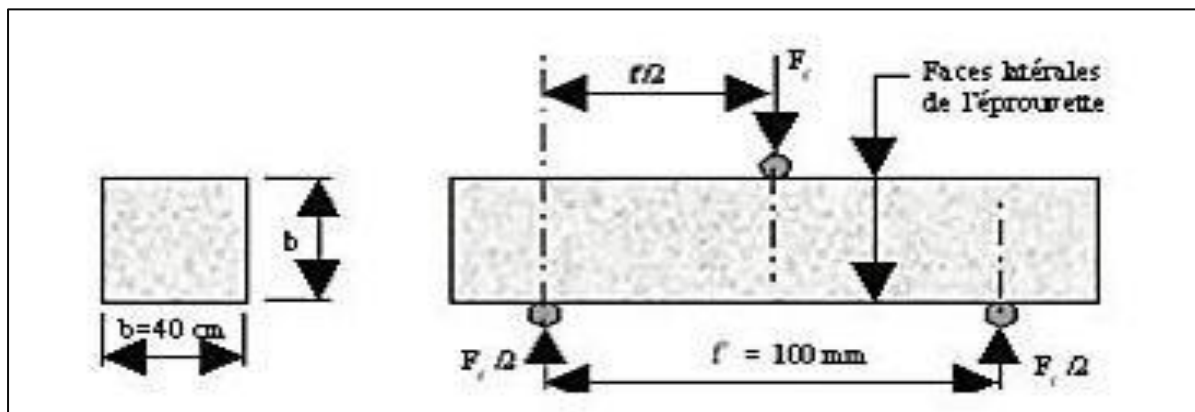


Figure III.12: Schéma de flexion de trois points.

#### 3.1.2. Résistance à la compression:

La résistance à la compression des mortiers a été évaluée sur les demi-primes issues de la flexion trois-points. Le demi-prisme est centré entre les deux plateaux de l'appareil **MATEST** et un chargement est effectué à une vitesse constante de 0.05MPa/s jusqu'à la rupture. On effectue la lecture de la charge d'écrasement  $P$  en MPa et la résistance l'appareil. Les essais sont effectués conformément à la Norme NF P 15-471.

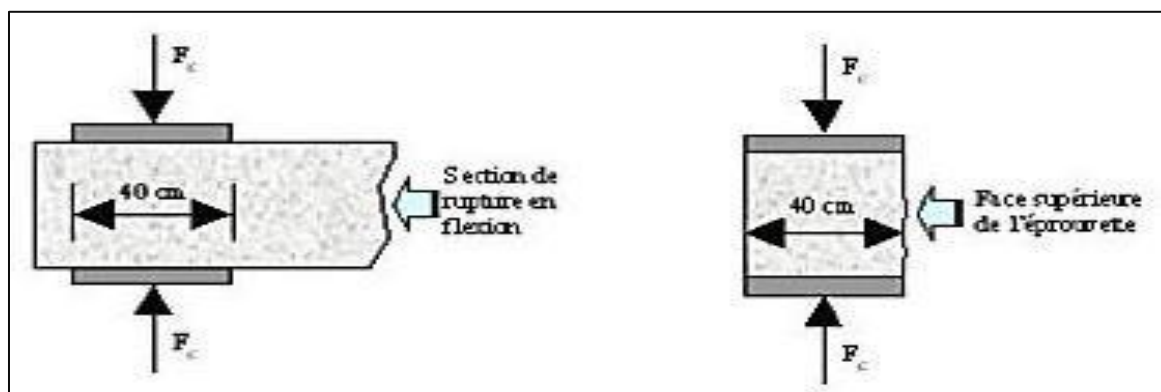


Figure III.13: Schéma de l'essai de compression.

### 4. Les compositions du béton :

Dans le cadre de cette étude .deux séries des bétons qui ont été conçus avec les deux types de sable recyclé et normale, et ce dans des proportions bien définis.

- Sable normale de Oued Souf.
- La deuxième série est composée partiellement de sables recyclées : (sable issu du Concassage de brique rouge).

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Le pourcentage des constituants du chaque série résumé dans le tableau II.16.

**Tableau III.16** : Le pourcentage de (SN, SDBR).

| SN (%) | SDBR (%) |
|--------|----------|
| 100    | 0        |
| 70     | 30       |
| 50     | 50       |
| 30     | 70       |
| 0      | 100      |

#### 4.1. Formulation des compositions :

La formulation des bétons pour des dosages de ciment respectifs de  $350 \text{ Kg/m}^3$ , et pour, (affaissement au cône proche de  $5\text{à}6 \text{ cm}$ ). Ces dosages en ciment ont été choisis à des fins de comparaison de l'effet de ciment sur la résistance surtout du béton à base des granulats recyclés.

Le calcul de la composition du béton a été fait par la méthode des «volumes absolus» élaborée par le professeur **B .SCRAMTAÏV**.

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme de tous les matériaux composants pour un dosage de  $1\text{m}^3$  de béton frais est égale à 1000 litres. C'est une méthode de calcul purement expérimentale.

Pour confectionner un béton, il faut connaître les méthodes de calculs en vigueur (calcul des dépenses en matières premières) et leur mise en œuvre.

On choisit alors les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

Les données de base servant pour le calcul de la composition du béton sont :

- La classe de résistance requise du béton ( $R_b$ ).
- Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- Les caractéristiques des matériaux d'origine :
  - ⇒ Activité du ciment ( $R_c$ ).
  - ⇒ Masse spécifique (absolue) du ciment.
  - ⇒ Masses spécifique (absolue) et masses volumiques (apparentes) du sable et gravier.
  - ⇒ La porosité des pierres concassées ou du gravier.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

Les principes étapes de calcul de la composition du béton sont :

#### a. Le rapport C/E :

Si  $C/E \leq 2,5$  béton plastique :  $R_b = A \cdot R_c((C/E)-0,5) \Rightarrow C/E = (R_b / (A \cdot R_c)) + 0,5$ .

Si  $C/E > 2,5$  béton ferme :  $R_b = A' \cdot R_c((C/E) + 0,5) \Rightarrow C/E = (R_b / (A' \cdot R_c)) - 0,5$ .

**Tableau III.17 :** Les valeurs des coefficients A et A'.

| Les valeurs des coef A et A' en fonction du liant et agrégat | A    | A'   |
|--|------|------|
| Moyen  | 0,60 | 0,40 |
| Mauve  | 0,55 | 0,37 |
| Bon  | 0,65 | 0,43 |

#### b. La dépense en eau :

**Tableau III.18:** La dépense en eau en fonction du D max du gravier et l'ouvrabilité requise :

| La quantité d'eau (l/m <sup>3</sup> ) en fonction du D max du gravier (mm) |     |     |     | Caractérisation du béton  |
|--|-----|-----|-----|---------------------------|
| 70   | 40  | 20  | 10  | Affaissement au cône (cm) |
| 145  | 155 | 170 | 185 | 1-2                       |
| 160  | 165 | 180 | 195 | 3-4                       |
| 165  | 170 | 185 | 200 | 5-6                       |
| 170  | 175 | 190 | 205 | 7-8                       |
| 175  | 185 | 200 | 215 | 9-10                      |

#### c. La dépense en ciment :

$$C = (C/E) \cdot E, \quad (\text{Kg/m}^3)$$

#### d. La dépense en gravier :

$$G = 1000 / [P_g (\alpha / \gamma_g) + (1 / \rho_g)] , \quad (\text{Kg/m}^3)$$

**Tableau III.19 :** Les valeurs de  $\alpha$  en fonction de (E/C) La dépense en ciment.

| Les valeurs de $\alpha$ en fonction de (E/C) |      |      |      |      |      | La dépense en ciment (Kg/m <sup>3</sup> ) |
|--|------|------|------|------|------|---|
| 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  |   |
| 1,38   | 1,32 | 1,26 | -    | -    | -    | 250                                       |
| -  | 1,42 | 1,38 | 1,30 | -    | -    | 300                                       |
| -  | -    | 1,44 | 1,38 | 1,32 | -    | 350                                       |
| -  | -    | -    | 1,46 | 1,40 | 1,31 | 400                                       |
| -  | -    | -    | 1,56 | 1,52 | 1,44 | 500                                       |
| -  | -    | -    | -    | 1,56 | 1,52 | 600                                       |

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

#### e. La dépense en sable :

$$S = [1000 - ((C/\rho_c) + (E/\rho_e) + (G/\rho_g))] \cdot \rho_s, \quad (\text{Kg/m}^3)$$

La formulation complet des mélanges du 1 m<sup>3</sup> du béton pour des dosages de ciment respectifs de 350,400 (Kg/m<sup>3</sup>) dans les tableaux III.19 Et III.20.

