



**Ministère de l'enseignement supérieur  
.et de la recherche scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf - M'sila**

**Faculté de technologie**

**Département de GENIE CIVIL**

**MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER**

**FILIERE : Génie Civil SPECIALITE : Matériaux**

**Par :**

**BOUSLAH Mahmoud**

**THEME**

**ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU BETON A BASE  
D'AGREGATS RECYCLES, A L'ETAT FRAIS ET DURCI**

Soutenu devant le jury composé de Messieurs :

**SEDDIKI AHMED, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Président**

**MEDDAH Abdelaziz, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Examineur**

**BENCHEIKH Mohamed, Professeur, Université Med Boudiaf - M'sila, co-Encadreur**

**AMRIOU Aberrachid, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Encadreur**

**Promotion : 2021/2022**



## *Dédicaces*



*C'est avec un grand plaisir je dédie  
Ce modeste travaillé guise de respect et de  
Reconnaissance à Mes Très Chers Parents, témoignage et en  
Gratitude de leur dévouement et leur soutien  
Permanent durant toutes les années d'études, leur  
Sacrifices*

*Illimites, leur réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis  
pour mon éducation et mon instruction pour me voir réussir un  
jour.....que dieu les gardes*

*Et mes frères : Sidali, Walid et Djalal mes sœurs : Wassila, Chahinaz  
Et mon petit ange Narimane  
A tous ceux que je porte dans mon cœur*

**BOUSLAH MAHMOUD**



## *Remerciements*

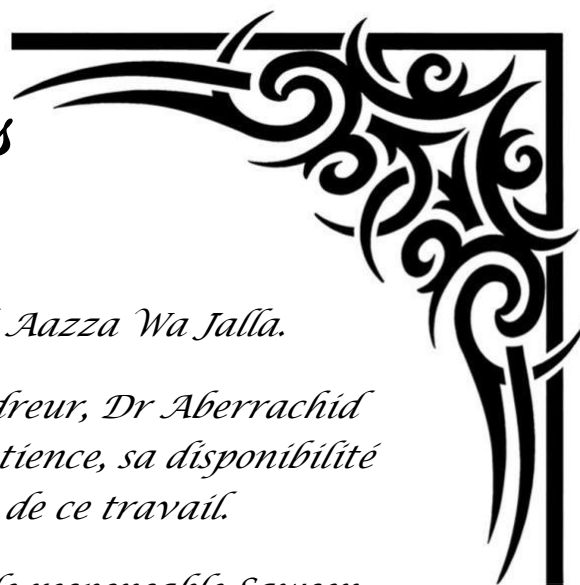
*Mon premier remerciement va à Allah Aazza Wa Jalla.*

*Je tenais à remercier vivement mon encadreur, Dr Aberrachid AMRIOU de l'université de M'sila, pour sa patience, sa disponibilité contribution générale à L'élaboration de ce travail.*

*Je souhaiterais également remercier tous le responsable Sawsen choukeir et les membres du laboratoire de recherche de Géo matériaux de l'université de M'sila. Ainsi que mes enseignants de la faculté de technologie pour tout le savoir qu'il nous a donné.*

*Je remercie aussi les membres de jury pour avoir fait l'honneur de juger et d'évaluer ce travail.*

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



## *Résumé*

Depuis plusieurs années, des recherches sont effectuées dans les universités comme dans le domaine privé afin d'étudier les caractéristiques des matériaux recyclés des débris routiers et des débris de construction provenant de la démolition comme agrégats dans la fabrication du béton. L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement. Donc il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets et par conséquent trouver une autre source des granulats.

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

L'étude expérimentale a porté sur les taux de substitution (0, 25, 50, 75, 100%) pour granulat recyclé. Les caractéristiques des agrégats recyclés ainsi que celles du béton frais et durci à base de ces matériaux sont analysées et comparées avec celles d'un béton témoin (100% granulats naturels).

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'il est possible de fabriquer un béton à base d'agrégats de brique recyclé avec des propriétés physiques et mécaniques comparables à celles du béton ordinaire avec un taux de remplacement des agrégats naturels par les agrégats recyclés et qu'on peut l'améliorer avec l'incorporation des ajouts minéraux (fumée de silice et adjuvants).

