

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.**

---



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master**

Spécialité : Génie Civil

Option : Ouvrages d'Art et Infrastructures (O.A.I)

Présenté par :

**CHETOUANE Khaled**

**AOUAG Miloud**

*Sujet du mémoire*

**ETUDE EXPÉRIMENTAL SUR LE COMPORTEMENT  
MÉCANIQUE D'UN BÉTON A BASE DES DÉCHETS DE  
BRIQUE**

*Soutenu publiquement le 04 juin 2017 devant le jury composé de :*

Mr, Bekki.Hadj	Président
Mme, Rennak.Zohra	Rapporteur
Mr, <i>SERBAH.B</i>	Examineur
Mme, Draoui.Aicha	Examinatrice
Mr, Kerroum.N	Examineur

**PROMOTION 2016 - 2017**

## ***Remerciements***

*Nous exprimons nos sincères remerciements à notre respectueuse promotrice Mlle Z.RENNAK. Merci à vous, pour votre présence continuelle durant toute la période du travail, pour votre patience et vos encouragements, vous resterez la meilleure promotrice qui offre aux étudiants le bon savoir.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également à:*

*Monsieur BEKKI.H qui a bien voulu accepter la présidence du jury.*

*Monsieur KERROUM.N, SERBAH.B, et madame DRAOUI.A d'avoir acceptés d'examiner ce travail.*

*Notre gratitude va également au directeur du laboratoire des travaux publics de l'ouest (LTPO) de Tiaret, qui nous a autorisées à réaliser une partie de notre projet expérimentale au laboratoire.*

*Sans oublier l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences appliquées département de génie civil de TIARET pour l'excellente formation qu'ils nous ont donné, l'ensemble des techniciens des laboratoires de la faculté pour leur aide.*

*On tient à remercier toutes les personnes qui de prêt ou de loin nous ont aidé même par leurs geste le plus simple.*

# *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans eux je ne serai pas là aujourd'hui. Ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma profonde affectation et tendresse.*

*A Mes sœurs Et mes frères, et toute la famille.*

*A tous mes amis sans exception, surtout la promo OAi 2017.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.*

***CHETOUANE Khaled***

# *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans eux je ne serai pas là aujourd'hui. Ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma profonde affectation et tendresse.*

*A Mes sœurs Et mes frères, et toute la famille.*

*A tous mes amis sans exception, surtout la promo OAI 2017.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.*

**AOUAG Miloud**

<b>Introduction Générale:</b> .....	<b>1</b>
-------------------------------------	----------

<b>CHPITRE I</b>	<b>GENERALITE SUR LE BETON</b>
------------------	--------------------------------

<b>I.1 Introduction :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Les constituants de béton :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.1 Les granulats :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.1.1 Définition :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.1.2 Utilisation :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.1.3 Classification des granulats :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.1.4 les caractéristiques physiques :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.1.5 Selon la nature des granulats :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.1.5.1 Les granulats courants :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.1.5.2 Les granulats lourds :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.1.5.3 Les granulats légers :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.1.5.4 Granulats très durs :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.2 Le ciment :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.2.1 Généralités-Historique :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.2.2 Principe de fabrication du ciment Portland :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.2.3 Les différents ciments normalisés – Composition :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.2.2.4 Utilisation des ciments :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.2.3 L'eau de gâchage :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.2.4 Etude de la composition :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.4.1 le béton frais :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.4.1.1 Caractéristiques principales du béton frais :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.4.1.2 Affaissement au cône d'Abrams :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.4.1.3 La masse volumique du béton frais :</b> .....	<b>14</b>

I.2.4.2 le béton durci :.....	15
I.2.4.2.1 Caractéristiques principales du béton durcissant :.....	15
I.2.5 Conclusion : .....	21

<b>CHAPITRE II</b>	<b>LES DECHETS DE BRIQUES</b>
--------------------	-------------------------------

II.1 Introduction : .....	22
II.2. Définition des déchets :.....	22
II.2.1 Définition réglementaire :.....	22
II.2.2 Approche environnementale puis sanitaire :.....	23
II.2.3 Approche économique :.....	23
II.2.4 Approche fonctionnelle :.....	23
II.3 Différents types des déchets :.....	24
II.3.1 Déchets ménagers et assimilés.....	24
II.3.2 Déchets encombrants.....	24
II.3.3 Déchets spéciaux :.....	24
II.3.4 Déchets spéciaux dangereux .....	24
II.3.5 Déchets inertes .....	25
II.3.6 Déchets ultimes .....	25
II.3.7 Déchets biodégradables .....	25
II.4 Classification des déchets :.....	26
II.4.1 Biologique.....	26
II.4.2 Chimique : .....	26
II.4.3 Technologique :.....	26
II.4.4 Economique : .....	26
II.4.5 Ecologique : .....	26
II.4.6 Accidentelle : .....	26
II.4.7 Selon l'origine.....	27

---

II.4.8 Selon leur mode de traitement .....	27
II.4.9 Selon leurs effets sur l'environnement : .....	27
II.5 Déchets utilisés en génie civil : .....	27
II.5.1 Laitiers de haut fourneau : .....	27
II.5.2 Laitier d'acier : .....	28
II.5.3 Cendres volantes : .....	28
II.5.4 Mâchefer : .....	29
II.5.5 Boues rouges : .....	29
II.5.6 Béton récupéré : .....	30
II.5.7 Verre de récupération : .....	30
II.5.8 : Sciure de bois : .....	31
II.5.9 Lin de textile : .....	32
II.5.10 Marbre : .....	32
II.5.11 Céramique : .....	33
II.5.12 Carrelage : .....	34
II.5.13 Brique concassée : .....	34
II.6 Déchets de brique : .....	35
II.6.1 Définition de brique : .....	35
II.6.2 Types de brique : .....	35
II.6.3 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques : .....	35
II.6.4 Mode de fabrication de brique : .....	36
II.6.5 Valorisation des déchets de la brique : .....	36
II.6.5.1 Réutilisation : .....	37
II.6.5.2 Recyclage : .....	37
II.6.6 Propriétés des déchets de brique : .....	37
II.6.7 Utilisations des bétons des déchets de brique : .....	38
II.6.8 Avantages d'utilisation des déchets de briques : .....	39

II.8 conclusion : .....	40
-------------------------	----

<b>CHAPITRE III</b>	<b>LES METHODES DE FORMULATION DU BETON</b>
---------------------	---

III.1 Introduction : .....	41
III.2 Étude de la composition du béton : .....	41
III.3 La composition du béton : .....	42
III.3.1. Dosage en ciment : .....	42
III.3.2 Le dosage en eau : .....	43
III.3.3 Choix des granulats : .....	44
III.4 Formulation du béton : .....	44
III.4.1 Essai en laboratoire : .....	44
III.4.2 Méthodes de formulation : .....	44
III.4.2.1 Méthode de Bolomey : .....	45
III.4.2.2 Méthode d'Abrams : .....	45
III.4.2.3 Méthode de Faury : .....	46
III.4.2.4 Méthode de Valette : .....	47
III.4.2.5 Méthode Dreux-Gorisse : .....	47
III.5 Conclusion : .....	48

<b>CHAPITRE IV</b>	<b>ESSAIS SUR LES BETONS</b>
--------------------	------------------------------

IV.1 Introduction : .....	49
IV.2 Choix des matériaux utilisés et essais réalisés : .....	49
IV.2.1 Le ciment : .....	50
IV.2.2 Les caractéristiques physiques : .....	50
IV.2.3 Le déchet de brique : .....	53
IV.2.3.1 Composition chimique : .....	54



IV.2.3.2 Déterminations des caractéristiques physiques :.....	54
IV.3 Les granulats :.....	55
IV.3.1 Sable :.....	55
IV.3.1.1 Les caractéristiques physiques : .....	56
IV.3.1.2 L'équivalent de sable : .....	56
IV.3.1.3 Analyse granulométrique :.....	60
IV.3.2 Le gravier :.....	63
IV.4 L'eau de gâchage : .....	63
IV.5 Formulation du béton témoin :.....	64
IV.5.1 Fabrication des échantillons :.....	64
IV.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes (NF P 18-404) [22] :.....	68
IV.5.3 Surfaçage des éprouvettes : .....	68
IV.5.3 Détermination de la résistance à la compression (fcj) : .....	69
IV.5.4 Détermination de la résistance à la traction par fendage (NF P 18-407) [24] : .....	71
IV.6 Conclusion :.....	74

<b>CHAPITRE V</b>	<b>ESSAIS SUR LES BETONS</b>
-------------------	------------------------------

V.1 Introduction : .....	75
V.2 Caractéristiques physiques : .....	75
V.2.1 Ciment : .....	75
V.2.2 Sable : .....	75
V.2.2.1 Caractéristiques chimiques :.....	76
V.2.2.2 Analyse granulométrique :.....	76
V.2.2.3 Module de finesse(MF) : .....	77
V.2.3 Le gravier : .....	77
V.2.3.1 Analyse granulométrique :.....	78
V.2.4 Déchets de briques :.....	80
V.3 La composition d'un béton à base de déchets de brique :.....	80
V.3.1 Formulation du béton :.....	81

<b>V. 3.2 Caractérisation des bétons utilisés :</b> .....	<b>82</b>
<b>V.3.2.1 Essais sur béton frais :</b> .....	<b>82</b>
<b>V.3.2.2 Essais sur béton durci :</b> .....	<b>83</b>
<b>V.3.2.3 Evolution des résistances mécaniques en Traction par fendage :</b> .....	<b>87</b>
<b>V.4 Conclusion :</b> .....	<b>91</b>
<b>Conclusion Générale:</b> .....	<b>92</b>

<b>CHAPITRE I</b>
-------------------

<b>Figure (I.1) : Composition de béton.....</b>	<b>2</b>
<b>Figure (I.2) : Exemple de granulats concassés et roulés.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure (I.3) : Constituant de base du ciment.....</b>	<b>9</b>
<b>Figure (I.4) : Essai d'affaissement au cône d'Abrams .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure (I.5) : Mesure de l'affaissement.....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I.6 : Béton frais .....</b>	<b>14</b>
<b>Figure (I.7) : Montre un tirant en béton armé soumis à des efforts de traction .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure (I.8) : Essai de flexion quatre points .....</b>	<b>18</b>

<b>CHAPITRE II</b>
--------------------

<b>Figure (II.1) : Laitier de haut fourneau.....</b>	<b>26</b>
<b>Figure (II.2) : Laitier d'acier .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure (II.3) : Cendre volante .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure (II.4) : Mâchefer .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure (II.5) : Boue rouge.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure (II.6) : Béton récupéré.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure (II.7) : Déchet de verre .....</b>	<b>29</b>
<b>Figure (II.8) : Sciure de bois .....</b>	<b>30</b>
<b>Figure (II.9) : Lin de textile.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure (II.10) : Marbre .....</b>	<b>31</b>

<b>Figure(II.11) : Céramique .....</b>	<b>31</b>
<b>Figure (II.12) : Carrelage.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure(II.13) : Brique concassé.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure (II.14) : déchets de brique .....</b>	<b>33</b>

<b>CHAPITRE IV</b>
--------------------

<b>Figure ( IV.1) : Ciment CPJ CEMII/B .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure (IV.2): détermination de la masse volumique.....</b>	<b>51</b>
<b>Figure (IV.3) : Détermination de la masse spécifique.....</b>	<b>53</b>
<b>Figure (IV.4) : Chatelier pour essais de la masse spécifique.....</b>	<b>53</b>
<b>Figure (IV.5) : Déchets de brique de Tissemsilt .....</b>	<b>54</b>
<b>Figure (IV.6) : Détermination de masse spécifique de déchet de brique .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure (IV.7) : Détermination de masse volumique de déchet de brique.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure (V.8) : Sable d’El guelta .....</b>	<b>56</b>
<b>Figure (IV.9) : Détermination la masse volumique et spécifique.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure (IV.10) : Equivalent de sable.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure (IV.11) : Machine d’agitation (mouvement rectiligne horizontal).....</b>	<b>59</b>
<b>Figure (IV.12) : Essai d’équivalent de sable (juste après agitation).....</b>	<b>60</b>
<b>Figure (IV.13) : Les trois éprouvettes pour l’essai de l’équivalent de sable (Es) (phase de repos (20 mn) .....</b>	<b>60</b>
<b>Figure (IV.14) : Colonne de tamis.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure (IV.15) : Essai d’analyse granulométrique .....</b>	<b>63</b>

<b>Figure (IV.16) : Détermination de la masse volumique des graviers deux classes.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure (IV.17) : Malaxeur du béton.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure (IV.18) Malaxage à sec des ingrédients du béton .....</b>	<b>65</b>
<b>Figure (IV.19) : Béton réalisé.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure (IV.20) : Dimensions intérieures du cône d'Abrams .....</b>	<b>66</b>
<b>Figure (IV.21) : Détermination de l'affaissement du béton.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure (IV.22) : Conservation des éprouvettes cylindriques .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure (IV.23) : Chargements des éprouvettes cylindriques .....</b>	<b>68</b>
<b>Figure (IV.24) : Rupture des éprouvettes cylindriques.....</b>	<b>70</b>
<b>Figure (IV.25) : Rupture des éprouvettes cylindriques.....</b>	<b>70</b>
<b>Figure (IV.26) : Rupture des éprouvettes cylindriques à 28 jours .....</b>	<b>71</b>
<b>Figure (IV.27) : Machine d'essai de traction par fendage.....</b>	<b>72</b>
<b>Figure (IV.28) : Rupture des éprouvettes cylindriques à 28 jours .....</b>	<b>73</b>
<b>Figure (IV.29) : Rupture des éprouvettes cylindriques (Béton à déchets de brique)..</b>	<b>74</b>

<b>CHAPITRE V</b>
-------------------

<b>Figure (V.1) : la courbe granulométrique du gravier 3/8 .....</b>	<b>77</b>
<b>Figure (V.2) : la courbe granulométrique du gravier 8/15 .....</b>	<b>80</b>
<b>Figure (V.3) : Développement de la résistance à la compression des différents bétons En fonction du temps.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure (V.4) : Résistances à la compression des différentes Compositions de béton .....</b>	<b>86</b>

**Figure (V.5): Développement de la résistance de Traction de béton En fonction du temps..... 86**

**Figure (V.6) : Résistances de traction par fendage des différentes compositions de béton .....90**

**Figure (V.7): Développement de la résistance à la traction de béton fonction du temps.....91**

**CHAPITRE I**

**Tableau (I.1) : La composition des constituants de béton en poids et en volume ..... 4**

**Tableau (I.2) : Fabrication du ciment..... 11**

**CHAPITRE III**

**Tableau (III.1) : Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions ..... 46**

**CHAPITRE IV**

**Tableau (IV.1) : Composition chimique en (%) de brique utilisé..... 54**

**Tableau (IV.2) : Composition d'un m<sup>3</sup> de béton témoin (en kg)..... 64**

**Tableau (IV.3) : Composition d'un m<sup>3</sup> du béton a déchets de brique(en kg)..... 64**

**CHAPITRE V**

**Tableau (V.1) : Résultats des caractéristiques physiques du ciment utilisé ..... 75**

**Tableau (V.2) : les caractéristiques physiques de sable ..... 75**

**Tableau (V.3) : les caractéristiques chimiques de sable ..... 76**

**Tableau (V.4) : Analyse granulométrique du sable..... 76**

**Tableau (V.5) : les caractéristiques physiques des graviers..... 78**

**Tableau (V.6) : Analyse granulométrique des granulats de fraction 3/8..... 78**

**Tableau (V.7) : Analyse granulométrique des granulats de fraction 8/15..... 79**

<b>Tableau (V.8) : les caractéristiques physiques de Brique Broyée.....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau (V.9) : Composition de 1m<sup>3</sup> du béton ordinaire .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau (V.10) : L'ouvrabilité de béton (1) en fonction du temps .....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau (V.11) : Résultats de compression pour le béton Ordinaire .....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau (V.12) : Résultats de compression de béton B D B (10 %).....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau (V.13) : Résultats de compression de béton B D B (20 %).....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau (V.14) : Résultats de compression de béton B D B (30 %).....</b>	<b>85</b>
<b>Tableau (V.15) : Résistances à la compression des différentes Compositions de béton .....</b>	<b>85</b>
<b>Tableau (V.16) : Résultats de la résistance à la traction par fendage pour BO .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau (V.17) : Résultats de Traction par fendage de béton B D B (10 %) .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau (V.18) : Résultats de Traction par fendage de béton B D B (20 %) .....</b>	<b>89</b>
<b>Tableau (V.19) : Résultats de Traction par fendage de béton B (2) B D B (30 %) .....</b>	<b>89</b>
<b>Tableau (V.20) : Résistances à la Traction par Fendage des différentes Compositions de béton.....</b>	<b>90</b>



## **Abstract**

The recycling of waste has become today the good solution which can give new renewable and lasting resources which contribute in the process of the building in the field of civil engineering and so to protect environment. The waste of red bricks constitutes an alternative interesting in that case seen that this waste is available and is left at the level of construction sites.

To reach these targets one trial across this job of experimental order to promote brick waste by using them as constituent in the concrete The result of this experience shows that the substitution of the sell by the content 10,20,30% of brick waste is advantageous in the cool and hardened state.

The enlistment of brick waste is made by the substitution of the cement by three contents 10 %, 20 % and 30 %.

Experimental procedure set up aims at determining the physico-mechanical characteristics of concrete made from brick waste and of they compared with those of concrete witness without brick waste to express the profitability of this type of waste. Characteristics in studying are: density in the cool state and in hardened state, subsidence, the compressive strength and to tensile strength at the age of 7,21 and 28 days.