**Tableau III.20 :** Formulation des mélanges de béton pour Aff =5-6 cm avec un dosage de ciment (350 Kg/m<sup>3</sup>).

| Proportion<br>SN/ SDBR | Les quantités des matériaux utilisées pour 1 m <sup>3</sup> de béton |                      |  |                                    |
|------------------------|--|----------------------|--|------------------------------------|
|                        | Ciment kg/m <sup>3</sup>   | Eau l/m <sup>3</sup> | Pierres<br>concassés kg/m <sup>3</sup> | Sable kg/m <sup>3</sup><br>SN/SDBR |
| 100/0                  | 350  | 210                  | 1173                                   | 605/00                             |
| 70/30                  |  | 220.5                |  | 423/182                            |
| 50/50                  |  | 236.25               |  | 303/302                            |
| 30/70                  |  | 246.75               |  | 182/423                            |
| 100/0                  |  | 260                  |  | 00/605                             |

#### 4.2. L'exécution de malaxage :

L'objectif du malaxage est de répartir dans l'espace de façon homogène, par l'action des outils des brassages, les éléments des constituants mis en présence dans le malaxeur.

La maîtrise de dosage des différents constituants est nécessaire pour maintenir la constance et l'homogénéité du béton fabriqué.

La préparation de béton est faite par l'appareil dit le malaxeur, les étapes de préparation de béton sont :

On verser la quantité de gravier, et en suit par la quantité de sable, on allumer le malaxeur pour le malaxage granulaire et on verser en suit par la quantité de ciment, et finalement la quantité de l'eau, on prendre 35 s pour le malaxage, après cette durée, ont arrêté le malaxage et on réaliser l'essai au cône d'Abrams pour déterminer l'affaissement des bétons préparée.

##### 4.2.1. Malaxage du béton :

Il est essentiel que les constituants de base (C;S;G et E) soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pate de ciment et qui sera alors homogène à grande échelle et possédera par conséquent des propriétés uniformes.

Le malaxage est effectué dans des malaxeurs ou à la main. Dans notre cas on a utilisée deux types de malaxage :

### **III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales**

---

#### **4.2.2. Malaxage à la main :**

Une surface dure, propre et non absorbante. Le ciment est ensuite déposé sur les granulats et les matériaux secs sont mélangés en les retournant d'un bout à l'autre de la surface et en les recoupant avec la pelle jusqu'à ce que le mélange semble uniforme. Il faut retourner le mélange au moins trois fois. L'eau est ensuite ajoutée progressivement afin qu'elle ne s'écoule pas vers l'extérieur en entraînant le ciment hors de l'air de gâchage. Le mélange est retourné au moins trois fois jusqu'à ce qu'il ait une consistance et une couleur uniformes. Durant le malaxage à la main, il est impératif qu'aucune impureté provenant du sol ou de tout autre matériau ne soit mélangé au béton.

#### **4.2.3. Malaxeurs à béton :**

Les malaxeurs à béton doivent, non seulement assurer un malaxage uniforme des constituants du béton, mais ils doivent également décharger le béton sans modifier cette homogénéité.



**Photo.III.7 :** Le malaxeur utilisé.

### **5. Programme des essais :**

#### **5.1. Mesure de la consistance (Norme NF P 18 415) :**

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

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche ;
- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.

### III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales



Photo III.8 : Essai au cône d'abrams

#### 5.2. L'essai Brésilien :

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par fendage.

L'essai s'effectue sur une machine de traction.



Photo III.9: Appareil de traction par fendage.

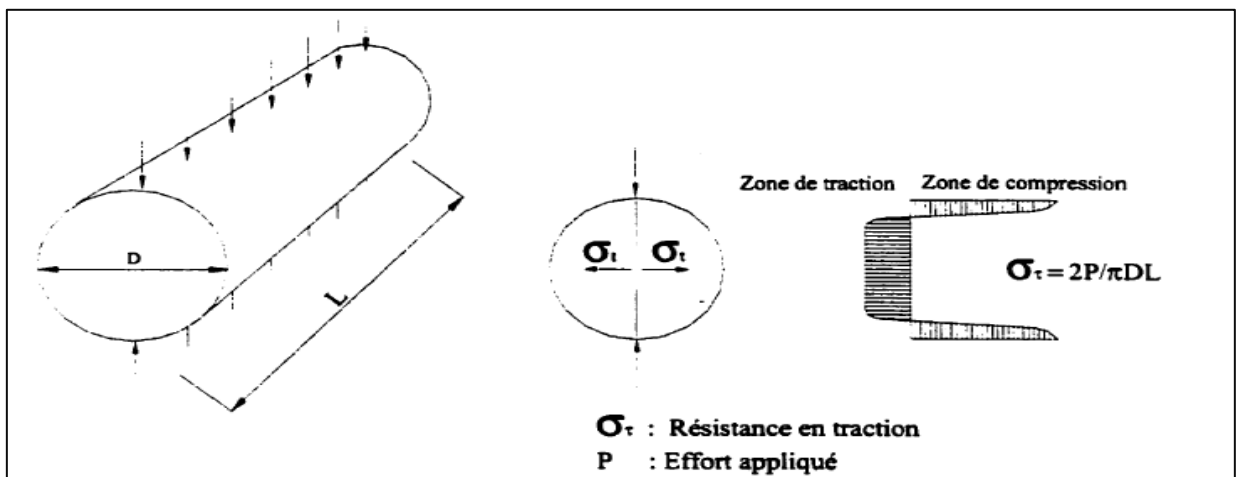


Figure III.14: Distribution des contraintes lors de l'essai Brésilien.

### **III. Matériaux étudiés et méthodes expérimentales**

---

#### **6. Préparation des éprouvettes :**

La préparation de coffrage des éprouvettes (cylindrique :  $d=16\text{cm}$ ,  $h=32\text{cm}$ , pour l'essai de compression, cubique  $10\times 10\times 10$  pour les milieux agressives) est faite comme le remplissage de cône d'Abrams en trois couches, toute couche vibrée par la vibrante électrique.

Afin de coffrage des éprouvettes, on pose les éprouvettes au durcissement, après une durée de 24 heures, on fait le décoffrage des éprouvettes, et on introduit dans un réservoir contenant de l'eau pour le durcissement d'une durée de 28 jours, après 28 jours, on prend les éprouvettes pour faire les mesures de la résistance de béton à la compression par les méthodes destructives (essai l'écrasement).

#### **7. Conclusion :**

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

Nous avons pu remarquer après l'analyse granulométrique que le sable à base de granulats recyclés est un peu trop grossier.

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

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





***Chapitre IV:***  
***Analyse et discussion***  
***des résultats***

## IV. Analyse et discussion des résultats

---

### 1. Introduction :

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des granulats recyclés, issus du concassage de brique de maçonnerie 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.