**Mots clés :** béton, granulat recyclé, déchets de brique, résistance à la compression, résistance à la flexion.

---

## ملخص:

لعدة سنوات، تم البحث في الجامعات والقطاع الخاص لدراسة سلوك المواد المعاد تدويرها لحطام الطريق ومخلفات البناء من هدم كما الركام في إنتاج الخرسانة، إعادة استعمال النفايات وتقييمها تعتبر بمثابة الحل المستقبلي لسد العجز بين الإنتاج والإستهلاك، وحماية البيئة. تسعى هذه الرسالة الى تسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الطوب كركام معاد تدويره للخرسانة. لذا فمن الضروري ايجاد وسيلة لاستعادة وإعادة استخدام النفايات وعليه نجد مصدرا آخر للركام.

شملت الدراسة التجريبية على معدل الإحلال [100,75,50,25,0%] لركام المعاد تدويره. ويتم تحليل خصائص الركام المعاد تدويره مع الخرسانة الطازجة والصلبة المصنوعة من هذه المواد ومقارنتها مع تلك التي هي من خرسانة التحكم [100% المجاميع الطبيعية]. تدعم النتائج استنتاج مفاده انه من الممكن ان يصنع القائم على الخرسانة هدم المجاميع الطوب مع الخصائص الفيزيائية والميكانيكية مماثلة لتلك التي من الخرسانة العادية مع معدل استبدال المجاميع الطبيعية ويمكن ان تحسن مع ادراج المضافات المعدنية [دخان السيلكا]. الكلمات المفتاحية: خرسانة، الركام المعاد تدويره، استرداد وإعادة تدوير مخلفات الهدم، قوة الضغط.

**Abstract:**

For several years, research is done in universities and the private sector to study the behavior of recycled materials for road debris and construction debris from the demolition as aggregates in concrete production, The depletion of natural deposits of aggregates and the difficulties of exploiting new quarries make it necessary to look for new sources of supply. Recycling and waste recovery are now considered as a solution for the future in order to meet the deficit between production and consumption and to protect the environment, So it is necessary to find a way for the recovery and reuse of waste and therefore find another source of aggregates.

The main purpose of our study is to technically demonstrate the ability to use aggregates (brick demolition waste) as substitution of natural aggregates in the concert.

The experimental study involved the substitution rate (0, 25, 50, 75, and 100%) for the aggregate. The characteristics of recycled aggregates and those of fresh and hardened concrete made from these materials are analyzed and compared with those of a control concrete (100% natural aggregates).

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

**Keywords:** concert, recycled aggregates, recovery and recycling of demolition waste, compressive strength.

---

# Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale	

## Chapitre I : Etude bibliographique

### I. Revus générale sur le recyclage de déchets

I.1	Introduction	5
I.2	Origine de la production de déchets :	5
I.3	Définition :	5
I.4	Différents types de déchets :	6
I.4.1	Déchets ultimes (DU) :	6
I.4.2	Déchets ménagers et assimilés :	7
I.4.3	Déchets inertes (DI) :	7
I.4.4	Déchets dangereux (DD) :	8
I.4.4.1	Déchets industriels spéciaux (DIS) :	8
I.4.4.2	Déchets ménagers spéciaux (DMS) :	8
I.4.4.3	Déchets non dangereux des activités économiques :	8
I.4.5	Les déchets industriels banals (DIB) :	8
I.4.6	Les déchets médicaux et pharmaceutiques :	9
I.5	Recyclage des déchets :	9
I.5.1	Définition :	9
I.5.2	Les types d'élimination :	10
I.5.3	Intérêt du recyclage dans le génie civil :	10
I.5.4	Technique de recyclage :	11
I.5.4.1	Procédés du recyclage :	11
I.5.4.2	Etapas du recyclage :	11
I.6	Gestion des déchets :	12
I.6.1	Définition :	12
I.6.2	Principes de gestion des déchets :	12
I.6.3	Méthodes de gestion des déchets :	13
I.6.3.1	L'enfouissement :	13
I.6.3.2	L'incinération :	13
I.6.3.3	La décharge contrôlée :	14
I.6.3.4	Le compostage :	15
I.6.3.5	Le recyclage :	15
I.7	Différents déchets utilisés dans l'élaboration des bétons et des mortiers :	16
I.7.1	Les Laitiers sidérurgiques :	16
I.7.2	Laitier d'acier :	17
I.7.2.1	Bénéfices de l'utilisation des additions minérales :	17
I.7.2.2	Fumé de silice :	18
I.7.2.3	Effets de fumé de silice :	19
I.7.3	Cendres volantes :	19
I.7.4	Déchets de verre :	20