The result of this experience shows that the substitution of the sell by the content, 20 and 30% of brick waste is advantageous in the ordinary concrete.

**Tags:** recycling, brick waste, concrete of brick waste, compressive strength, tensile strength.

## Résumé

Le recyclage des déchets a devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine de génie civil et ainsi pour protéger l'environnement. Les déchets de brique rouge constituent une alternative intéressante dans ce cas vu que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau de chantiers.

Pour atteindre ces objectifs on a essayé à travers ce travail d'ordre expérimental de valoriser les déchets de brique en les utilisant comme constituant dans le béton ordinaire.

L'incorporation de BDB s'effectue par la substitution du sable par trois teneurs 10%, 20% et 30%.

La procédure expérimentale mise en place vise à déterminer les caractéristiques physico mécaniques des BDB confectionnés à partir de déchet de brique et de les comparées avec celles du béton témoin afin d'exprimer la rentabilité de ce genre de déchets dans le béton.

Les caractéristiques à étudiées sont : l'état frais et à l'état durci, l'affaissement, la résistance à la compression et à la traction à l'âge de 7, 21, et 28 jours.

Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation de déchet de brique avec une substitution de 20 et 30% du poids du sable est très avantageuse dans les BO surtout à l'état durci.

**Mots clé :** recyclage, déchet de brique, béton à base des déchets de brique, résistance, compression et traction.

## ملخص

أصبحت عملية تدوير النفايات اليوم الحل الجيد الذي يمكن أن يعطي موارد جديدة، متجددة ودائمة تساهم في عملية البناء في مجال الهندسية المدنية و ذلك لحماية البيئة.

تشكل بقايا الأجر الأحمر بديل مثير للاهتمام، في هذه الحالة نظرا لتواجدها بكثرة في ورشات البناء و لكنها غير مستغلة.

للاوصول إلى هذه الأهداف نقوم عبر هذا العمل التجريبي بتعزيز استخدامها في الخرسانة العادية باستبدال الرمل بمقدار ثلاث محتويات 10%، 20%، 30% من قبل إجراء تجارب يتم تحديد الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للخرسانة التي تحتوي على بقايا الأجر مع التي لا تحتوي على بقايا الأجر للتعبير عن ربحية هذا النوع من البقايا.

خصائص هذه الدراسة هي: اختبار مقاومة الضغط و الشد في مدة 7، 21 و 28 يوم.

نتائج هذه الدراسة تبين أن استبدال الرمل بمقدار 20%، 30% يمثل الأفضلية في الحالة الصلبة والسائلة.

**الكلمات المفتاحية:** إعادة تدوير، بقايا الأجر، خرسانة ذات بقايا الأجر، مقاومة الشد و الضغط .

# INTRODUCTION GENERALE

**Introduction :**

De nos jours le béton est devenu le matériau le plus utilisé au monde dans le domaine du génie civil, on estime que 4 milliards de mètres cubes de béton sont utilisés tous les ans par le monde pour la construction d'ouvrages de toutes natures, notamment de bâtiments administratifs, d'immeubles d'habitation, de ponts, de routes, de tunnels, d'aéroports, de barrages, de ports, de centrales thermiques et nucléaires et de plates-formes offshore.

Ce matériau composite et hétérogène résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau, et présente des propriétés mécaniques qui peuvent être très supérieures à celles des roches naturelles.

Cependant, et vue son indispensabilité dans le domaine de la construction, le matériau béton a été et reste toujours sujet à de multiples travaux d'étude et de recherche. Même si l'avancée est jugée considérable, les études d'adaptation et de formulation s'avèrent nécessaires en chaque région du globe.

La résistance mécanique du béton est la propriété la plus importante dans les études, par ce qu'elle présente le paramètre majeur et indispensable pour la conception et le dimensionnement des ouvrages, elle donne une image globale de la qualité d'un béton, plus quelles autres critères tels que la durabilité et la perméabilité et etc....

C'est pour cela l'objet des millièmes études est l'amélioration des propriétés mécaniques de béton en vue de comprendre la réponse de béton aux actions mécaniques qui lui sont appliquées.

Le présent travail consiste en une étude expérimentale sur le comportement mécanique d'un béton à base des déchets de brique , l'objectif est de voir l'influence de la substitution du sable par les différents taux des déchets de brique et particulièrement les pourcentages (10, 20 et 30%) sur les résistances mécaniques à la compression et à la traction par fendage à l'âge 7,21 et 28 jours, et de comparer les résultats avec un béton ordinaire témoin.

Le présent travail est composé en deux parties :

- Une partie théorique qui consiste en une synthèse bibliographique sur le comportement du béton ordinaire et béton à base de déchets de brique.

- Une partie expérimentale qui consiste à déterminer la résistance mécanique à la compression et à la traction par fendage, réalisé par différents taux de substitution de granulats de brique, les essais consistent à appliquer une charge croissante jusqu'à la rupture sur des éprouvettes cylindriques de 16x32, qui seront effectués en béton ordinaire et en béton à base de déchet de brique.

Dans un premier chapitre, nous avons présenté l'état de la connaissance sur le béton, les principaux composants du béton, en explicitant les différentes caractéristiques à prendre en compte dans les formulations.

Nous avons consacré le deuxième chapitre aux déchets de brique, nous y présentons les différents types des déchets, la classification, principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques, valorisation des déchets de la brique, recyclage, propriétés, avantages d'utilisation.

L'étude théorique développée à travers le troisième constitue à l'étude des méthodes de formulation du béton, nous y présentons la composition du béton, dosage en eau, choix du granulats, dosage en ciment.

Le quatrième chapitre expose le programme expérimental effectué. Nous avons défini les caractéristiques physiques, des différents composants du béton ainsi la fabrication des éprouvettes cylindriques de 16x32 dont les extrémités ont été préalablement rectifiées (disque néoprène), soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture, et des essais de traction par fendage sur les mêmes dimensions d'éprouvettes cylindriques ont été effectués en béton ordinaire témoin et en béton à base de déchets a différent pourcentage (10, 20 et 30%) .

Au cinquième et dernier chapitre, nous avons présenté les résultats et l'interprétation des résultats expérimentaux menés sur six mélanges de bétons ordinaire et béton à chaux, formulés par la méthode de Faury dont le principe consiste en la détermination des résistances mécaniques à la compression et à la traction à 7,21 et 28 jours.

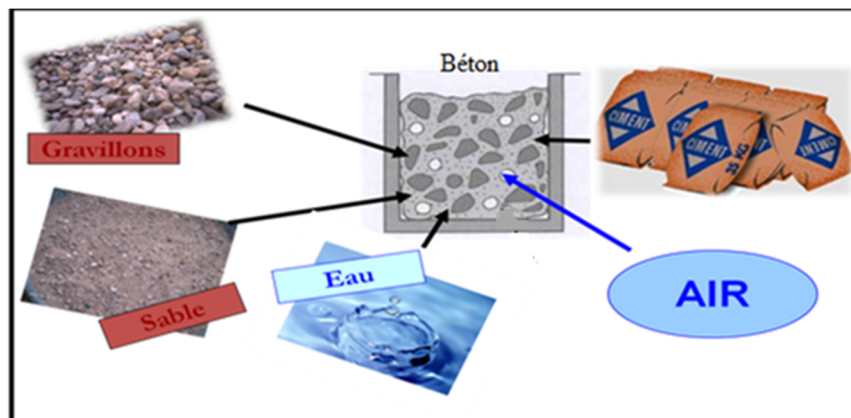
Enfin, nous finirons notre travail par une conclusion générale et des recommandations futures.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITE SUR LE BETON**

### I.1 Introduction :

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence (environ 5 milliards de tonnes par an utilisées dans le monde), matériau adopté universellement pour ses différentes qualités :

- il est formé de matériaux naturels primaires largement distribués sur la surface de la terre ;
- ses capacités de résistances dépassent celles des meilleures roches naturelles ;
- sa durabilité peut être séculaire, et il résiste à des environnements corrosifs (comme l'eau de mer ou feu);
- sa mise en œuvre est assez simple ;
- il est modulable c'est donc pour des raisons économiques et techniques que le béton est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, il est composé de ciment, de granulats, d'eau et de faibles quantités d'adjuvants, dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique fabriqué essentiellement à partir de minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle.



**Figure I.1 :** Composition de béton

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier ou du béton, le ciment, l'eau et les adjuvants forment la pâte liante, lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de "pâte de ciment", la pâte est un élément unique et actif du béton enrobant les granulats, l'objectif est de remplir les vides existants entre les grains, la pâte joue le rôle de lubrifiant et de colle.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).



De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m<sup>3</sup>.

Le tableau ci-dessous donne l'ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant.

**Tableau (I.1) :** La composition des constituants de béton en poids et en volume

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

## I.2 Les constituants de béton :

### I.2.1 Les granulats :

#### I.2.1.1 Définition :

On appelle « granulats » les matériaux inertes, sables graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons, c'est l'ensemble des grains compris entre 0,02 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage, ces matériaux sont quelque fois encore appelés « agrégats » exemple :

Sables, gravillons, graviers, granulats artificiels, grains de polystyrène, déchets de métallurgie, etc.....

#### I.2.1.2 Utilisation :

Les granulats sont utilisés pour la réalisation des : Filtres sanitaires, filtres, drains, bétons, remblais routiers, etc.....

#### I.2.1.3 Classification des granulats :

##### a) Selon la nature minéralogique :

Roches magmatiques : granulats de bonne qualité : exemple le granit, le quartz

Roches sédimentaires : non recommandé pour le béton : exemple : le gneiss.

Roches métamorphiques : non recommandé pour le béton : le schiste

##### b) Selon la forme des grains :

Elle est soit naturelle, soit artificielle, la forme naturelle est en général roulée, ces granulats proviennent des mers, dunes, rivières, carrières, etc...., la forme artificielle est issue du concassage de roches dures (roches mères).



**Figure (I.2) :** Exemple de granulats concassés et roulés

#### **I.2.1.4 les caractéristiques physiques :**

La masse volumique est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains et le constituant (volume apparent).

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

La densité absolue est le rapport de la masse spécifique à la masse d'un égal volume d'eau à +4 °C soit 1000 kg ; la densité absolue est donc égale au millième de la masse spécifique, c'est un simple rapport sans dimension.

La densité apparente est le rapport de la masse volumique à la masse d'un égal volume d'eau à + 4 °C soit 1000kg.

#### **I.2.1.5 Selon la nature des granulats :**

##### **I.2.1.5.1 Les granulats courants :**

On désigne sous le vocable granulats courants, ceux de masse volumique  $\gamma$  [2;3 tonnes/m<sup>3</sup>], ce sont généralement les Basaltes, Quartzites, Grès, Porphyre, Diorite, granites, Schistes, Laitier.

Pour la composition des bétons, on utilise en général des matériaux naturels alluvionnaires: sables et graviers, cependant, lorsque ces matériaux font défaut localement, il est possible d'utiliser des roches éruptives ou sédimentaires transformées en granulat par concassage. Silex, calcaires durs, silico-calcaires.

##### **I.2.1.5.2 Les granulats lourds :**

Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrages nécessitant une protection biologique contre les rayonnements produits, par exemple, dans les réacteurs et piles atomiques :

La protection est d'autant plus efficace que l'épaisseur est plus grande et la densité du béton plus élevée on utilise en particulier :

La barytine, sa densité absolue est 4,2 à 4,7

La magnétite, sa densité absolue est 4,5 à 5,1

Les riblons, la densité absolue est celle du fer : 7,6 à 7,8

La grenaille d'une densité absolue de: 7,6 à 7,8

#### **I.2.1.5.3 Les granulats légers :**

Ils sont utilisés pour la confection de bétons légers, ces bétons présentent en général des résistances d'autant plus faibles qu'ils sont plus légers, mais cette dernière qualité peut, dans certains cas, être particulièrement intéressante (préfabrication, isolations, gain de poids sur fondations difficiles ou onéreuses, etc..).

La densité absolue de ces granulats est généralement inférieure à 1.

#### **I.2.1.5.4 Granulats très durs :**

Quartz, corindon, carborundum, paillettes de fonte, etc., sont incorporés au béton peu anti- usure (sols industriels par exemple).

### **I.2.2 Le ciment :**

#### **I.2.2.1 Généralités-Historique :**

Le ciment est un liant hydraulique, 1817-Une année historique cette date constitue le point de départ de ce qui peut être considéré comme le renouveau de l'industrie de la construction. Louis Vicat (1776-1861) [1] jeune ingénieur des ponts et chaussées de 22 ans mène des travaux autour des phénomènes hydrauliques du mélange « chaux-cendres volcaniques », ce liant, déjà connu des Romains, restait jusqu'alors le seul matériau connu capable de faire prise au contact de l'eau, Louis Vicat fut le premier à déterminer de manière précise les proportions de calcaire et de silice nécessaires à l'obtention du mélange, qui après cuisson avec température donnée et broyage, donne naissance à un liant hydraulique industrialisable : le ciment artificiel.

Les débuts d'une industrie En affinant la composition du ciment mis au point par Louis Vicat, l'Écossais Joseph Aspin (1778-1855) [1] réussit à breveter en 1824 un ciment prise plus lente. Il lui donna le nom de Portland, du fait de sa similitude d'aspect et de dureté avec la roche du jurassique supérieur que l'on trouve dans la région de Portland dans le sud de l'Angleterre [1].

**I.2.2.2 Principe de fabrication du ciment Portland :**

La fabrication du ciment se distingue en six étapes principales :

- l'extraction
- l'homogénéisation
- le séchage et le broyage
- la cuisson
- le refroidissement
- le broyage

**Extraction:**

L'extraction consiste à extraire les matières premières vierges (comme le calcaire « 75 à 80 % » et l'argile « 20 à 25 % ») à partir de carrières, ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique, la roche est acheminée par des tombereaux, (dumpers), ou des bandes transporteuses vers un atelier de concassage, les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition chimique régulière dans le temps, la prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice).

**Homogénéisation :**

La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène aux proportions chimiques bien définies, cette opération peut être réalisée : soit dans un hall de pré homogénéisation où on obtient le mélange homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle; soit dans un silo vertical par brassage par air comprimé.

**Séchage et broyage :**

Le séchage et le broyage sont l'étape visant à favoriser les réactions chimiques ultérieures, les matières premières sont séchées et broyées très finement (de l'ordre du micron) dans des broyeurs à boulets, ou plus récemment, dans des broyeurs verticaux à meules, plus économes en énergie.

On distingue trois types principaux de "voies" en fonction du type de préparation :

- la voie humide : c'est la technique la plus ancienne, elle est aussi la plus gourmande en énergie, nécessaire à l'évaporation de l'excédent d'eau.

Dans les deux techniques suivantes, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées sous forme de « cru » ou « farine ».

- la voie sèche : la farine est introduite directement dans le four sous forme pulvérulente, après un préchauffage dans une tour à échangeurs thermiques.
- la voie semi-sèche : avant introduction dans le four, la farine est transformée en “granules” par humidification dans de grandes « assiettes » rotatives inclinées, le cru est ensuite introduit dans un long four (60 m à 200 m) rotatif (1,5 à 3 tours par minute), tubulaire (jusqu’à 6 m de diamètre), légèrement incliné (2 à 3 % d’inclinaison).

### **Cuisson:**

Le cru va suivre différentes étapes de transformation lors de sa lente progression dans le four, vers la partie basse, à la rencontre de la flamme, cette source de chaleur est alimentée au charbon broyé, fioul lourd, gaz, ou encore en partie avec des combustibles de substitution provenant d'autres industries, tels que le coke de pétrole, les pneus usagés, les farines animales, les huiles usagées, ou de centres de recyclage.

La température nécessaire à la clinkerisation est de l'ordre de 1450 °C, l'énergie consommée se situe entre 3 200 et 4 200 MJ par tonne de clinker, qui est le produit semi-fini obtenu à la fin du cycle de cuisson, il se présente sous forme de granules grises.

À la sortie du four, le clinker doit être refroidi et broyé avant d'être entreposé dans des silos.

Le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives (clinkerisation) permettant :

- La décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive).
- La scission de l'argile en silice et alumine.
- La combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux pour former des silicates et des aluminates de calcium.

**Refroidissement:**

Dans le cas des ciments gris, le clinker est refroidi, dans la plupart des cimenteries actuelles, par un refroidisseur à grilles:

- le clinker va progresser à l'intérieur du refroidisseur grâce aux à-coups répétés des grilles sur lesquelles il repose.
- au travers des grilles, de puissants ventilateurs vont souffler sous le clinker afin de le refroidir.
- à l'entrée ou à la sortie du refroidisseur, selon le modèle utilisé, un concasseur à un ou plusieurs rouleaux va le broyer de manière grossière.

Dans le cas du ciment blanc, plus fragile que le gris car il doit rester immaculé, un refroidisseur rotatif est inséré entre le four rotatif et le refroidisseur à grilles, il s'agit d'un cylindre légèrement incliné qui tourne sur lui-même et à l'intérieur duquel de l'eau est pulvérisée à l'aide de multiples buses, bien que sa composition chimique soit légèrement différente, c'est grâce au refroidisseur rotatif que le ciment peut rester blanc : en effet, son rôle est de refroidir très rapidement le clinker à sa sortie du four, avant qu'il ne soit oxydé au contact de l'air, de plus, la taille des refroidisseurs à grilles utilisés sur les lignes de ciment blanc est considérablement réduite, le refroidisseur rotatif accomplissant une partie de leur travail.