### 2. Etude de mortier :

#### 2.1. Comportement du mortier à l'état frais :

##### 2.1.1 .Ouvrabilité :

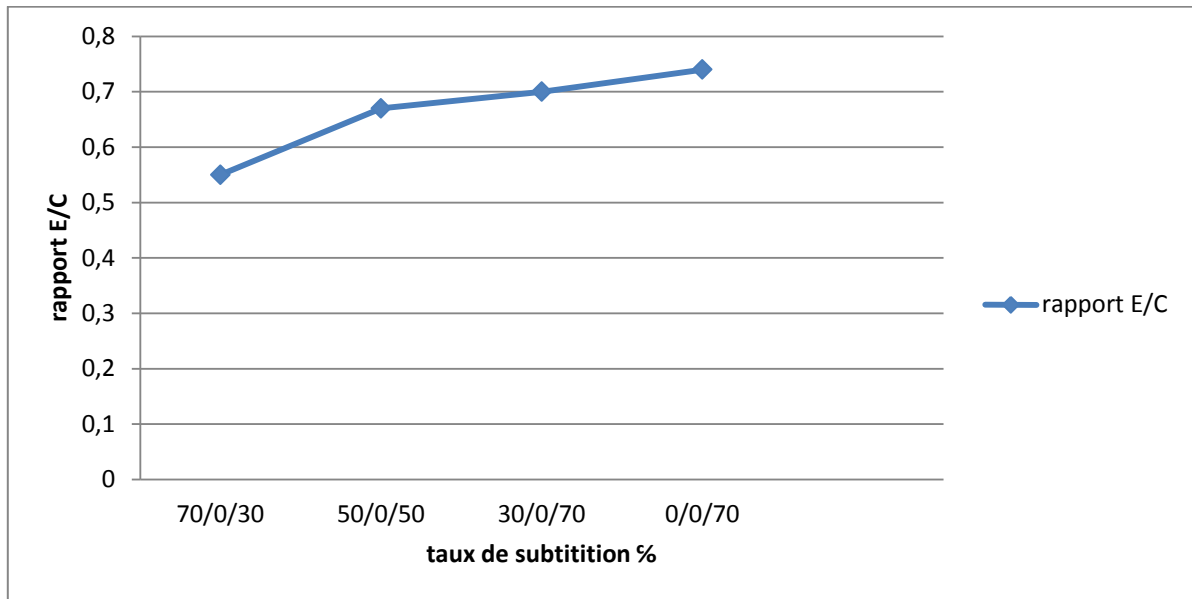
La quantité d'eau de gâchage conditionne, en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité. Pour les différents sables, des quantités d'eau successives seront ajoutées aux mélanges jusqu'à obtention d'une maniabilité constante.

D'après la figure IV.15 on remarque que le rapport E/C des différents mélanges varie dans le même sens que le taux de substitution en sables recyclés. Cela due à la porosité élevée plus la nature du matériau argileux.

**Tableau IV.21** : Quantité d'eau réellement utilisée pour un dosage de ciment de  $500 \text{ kg/m}^3$ .

| Type de mortier |         | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisé |
|-----------------|---------|------|-----------------------------------|
| SDBR 30         | 70/0/30 | 0.55 | 275                               |
| SDBR 50         | 50/0/50 | 0.67 | 235                               |
| SDBR 70         | 30/0/70 | 0.70 | 350                               |
| SDBR 100        | 0/0/100 | 0.74 | 370                               |

## IV. Analyse et discussion des résultats



**Figure IV.15 :** La variation du rapport E/C des mortiers à base de sable de brique concassé pour un dosage de  $500 \text{ kg/m}^3$ .

### 2.2. Comportement du mortier à l'état durci :

#### 2.2.1. Résistance à la compression :

La résistance mécanique du mortier après durcissement dépend du rapport E/C, de la qualité et nature de sable, du mode de conservation du mortier et de l'échéance de l'essai. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et flexion.

Nous présentons les résultats des essais de la résistance à la compression et à la flexion effectués sur les éprouvettes de dimensions  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$  le tableau.

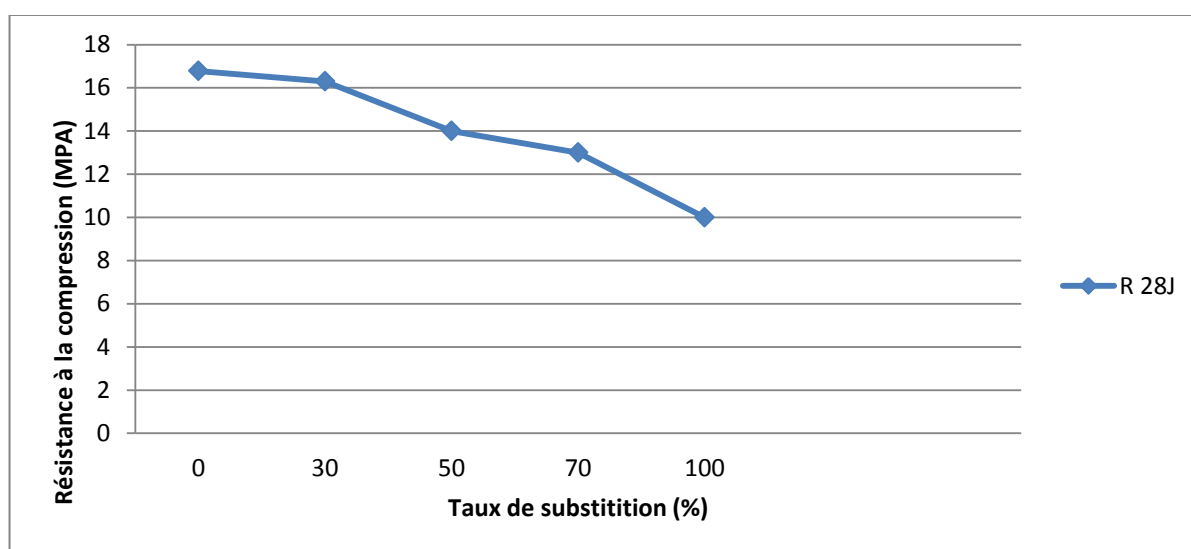


**Photo IV.10:** L'essai de la résistance à la compression.

## IV. Analyse et discussion des résultats

**Tableau IV.22:** Résistance à la compression des mortiers à base de sables recyclés pour un dosage de ciments,  $500 \text{ kg/m}^3$  sur des éprouvettes  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ .

| Type de mortier | $R_c$ (Mpa)<br>Dosage 500<br>R 28J |
|-----------------|------------------------------------|
| 100/0/0         | 16.78                              |
| 70/30/0         | 16.30                              |
| 50/50/0         | 14                                 |
| 30/70/0         | 13                                 |
| 0/0/100         | 10                                 |

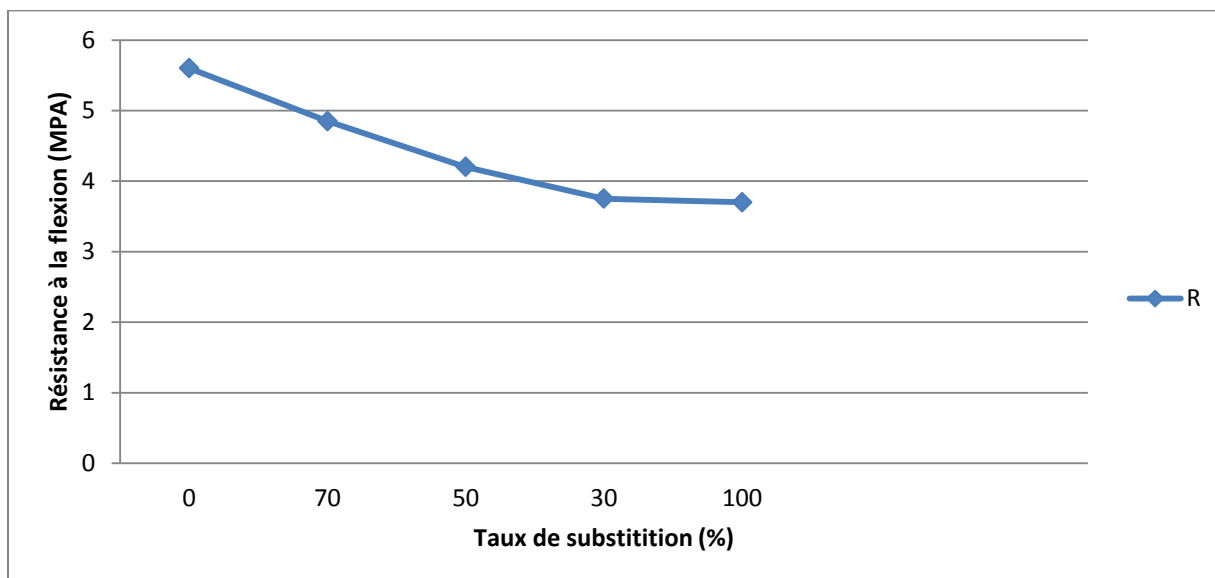


**Figure IV.16:** Résistance à la compression des mortiers à base de sable  
De brique concassé.

**Tableau IV.23:** Résistance à la flexion des mortiers à base de sables recyclés pour un dosage de ciments,  $350 \text{ kg/m}^3$  sur des éprouvettes  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ .

| Type de mortier | $R_f$ (Mpa)<br>Dosage 350<br>28J |
|-----------------|----------------------------------|
| 100/0/0         | 5.60                             |
| 70/30/0         | 4.85                             |
| 50/50/0         | 4.20                             |
| 30/70/0         | 3.75                             |
| 0/0/100         | 3.70                             |

## IV. Analyse et discussion des résultats



**Figure IV.17 :** Résistance à la flexion des mortiers recyclés dosé à  $500 \text{ kg/m}^3$

Les Figures IV .16 et IV.17 et les tableaux IV.22 et IV.23montrent que :

- Les mortiers à base des sables recyclés présentent des résistances à la compression plus faible par rapport aux mortiers naturels.
- Un mortier à base de sable de brique concassé avec un taux de substitution de 30% présente une meilleure résistance à la compression.
- Avec le taux de substitution de 70% la résistance à la compression d'un mortier à base de sable concassé de brique chute d'une façon considérable ;
- On remarque que les résistances à la flexion et à la compression sont diminuent lorsque le taux de substitution des sables recyclés est augmenté.

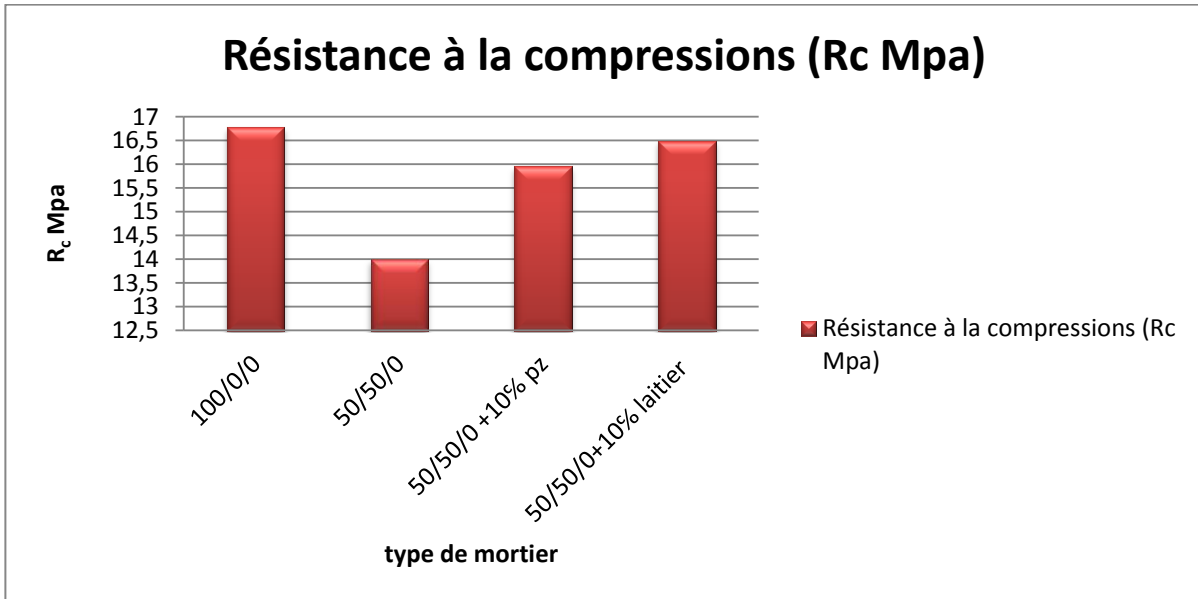
### 2.2.2. Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression :

Afin d'améliorer le comportement du mortier frais et durci à base de sable recyclés, des ajouts minéraux actifs (laitier et pouzzolane) ont été incorporé sur la meilleur composition soit 50/0/50. Les résultats obtenus sont résumé dans le tableau IV.24.

**Tableau IV.24:** Effet des ajouts sur la Résistance à la compression de mortier recyclés.

| Type de mortier     | E/C  | Résistance aux compressions (Rc Mpa) | Par rapport aux témoins % |
|---------------------|------|--------------------------------------|---------------------------|
| 100/0/0             | 0.60 | 16.78                                | 100                       |
| 50/50/0             | 0.67 | 14                                   | 83.33                     |
| 50/50/0 +10% pz     | 0.70 | 15.95                                | 95.05                     |
| 50/50/0+10% laitier | 0.70 | 16.5                                 | 98.33                     |

## IV. Analyse et discussion des résultats



**Figure IV.18 :** Effet des ajouts sur la résistance à la compression à base de Déchet de brique concassé

On remarque d'après le tableau IV.24 et la figure IV.18 que : l'ajout de 10% de pouzzolane et laitier au mortier à base de 50% de déchet de brique concassé provoque une augmentation de la résistance à la compression de 12% pour la pouzzolane et de 15 % pour le laitier. Et ça grâce à ces propriétés actives

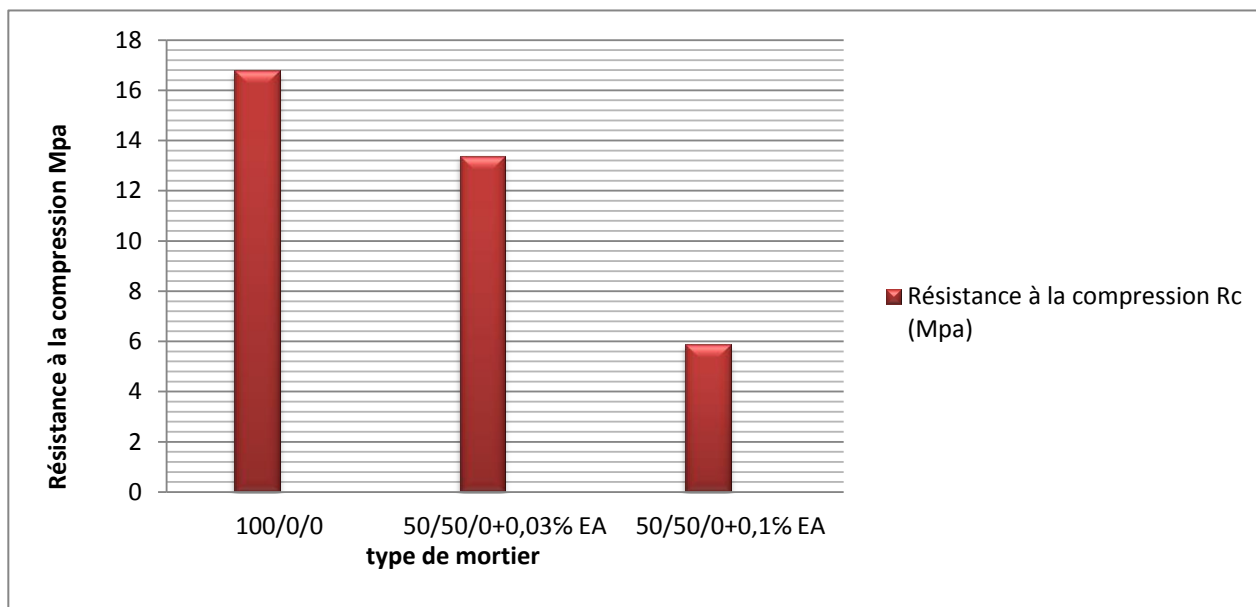
### 2.2.3. Effet d'entraîneur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la compression :

On a effectué la série des dosages suivantes (0.03% et 0.1%) ces derniers sont évalués en pourcentage de la masse du ciment, pour chaque dosage, trois éprouvettes ont été confectionnées dans les mêmes conditions et sont par la suite soumises à l'essai de compression à l'âge de 28 jours afin d'estimer l'influence de l'agent entraîneur d'air sur la résistance du mortier. Les résultats de cet essai sont représentés dans le tableau IV.25

**Tableau IV.25 :** Effet d'entraîneur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la compression.

| Résistance à la compression Rc (Mpa) |       | %     |
|--------------------------------------|-------|-------|
| 100/0/0                              | 16.78 | 100   |
| 50/50/0 +0.1 %EA                     | 5.89  | 35.10 |
| 50/50/0 +0.03% EA                    | 13.4  | 79.85 |

## IV. Analyse et discussion des résultats



**Figure IV.19:** Effet d'entraîneur d'air (MEDA-AIR) sur la résistance à la compression.

D'après le tableau IV.25 et la figure IV.19 On constate d'une façon générale une chute de résistance à la compression en fonction du dosage de l'entraîneur d'air.