I.7.5	Pneus usagés : .....	21
I.7.6	Ciment durci : .....	22
I.7.7	Déchets de démolition : .....	23
I.7.8	Déchets de production de l'industrie du béton : .....	23
I.7.9	Déchets de briques : .....	24
I.7.10	Sables de fonderies : .....	25
I.7.11	Déchets plastiques : .....	26
I.7.12	Déchets de marbre : .....	27
I.7.13	Boues rouges : .....	28
<b>II. Généralités sur les agrégats recyclés</b>		
II.1	Introduction : .....	29
II.2	Construction et gestion des déchets de démolition : .....	29
II.2.1	États-Unis d'Amérique : [15] .....	29
II.3	Déchets en Algérie : .....	30
II.3.1	Naissance d'une véritable politique environnementale : .....	30
II.4	Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton : .....	30
II.5	Déchets de brique : .....	32
II.5.1	Définition de brique : .....	32
II.5.2	Types de brique : .....	33
a)	Selon Leur Utilisation : .....	33
b)	Selon leur forme : .....	33
II.5.3	Principaux constituants de la brique et ces caractéristiques chimiques : .....	34
II.5.4	Mode de fabrication de brique : .....	34
II.5.4.1	L'extraction : .....	34
II.5.4.2	Façonnage : .....	34
II.5.4.3	Séchage : .....	35
II.5.4.4	Cuisson : .....	35
II.5.5	Propriétés des bétons des déchets de brique : .....	36
II.5.6	Utilisations des bétons des déchets de brique : .....	37
II.5.7	Avantages et inconvénients d'utilisation des briques : .....	38
II.5.7.1	Avantage : .....	38
II.5.7.2	Inconvénients : .....	38
II.5.8	CONCLUSION : .....	38
<b>III. Propriétés des agrégats recyclés à l'Etat frais et à l'Etat durci :</b>		
III.1	Introduction : .....	39
III.2	Distribution granulométrique : .....	39
III.3	Masse volumique : .....	39
III.4	Absorption : .....	40
III.5	Résistance à l'abrasion : .....	41
III.6	Impact du remplacement du granulat naturel : .....	41
III.7	Propriétés du béton à l'état frais : .....	41
III.8	Propriétés du béton à l'état durci : .....	42
III.8.1	Zone de transition inter faciale : .....	42
III.8.2	Propriétés de transfert (perméabilité /porosité) : .....	44
III.8.3	Propriétés mécaniques : .....	44
III.8.3.1	Résistance à la compression : .....	44
III.8.3.2	Résistance à la traction par flexion et par fendage : .....	46
III.8.4	Essais non destructifs : .....	47
III.8.4.1	Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2) : .....	47
III.8.4.2	Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 125044) : .....	49
III.9	Produits ajoutés dans béton : .....	51
Conclusion	: .....	54

<b>Chapitre II : Matériaux et matériels d'essais</b>	
II.1	Introduction.....57
II.2	Matériaux utilisés :.....57
II.2.1	Le ciment : .....58
II.2.2	Les granulats (naturels et recyclés) :.....59
II.2.2.1	Le sable : .....59
II.2.3	L'analyse granulométrique : .....59
II.2.4	Masse volumique : .....63
II.2.4.1	a. La masse volumique apparente ( $\gamma$ ) :.....63
II.2.4.2	b. La masse volumique absolue ou spécifique ( $\rho$ ) : .....64
II.2.5	Absorption d'eau :.....64
II.2.6	Porosités :.....65
II.2.7	La Compacité :.....66
II.2.8	Indice des vides :.....66
II.2.9	Résistance à la fragmentation : .....66
II.3	Sable (sable concassé 0/5) : .....67
II.3.1	Composition granulométrique : .....67
II.3.2	Equivalent de sable : NF P 18-598 :.....68
II.3.3	Module de finesse : .....71
II.3.4	Masses volumiques apparentes : .....72
II.3.4.1	Principe de l'essai : .....72
II.3.4.2	Mode opératoire :.....72
II.3.5	Masses volumiques absolues : .....73
II.3.6	Porosités (NF P 18 554 et 18 555) : .....73
II.3.7	Compacité : .....74
II.3.8	Indice des vides :.....74
II.4	Sable de brique concassé : .....74
II.5	La formulation des bétons :.....76
II.5.1	L'objectif de la formulation de béton : .....76
II.5.2	Quelques Méthodes de composition des bétons : .....76
II.5.2.1	Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :.....77
II.6	Constituants ajoutés dans béton : .....86
II.6.1	Ajouts minéraux :.....86
II.6.1.1	Fumée de silice :.....86
II.6.2	L'adjuvant : .....87
II.6.2.1	Description : .....87
II.6.2.2	Propriétés : .....87
II.6.2.3	Dosage :.....88
II.6.2.4	Caractéristique : .....89
II.7	Etude de béton : .....89
II.7.1	Confection et cure des éprouvettes : .....89
II.7.2	L'exécution de malaxage : .....89
II.7.3	Malaxage du béton : .....89
II.7.4	Malaxeurs à béton : [NA EN 12390-2].....90
II.7.5	Programme des essais : .....90
II.7.5.1	Mesure de la consistance (Norme NF P 18 415) :.....90
II.7.5.2	Vibration : [NA EN 12390-2] .....91
II.7.6	Essais à l'état durci : .....92
II.7.6.1	Essais non destructifs :.....92
II.7.6.2	Essais destructifs : .....94
Conclusion :	.....97

### Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1	Introduction.....	99
III.2	Les résultats des essais effectués sur bétons :.....	99
III.2.1	Essais sur béton frais :.....	99
III.2.1.1	Affaissement : nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :.....	99
III.2.2	Essais sur bétons durcis : .....	100
III.2.2.1	La Résistance à la compression 28 jours : .....	100
III.2.2.2	La Résistance à la traction par flexion 28 jours : .....	102
III.2.3	Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression : .....	103
III.2.4	ESSAIS NON DESTRUCTIF : .....	105
III.2.4.1	Essais ultrasoniques : .....	105
III.2.4.2	Essai Sclérométrique :.....	107
III.3	Conclusion .....	109
	Conclusion générale.....	112
	Références bibliographiques	
	Annexes	

# Liste des Figures

## Chapitre I : Etude bibliographique

<i>Figure I.1– Déchets inertes.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.2– Compositions des déchets du bâtiment. ....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.3– Enfouissement des déchets.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I.4– Incinération en plein air et usine d’incinération. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figure I.5– Photo d'une décharge contrôlée. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figure I.6– Compostage de déchets organiques. ....</i>	<i>15</i>
<i>Figure I.7– Usine de recyclage des déchets. ....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I.8– Photo d'un laitier de haut fourneau. ....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I.9– Photo d'un laitier d’acier.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure I.10– Fumé de silice forme de poudre.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure I.11– Photo de la cendre volante.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure I.12– Déchets de verres. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figure I.13– Déchets de pneus usagés. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figure I.14– Ciment durci.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure I.15– Déchets de démolition. ....</i>	<i>23</i>
<i>Figure I.16– Industrie du béton.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure I.17– Briques en terre crue.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure I.18– Briques en terre cuite. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figure I.19– Sable de fonderies. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figure I.20– Déchet plastiques. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figure I.21– Déchets de marbres et déchets de marbre broyés.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure I.22– Boues rouges. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figure I.23– Formes des granulats recyclés.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure I.24– Schéma de fabrication des briques. ....</i>	<i>35</i>
<i>Figure I.25– Absorption d'un granulats recyclés en fonction du temps. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figure I.26– Zone de transition à l’interface granulats/pâte d'un béton conventionnel.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure I.27– Zone de transition à l’interface granulats/pâte d'un béton recyclé.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure I.28– Résistance en compression pour des bétons de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figure I.29– essai sclérométrique. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figure I.30– Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l’indice sclérométriques IS.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure I.31– Essai d’ultrason (ultrason de laboratoire de Géo-matériaux).....</i>	<i>51</i>
<b>Chapitre II : Matériaux et matériels d’essais</b>	
<i>Figure II.1– Ciment CEM I 42, 5 (GIKA). ....</i>	<i>58</i>
<i>Figure II.2– Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure II.3– Analyse granulométrique. (Tamiseuse de laboratoire Géo-matériaux).....</i>	<i>61</i>