**Broyage:**

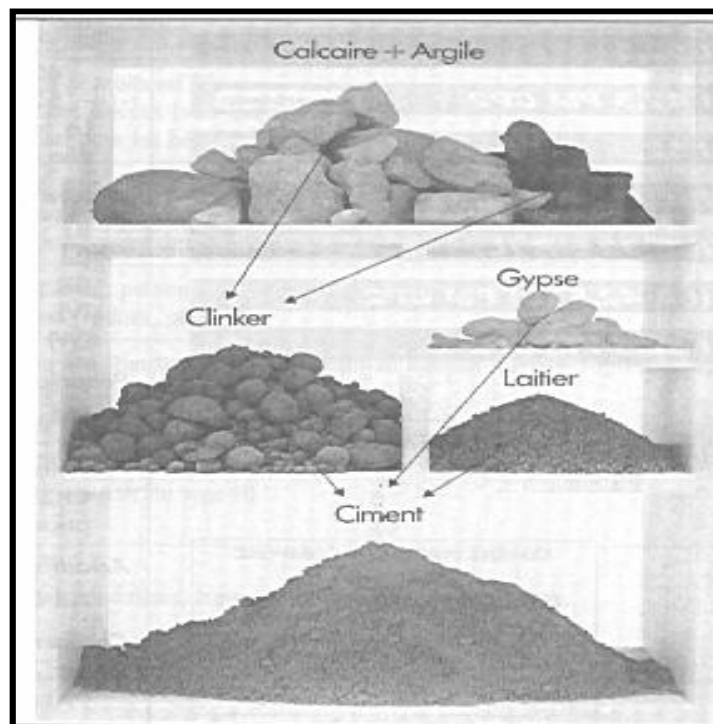
Le clinker est ensuite finement broyé pour conférer au ciment des propriétés hydrauliques actives, ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets d'acier et mis en rotation.

Lors de cette étape, le gypse (3 à 5 %), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker, on obtient alors le ciment Portland.

Les ciments à ajouts sont obtenus par l'addition, lors de la phase de broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus dans des matériaux tels que :

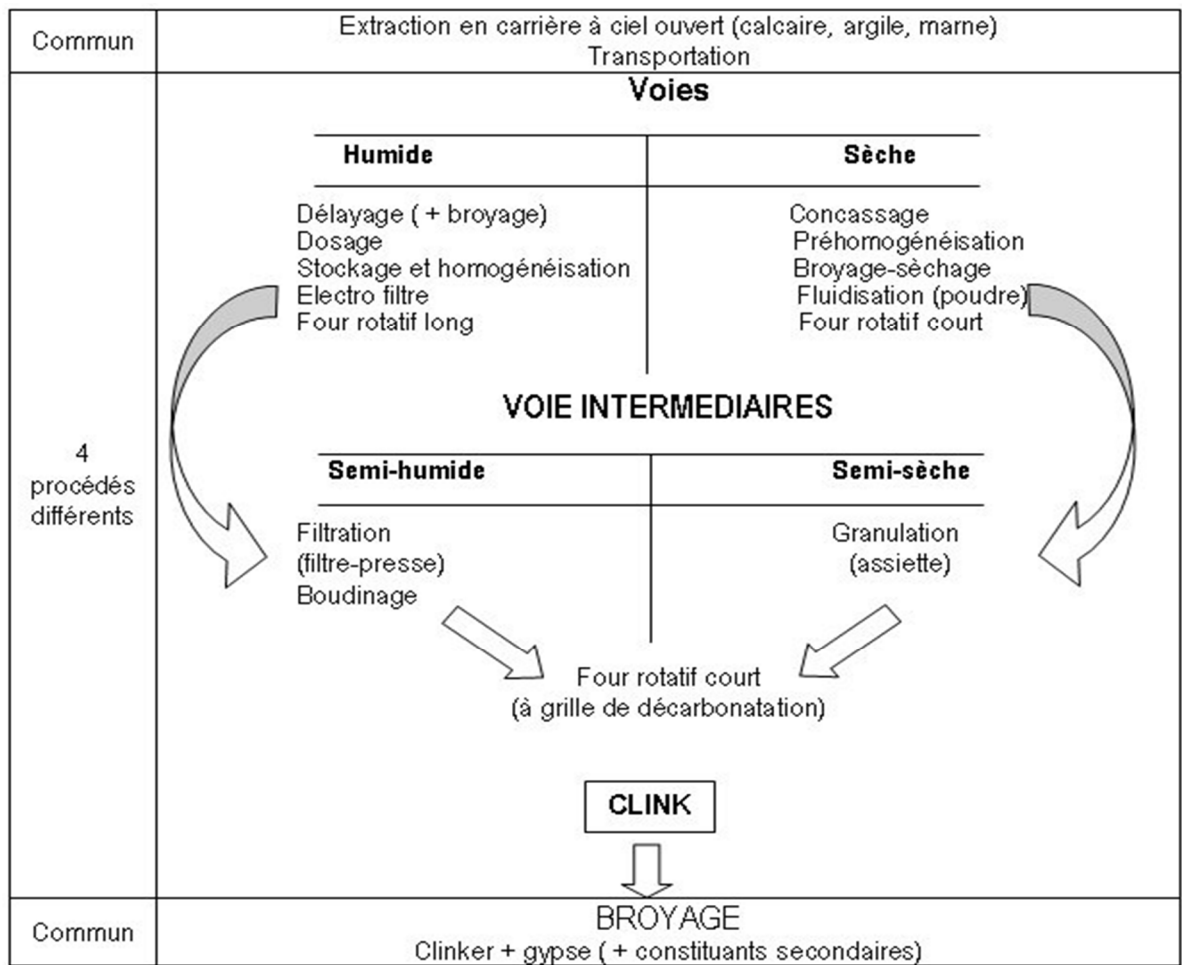
- le laitier de hauts fourneaux (résidus de la sidérurgie).
- les cendres volantes de centrales électriques .
- les fillers calcaires (granulés).

- les pouzzolanes naturelles ou artificielles.



**Figure (I.3) :** Constituant de base du ciment

Tableau (I.2) : Fabrication du ciment



**I.2.2.3 Les différents ciments normalisés – Composition :**

Il existe 5 familles de produits (associables aux différentes classes de résistance) :

- Le CPA contenant au moins 97 % de clinker (et donc moins de 3 % de filler).
- Le CPJ contenant au moins 65 % de clinker (j pour ajout : laitier, cendre, pouzzolane, filler).
- Le CLC contenant de 25 à 60 % de clinker et de 20 à 45 % de cendres ou de laitier (Ciment au Laitier et aux Cendres).
- Le CHF contenant de 40 à 75 % de laitier.
- Le CLK contenant plus de 80 % de laitier

**I.2.2.4 Utilisation des ciments :**

Le CPJ 35 : (le ciment portland composite), peut être utilisé en maçonnerie, en béton courant (non armé ou armé), fondation, poutre de petite portée, poteau, mais il faut dire



qu'en fait son domaine d'emploi privilégié est les enduits, mortier et chape, ce n'est pas un ciment de structure.

Le CPJ 35 : peut être aussi utilisé pour les blocs préfabriqués en mortier ou en béton non armé.

Ex : agglomérés, hourdis (corps creux).

Le CPJ 35 : peut être utilisé pour la stabilisation des sols (grave ciment). Il peut être Également utilisé pour les travaux en grande masse peu sollicité en traction, ex : barrage.

Le CPA 45 : pour BA sollicité (poteau, poutre, dalle) ; c'est le ciment de structure courant :

- Béton armé.
- Béton précontraint.
- Dallage industriel.
- Béton routier.
- Ouvrage de génie civil.

Le CPA 55 R : BA très fortement sollicité (ossature porteuse) et avec prise rapide:

- BA avec décoffrage rapide.
- Éléments préfabriqués en BA (poutre, poutrelle, pré-dalle).
- Béton précontraint.

Les CHF et CLK sont surtout destinés aux fondations, aux travaux souterrains, milieux agressif, travaux en grande masse, travaux d'injection.

### **I.2.3 L'eau de gâchage :**

Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre, l'emploi d'eau de mer est interdit selon la norme [2].

Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière : trop d'eau dans le béton et le mortier entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.

Une eau de gâchage non adéquate va ralentir la prise, réduire la résistance mécanique, favoriser la corrosion des armatures.

Les impuretés, telles que les composés chimiques relativement réactifs ou les particules en suspension, indésirables du fait de leur quantité ou de leur qualité, vont influencer négativement sur les propriétés du béton et des armatures.

**I.2.4 Etude de la composition :**

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

**I.2.4.1 le béton frais :**

mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

**I.2.4.1.1 Caractéristiques principales du béton frais :**

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage.

L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité.

Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais.

Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité.

Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique.

**I.2.4.1.2 Affaissement au cône d'Abrams :**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône.

Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

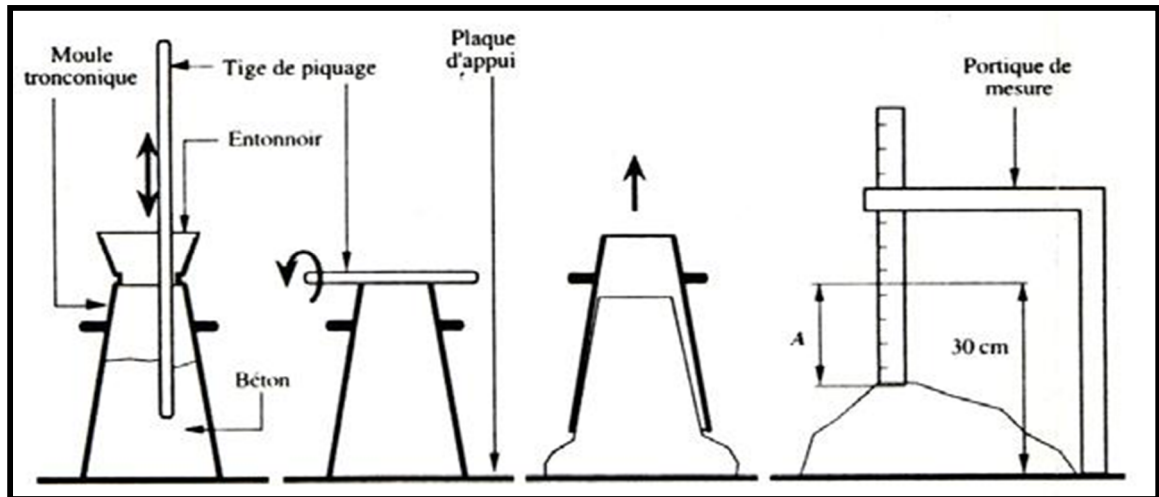


Figure (I.4) : Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Figure (I.5) : Mesure de l'affaissement

**I.2.4.1.3 La masse volumique du béton frais :**

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide.

Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié.

Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = \frac{m_2 - m_1}{v} \dots\dots\dots (I.1)$$

$D$  : est la masse volumique du béton frais (kg/m).

$m_1$  : est la masse du récipient (kg).

$m_2$  : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

$V$  : est le volume du récipient en mètre cube ( $m^3$ )

La masse volumique du béton est arrondie aux  $10 \text{ kg/m}^3$  les plus proches.



**Figure I.6 : Béton frais**

#### **I.2.4.2 le béton durci :**

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

##### **I.2.4.2.1 Caractéristiques principales du béton durcissant :**

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

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.

- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

#### a) Résistance à la compression :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée.

De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ .

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur.

Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cj} = \frac{F}{A_C} \dots\dots\dots (I.2)$$

Où :

$f_{cj}$ : Résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;

$F$  : charge maximale, exprimée en Newtons.

$A_C$  : L'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, Calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm<sup>2</sup>) près.

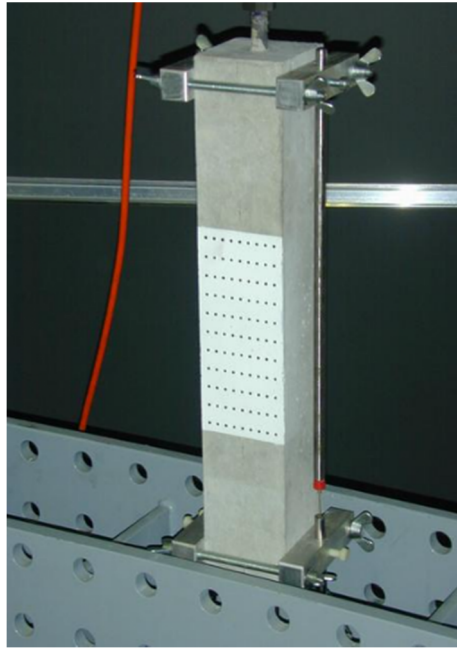
**b) Résistance à la traction :****• Essai de traction direct :**

L'essai de traction directe est l'essai le plus représentatif du phénomène de la traction mais, il est entre autre, très délicat à réaliser, L'application directe d'un effort de traction pure, en dehors de toute excentricité, est très difficile car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite, cette essai, satisfaisant sur le plan théorique, a deux défauts principaux :

Il est assez dispersé dans ces résultats, ceci en raison du sciage des extrémités qui crée un affaiblissement dans ces zones, les ruptures se produisent assez souvent dans la zone du collage.

En dépit du succès de l'emploi de fixations spéciales, il est difficile d'éviter des contraintes secondaires telles que celles induites par les mâchoires ou par des ancrages noyés. La rupture se fait toujours au niveau des extrémités de l'éprouvette cylindrique [15].

Selon , ROSSI et al [14] ont procédé à des essais de traction directe sur des cylindres de béton de résistance à la compression comprise entre 35 et 128 MPa, ils ont confirmé la diminution de la résistance à la traction et de la variabilité des résultats avec l'augmentation de la dimension des éprouvettes, ROSSI et al expliquent cette différence de résistance par l'hétérogénéité des composants du béton, plus spécifiquement, l'effet de dimensions est fonction du diamètre maximal du granulat ainsi que la différence entre les granulats et le mortier qui les entoure en tenue de granulométrie, cette différence étant faible dans le cas du BHP du fait que les dimensions maximales des granulats sont faibles.



**Figure (I.7) :** Montre un tirant en béton armé soumis à des efforts de traction

- **Resistance à la traction par flexion: [2]**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs.

La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes, munies d'un banc de flexion à 4 points.

Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{p.a}{2}$$

Et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est :

$$F_{tj} = \frac{6M}{a^3} ,$$

la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$f_{tj} = \frac{1.8P}{a^2} \dots\dots\dots (I.3)$$

**c) Essai de flexion :**

Dans cet essai, un prisme de béton non armé, d'un élancement 4, reposant sur deux appuis, est soumis à un effort de flexion ; soit par application :

D'une charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre), la charge étant placée au centre du prisme, l'essai est dit « flexion à trois points », de deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges), les points d'applications de la charge étant placés aux tiers de la portée, l'essai est dit « flexion quatre points ».



**Figure (I.8) :** Essai de flexion quatre points

En France, la norme NF.P 18-407 de 1981[18] spécifie les dispositions à respecter. L'essai étant réalisé par application de deux charges symétriques aux tiers de la portée. Dans l'essai de résistance à la flexion sous chargement à mi-portée (flexion à trois points), la rupture se produit lorsque la capacité de résistance à la traction du béton dans la fibre inférieure, immédiatement sous le point de chargement, est atteinte, dans le cas des essais de chargement aux tiers (flexion quatre points), la contrainte maximale se développe tout au long de la fibre inférieure dans le tiers central du prisme en sorte que la fissure critique peut se produire dans n'importe quelle section de ce tiers central.



**d) Essai de traction par fendage (essai brésilien) :**

Lors de l'essai de fendage, le cylindre du béton est placé à l'horizontale entre les plateaux de la presse et la charge est augmentée jusqu'à la rupture par traction indirecte, qui apparaît sous forme de fendage le long du diamètre vertical du cylindre.

Si la charge est appliquée le long d'une génératrice, un élément sur le diamètre vertical du cylindre (figure I.9) est soumis à une contrainte de compression égale à :

$$\frac{2P}{\pi.L.D} \frac{D^2}{r.(D-r)} - 1 \dots\dots\dots (I.4)$$

*P* : Effort de compression appliqué.

*L* : Longueur du cylindre.

*D* : Diamètre du cylindre.

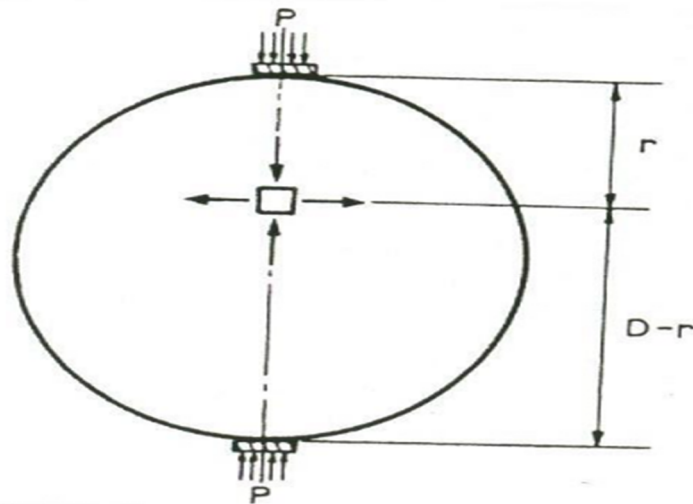
*r* et *D – r* : Distances de l'élément par rapport aux deux points d'application de la charge.

Cependant, une contrainte de compression élevée serait induite immédiatement sous la charge et tenterait de causer l'écrasement du béton localement.

En pratique pour y remédier, des lamelles fines d'un matériau de répartition comme du contre-plaqué sont insérées entre les cylindres et les plateaux de la presse, sans les lamelles, la résistance mesurée est habituellement plus faible de 8 % en moyenne.

Un des avantages de l'essai de fendage vient de ce que le même type d'éprouvette peut être utilisé à la fois pour les essais de compression et de traction.