### 3. Etude de béton :

#### 3.1. Propriétés des bétons frais :

##### 3.1 .1.Consistance des bétons frais :

Comme tous les mélanges de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 5 et 6 cm) fourchette des bétons plastiques ce qui est plus répandu dans les chantiers de coulage de béton, on remarque que la quantité d'eau réellement utilisée (eau de gâchage) pour assurer cet affaissement s'accroît suivant le taux de substitution en granulats recyclés d'une part et le type de granulat d'autre part.

D'après la Figure IV.18 même remarque peut être faite sur le rapport E /C des différents mélanges qui varie dans le même sens que le taux de substitution en granulats recyclés. Cela se traduit par la présence d'une grande quantité des fines argileuse qui est caractérisé par sa forte absorption d'eau ont une porosité

On note que le rapport E /C d'une même composition de béton diminue suite à un dosage élevé en ciment.

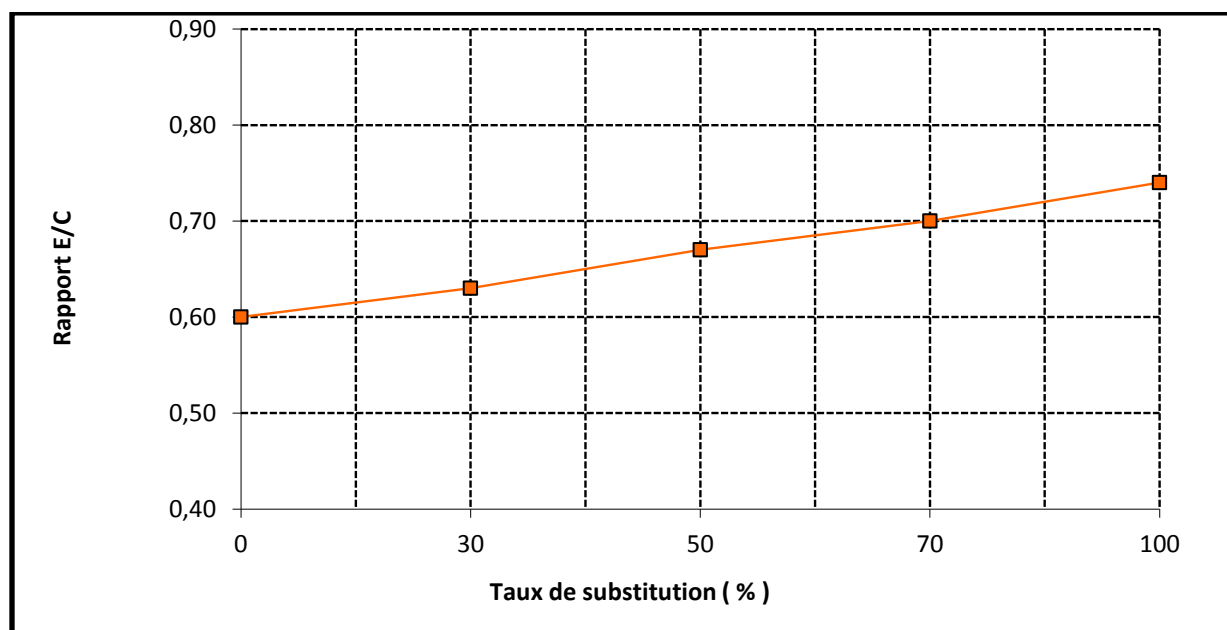
## IV. Analyse et discussion des résultats

**Tableau IV.26:** Quantités d'eau réellement utilisées et le slump pour les différents mélanges avec un dosage de ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>.

| Type de béton SN/SDBR (%) | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisée (L/m <sup>3</sup> ) | Slump mesuré (cm) | Slump Idéal (cm) | Quantité d'eau de gâchage ajoutée (L/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------|--|-------------------|------------------|---|
| 100/0                     | 0,60 | 210  | 5,5               | 5-6              | 0   |
| 70/30                     | 0,63 | 220.5  | 5,8               |                  | 10.5  |
| 50/50                     | 0,67 | 236.25   | 5,5               |                  | 26.25   |
| 30/70                     | 0,70 | 246.75   | 6                 |                  | 36.75   |
| 0/100                     | 0,74 | 260  | 6                 |                  | 50  |

SN : sable naturels

SDBR : sable de démolition de brique concassé



**Figure IV.20 :** Relation entre le rapport E/C des bétons et le pourcentage de substitution en sable de déchet de brique concassé

### 3.2. Propriétés des bétons durcis :

#### 3.2.1. Résistance à la compression :

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité puissent en effet être plus importantes. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est

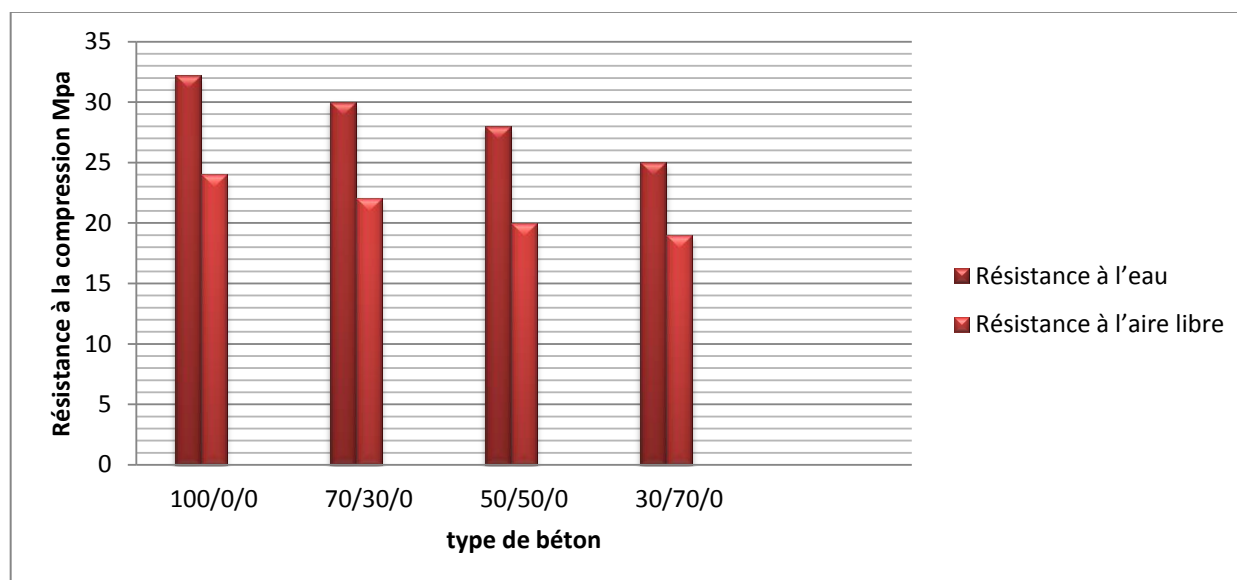


## IV. Analyse et discussion des résultats

directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus la résistance du béton est presque universellement utilisée lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

**Tableau IV .27 :** Résistances à la compression des bétons à base des granulats fin recyclés pour un dosage de ciment respectifs 350 kg / m<sup>3</sup>.

| Type de béton SN/SDBR (%) | Résistance à l'aire libre (intérieur de laboratoire) | Résistance à l'eau |
|---------------------------|--|--------------------|
| 100/0/0                   | 24   | 32.2               |
| 70/30/0                   | 22   | 30                 |
| 50/50/0                   | 20   | 28                 |
| 30/70/0                   | 19   | 25                 |



**Figure IV.21:** Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de déchet de brique concassée pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>

Nous remarquons d'après la figure IV.21 que les bétons à base des granulats recyclés présentent des résistances à la compression faibles que les bétons conventionnels.