L'essai de fendage est facile à effectuer et donne des résultats plus homogènes que les autres essais en traction, la résistance mesurée lors de l'essai de fendage semble assez voisine (5 à 12% près) de la résistance du béton déterminée par traction directe. [17]



**Figure(I.9) :** Essai de traction par fendage

### I.2.5 Conclusion :

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage.

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés :

- à l'état frais lorsqu'il est plastique et qu'on peut le travailler,
- à l'état durci quand sa forme ne peut plus être modifiée, ses caractéristiques continuent à évoluer.

Le béton est employé, en générale, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton et elle dépend de plusieurs paramètres à savoir:

- La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant);
- Les conditions de mise en œuvre de ses constituants;
- Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation.

**CHAPITRE II**

**LES DECHETS DE BRIQUES**

**II.1 Introduction :**

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement des déchets. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, des difficultés pour déposer à la décharge et de sous-produits inertes de l'industrie et, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement, ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication du béton.

Ce genre des déchets est une menace sérieuse pour l'environnement et hygiène des eaux souterraines de surcroît il a un aspect qui frappe désagréablement a l'œil, le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, et demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé

**II.2. Définition des déchets :**

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés, leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux), la variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs[3] à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet, cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel.

**II.2.1 Définition réglementaire :**

La définition du déchet est établie par la loi française de 1975[3].Le déchet y est défini comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. »

**II.2.2 Approche environnementale puis sanitaire :**

Le point de vue environnemental est le plus proche des problématiques de santé publique, de par le lien historique qui rapproche les nuisances environnementales des problèmes sanitaires, le déchet est représenté comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement, la diffusion des polluants dans le milieu s'accompagne souvent d'un risque sanitaire.

L'évaluation des nuisances sanitaires associées aux déchets et à leurs modes de gestion est un champ complexe de la santé environnementale qui, peut-être plus que tout autre champ, requiert une approche scientifique multidisciplinaire.

L'approche environnementale et sanitaire a fortement influencé la réglementation relative aux déchets, le premier objectif de gestion étant de prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets.

**II.2.3 Approche économique :**

Le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique.

C'est tout l'enjeu de la valorisation, dont la part croissante doit permettre d'exploiter la richesse contenue dans les déchets et faire baisser la part des quantités stockées, stockage qui ne doit en principe concerner que les déchets ultime.

**II.2.4 Approche fonctionnelle :**

Dans ce cadre, le déchet est considéré comme un flux de matière issu d'une « unité fonctionnelle » représentée par une activité ou un ensemble d'activités, cette unité fonctionnelle a pour but de fabriquer un produit (matériel ou immatériel) et, pour ce faire, fonctionne avec des flux d'entrée (matières premières, eau, énergie) et de sortie (le produit recherché et les sous-produits non désirés), Parmi ces flux de sortie, non assimilables directement par le milieu naturel, on retrouve les déchets proprement dits, mais également les éléments perturbés du milieu naturel affectés par l'activité, regroupés sous le nom d'effluents. [3]

### **II.3 Différents types des déchets :**

#### **II.3.1 Déchets ménagers et assimilés**

Déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages. [5]

#### **II.3.2 Déchets encombrants**

Toutes déchets provenant des ménages qui par leur poids, leur dimension ou leur volume ne peuvent être chargés dans les véhicules de collecte avec les déchets ménagers ordinaires et qui doivent faire l'objet d'une collecte spéciale. [6]

#### **II.3.3 Déchets spéciaux**

Toutes déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes. [4]

#### **II.3.4 Déchets spéciaux dangereux**

Tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement sont considérés comme déchets dangereux, les déchets de matériaux de construction savent :

- Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses ;
- Verres contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances ;
- Bois contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances : traités à la créosote ou aux cuivre-chrome-arsenic ou revêtu de peinture au plomb ;
- Mélange bitumeux contenant de goudron ;
- Goudron et produit goudronnés ;
- Déchets métallique contaminés par des substances dangereuses ;
- Câble contenant des hydrocarbures, du goudron ou autres substances dangereuses ;
- Terres, cailloux boue de dragage, ballast de voie contenant des substances dangereuses ;

- Matériaux d'isolation contenant de l'amiante ;
- Autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses ;
- Matériaux de construction à base (plâtre) contaminé par des substances dangereuse ;
- Déchets de construction ou de démolition (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses.

### **II.3.5 Déchets inertes**

Toutes déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas avec les autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner la pollution de l'environnement ou de nuire à la santé publique, sont considérés comme déchets inertes les déchets de matériaux de construction suivants :

- Béton, briques, tuiles et céramiques ;
- Verre ;
- Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de ; substances dangereuses et ne contenant que des déchets minéraux ;
- Matériaux de construction à base de gypse (ne contenant pas de substances dangereuses) : carreaux de plâtre, plaques de plâtre, enduit plâtre.

### **II.3.6 Déchets ultimes**

Tous résidus résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux...

### **II.3.7 Déchets biodégradables**

Tous déchets pouvant subir une décomposition biologique naturelle, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins ainsi que le papier et le carton. [6]

**II.4 Classification des déchets :**

La classification des déchets n'est pas une chose facile et universelle ,ils peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs recherchés et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées, leur classification s'avère souvent très pratique et parfois indispensable pour faciliter l'abord d'une question complexe relative à la gestion des déchets et notamment quand il s'agit d'optimiser le choix de leur mode de gestion que se soit à la source ou sur le circuit de leur production, « Les techniques de l'ingénieur »fait une classification très détaillée des déchets en six groupes comme suit selon leurs origines.[4]

**II.4.1 Biologique :**

Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matières fécales, cadavre.....)

**II.4.2 Chimique :**

Toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors si l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction  $A+B \rightarrow C+D$  ; D sera un sous -produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.

**II.4.3 Technologique :**

Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production, il y a inévitablement des rejets qu'il faut prendre en compte tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc. ....

**II.4.4 Economique :**

La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduit un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

**II.4.5 Ecologique :**

Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique, ...et ainsi de suite.

**II.4.6 Accidentelle :**

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.



#### **II.4.7 Selon l'origine**

- Déchets industriels ;
- Déchets urbains. Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets, la bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique.

#### **II.4.8 Selon leur mode de traitement**

Les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon: [4]

- Déchets inertes ;
- Déchets banales ;
- Déchets spéciaux ;
- Déchets dangereux.

#### **II.4.9 Selon leurs effets sur l'environnement : à ce titre on distingue**

- Déchets inertes ;
- Déchets fermentescibles ;
- Déchets toxiques.

### **II.5 Déchets utilisés en génie civil :**

#### **II.5.1 Laitiers de haut fourneau :**

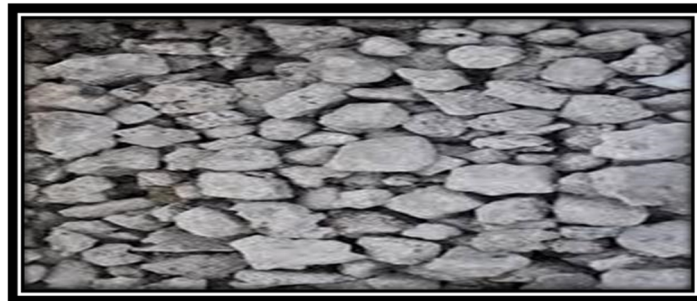
C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au mènèrai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité. Sont utilisés comme matériaux de construction depuis assez longtemps, les laitiers granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base, dans la fabrication des briques, les laitiers expansés sont utilisés pour la production des granulats légers et les laitiers refroidis à l'air, sont concassés et utilisés comme granulats pour les bétons. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable.



**Figure (II.1) :** Laitier de haut fourneau

### **II.5.2 Laitier d'acier :**

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute, il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique métastable ; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes, normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. [4]



**Figure (II.2) :** Laitier d'acier

### **II.5.3 Cendres volantes :**

Est un produit provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons, où elles remplacent en partie le ciment portland, à la production des granulats légers et d'autres matériaux de construction, ainsi qu'à l'exécution des remblais dont elles ont un effet favorable grâce à leur faible poids.

Notant que les cendres volantes sont sensibles au gel, du fait de leur composition granulométrique. [7]



**Figure (II.3) :** Cendre volante

#### **II.5.4 Mâchefer :**

C'est les résidus de la combustion de la houille, dans les centrales électriques anciennes, il contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés, il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton, étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé. [8]



**Figure (II.4) :** Mâchefer

#### **II.5.5 Boues rouges :**

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite, elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310) °celles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



**Figure (II.5) :** Boue rouge

### **II.5.6 Béton récupéré :**

Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton, Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton, l'épuisement des sources courantes de 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 l'usage du béton récupéré, les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées. [9]



**Figure (II.6) :** Béton récupéré

### **II.5.7 Verre de récupération :**

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année, en général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier, la résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé, la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion, en remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue, les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings, quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de métaux et dans l'industrie céramique, en agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol. [10]



**Figure (II.7) :** Déchet de verre

### **II.5.8 : Sciure de bois :**

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets, ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait, c'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois, le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance, on peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable, le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. [9]



**Figure (II.8) :** Sciure de bois

#### **II.5.9 Lin de textile :**

Le développement industriel et économique de ces dernières décennies a entraîné une forte production de déchets agricoles. Parmi ces déchets, on distingue ceux issus de l'industrie textile de lin fibre, notamment les poussières extraites par aspiration lors du teillage, ces déchets, peu ou pas valorisés, constituent une source potentielle de problèmes environnementaux majeurs, l'exploitation des déchets agricoles dans les matériaux de construction est une alternative très intéressante qui présente un double objectif. Elle permet d'une part, de répondre aux besoins en matériaux nouveaux, présentant des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques, d'autre part, de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage de ces déchets. [4]



**Figure (II.9) :** Lin de textile

#### **II.5.10 Marbre :**

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Le déchet du marbre a été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions. Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels.



**Figure (II.10) : Marbre**

#### **II.5.11 Céramique :**

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique polycristalline) ; par assimilation, on désigne sous le terme « céramique » les objets ainsi fabriqués.



**Figure(II.11) : Céramique**

#### **II.5.12 Carrelage :**

Le carrelage est un revêtement de sol et de mur formé de carreaux de céramique, terre cuite ou ciment, juxtaposés et collés, il est couramment utilisé pour la finition et la

décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur, le terme désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action. [4]



**Figure (II.12) :** Carrelage

#### **II.5.13 Brique concassée :**

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers, les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite » [11] Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton, Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [9]



**Figure(II.13) :** Brique concassé

#### **II.6 Déchets de brique :**

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquillons », « chamotte » ou « brique concassée », on appelle



« briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites), on appelle « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée, vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universel de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes, en Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est presque négligeable. [11]



**Figure (II.14) :** déchets de brique

### **II.6.1 Définition de brique :**

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction, l'argile est souvent mêlée de sable.

### **II.6.2 Types de brique :**

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée

On distingue:

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...) ;
- la brique de terre compressée.

### **II.6.3 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :**

Les briques cuites sont fabriquées avec tous types d'argile : les illitiques (couleur marron gris à rouge, après cuisson), les kaoliniques (très claires) et les bravais tiques

(couleur orange à rose), on trouve dans la pâte argileuse essentiellement des éléments métalliques, sous forme d'oxydes plus ou moins hydratés : dont le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (de 800 à 1000°) des fours à briques : il s'agit de la silice (SiO<sub>2</sub>), et de l'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

- les éléments dits "réfractaires"

- les éléments "colorants" dont la proportion détermine la couleur basique de la brique (le degré de cuisson étant l'autre facteur déterminant de cette couleur), ce sont :

- l'oxyde de fer ;
- l'oxyde de titane ;
- l'oxyde de manganèse.

- les "fondants", de deux types :

- les oxydes alcalins : oxydes de sodium et de potassium,
- les oxydes alcalino-terreux : chaux et magnésie. [13]

#### **II.6.4 Mode de fabrication de brique :**

La production de la brique est un travail complexe qui, pour permettre une production en grande quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation ; c'est la raison qui, sans doute, explique qu'il a fallu attendre la naissance, au troisième millénaire avant J.-C, d'une société organisée, pour que l'on envisage de cuire des briques, alors que la céramique existait depuis l'époque néolithique, cinq stades se succèdent dans la fabrication de la brique : [13]

- l'extraction de la terre (argile ou limon)
- la préparation de la pâte
- le façonnage
- le séchage
- la cuisson.

#### **II.6.5 Valorisation des déchets de la brique :**

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchets de briques qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres , d'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un

matériau type maçonnerie, d' autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique, elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière.

#### **II.6.5.1 Réutilisation :**

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs, par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques.

#### **II.6.5.2 Recyclage :**

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle, il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse, La brique, peut être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour, d'autres applications dans le domaine de la construction.

#### **II.6.6 Propriétés des déchets de brique :**

Les briques sont utilisées pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante, et l'usage de briques comme déchet est d'intérêt particulier, bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton du déchet de brique, parmi les différentes propriétés, on peut citer :

- L'absorption déchet de brique est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. c'était nécessaire, par conséquent, il faut saturer les déchets de brique avant tout mélange ;
- La masse volumique apparente du béton de brique varie de 2000 à 2080 kg/cm<sup>3</sup> ;
- L'ouvrabilité peut être appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams ou par essai VeBe ;
- Il est nécessaire de procéder au maintien prolongé à l'état humide de tous les bétons de briques, pour empêcher le dessèchement des liants et la ségrégation de surface du béton ;

- L'utilisation du déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % ;
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée ;
- Le béton contenant des déchets de brique est plus perméable que le béton normal, si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton.

### II.6.7 Utilisations des bétons des déchets de brique :

Les déchets de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger:

- De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/ m<sup>3</sup>, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg /cm<sup>2</sup> , présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas ;
- Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg /m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg /cm<sup>2</sup>, une résistance à la traction de 5 à 10 kg /cm<sup>2</sup>, des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur ;
- Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de déchet de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée ;
- Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage ;
- Le béton de déchet de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité ;
- Les déchets de brique sont utilisés dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager, le béton à base de briques présente, particulièrement, une bonne résistance au feu les bétons classiques, confectionnés avec des ciments courants, en général, ne résistent pas à des températures supérieures à 300°C .

Les bétons réfracteurs sont des bétons confectionnés avec du ciment alumineux et qui sont non armés, capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques, et aux chocs thermiques répétés, les déchets de brique conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, carreaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours... .

A nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée en mélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation, par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative.

Des cas de déchet de brique gênant dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries :

- Plates formes en béton ;
- Chapes en mortier du ciment ;
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture ;
- Réfection de planchers anciens ;
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique ;
- Remblaiement des fouilles et de site, etc. [11]

#### **II.6.8 Avantages d'utilisation des déchets de briques :**

##### **a) Les avantages du point de vue environnement :**

- La terre absorbe et restitue l'humidité ;
- La terre régule la température par inertie thermique ;
- La terre est un très bon isolant phonique.

##### **b) Les Avantages écologiques :**

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation ;
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable ;

- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

### **II.8 conclusion :**

Le bon traitement et la bonne gestion des déchets permettent de limiter les impacts nuisibles sur les plans environnemental et sanitaire et d'offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de construction de génie civil.

La valorisation des déchets de brique, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil, les déchets de brique, peuvent être utilisés pour la fabrication du béton, par conséquent, pour être une solution de la réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

En général, les déchets de la brique produisent des bétons d'une résistance acceptable, et peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité, Cependant, afin de valoriser ce type de déchets, d'apporter des améliorations aux caractéristiques des granulats à base de ces déchets et de connaître les performances extrêmes des bétons à base de ces granulats, en essaye de confectionner un béton a base de déchets et un autre ordinaire et on a compare les résultants trouves dans le chapitre V suivant .

**CHAPITRE III**

**LES METHODES DE**

**FORMULATION DU BETON**

### III.1 Introduction :

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques ; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate, les paramètres sont en effet nombreux:

- les données du projet : caractéristiques mécaniques, dimensions de l'ouvrage, ferrailage, etc.
- les données du chantier : matériel de mise en œuvre, conditions climatiques, etc.
- les données liées aux propriétés du béton : maniabilité, compacité, durabilité, aspect, etc..., on mesure donc l'importance de l'étude de la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont élevées.

### III.2 Étude de la composition du béton :

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure, la composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires ,de nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées, on notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier, une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement une certaine résistance à la compression ;
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier ;
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important ;
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible, dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier , mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées ;
- minimum de vides internes déterminant une résistance élevée ;
- bonne étanchéité améliorant la durabilité ;



- résistance chimique ;
- résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect, la composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés.

### III.3 La composition du béton :

L'obtention des caractéristiques requises pour le béton passe impérativement par l'adoption et l'optimisation de sa formulation aux exigences appropriées à l'ouvrage et à son environnement, c'est la raison pour la quelle la démarche retenue comporte le plus souvent deux phases:

Approche d'une composition : soit de façon graphique à partir de méthodes telles que celle de Faury ou de Dreux, soit de façon expérimentale (par exemple à partir de la méthode LCPC de Baron et Lesage), il faut préciser que ces différentes méthodes sont basées sur la recherche d'une compacité maximale conformément aux théories de Caquot sur la composition granulaire des mélanges, que les connaissances actuelles sur le béton ont confirmées pour l'essentiel.

La deuxième phase : consiste à ajuster expérimentalement cette formulation en fonction des résultats obtenus par des essais effectués en laboratoire (essais d'étude) ou dans les conditions du chantier (épreuves de convenance).

#### III.3.1. Dosage en ciment :

Pour bien comprendre le caractère primordial du dosage en ciment, il faut rappeler que celui-ci remplit deux fonctions essentielles dans le béton.

- La fonction de liant : Elle est déterminante dans la résistance du béton, qui dépend de la nature du ciment, de sa propre résistance et de l'évolution de son durcissement.
- La fonction filler : Le ciment complète la courbe granulométrique du béton dans les éléments fins, il faut noter que le développement dans le temps des hydrates du ciment colmate progressivement les capillaires, contribue à diminuer la porosité d'ensemble du béton et améliore notablement sa durabilité, les abaques de Dreux, exposées au paragraphe suivant, reposent sur cette approche qui privilégie la «fonction liant», donc

la résistance ,dans cette démarche ,le ratio C/E(dosage en ciment sur dosage en eau)est calculé à partir de la formule:

$$Rb_{28} = G \cdot R_c \left( \frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$Rb_{28}$  : Résistance à la compression du béton à 28 jours,

$R_c$ : Résistance réelle du ciment;

$G$ : Coefficient compris entre 0,35 et 0,65.

### III.3.2 Le dosage en eau :

Est un facteur très important de la composition du béton ,on ressent bien l'influence qu'il a sur la porosité du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats), par exemple, avec un  $\frac{C}{E}$ , couramment utilisé, de 0.55, on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est une eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre, ce schéma est modifié par l'emploi croissant d'adjuvants contribuant à améliorer la plasticité sans nécessiter une présence d'eau en excès, nuisible aux caractéristiques finales du béton durci.

Une fois déterminée la dimension maximale des granulats compatible avec les exigences géométriques précédemment déterminées de l'ouvrage (espacement des armatures entre les quelles doit pouvoir passer le béton, épaisseur d'enrobage, forme de la pièce à mouler) ,la plupart du temps ,la composition d'un béton présente une courbe granulaire discontinue obtenue à partir de deux classes granulaires: un sable de type 0/5 et un gravillon 5/16;5/25 ou 5/40, par exemple ,on peut également utiliser deux classes de gravillons dans des compositions plus élaborées, lorsqu'on cherche à se rapprocher d'une granulométrie continue, pour répondre à des performances particulières, il existe des bétons spéciaux qui font appel à davantage de classes.

### III.3.3 Choix des granulats :

Deux facteurs sont longtemps été considérés comme ayant une influence sur les propriétés du béton:

- la proportion relative gravillons/sable traduite par le facteur  $\frac{G}{S}$  que les études récentes ont fait apparaître comme moins importante qu'on ne le pensait auparavant, dans la mesure où ce facteur reste inférieur à 2;
- la granulométrie du sable caractérisée, par exemple, par son module de finesse, le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2,2 et 2,8.

### III.4 Formulation du béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants du béton (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance), on a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

- Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).
- Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

#### III.4.1 Essai en laboratoire :

En plus de l'optimisation expérimentale de la formule qui ne couvre que le squelette granulaire et la pâte du ciment on a recours à un autre outil complémentaire qui va donner plusieurs informations sur le ressuage et la ségrégation, sur la simulation d'effets particuliers (mise en œuvre du béton, la durabilité, traitement thermique, la détermination de la maturité du béton, évaluation de la durabilité par des mesures telles que la perméabilité, la carbonatation, pénétration des ions(Cl), Alkali réaction, etc.) sur le rendement de la formule, et sur le bilan économique, pour cela on fait des essais en laboratoire pour affiner les différentes estimations.

#### III.4.2 Méthodes de formulation : [14]

Il existe plusieurs méthodes pour la composition du béton, elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférence pondéraux, mais le passage de l'une à l'autre peut toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en

vrac, on distingue en fonction de la granularité du mélange constituant le béton deux types de méthodes de composition du béton :

- à granularité continue : lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne sur le graphique granulométrique une courbe s'élevant d'une façon continue du plus petit grain de ciment au plus gros grain des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.
- à granularité discontinue : lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires.

#### III.4.2.1 Méthode de Bolomey :

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe granulométrique soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre

d, D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort, cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue.

#### III.4.2.2 Méthode d'Abrams :

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer, le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum, les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams et sont indiqués dans des valeurs tabulées en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulat.

**Tableau (III.1) :** Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions

Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup>	Dimension maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4.25	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

#### III.4.2.3 Méthode de Faury :

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen, la loi de granulation qui en découle est une loi fonction de  $\sqrt[5]{d}$ , la courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ( $< \frac{D}{2}$ ), des gros grains ( $> \frac{D}{2}$ ) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories. On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en  $\sqrt[5]{d}$ , l'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à  $\frac{D}{2}$ , et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense) Y, se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

A: valeur tabulée

B: varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou

D: est exprimé en dimension de passoire

R : est le rayon moyen du moule

#### III.4.2.4 Méthode de Valette :

R. Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires, cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue », la méthode de Valette proprement dite est quelque fois utilisée avec certaines variantes, dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire: un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25), on calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment, ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment, on ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier, on obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

#### III.4.2.5 Méthode Dreux-Gorisse :

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats(D), la méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton, plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport  $\frac{C}{E}$ , C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats.

**III.5 Conclusion :**

Parmi ces méthodes on a utilisé la formulation du béton par la méthode de Faury ; elle offre l'avantage d'être simple et pratique car elle permet d'optimiser l'ouvrabilité et de déterminer le dosage des granulats, le dosage en eau et le dosage en ciment et elle est basé sur des abaques qui permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment et en eau à prévoir en fonction du rapport  $\frac{E}{C}$  et de l'ouvrabilité désirée.

**CHAPITRE IV**  
**ESSAIS SUR LES BETONS**



**IV.1 Introduction :**

L'étude de formulation de béton dans le chapitre précédant a pour but de sélectionner les constituants du béton et de choisir leur proportion dans le but de répondre aux normes et les règlements de la réalisation.

La formulation du béton choisie permet donc de répondre à des critères de résistance (en compression et traction).

Pour cela, on a fabriqué des bétons à base des déchets de briques avec des quantités de 10%, 20 % et 30% du poids de sable, afin de déterminer leur comportement mécanique et les comparés avec un béton ordinaire.

**IV.2 Choix des matériaux utilisés et essais réalisés :**

Les propriétés d'usage des bétons à déchets de brique sont des sujets d'étude dans différents points du monde, et un certain nombre de travaux portant sur les caractéristiques physico-mécaniques de ces bétons ont été publiés.

Notons que pour obtenir un béton, il faut sélectionner de granulats résistants et une granularité permettant d'obtenir une compacité optimale du béton et une meilleure adhérence avec la pâte de ciment, le choix d'un ciment portland avec moins de  $C_3A$ , L'utilisation d'un rapport E/C.

### IV.2.1 Le ciment :

Les ciments utilisés ont été ramené de la cimenterie de LAFARGE, c'est un Ciment portland composé CPJ-CEMII/B 42,5



Figure (V.1) : Ciment CPJ CEMII/B

### IV.2.2 Les caractéristiques physiques :

#### a) Détermination de la masse volumique apparente (EN 197-1)[20]:

##### 1- Objectif d'essai :

Déterminer des caractéristiques physiques (masse volumique) de ciment.

##### 2- Principe de l'essai :

La masse volumique apparente est mesurée par un entonnoir porté par trépied et menu d'une passoire et d'un opercule mobiles, placé au-dessus d'un récipient calibré.

##### 3- Equipement nécessaire :

- Un entonnoir monté sur trépied.
- Un récipient calibré ( $V_{app} = 1$  litre).
- Une règle à araser.
- Une balance.

**4- Mode opératoire :**

- Peser le moule de mesure ou bien le récipient( $M_1$ ).
- Placer l'entonnoir au-dessus du centre du récipient calibré.
- Fermer l'opercule et verser une petite quantité du ciment dans la passoire.
- Ouvre l'opercule et faire descendre le ciment dans le récipient à l'aide de la spatule.
- Recommences jusqu'à ce qu'il ait débordement.
- Peser le contenu ( $M_2$ ).

Le calcul de la masse volumique apparente :

$$Mvapp = \frac{M2 - M1}{V app} \dots\dots\dots (IV.1)$$



**Figure (IV.2):** détermination de la masse volumique apparente

**b) Détermination de la masse volumique absolue(EN 197-1)[20] :**

**1-Objectif de l'essai :**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue de ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment.

**2-Principe de l'essai :**

On opère en comparant la masse ( $m_c$ ) d'un volume connu de ciment ( $v_c$ ) à la masse ( $m_l$ ) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique ( $\rho_l$ ) est connu. La masse volumique du ciment ( $\rho_c$ ) s'en déduit en écrivant :

$$P_c = \rho_t \left( \frac{m_c}{m_t} \right) \dots\dots\dots (IV.2)$$

### 3-Equipement nécessaire :

- Un volumétre ou (densitometre) le Chatelier.
- Un liquide inerte vis-à-vis du ciment (alcool à bruler, toluène ou du benzène, ou le pétrole).
- Une balance.
- Un entonnoir.
- Une tige métallique.
- Une spatule.

### 4-Mode opératoire :

- 1- Remplir le volumétre du toluène à l'aide de l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau du liquide parvienne entre les graduations 0 et 1 ; soit V1.
- 2- Peser le tout ; soit M1.
- 3- Introduire à l'aide de la spatule environ 64 g de ciment, en évitant de laisser le ciment se déposer sur les parois
- 4- Une fois la totalité du ciment introduite, boucher le volumétre et l'incliner à 45° par rapport au plan de travail et faire rouler le volumétre par un mouvement de va-et-vient pour chasser l'air.
- 5- Laisser reposer verticalement et noter le niveau volume ; soit V2.
- 6- Peser le tout ; soit M2.

En calcul la masse volumique absolue avec la relation suivant :

$$P_c = P_t \frac{m_c}{m_t} \dots\dots\dots (IV.3)$$



**Figure (IV.3) :** Détermination de la masse volumique absolue



**Figure (IV.4) :** Chatelier pour essais de la masse volumique absolue

#### **IV.2.3 Le déchet de brique :**

Les essais ont été réalisés avec le déchet de brique (Broyé) fabriqué par l'unité de brique de Tissemsilt (Sarl Djillali Bounaama).

**Préparation des fines recyclées :**

La préparation des classes granulaires a été effectuée à l'aide d'un concasseur, un Broyeur et un tamis (80 $\mu$ ). Le broyage été mené à laboratoire des travaux public l'ouest (LTPO).



**Figure (IV.5) :** Déchets de brique

**IV.2.3.1 Composition chimique :**

La composition chimique est résumée dans le tableau (IV.1)

**Tableau (IV.1) :** Composition chimique en (%) de brique utilisé

Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Brique	0.46	0.22	0.35	68.56	0.65	0.05	0.03	0.24

**IV.2.3.2 Déterminations des caractéristiques physiques :**

Le même mode opératoire à été utilisé pour la détermination de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue.



**Figure (IV.6) :** Détermination de masse volumique absolue de déchet de brique



**Figure (IV.7) :** Détermination de masse volumique apparente de déchet de brique

### **IV.3 Les granulats :**

#### **IV.3.1 Sable :**

Le sable qu'on a utilisé est un sable d'ELGEULTA (région de Tiaret).



Figure (V.8) : Sable d'El Guelta

#### IV.3.1.1 Les caractéristiques physiques :



Figure (IV.9) : Détermination la masse volumique absolue et apparente

#### IV.3.1.2 L'équivalent de sable :

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

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, l'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable des éléments plus grossiers.



Une procédure normalisée permet de déterminer le coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

- **Principe de l'essai :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier, le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

-hauteur  $h_1$  : sable propre + éléments fins

-hauteur  $h_2$ : sable propre seulement

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention

$$ES = 100 (h_2/h_1) \dots\dots\dots(IV.4)$$



**Figure (IV.10) :** Equivalent de sable

Les conditions opératoires ont une influence importante sur le résultat, il convient donc de suivre celles-ci scrupuleusement, il est préférable d'utiliser un échantillon humide, ce qui évite de perdre les éléments fins. L'essai devant être effectué sur 120 g de grains secs, après détermination de la teneur en eau du sol  $w_t$  on pèse un échantillon humide de masse égale à  $120(1 + w)$  grammes. La teneur en eau  $w$  est exprimée en % du poids d'eau par rapport au poids de l'échantillon sec et doit être compris entre 0 et 2%.

- **Produits utilisés :**

La solution lavante utilisée permet de séparer les éléments fins argileux et en provoque la floculation. Celle-ci est préparée à partir d'une solution concentrée.

- **Équipement utilisé :**

Ce matériel est décrit de manière très précise dans la norme. Les éléments principaux sont indiqués ci-dessous:

- 1- éprouvettes en verre ou en matière plastique avec deux traits repères, et leur bouchon .
- 2- entonnoir pour introduction du sable.
- 3- bonbonne de 5l pour la solution lavante avec son bouchon, le siphon et un tube souple de 1,5 m.
- 4- tube laveur métallique plongeant.
- 5- machine agitatrice.
- 6- réglet métallique pour la mesure des hauteurs de sable et floculat.
- 7- piston taré à masse coulissante de 1 kg pour la mesure d'Esp.

- **Conduite de l'essai :**

L'essai est effectué sur trois échantillons du matériau dont on veut mesurer l'équivalent de sable. Les trois échantillons passant au tamis de 2 mm et pesés la quantité étant préparés, on effectue les opérations dans l'ordre suivant :

- La solution lavante est placée dans une bonbonne de 5l située à 1 m au-dessus du fond des éprouvettes, le dispositif si phonique est amorcé et il est relié au tube laveur.
- On dispose de deux éprouvettes propres pour les deux échantillons étudiés et on prendra la moyenne des 3 résultats obtenus. L'ensemble de ces procédures, schématisé, est effectué selon le protocole suivant :
  - Emplir les éprouvettes avec la solution lavante jusqu'au trait inférieur.
  - La quantité de sable voulue est versée dans l'éprouvette en veillant à éliminer les bulles d'air, laissé reposer 10 min.
  - Boucher les éprouvettes et les agiter : mouvement rectiligne et horizontal de 20 cm d'amplitude, 90 allers et retours en 30 s (effectués de manière automatique par la machine).
  - Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube laveur , pour cela, rincer le bouchon au-dessus de l'éprouvette, faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les

doigts : on lave ainsi les parois intérieures de l'éprouvette, laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse du sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure ;

- Sortir le tube laveur (et fermer le robinet) lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20 min en évitant toute vibration.
- La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 15 s), car la hauteur du flocculat dépend fortement de celui-ci ;
- Mesurer  $h_1$  à l'aide d'un réglet.
- Descendre lentement le piston taré dans le liquide à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable.
- Mesurer  $h_2$ , ces opérations sont identiques pour les deux éprouvettes réalisées sur chaque échantillon. Les mesures  $h_1$  et  $h_2$  doivent être effectuées avec la précision du millimètre.



**Figure (IV.11) :** Machine d'agitation (mouvement rectiligne horizontal)



**Figure (IV.12) :** Essai d'équivalent de sable (juste après agitation)



**Figure (IV.13) :** Les éprouvettes pour l'essai de l'équivalent de sable (Es) (phase de repos (20 mn))

#### **IV.3.1.3 Analyse granulométrique :**

- **But de l'essai (EN 933-1) [21] :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas, le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

- **Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

- **Conduite de l'essai :**

Cet essai peut s'appliquer pour des granulats non souillés par une fraction argileuse significative. Il est alors impératif de prendre toutes les précautions nécessaires pour que les éléments fins, présents dans l'échantillon, ne soit pas perdus.

Pour les échantillons pollués par une fraction argileuse, il est nécessaire de procéder par voie humide. L'échantillon ainsi préparé est alors séché à  $(110 \pm 5)$  °C. Après refroidissement il est pesé jusqu'à masse constante (M 2), le tamisage à sec peut alors être réalisé.

- **Dimension de tamis utilisés :**

Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 20, 23, 26, 30, 32, 35, 38. Pour les matériaux plus grossiers, tous les tamis au-delà du module 38 seront utilisés.

- **Préparation de l'échantillon :**

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires:

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que :  $M = 0,2 D$  avec M masse de l'échantillon en Kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm.

- **Description de l'essai :**

On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$  la masse de ce refus, le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$  la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$  aux différents niveaux de la colonne de tamis, le tamisât présent sur le fond de la colonne du tamis est également pesé. La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne, la perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.



**Figure (IV.14) :** Colonne de tamis



Figure (IV.15) : Tamis pour essai d'analyse granulométrique

#### IV.3.2 Le gravier :

Les deux classe de graviers (3/8, 8/15 mm) qu'on a utilisé sont d'OUED LILLI (région de Tiaret).

- Les caractéristiques physiques :



Figure (IV.16) : Détermination de la masse volumique des graviers deux classes  
3/8 et 8/15

#### IV.4 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée est celle de robinet maintenue à la température de laboratoire ( $20^{\circ}\text{c} \pm 2^{\circ}\text{c}$ ).

**IV.5 Formulation du béton témoin :**

On entend ici par le béton témoin un béton proche de ceux qu'on emploie habituellement, les proportions du squelette granulaire du béton témoin seront les mêmes. Par contre, les formulations diffèrent au niveau du (sable, déchets de brique) la quantité de déchets de brique ajoutée est de 10, 20, 30 % du poids de sable dans le mélange du béton.