- On Remarque sur le tableau IV.27 que la résistance en compression à 28 jours au niveau de l'association des sables recyclés à base de déchet de brique concassée baisse lorsque le taux de substitution augmente. Cette baisse peut être liée à la faible adhérence au niveau de l'interface agrégats (granulats)- mortier (matrice cimentaire). Cette baisse pourrait s'expliquer aussi par l'augmentation du volume occupé par les granulats recyclés.
- D'après cette analyse, on peut conclure que la résistance à la compression diminue nettement dès que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés dépasse 30% et

## IV. Analyse et discussion des résultats

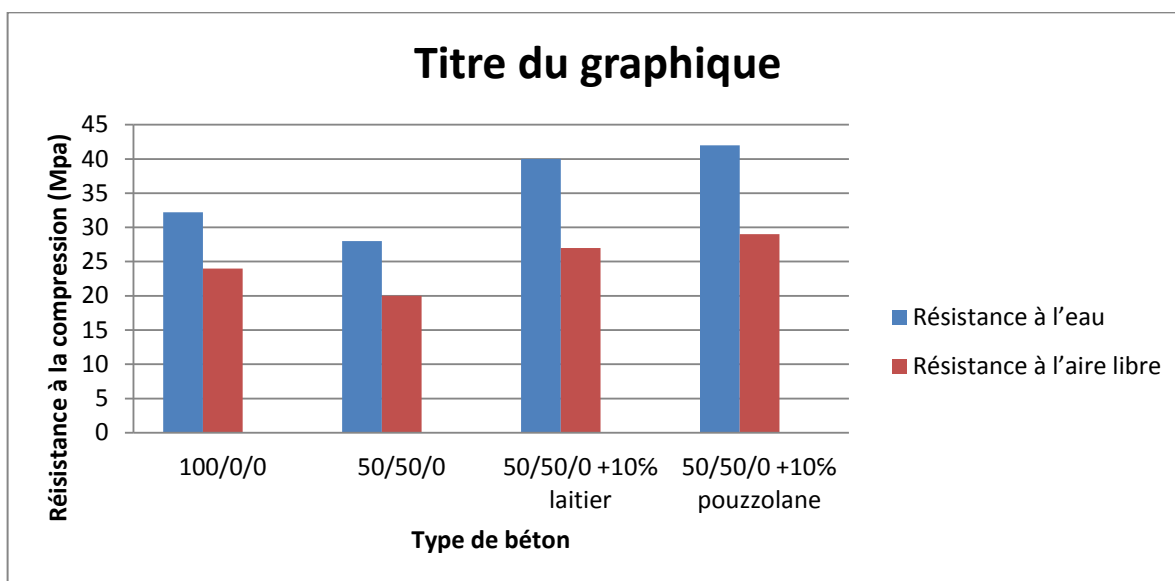
que cette diminution peut dépasser 10% de la résistance du béton témoin (100% agrégats naturels).

### 3.3. Effet des ajouts minéraux :

Afin d'améliorer le comportement du béton frais et durci à base de sable recyclés, des ajouts minéraux actifs (laitier et pouzzolane) ont été incorporé sur la meilleur composition soit 50/0/50. Les résultats obtenus sont résumé dans le tableau IV.28

**Tableau IV.28:** Résistance à la compression des bétons recyclés ayant une teneur de 10% en pouzzolane et laitier pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>.

|                         | Résistance à l'aire libre | Résistance à l'eau |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| 100/0/0                 | 24                        | 32.2               |
| 50/50/0                 | 20                        | 28                 |
| 50/50/0 +10% laitier    | 27                        | 40                 |
| 50/50/0 +10% pouzzolane | 29                        | 42                 |



**Figure IV.22:** Effet de l'ajout de pouzzolane et laitier sur la résistance de béton à base de 50% de déchet de brique concassé.

On remarque d'après le tableau IV.28 et la figure IV.22 que l'ajout de 10% de pouzzolane et de laitier au béton à base de 50% de déchet de brique concassé provoque une augmentation du résistance à la compression qui dépasse la résistance de béton témoin de 23% pour le laitier et 29% pour le pouzzolane Et ça grace à ces propriétés actives.

## IV. Analyse et discussion des résultats

### 3.4. Etude de la résistance au gel :

La résistance au gel est le pouvoir d'un matériau saturé d'eau de supporter la congélation et le dégel alternatif sans aucun signe de destruction ni perte sensible de résistance mécanique.

Un matériau est considéré résistant au gel si, après un nombre déterminé de cycles de congélation et de dégel en état saturé, sa résistance ne diminue pas de plus de 15-20% et si les pertes en poids, n'ont pas dépassé 5%. Si après la congélation les éprouvettes ne portent pas de traces de destruction, le degré de résistance au gel est établi en déterminant le coefficient de résistance au gel d'après la formule :

$$K_{rg} = R_{rg} / R_{sat} > 0.75$$

Où :

$R_{rg}$ : est la résistance à la compression d'un matériau après l'essai de résistance au gel, en MPa

$R_{sat}$ : la résistance à la compression d'un matériau saturé d'eau, en MPa.

La valeur de  $K_{rg}$  des matériaux de construction résistant au gel ne doit pas être inférieure à 0.75



Photo IV.11 : l'essai de gel –dégel.

Tableau IV.29 : Perte en en poids après les cycles des gels –dégel des bétons recyclés.

|          | Poids (g) 50/50/0 | Poids (g) 100/100/0 |
|----------|-------------------|---------------------|
| 1 jour   | 2372              | 2521                |
| 7 jours  | 2400              | 2540                |
| 10 jours | 2431              | 2552                |
| 15 jours | 2386              | 2525.5              |

Tableau IV.30 : Résistance au gel des bétons recyclés.

| Type de béton | Rc des témoins (Mpa) | Rc après l'essai de gel/dégel (Mpa) | Coefficient de résistance au gel ( $K_{rg}$ ) |
|---------------|----------------------|-------------------------------------|---|
| 100/0/0       | 56.3                 | 52.35                               | 0.93  |
| 50/50/0       | 40.21                | 38.2                                | 0.95  |

## IV. Analyse et discussion des résultats

D'après les tableaux IV.29 et IV.30 on remarque que le coefficient de résistance au gel des bétons recyclés est supérieur à 0.75 est similaire aux bétons ordinaires à base des agrégats naturels.

### 3.5 Action des milieux agressifs :

Les milieux les plus agressifs sont soit acides, soit salins (chlorures, nitrates, mais surtout sulfates), on peut alors observer des dégradations des ouvrages en béton par dissolution et érosion en cas d'attaque d'acides, par fissuration et éclatement dans le cas d'attaque saline.

La résistance aux milieux agressifs est déterminée à partir des éprouvettes cubiques (10×10×10 cm). Le durcissement étant en condition naturelle (cure sous l'eau) pendant 28 jours, puis les bétons durcis sont immergés séparément pendant 35 jours dans les solutions suivantes : eau potable, eau de mer, HCl (5%), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%), NaOH (5%), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%) et 5% de (5%).

Les résultats sont représentés dans les tableaux IV.31, IV.32 et IV.33:

**Tableau IV.31 :** perte de masse dans les milieux agressifs.

| Les milieux                         | La perte de masse |         |         |       |         |       |         |      |         |       |
|-------------------------------------|-------------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|------|---------|-------|
|                                     | 1 j               |         | 14j     |       |         |       | 28j     |      |         |       |
|                                     | 100/0/0           | 50/50/0 | 100/0/0 | %     | 50/50/0 | %     | 100/0/0 | %    | 50/50/0 | %     |
| <b>NaOH</b>                         | 2521              | 2372    | 2520.5  | 0.019 | 2371    | 0.042 | 2370    | 6.37 | 2371    | 0.042 |
| <b>HCl</b>                          | 2521              | 2372    | 2515    | 0.23  | 2365    | 0.29  | 2470    | 2.06 | 2295    | 3.35  |
| <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>  | 2521              | 2372    | 2358    | 6.91  | 2345    | 1.15  | 2352    | 7.18 | 2340    | 1.36  |
| <b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | 2521              | 2372    | 2518    | 0.11  | 2369    | 0.12  | 2517.5  | 0.13 | 2368.5  | 0.14  |
| <b>Sulfate d'alumine</b>            | 2521              | 2372    | 2520    | 0.039 | 2371    | 0.042 | 2515    | 0.23 | 2371    | 0.042 |

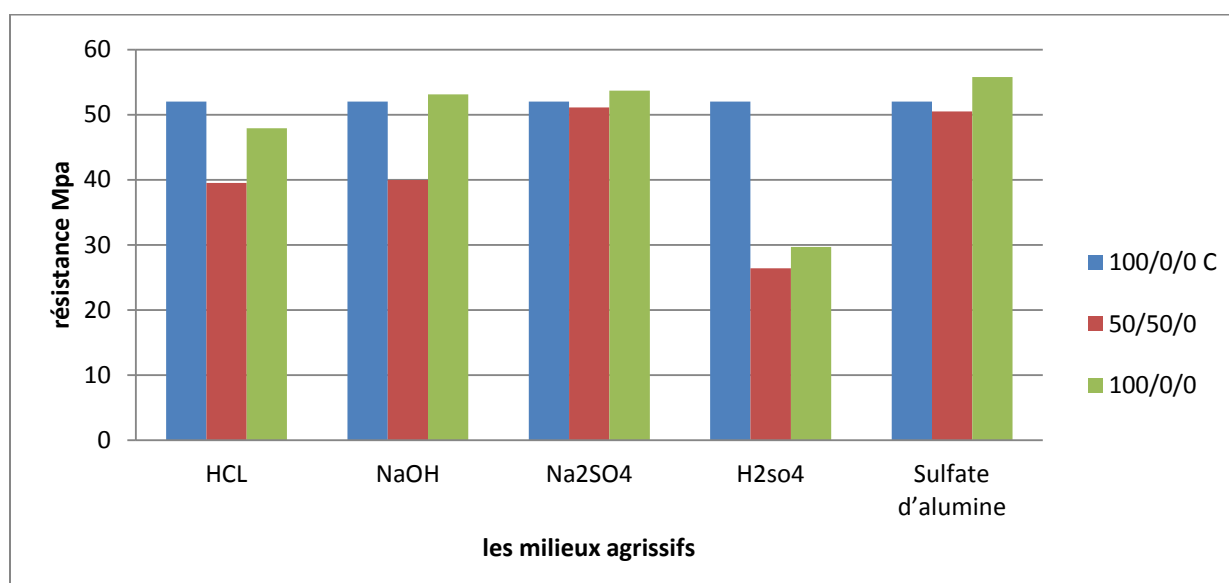
**Tableau IV.32 :** PH des différents milieux agressifs.

| HCl  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | NaOH  | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Sulfate d'alumine |
|------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------------------|
| 5.12 | 3.36                           | 13.78 | 12.42                           | 11.4              |

## IV. Analyse et discussion des résultats

**Tableau IV.33 :** Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.

| Résistance à 35 jours :         |      |       |                                 |                                |                      |
|---------------------------------|------|-------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Les milieux<br>Type<br>De béton | Hcl  | NaOH  | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Sulfate<br>d'alumine |
| 100/0/0                         | 52   | 52    | 52                              | 52                             | 52                   |
| 50/50/0                         | 35.9 | 39.98 | 51.1                            | 26.4                           | 50.5                 |
| 100/0/0                         | 47.9 | 53.1  | 53.7                            | 29.7                           | 55.8                 |



**Figure IV.23:** Effet des conservations sur la résistance des bétons recyclés.

D'après la figure IV.23 on remarque que les bétons immergée dans les milieux acides subit des dégradions dans les résistances à la compression de l'ordre de 8.% pour les bétons ordinaire et 14.% pour les bétons à base de sable de démolition de brique concassée pour le Hcl et de 43% ,45% pour l'acide sulfurique. Tandis que les bétons conserver dans les milieux basiques subit une légère augmentation.

Donc en peut conclure que les bétons à base de 50% de déchet de brique concassée résiste dans les milieux basiques et peuvent être utilisé dans les milieux chimiquement agressifs

### 3.6. Résistance à la traction :

Afin de déterminer la résistance en traction du matériau, l'essai Brésilien (ASTM C 496) a été utilisé. Il consiste à appliquer une charge sur un cylindre de béton couché de manière à le diviser en deux prismes semi-circulaires (voir photo IV.12). La figure IV.22 montre la répartition

## IV. Analyse et discussion des résultats

des contraintes dans la section de béton de même que l'équation servant à déterminer la résistance en traction du matériau.

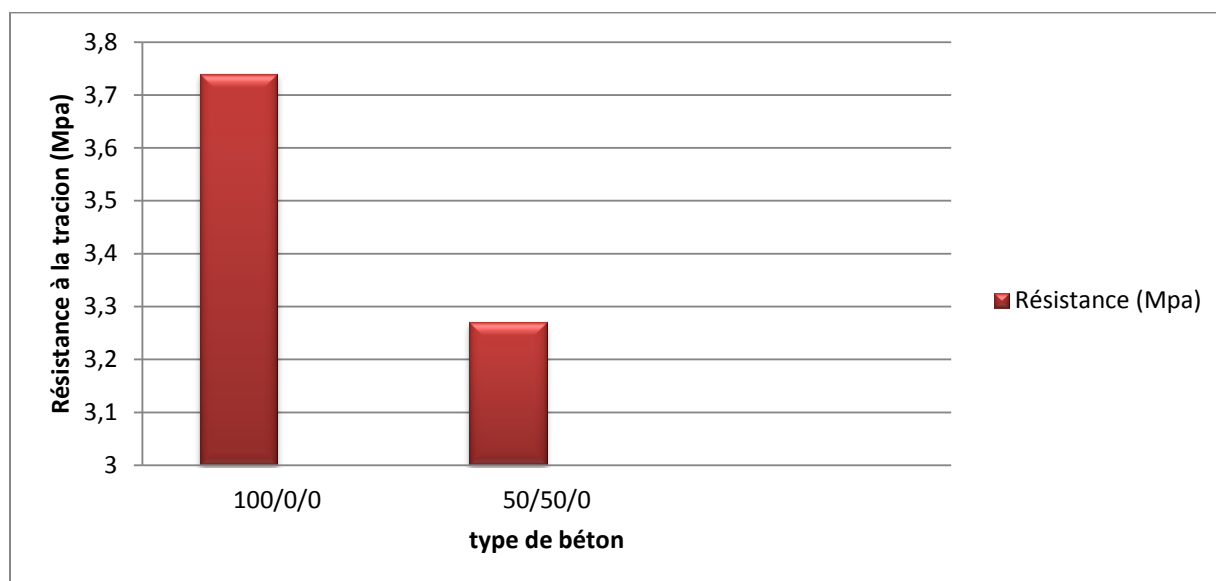
$$\delta = 2p / \pi DL$$

Avec P la charge maximale appliquée sur l'éprouvette,  $\Phi$  le diamètre du cylindre, et L sa longueur.

Lors de l'essai, le même taux de charge que celui utilisé lors de l'essai de compression est appliqué. Pour ce qui est de la cure des échantillons, la même procédure que celle mentionné pour les résistances à la compression est utilisée.

**Tableau IV.34:** Résistances à la traction Rt28 (Essai Brésilien).

| Type de béton | Résistance (Mpa) | %     |
|---------------|------------------|-------|
| 100/0/0       | 3.74             | 100   |
| 50/50/0       | 3.27             | 87.43 |



**Figure IV.24:** Evolution de la résistance à la traction des bétons en fonction de type de béton.

D'après le tableau IV.34 et la figure IV.24 on observe que :

Les bétons contenant les agrégats issus du concassage de brique possèdent des résistances à la traction plus faibles (une perte de l'ordre de 13%).