**Tableau (IV.2) :** Composition d'un m<sup>3</sup> de béton témoin (en kg)

Granulats concassés(Kg)		Sable(Kg)	Ciment(Kg)	Eau(L)
3/8 mm	8/15 mm	ELGEULTA	CPJ CEM II	Robinet
501	701	524	400	220

**Tableau (IV.3) :** Composition d'un m<sup>3</sup> du béton à déchets de brique(en kg)

Granulats concassés (Kg)		Sable(Kg)			Ciment(Kg)	Brique (Kg)			Eau (L)
3/8 mm	8/15 mm	GUELTA			CPJ CEM II	(10,20 ,30 %) de sable			Robinet
501	701	471,6	419,2	366,8	400	52,4	104,8	157,2	220

**IV.5.1 Fabrication des échantillons :**

Les bétons ont été confectionnés dans un malaxeur à axe vertical de capacité 50 litres permettant de couler une gâchée de 3 éprouvettes cylindriques.

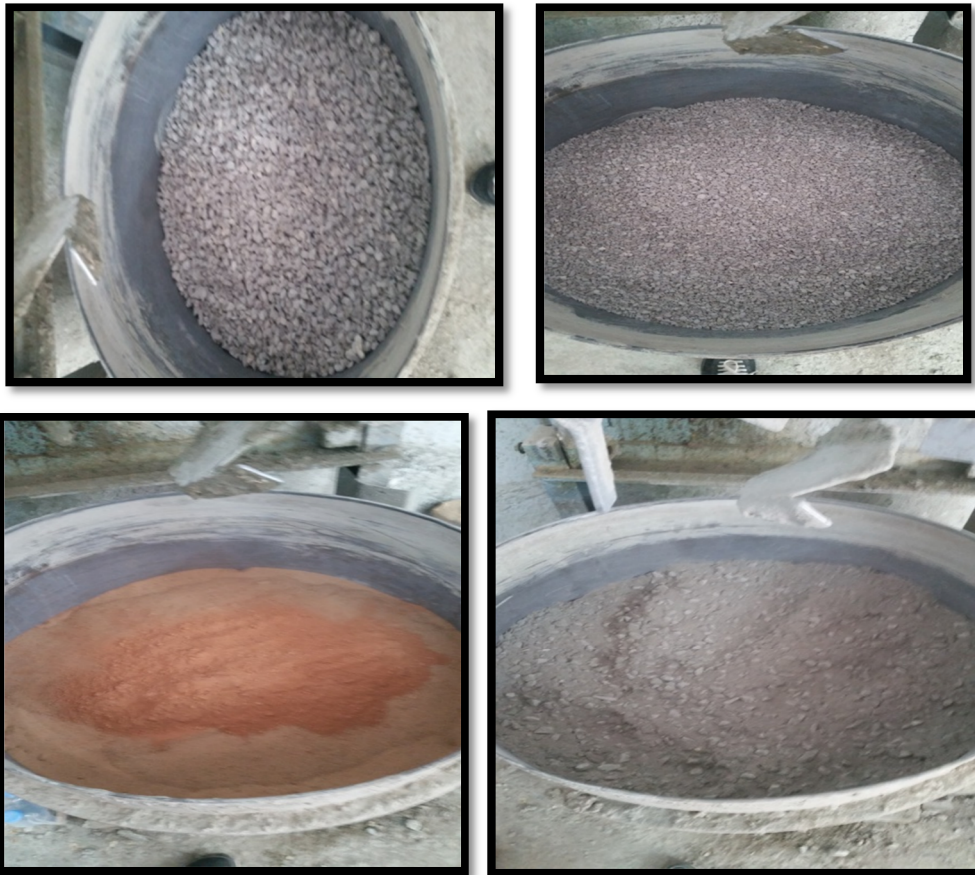
**Figure (IV.17) :** Malaxeur du béton



Le cycle de fabrication que nous avons suivi est défini comme suit :

-Introduction dans le malaxeur :

1. gravier 8-15 mm.
2. Gravier 3-8 mm.
3. Le sable.
4. Le ciment
5. déchets de brique.



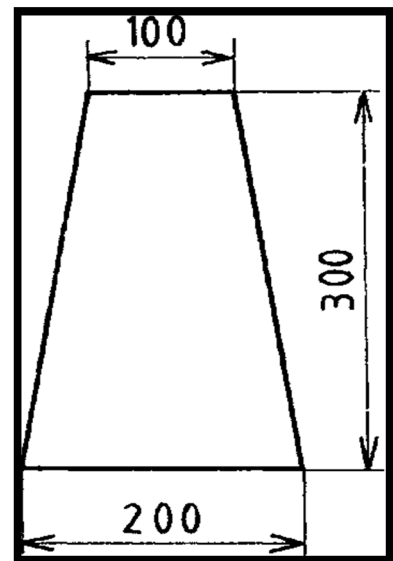
**Figure (IV.18)** Malaxage à sec des ingrédients du béton

- Mélange à sec des ingrédients pendant 90s.
- Introduction de l'eau de gâchage.
- Le tout étant malaxé pendant trois minutes.



**Figure (IV.19) :** Béton réalisé

A la fin du malaxage le béton réaliser est testé à l'état frais pour déterminer son affaissement à l'aide du cône d'Abrams c'est appareil dont le moule sans fond, de forme tronconique a les dimensions intérieures suivantes (en millimètres).



**Figure (IV.20) :** Dimensions intérieures du cône d'Abrams

Diamètre du cercle de la base supérieure :  $100 \pm 0,5$ .

Diamètre du cercle de la base inférieure :  $200 \pm 0,5$ .

Hauteur:  $300 \pm 1$ .

Il doit être muni :

- aux 2/3 de la hauteur à partir de la base, de deux poignées, à la partie inférieure, de dispositifs de fixation ou d'appuis pour les pieds de l'opérateur, permettant de l'assujettir sur la surface d'appui.
- tige de piquage, Tige en acier, diamètre 16 mm, longueur 600 mm, à extrémités hémisphériques.
- portique de mesure constitué par deux montants verticaux distants d'environ 300 mm et reliés rigidement à la partie supérieure, sur laquelle coulisse une règle de lecture susceptible d'être immobilisée par une vis de pression.



**Figure (IV.21) : Détermination de l'affaissement du béton**

A la fin du malaxage, le béton est mise en place dans les moules correspondant aux différentes éprouvettes et piqués par une tige d'acier de diamètre 16 mm.



**Figure (V.22) : Moulage des éprouvettes cylindriques**

**IV.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes (NF P 18-404) [22] :**

Le démoulage des éprouvettes doit être effectué après  $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$  dans un local maintenu à la température de  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ . La conservation se fait à une température de  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ , dans l'eau ou en chambre humide (humidité relative supérieure ou égale à 95 %).



**Figure (IV.23) :** Conservation des éprouvettes cylindriques

**IV.5.3 Surfaçage des éprouvettes :**

Conformément à la norme EN 12390-3 et P18-416, l'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. En effet, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne serait pas assuré de la planéité des surfaces au contact et de leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvettes. La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette.

Pour parvenir à ce résultat plusieurs méthodes peuvent être employées, on a utilisé le surfaçage à l'aide du disque néoprène (produite disponible au laboratoire).

**IV.5.3 Détermination de la résistance à la compression ( $f_{cj}$ ) :****• Objectif de l'essai:**

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton des éprouvettes cylindriques 16X32.

**• Principe de l'essai (EN 12390-3) [23] :**

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La contrainte de rupture à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

L'écrasement s'effectue aux âges suivant : 7, 21 et 28 jours.

**• Équipement nécessaire :**

- Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriée à l'éprouvette à tester.
- Un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes (surfaçage à l'aide du disque néoprène).

**• Préparation et positionnement des éprouvettes :**

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

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

Enlever tout appareillage, autre que les plateaux auxiliaires ou éléments d'espacement, entre l'éprouvette et les plateaux de la machine d'essai.

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

Centrer l'éprouvette sur le plateau inférieur avec une précision de  $\pm 1$  % du diamètre pour les éprouvettes cylindriques.

Si les plateaux auxiliaires sont utilisés, les aligner avec la face supérieure et la face inférieure de l'éprouvette.

La mise en charge : Sélectionner une vitesse constante de chargement dans la plage 0,2 MPa/s ( $N/mm^2 \cdot s$ ) à 1,0 MPa/s ( $N/mm^2 \cdot s$ ). Appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue à la vitesse constante sélectionnée  $\pm 10$  % jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



**Figure (IV.24) :** Chargements des éprouvettes cylindriques 16x32 cm  
(Essai de compression)



**Figure (IV.25) :** Rupture des éprouvettes cylindriques  
(Béton ordinaire)



**Figure (IV.26) :** Rupture des éprouvettes cylindriques

(Béton à base des déchets de brique)

#### **IV.5.4 Détermination de la résistance à la traction par fendage (NF P 18-407) [24] :**

- **Objectif de l'essai:**

Cet essai permet de déterminer une caractéristique du béton essayé , définit par l'essai de traction par fendage, dit « essai Brésilien », sur les éprouvettes cylindrique en béton durci.

- **Équipement nécessaire :**

La machine d'essais, de force appropriée, doit être conforme aux normes NF P 1 8-411 et NF P 1 8-413. Elle doit être contrôlée et étalonnée conformément à ces normes.

- **Conduite de l'essai :**

- **Mise en place et centrage de l'éprouvette :**

Placer l'éprouvette dans l'appareil de chargement en prenant comme faces de chargement ses faces de moulage et en plaçant son axe longitudinal dans le plan de traction par fendage de l'appareil à 1 mm près. A cet effet, l'emploi d'un gabarit de centrage est recommandé.

- **Mise en charge :**

Appliquer la charge d'une manière continue et sans chocs. La vitesse de chargement doit être constante pendant toute la durée de l'essai et égale à 0,05 MPa par seconde, avec une tolérance de  $\pm 0,01$  Mpa par seconde, ce qui correspond aux accroissements de force suivants, avec une tolérance de  $\pm 20\%$ .



**Figure (IV.27) :** Machine d'essai de traction par fendage





**Figure (IV.28) :** Rupture des éprouvettes cylindriques à 28 jours

(Béton ordinaire)



**Figure (IV.29) :** Rupture des éprouvettes cylindriques

(Béton à déchets de brique)

#### **IV.6 Conclusion :**

Dans cette étude, les différentes caractéristiques physiques, et mécaniques des composants ont été établies, les courbes granulométriques de tous les granulats sont réalisées, la méthode de formulation a été développée et le calcul de la proportion des constituants a été fait. Nous avons fixé tous paramètres comme le rapport eau – ciment, le rapport granulat– sable.

L'essai au cône d'Abrams nous a permis de déterminer la plasticité des bétons étudiés.

Les essais à la compression et à la traction par fendage sont décrits, ils seront utilisés pour obtenir les valeurs des résistances à la compression et à la traction de tous les mélanges.

**CHAPITRE V**

**RESULTATS ET**

**INTERPRETATION**

**V.1 Introduction :**

On présente dans ce chapitre les résultats de notre étude, l'objectif est de déterminer expérimentalement le comportement mécanique d'un béton à base de déchet de brique on le comparant avec un béton ordinaire témoin.

**V.2 Caractéristiques physiques :**

**V.2.1 Ciment :**

**Tableau (V.1) :** Résultats des caractéristiques physiques du ciment utilisé

Type de ciment	cimenteries	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	La consistance (%)	Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)
CEM II	LAVARGE	$\rho_s = 3,15$	$\rho_a = 1,23$	26.5±20	150±30	230±50

**V.2.2 Sable :**

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau (V.2) :** les caractéristiques physiques de sable

Sable	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Equivalent de sable ES <sub>p</sub> (%)	Equivalent de sable ES <sub>v</sub> (%)
GUELTA	2,68	1,45	76	66

ES=76 sont situés entre 70 et 80 % présentent un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses.

**V.2.2.1 Caractéristiques chimiques :**

Les résultats obtenus sur les caractéristiques chimiques sont récapituler dans le tableau suivants :

**Tableau (V.3) : les caractéristiques chimiques de sable**

<b>Granulats</b>	<b>M 1 (gr)</b>	<b>M 2 (gr)</b>	<b>q=M1-M2</b>	<b>Volume trouve en ml</b>	<b>La valeur de VB</b>
<b>Sable 0/2</b>	<b>300,1</b>	<b>291</b>	<b>9,1</b>	<b>9,0</b>	<b>0,9</b>

**V.2.2.2 Analyse granulométrique :**

**Tableau (V.4) : Analyse granulométrique du sable**

Tamis [mm]	Refus cumulés		Tamisâts (%)
	[g]	(%)	
4	01	00	100
2	04	01	99
1	07	07	93
0.500	36.2	18	82
0.400	90.1	23	77
0.315	183.3	37	63
0.200	387	77	23
0.100	467.4	95	05
0.800	495	99	01

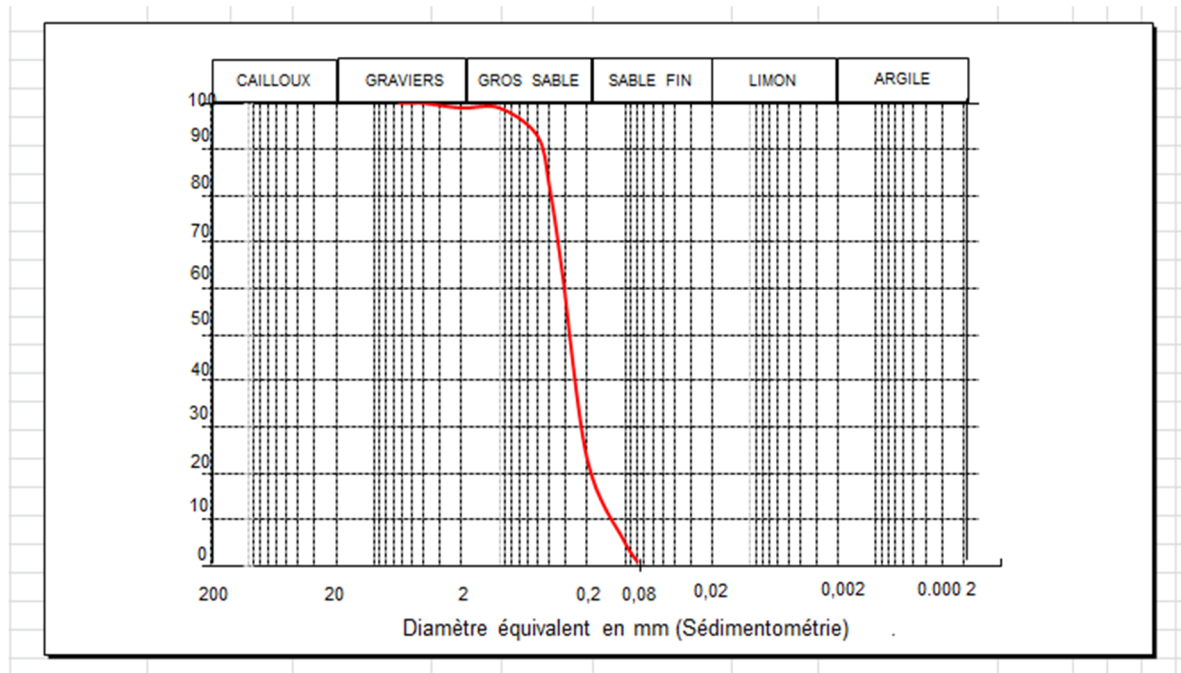


Figure (V.1) : la courbe granulométrique du sable

**V.2.2.3 Module de finesse(MF) :**

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540).

MF = (95+77+37+23+18+7)/100 = 2.57 (ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités)

$$M f = \frac{\sum R_c}{100} \dots \dots \dots (V.1)$$

**V.2.3 Le gravier :**

On à utiliser deux classe de gravier 3/8 et 8/15, ces classes donnent une courbe continue (mélange avec moins de pores).