## IV. Analyse et discussion des résultats



**Photo IV.12:** Rupture des éprouvettes " l'essai brésilien".

**Tableau IV.35 :** Les masses volumiques à l'état frais et la perte de masse après 24 heures pour chaque béton testé.

| Bétons (SN/ SDBR(%))   | La masse volumique à l'état frais Kg/m <sup>3</sup> |
|--|---|
| <b>Pour dosage de ciment 350 Kg/m<sup>3</sup></b>  |   |
| 100/0/0  | 2.512   |
| 70/30/0  | 2.498   |
| 50/50/0  | 2.439   |
| 30/70/0  | 2.401   |
| 0//0/100   | 2.387   |
| <b>Pour dosage de ciment 350 Kg/m<sup>3</sup> avec les adjuvants (pouzzolane (10%), laitier 10%, entraîneur d'air (0.01; 0.05 ; 0.1%))</b> |   |
| 50/50/0 avec 10% pouzzolane  | 2.492   |
| 50/50/0 avec 10% Laitier   | 2.517   |
| 50/50/0 avec 0.01% d'entraîneur d'air  | 2.231   |
| 50/50/0 avec 0.05% d'entraîneur d'air  | 2.228   |
| 50/50/0 avec 0.1% d'entraîneur d'air   | 2.206   |

## IV. Analyse et discussion des résultats

**Tableau IV.36:** Les masses volumiques à l'état durci et la perte de masse après 24 heures pour chaque béton testé.

| Bétons SDBR (%)  | La masse volumique à l'état durci Kg/m <sup>3</sup> |
|--|---|
| <b>Pour dosage de ciment 350 Kg/m<sup>3</sup></b>  |   |
| 100/0/0  | 2.485   |
| 70/30/0  | 2.417   |
| 50/50/0  | 2.401   |
| 30/70/0  | 2.387   |
| 0//0/100   | 2.362   |
| <b>Pour dosage de ciment 350 Kg/m<sup>3</sup> avec les adjuvants (pouzzolane (10%), laitier 10%, entraîneur d'air (0.01; 0.05 ; 0.1%))</b> |   |
| 50/50/0 avec 10% pouzzolane  | 2.435   |
| 50/50/0 avec 10% Laitier   | 2.475   |
| 50/50/0 avec 0.01% d'entraîneur d'air  | 2.210   |
| 50/50/0 avec 0.05% d'entraîneur d'air  | 2.203   |
| 50/50/0 avec 0.1% d'entraîneur d'air   | 2.200   |

### 3.7. Absorption d'eau par immersion :

Le volume poreux du béton peut se mesurer par absorption d'eau, qui consiste à sécher une éprouvette de béton à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. L'absorption d'eau en

masse (%) est :

$$A = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} 100\%$$

Les éprouvettes utilisées dans cette partie sont cubiques de dimensions (10×10×10 cm<sup>3</sup>) et sont conservées à l'eau (T = 22°C). Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton. Les résultats de cet essai sont présentés dans Tableau IV.37 En comparaisant avec le béton témoin (d'agrégats naturels), il est nettement visible que les bétons à base d'agrégats recyclés sont plus poreux et absorbent plus d'eau.



## IV. Analyse et discussion des résultats

---

Tableau IV.37 : Absorption d'eau du béton étudié.

| Type de béton | Masses (g)           |                      | Abs % |
|---------------|----------------------|----------------------|-------|
|               | M <sub>sat</sub> (g) | M <sub>sec</sub> (g) |       |
| BN            | 2485.5               | 2366.5               | 5.50  |
| BDBR          | 2550.5               | 2410.5               | 5.80  |



***Chapitre V :***  
***Conclusion générale***

## V. Conclusion et recommandations

---

### 1. Conclusion générale :

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des granulats recyclés, issus du concassé de brique de maçonnerie. Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux qu'on peut les résumer dans les points suivants.

☞ D'après l'étude bibliographique, les installations de production de granulats recyclés ne sont pas tellement différentes des installations de concassage des granulats naturels, par contre, on doit porter une attention particulière à la présence d'impuretés dans les matériaux. Pour enlever ces impuretés, on procédera à différents moments au cours du processus de concassage, à des opérations de triage manuel ou mécanique.

☞ La quantité d'eau de gâchage utilisée pour assurer des bétons de consistance plastique s'accroît suivant le type et le taux de substitution en granulats recyclés.

- La grande faiblesse des bétons conçus avec des granulats recyclés est principalement au niveau de la résistance à la compression, pour des mélanges dosés à  $350 \text{ kg/m}^3$  une chute de résistance a été observée.
- D'après cette analyse, on peut conclure que la résistance à la compression diminue nettement dès que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés dépasse 30%.
- La présence de pouzzolane et laitier dans les bétons à base de 50% de déchet de brique concassé influence de façon significative les propriétés physiques et mécaniques de ces derniers et d'une manière analogue que pour les bétons conventionnels.

### 2. Recommandations

☞ Dans les conditions ordinaires le taux de substitution des granulats naturels par des granulats recyclés de brique concassé ne doit pas dépasser 30 %, autrement on doit augmenter la teneur en ciment de l'ordre de 15 à 30% selon le cas.

☞ L'utilisation des ajouts minéraux actifs est vraiment nécessaire et ceci pour réduire la perméabilité et l'absorption d'eau des bétons fabriqués à base des agrégats de démolition. Analyser le comportement des éléments structuraux fabriqués en béton armé à base des agrégats recyclés sous chargement statique et dynamique.



***Références***  
***bibliographiques***

## Références bibliographique

---

- [1] **GRONDIN Aurélie** « valorisation des granulats recyclés de béton : Etude des caractéristiques physiques et mécaniques des Bétons de granulats recyclés de béton » Mémoire Projet de fin d'étude, 2011 à Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg : INSA Strasbourg.
- [2] **Oikonomou N.D.** «Recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites» 27 (2), pp. 315-318, 2005.
- [3] **Gilpin Robinson Jr R, Menzie DW, Hyun H.** « Recycling of construction de brisas aggregate in the Mid-Atlantic Region»,
- [4] **De Juan M.S. and Gutiérrez P.A.** «Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate» 2009, *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 872-877.
- USA. Resour Conserv Recycle 2004; 42(3):275-94.
- 
- [5] **Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S.,** «Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete», *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836, 2009.
- [6] **Douara T.H.,** « Caractérisation physiques et chimiques des granulats recyclés et granulats naturels ». 2009.
- [7] **Chakradhara Rao, M., Bhattacharyya, S. K. Et Barai, S. V.** (2011). Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, volume 44, numéro 1, p.205-220
- [8] **Fathifazl, G., Abbas, A., Razaqpur, A. G., Isgor, O. B., Fournier, B. et Foo, S.** (2009). New mixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 21, numéro 10, p.601-611.
- [9] **Sagoe-Crentsil, K., Brown, T. et Taylor, A. H.** (2001). Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, volume 31, numéro 5, p.707-712.
- [10] **Butler, L., West, J. S. ET Tighe, S. L.** (2011). The effect of recycle concrete aggregate properties on the bond strength between RCA concrete and steel reinforcement. *Cement and Concrete Research*, volume 41, numéro 10, p.1037-1049.
- [11] **Levy, S. M. ET Helene, P.** (2004). Durability of recycled aggregates concrete: A safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, volume 34, numéro 11, p. 1975-1980.
- [12] **Malesev, M., Radonjanin, V. ET Marinkovic, S.** (2010). Recycled Concrete as

## Références bibliographique

---

Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, volume 2, numéro 5, p. 1204-25.

- [13] **Tam, V. W. Y. ET Tam, C. M.** (2008). Diversifying two-stage mixing approach (T SMA) for recycled aggregate concrete: T SMAs and T SMA<sup>sc</sup>. *Construction and Building Materials*, volume 22, numéro 10, p.2068-77.
- [14] **Ferreira, L., Barra, M. ET de Brito, J.** (2011). Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, volume 63, numéro 8, p.617-27.
- [15] **Lopez-Gayarre, F., Serna, P., Domingo-Cabo, A., Serrano-Lopez, M. et Lopez-Colina, C.** (2009). Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. *Waste Management*, volume 29, numéro 12, p. 3022-3028.
- [16] **Tabsh, S. W. ET Abdelfatah, A. S.** (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction & Building Materials*, volume 23, numéro 2, p.1163-7.
- [17] **Rao, A., Jha, K. N. ET Misra, S.** (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, volume 50, numéro 1, p.71-81.
- [18] **Otsuki 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.