**Tableau (V.5) : les caractéristiques physiques des graviers**

Caractéristiques	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Des Fines (%)	Essais de Los Angeles (%)
<b>Gravier 3/8</b>	2.683	1.457	0,93	25
<b>Gravier 8/15</b>	2.682	1.425	0,26	22

**V.2.3.1 Analyse granulométrique :**

**a) Gravier 3/8 :**

**Tableau (V.6) : Analyse granulométrique des granulats de fraction 3/8**

Tamis [mm]	Refus partiels [g]	Refus cumulés		Tamisats (%)
		[g]	(%)	
8	14	5	00	100
6.3	390	151.6	9.5	90
5	622	396.7	24.8	75
4	294	771.5	48	52
2	191	1560.8	97.5	2
1	88	1593.7	96.6	0

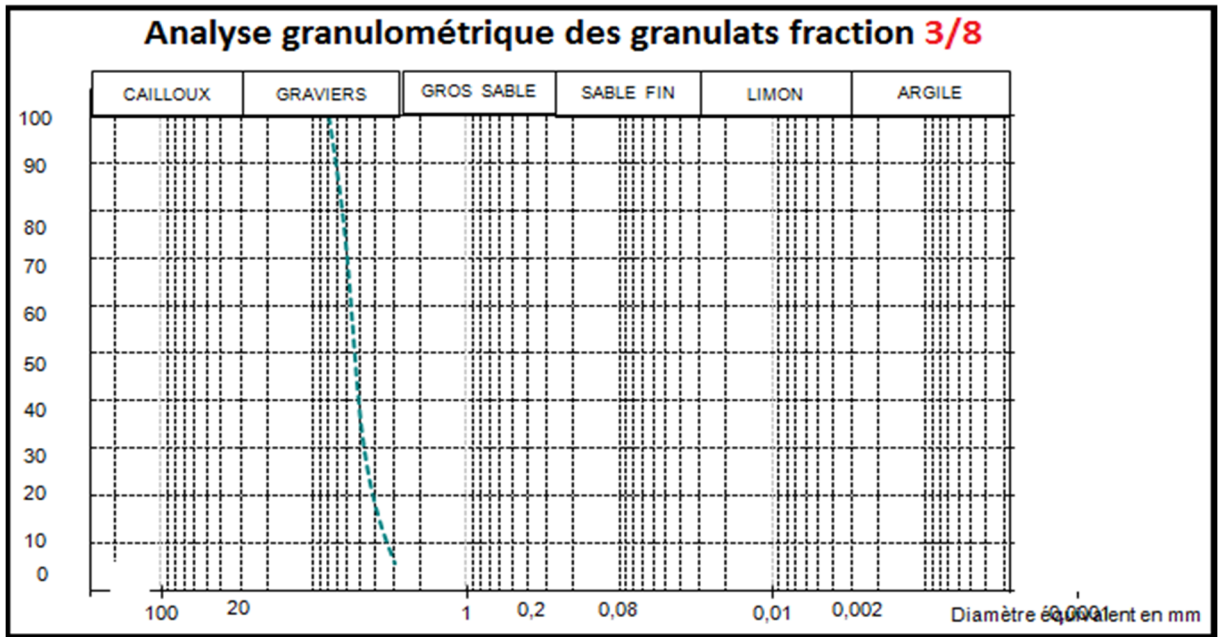


Figure (V.2) : la courbe granulométrique du gravier 3/8

a) Gravier 8/15 :

Tableau (V.7) : Analyse granulométrique des granulats de fraction 8/15

Tamis [mm]	Refus partiels [g]	Refus cumulés		Tamisât (%)
		[g]	(%)	
16	14	14	00	100
12.5	390	764	25.46	75
10	622	1779.8	60	40
8	294	2619.8	87	13
6.3	191	2971.8	99	01
5	88	2984.8	99.5	00



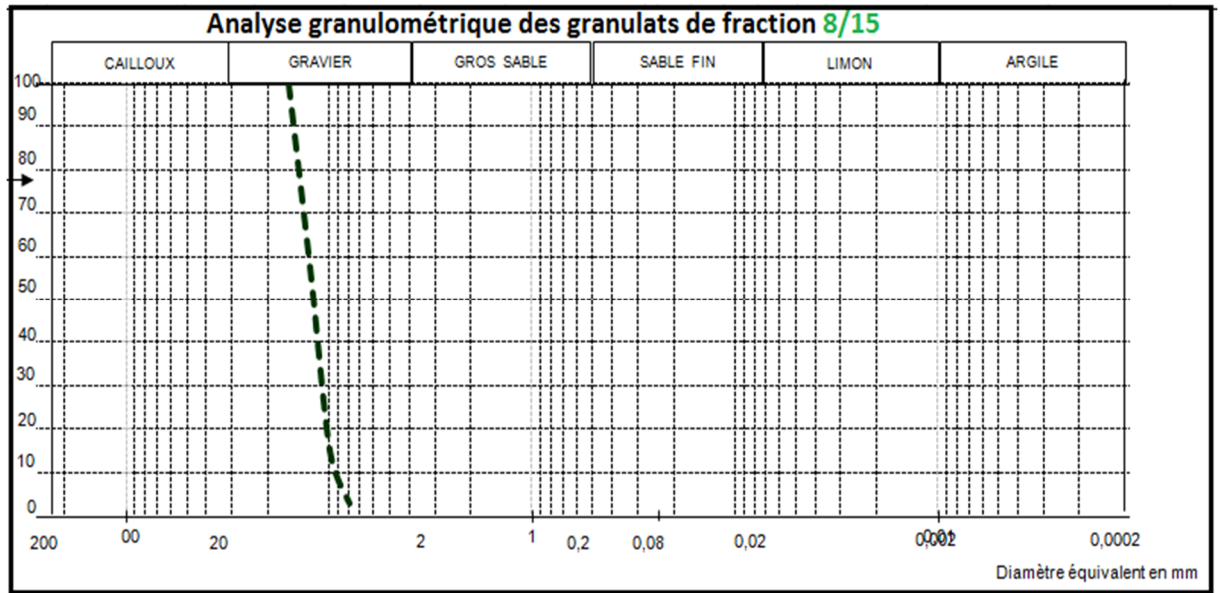


Figure (V.3) : la courbe granulométrique du gravier8/15

V.2.4 Déchets de briques :

Les déchets de brique utilisés donnant les caractéristiques récapitulés dans le tableau (V.8).

Tableau (V.8) : les caractéristiques physiques de Brique Broyée

Brique Broyée	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Briqueterie Djillali Bounaama (Tissemsilt)</b>	2,38	1,20

V. 3 La composition d'un béton à base de déchets de brique :

On va étudier un béton à base des déchets de brique avec la même composition de celle du béton ordinaire, en conservant tous les paramètres constants, la variation porte sur l'ajout de déchet de brique (par rapport au sable) avec les différentes quantités 10%,20% et 30%.

Quatre mélanges différents ont été préparés qui sont représenté dans la tableau suivant avec leur composition.

**V. 3.1 Formulation du béton :**

On a utilisé la méthode de Fury pour déterminer les dosages de chaque constituant pour les bétons ordinaire.

**a) Calcul de la dimension maximale ( $D_{max}$ ) :**

$$D_{max} = d1 + (d1 + d2) x/y \dots\dots\dots (V.2) \quad D_{max} = 14,29mm$$

$$D_{max}/2 = 7,14mm$$

**b) Calcul de I (indice de vide) :**

$$I = K\sqrt[5]{D_{max}} \dots\dots\dots (V.3) \quad 220L$$

**c) Calcul du volume matériaux sec :**

$$VMS = 1000 - I \dots\dots\dots(V.4) \quad 780L$$

**d) volume absolu du ciment :  $Pc = 400Kg/m^3$**

$$VAC = PC/DC \dots\dots\dots(V.5) \quad 129L$$

**e) Calcul en % du volume absolu de ciment**

$$Vc = VAC/VMS \dots\dots\dots(V.6) \quad 17\%$$

$$\frac{E}{c} = 0.55$$

$$\frac{G}{s} = 2.31$$

**Tableau (V.9) : Composition de 1m<sup>3</sup> du béton ordinaire**

Les matériaux	Dosage en Kg/m <sup>3</sup>
Ciment	400
Gravier (3/8)	501
Gravier (8/15)	710
Sable	524
Eau	220

### V. 3.2 Caractérisation des bétons utilisés :

La caractérisation des bétons utilisée a été réalisée sur des éprouvettes cylindriques de (16x32) cm testées en compression et la traction par fondation (Essais Brésilien), pour un béton d'âge : 7, 21 et 28 jours.

#### V.3.2.1 Essais sur béton frais :

##### a) L'ouvrabilité de béton :

Les résultats de l'affaissement au cône d'**Abrams** pour les deux de béton types sont représentés dans le tableau (V.10) suivant :

**Tableau (V.10) : L'ouvrabilité du béton en fonction du temps**

<b>Béton</b>	<b>L'ouvrabilité de béton (1) l'âge 7 j en (cm)</b>	<b>L'ouvrabilité de béton (1) l'âge 21 j en (cm)</b>	<b>L'ouvrabilité de béton (1) l'âge 28 j en (cm)</b>
<b>Béton ordinaire</b>	12,5	11	12
<b>BDB (10%)</b>	10	10,5	9,8
<b>BDB (20%)</b>	8	7	7,6
<b>BDB (30%)</b>	6.5	6	5

• **Commentaires :**

Les valeurs des affaissements obtenues pour les deux types de béton correspondent à un béton de consistance plastique. Celles –ci varient de 5 à 12,5 cm.

A partir des résultats du tableau (V.10) on peut remarquer que les mélanges de béton à base de granulats de brique broyé présentent un affaissement moins faible par rapport au béton ordinaire (BO), ci à dire le déchet de brique absorbe une quantité supérieure par rapport granulats ordinaire.

**V.3.2.2 Essais sur béton durci :**

**a) Evolution des résistances mécaniques en compression :**

Dans le tableau suivant (V.11), chaque valeur de résistance en compression représentées est une moyenne effectuée sur deux valeurs des bétons BO tableau (V.11), (B D B) 10%, tableau (V.12) , tableau (V.13) (B D B) 20%, tableau (V.14) (B D B) 30% pour l'âge 7 ,21 et 28jours.

**Tableau (V.11) : Résultats de la résistance à la compression pour le béton Ordinaire**

<b>Nombre d'Eprouvettes (02)</b>	<b>Date de collage</b>	<b>Date d'Essais</b>	<b>Age de Béton (J)</b>	<b>Poids en (Kg)</b>	<b>Charge Totale (KN)</b>	<b>Résistance (MPa)</b>
<b>1</b>	18/04/2017	25/04/2017	7	15.230	483.4	24.04
<b>2</b>	18/04/2017	25/04/2017	7	15.480	511.2	25.39
<b>1</b>	18/04/2017	09/05/2017	21	15.200	571.5	28.4
<b>2</b>	18/04/2017	09/05/2017	21	15.070	518.8	25.8
<b>1</b>	18/04/2017	16/05/2017	28	15.500	742.8	36.96
<b>2</b>	18/04/2017	16/05/2017	28	15.380	805.00	40.06

Tableau (V.12) : Résultats de la résistance à la compression de béton BDB (10 %)

Nombre d'Eprouvettes (02)	Date de collage	Date d'Essais	Age de Béton (J)	Poids en (Kg)	Charge Totale (KN)	Résistance (MPa)
1	25/04/2017	02/05/2017	7	14.510	339.1	16.87
2	25/04/2017	02/05/2017	7	14.515	373.4	18.60
1	23/04/2017	14/05/2017	21	15.360	812.3	40.62
2	23/04/2017	14/05/2017	21	15.240	827.9	41.12
1	19/04/2017	17/05/2017	28	15.320	909.5	45.26
2	19/04/2017	17/05/2017	28	15.340	818	40.62

Tableau (V.13) : Résultats de la résistance à la compression de béton BDB (20 %)

Nombre d'Eprouvettes (02)	Date de collage	Date d'Essais	Age de Béton (J)	Poids en (Kg)	Charge Totale (KN)	Résistance (Mpa)
1	25/04/2017	02/05/2017	7	15.150	435	21.65
2	25/04/2017	02/05/2017	7	14.740	397	19.72
1	23/04/2017	14/05/2017	21	15.040	869.3	43.02
2	23/04/2017	14/05/2017	21	15.100	714.1	35.51
1	19/04/2017	17/05/2017	28	14.900	884.0	44.00
2	19/04/2017	17/05/2017	28	15.410	963	47.87

**Tableau (V.14) : Résultats de la résistance à la compression de béton BDB (30 %)**

<b>Nombre d'Eprouvettes (02)</b>	<b>Date de collage</b>	<b>Date d'Essais</b>	<b>Age de Béton (J)</b>	<b>Poids en (Kg)</b>	<b>Charge Totale (KN)</b>	<b>Résistance (MPa)</b>
<b>1</b>	25/04/2017	02/05/2017	7	14.915	522	26.00
<b>2</b>	25/04/2017	02/05/2017	7	14.925	505	25.00
<b>1</b>	23/04/2017	14/05/2017	21	14.975	869.7	43.07
<b>2</b>	23/04/2017	14/05/2017	21	15.050	875.6	43.53
<b>1</b>	19/04/2017	17/05/2017	28	15.020	976.7	48.59
<b>2</b>	19/04/2017	17/05/2017	28	14.985	952.6	47.40

**Tableau (V.15) : Résistances à la compression des différentes compositions de béton**

<b>Béton</b>	<b>(B 1) à l'âge 7 jours en (MPa)</b>	<b>(B 1) à l'âge 21 jours en (MPa)</b>	<b>(B 1) à l'âge 28 jours en (MPa)</b>
<b>B O</b>	<b>24.715</b>	<b>27.1</b>	<b>38.51</b>
<b>(B D B) 10%</b>	<b>18.00</b>	<b>39.26</b>	<b>43.00</b>
<b>(B D B) 20%</b>	<b>20.7</b>	<b>40.87</b>	<b>46.00</b>
<b>(B D B) 30%</b>	<b>25.5</b>	<b>43.3</b>	<b>48.00</b>

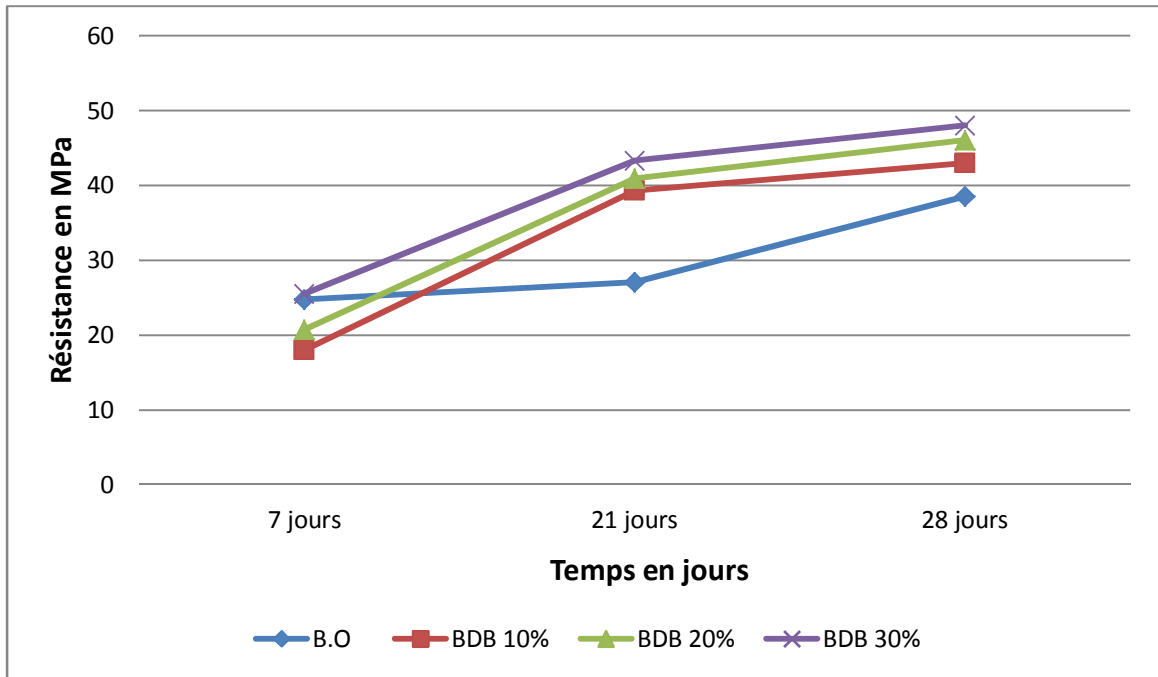


Figure (V.4) : Développement de la résistance à la compression des différents bétons en fonction du temps

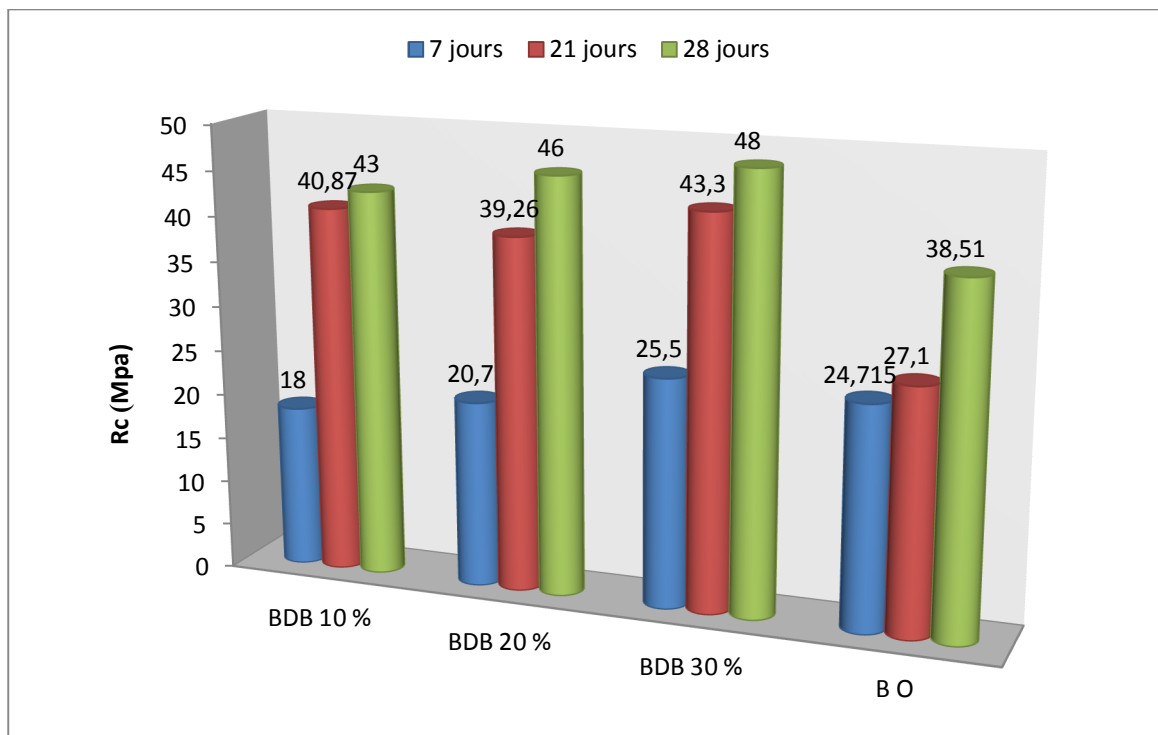


Figure (V.5) : Résistances à la compression des différentes compositions de béton

• **Commentaire :**

La figure (V.1) montre le développement des résistances en compression de béton en fonction du temps respectivement à 7, 21 et 28 jours.

On note que la résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que le taux de variation ne soit pas similaire pour les différents mélanges de béton.

On remarque aussi que les mélanges [(BDB)10,20,30%] développent des résistances en fonction de temps mais restent toujours supérieurs à celle du béton ordinaire.

### V.3.2.3 Evolution des résistances mécaniques en Traction par fendage :

Dans les tableaux suivants (V.19), chaque valeur de résistance en traction par fendage représentée est une moyenne effectuée sur deux valeurs des bétons BO tableau (V.15), BDB 10% tableau (V.16), BDB 20% tableau (V.17), BDB 30% tableau (V.18), pour l'âge 7, 21 et 28 jours.

La charge qui provoque la rupture par fendage  $P$ ,  $d$  le diamètre du cylindre et de sa hauteur  $h$ , la résistance à la rupture par fendage est donnée par l'expression :

$$f_t = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot h} = \frac{0.637P}{d \cdot h} \dots\dots\dots (V.7)$$

Avec :

$f_t$  : Résistance à la traction par fendage en Méga Pascal (MPa).

$P$  : Charge en Newton (N).

$d$  : Diamètre en mm.

$h$  : Hauteur en mm.



Tableau (V.16) : Résultats de la résistance à la traction par fendage pour BO

Nombre d'Eprouvettes (02)	Date de collage	Date d'Essais	Age de Béton (J)	Poids en (Kg)	Charge Totale (KN)	Résistance (MPa)
1	18/04/2017	25/04/2017	7	15.410	185.5	09.22
2	18/04/2017	25/04/2017	7	15.370	200	9.95
1	18/04/2017	09/05/2017	21	15.600	205.9	10.26
2	18/04/2017	09/05/2017	21	15.480	202.2	10.03
1	18/04/2017	16/05/2017	28	15.490	236.30	11.75
2	18/04/2017	16/05/2017	28	15.250	235.00	11.69

Tableau (V.17) : Résultats de la résistance à la traction par fendage de béton

BDB (10 %)

Nombre d'Eprouvettes (02)	Date de collage	Date d'Essais	Age de Béton (J)	Poids en (Kg)	Charge Totale (KN)	Résistance (MPa)
1	25/04/2017	02/05/2017	7	14.670	136	6.76
2	25/04/2017	02/05/2017	7	14.770	130	6.46
1	23/04/2017	14/05/2017	21	15.390	182.2	9.1
2	23/04/2017	14/05/2017	21	15.370	213.1	10.61
1	19/04/2017	17/05/2017	28	15.320	235.1	11.70
2	19/04/2017	17/05/2017	28	15.340	218.8	10.86

**Tableau (V.18) : Résultats de la résistance à la traction par fendage de béton**

BDB (20 %)

<b>Nombre d'Eprouvettes (02)</b>	<b>Date de collage</b>	<b>Date d'Essais</b>	<b>Age de Béton (J)</b>	<b>Poids en (Kg)</b>	<b>Charge Totale (KN)</b>	<b>Résistance (MPa)</b>
1	25/04/2017	02/05/2017	7	15.020	159	7.91
2	25/04/2017	02/05/2017	7	14.880	155	7.71
1	23/04/2017	14/05/2017	21	15.130	208.3	10.32
2	23/04/2017	14/05/2017	21	15.130	221.8	11.02
1	19/04/2017	17/05/2017	28	15.640	233.4	11.60
2	19/04/2017	17/05/2017	28	15.330	232.2	11.53

**Tableau (V.19) : Résultats de la résistance à la traction par fendage de béton**

BDB (30 %)

<b>Nombre d'Eprouvettes (02)</b>	<b>Date de collage</b>	<b>Date d'Essais</b>	<b>Age de Béton (J)</b>	<b>Poids en (Kg)</b>	<b>Charge Totale (KN)</b>	<b>Résistance (MPa)</b>
1	25/04/2017	02/05/2017	7	14.775	171.2	8.51
2	25/04/2017	02/05/2017	7	14.670	157	7.81
1	23/04/2017	14/05/2017	21	14.960	230.4	11.42
2	23/04/2017	14/05/2017	21	15.120	236.9	11.79
1	19/04/2017	17/05/2017	28	15.130	285.0	14.18
2	19/04/2017	17/05/2017	28	15.100	241.2	12

Tableau (V.20) : Résistances à la traction par fendage des différentes compositions de béton

Béton	(B 1) à l'âge 7 jours en (MPa)	(B 1) à l'âge 21 jours en (MPa)	(B 1) à l'âge 28 jours en (MPa)
B.O	9.585	10.14	11.72
(B D B) 10%	6.61	9.855	11.28
(B D B) 20%	7.81	10.67	11.60
(B D B) 30%	8.16	11.60	13.09

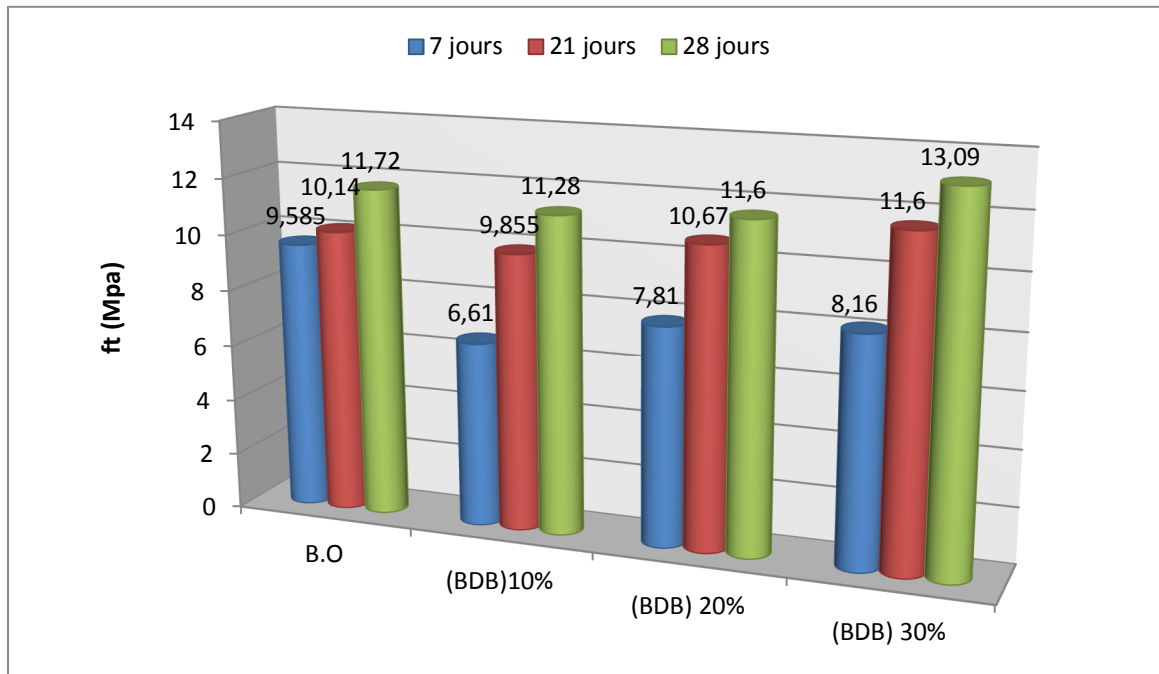
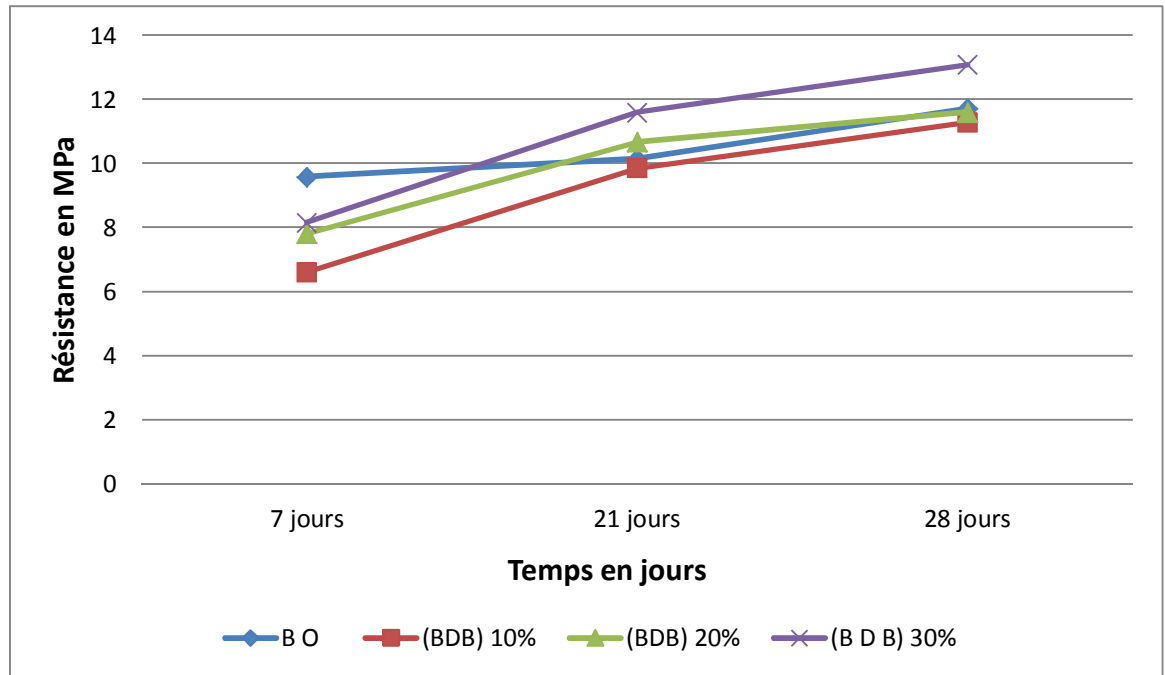


Figure (V.6) : Résistances de traction par fendage des différentes compositions de béton



**Figure (V.7):** Développement de la résistance à la traction de béton en fonction du temps

- **Commentaires :**

Les figures (V.3), (V.4) montrent le développement des résistances en traction par fendage de béton en fonction du temps respectivement à 7,21 et 28 jours.

La même chose que la résistance en compression il ya une augmentation de façon proportionnelle.

#### **V.4 Conclusion :**

L'objectif de notre étude c'est de valoriser les déchets de brique dans le béton ordinaire. D'après les résultats qu'on a obtenus a travers les essais réalisé (essais de compression et traction par fendage) sur les éprouvettes de béton à l'âge 7,21 et 28 jours on peut utiliser donc les déchets de brique pour la confection d'un béton.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITE SUR LE BETON**

## Conclusion Générale

Les bétons confectionnés avec des granulats recyclés ont fait l'objet de nombreuses études. Toute fois aucune règle (norme) générale n'a encore été dégagée pour quantifier l'influence de telle substitution, vis-à-vis des propriétés et notamment de sa résistance mécanique.

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton, la demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sablières et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages en ayant des répercussions directes sur les ressources naturelles.

Le travail présente dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale de développement durable, de l'amélioration de ces matériaux à base de granulats recyclés et par l'aspect fondamental qu'implique leur étude, les recherches se situent à la conserve des intérêts industriels et scientifiques.

L'objectif de notre étude c'est de valoriser les déchets de brique dans le béton ordinaire

Ainsi, notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les caractéristiques des ingrédients entrant dans la fabrication de ce dernier.

Un béton ordinaire témoin et trois bétons ayant des pourcentages différents de déchets de brique (10, 20 et 30 %) ont été formulés. Les granulats de substitution ont été caractérisés par leur finesse, leur masse volumique et leur distribution granulaire. Une procédure de fabrication et de conservation du béton a été établie, elles ont permis d'obtenir des résultats d'essais sur du béton ordinaire et à base de déchets. Une comparaison sur l'évolution de la résistance à la compression

simple et la traction par fendage des bétons en fonction de leur âge a été réalisée. Ces essais ont permis de mettre en évidence l'influence de la substitution du sable par le déchet sur le comportement du béton.

A la lumière des résultats obtenus lors des essais réalisés le comportement du matériau béton vis-à-vis de la résistance, d'un béton à base de déchet de brique, est amélioré avec l'utilisation d'un pourcentage bien définis dans le mélange. L'addition des quantités supérieures ou inférieures du déchet (30 %) conduit à des résistances moins faibles.

Les essais entrepris dans ce travail sur des éprouvettes cylindriques 16x32 cm (essais de compression et traction par fendage) à l'âge 7,21 et 28 jours en béton ordinaire et en béton à déchet de brique ont montré que le pourcentage (30 %) du déchet améliore le comportement du matériau béton vis-à-vis de la résistance d'une manière appréciable.

La présente étude semble montrer que l'augmentation de la résistance mécanique à la (compression, traction par fendage) dans le béton à base de déchet s'explique par l'absorption d'une quantité de l'eau par ce dernier dans les premières heures qui suivent le malaxage, cependant la même quantité d'eau (220 l) est employée dans le béton témoin.

Les déchets de briques et autres maçonneries en terre cuite broyées peuvent également être utilisés et remplacent une partie du sable dans la fabrication du béton ordinaire.

Enfin, de petits changements réguliers, réfléchis et effectifs conduisant à des améliorations engendreront des avantages à long terme et contribueront à la croissance de l'entreprise.

Parmi les thèmes portant sur l'amélioration de la qualité du béton, il est recommandé de développer et d'approfondir ce qui suit:

- L'estimation précise du dosage en eau ;
- L'amélioration du contrôle d'ouvrabilité ;
- L'utilisation d'un fluidifiant ;
- La substitution par le ciment.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITE SUR LE BETON**



**Références Bibliographie:**

- [1] wikipédia (l'encyclopédie libre) fabrication de ciment.
- [2] NF EN 1008, **(Juil. 2003)** Eau de gâchage pour bétons- Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton (indice de classement P 18-211).
- [3] Observation Régionale de la Santé Nord-Pas-de-Calais : observation inattendues et capricieuses de la santé : Les déchets et la santé. Disponible sur : [http://www.orsnpdc.org/observation/228815\\_1dechetsa.pdf](http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf). Année 2010.
- [4] Boussaoui.W. : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ». Master en génie civil Option : Structures et Matériaux .Constantine : Université Mentouri, 2010-2011.
- [5] Les déchets : les classer pour mieux les connaître, les réduire pour mieux les maîtriser, disponible sur : [http://www.eduquer-au-developpement-durable.com/wpcontent/uploads/2011/04/Fiche\\_enseignant\\_1\\_petite\\_histoire\\_dechets.pdf](http://www.eduquer-au-developpement-durable.com/wpcontent/uploads/2011/04/Fiche_enseignant_1_petite_histoire_dechets.pdf).
- [6] Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc. Chapitre IV : Milieux Humains Déchets. Disponible sur : <http://www.minenv.gov.ma/PDFs/REEM/Dechets.pdf> .p221-235.
- [7] Nicolescu L, « Généralités : Rapport Général Colloque International sur l'utilisation des sous-produits et Déchets dans le Génie Civil », Recueil des communications, Volume III, ENPC, Paris, 1978, p15.
- [8] MEKHERMECHE Abdessalam , « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes ». Magister en Génie Civil Option : Géo-Matériaux.Ouargla : université kasdi merbah, 2012.
- [9] Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, juin 1981.
- [10] N.de Louvigny, « Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée ».Thèse de doctorat, université Montpellier II, 2001.
- [11] BARKAT ABDEREZZAK. : « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ». Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil. Ouargla : Université KASDI MERBAH ,05/11/2006.
- [12] Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique\\_%28mat%C3%A9riau%29](http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29).

- [13] manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, 92p, juin 2006.
- [14] A.M.NEVILLE. « Propriétés des bétons ». Édition Eyrolles 2000.
- [15] H.KAWAKAMI, Effect of gravel size on strength of concrete with particular reference to sand concrete, Proc.Int.Conf.on Mechanical Behaviour of Materials, Kyoto ,1971-Vol.IV, Concrete and Cement Paste Glass and Ceramics, PP.96-103 (Society of Materials Science, Japan , Kyoto,1972.
- [16] M.CHEMROUK, « Slender concrete deep beams: behaviour, serviceability and strength », PhD thesis, Newcastle, 1988.
- [17] D.P.O'CLEARY and J.G.BYRNE, Testing concrete and mortar in tension , Engineering, PP.384-5 , London, 18 March 1960.
- [18] [http://www.necs.fr/illu\\_fissuration.pfp](http://www.necs.fr/illu_fissuration.pfp). « Fissuration en béton ».2006
- [19] (EN 933-1) Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.
- [20] F.H. Wittman. On the action of capillary pressure in fresh concrete .cement and concret research, vol n 1, 1976 page 49-56.
- [21] (EN 933-1) Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.
- [22] (NF P 18-404) Bétons - Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes.
- [23] NF EN 12390-3 Avril 2012, essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes.

# ANNEXE

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction d'ouvrage d'art (ponts, viaducs tunnels...)
- Préfabrication lourdes
- Béton à haute performance
- Applications techniques



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	+ X 1 	+  X7	+  X5 +  X4	+ 25 L

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

### Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

### Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 days (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

### Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

### Résistance à la compression

	Norme
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



### LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,  
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie  
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
[www.lafargealgerie.com](http://www.lafargealgerie.com)



ALGÉRIE

# متين Matine



**LAFARGE**  
Construire  
des villes meilleures™



## ***La Solution pour vos grands projets !***

**CPJ - CEM II/B 42.5 N**

**Matine** Ciment gris pour bétons de haute-performance  
Destiné à la construction des Ouvrages d'Art (ponts  
viaducs, tunnels...)

**Matine**  
CPJ - CEM II/B 42.5 N.

**Matine** est certifié, conforme à la norme Algérienne  
(NA 442) et Européenne (EN CE 197-1)

### **AVANTAGES PRODUIT**



- Une résistance initiale élevée pour réaliser des préfabriquations lourdes (poutres, voutes, ...)
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.