<i>Figure II.4– Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure II.5– l’analyse granulométrique d’un sable 0/5. ....</i>	<i>68</i>
<i>Figure II.6– Essais d’équivalent de sable. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figure II.7– Essais d’équivalent de sable. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figure II.8– l’analyse granulométrique d’un brique concassé.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure II.9– Abaques permettant d’évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l’ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....</i>	<i>758</i>
<i>Figure II.10– courbe d’analyses granulométriques des granulats.....</i>	<i>582</i>
<i>Figure II.11– les lignes de partage.....</i>	<i>584</i>
<i>Figure II.12– Fumé de silice forme de poudre. ....</i>	<i>587</i>
<i>Figure II.13– Evolution découlement au cône de Marsh. ....</i>	<i>588</i>
<i>Figure II.14– Le superplastifiant (MEDAPLAST 30). ....</i>	<i>589</i>
<i>Figure II.15– Le malaxeur utilisé (malaxeur de laboratoire Géo-matériaux).....</i>	<i>91</i>
<i>Figure II.16– l’affaissement de cône d’Abrams d’un béton.....</i>	<i>92</i>
<i>Figure II.17– la table vibrante (vibrant de laboratoire de Géo-matériaux). ....</i>	<i>93</i>
<i>Figure II.18– Essai Sclérométrique (scléromètre de laboratoire de Géo-matériaux).....</i>	<i>94</i>
<i>Figure II.19– Essai d’ultrason (ultrason de laboratoire de Géo-matériaux). ....</i>	<i>95</i>
<i>Figure II.20– La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (la machine de laboratoire de Géo-matériaux). ....</i>	<i>96</i>
<i>Figure II.21– machine de traction par flexion. ....</i>	<i>97</i>

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

<i>Figure III.1– L’essai de la résistance à la compression.....</i>	<i>102</i>
<i>Figure III.2– Résistance à la compression à 28 jours.....</i>	<i>102</i>
<i>Figure III.3– Essai de traction par flexion.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure III.4– La Résistance à la flexion.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure III.5– Résistance à la compression à 28 jours.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure III.6– La Résistance à la flexion.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure III.7– auscultation dynamique (ultrason)... ..</i>	<i>108</i>
<i>Figure III.8– Résistance (MPa) par essai de scléromètre... ..</i>	<i>109</i>

# Liste des Tableaux

## *Chapitre I : Etude bibliographique*

<i>Tableau I.1 – Composition chimique des déchets de brique broyés. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau I.2 – Résistance en compression pour des bétons de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution.. ....</i>	<i>45</i>

## *Chapitre II : Matériaux et matériels d'essais*

<i>Tableau II.1 – Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.....</i>	<i>60</i>
<i>Tableau II.2 – L'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau II.3 – Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau II.4 – Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tableau II.5 – Coefficients d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau II.6 – La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau II.7 – Compacités des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.....</i>	<i>66</i>
<i>Tableau II.8 – Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.....</i>	<i>66</i>
<i>Tableau II.9 – Los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé.....</i>	<i>67</i>
<i>Tableau II.10 – L'analyse granulométrique d'un sable 0/5.....</i>	<i>67</i>
<i>Tableau II.11 – Equivalent du sable Concassée 0/5.....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau II.12 – Comparaison des résultats. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tableau II.13 – Masses volumiques apparentes de sable Concassée 0.5. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau II.14 – Masses volumiques absolues de sable Concassée 0.5. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau II.15 – Porosités (%) du sable. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau II.16 – Compacité C(%) du sable.....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau II.17 – Indice de vide des fractions sable Concassée 0.5. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau II.18 – L'analyse granulométrique d'un sable de brique concassé.....</i>	<i>75</i>
<i>Tableau II.19 – Valeurs de G coefficient granulaire. ....</i>	<i>79</i>
<i>Tableau II.20 – Valeurs du terme correcteur K.....</i>	<i>80</i>
<i>Tableau II.21 – Coefficients de compacité.....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau II.22 – Valeurs de la correction sur le dosage en eau.....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau II.23 – Valeurs du terme correcteur k. ....</i>	<i>83</i>
<i>Tableau II.24 – Valeurs du coefficient de compacité <math>\gamma</math>. ....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau II.25 – Caractéristiques physiques de la fumée de silice.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau II.26 – Evolution des résistances mécaniques à jeune âge et à long terme. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau II.27 – Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams</i>	<i>92</i>

## *Chapitre II : Résultats et discussions*

<i>Tableau III.1 – Affaissement.....</i>	<i>101</i>
--	------------

**Tableau III.2 – le rapport E/C et l’effet de l’ajout minéraux sur la résistance à la compression..... 105**

**Tableau III.3 – Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique).. .....107**

**Tableau III.4 – Résultat des contrôles non destructifs (scléromètre) d’un béton sur l’éprouvette cubique (15× 15 × 15) cm<sup>3</sup>..... 109**

---

# Nomenclature

<b>BO:</b>	Béton ordinaire
<b>RILEM:</b>	Réunion Internationale des laboratoires d'essais de matériaux
<b>Rc:</b>	Résistance à la compression
<b>Rt:</b>	Résistance à la traction
<b>Rf:</b>	Résistance à la flexion
<b>Ru:</b>	Résistance de l'ultrason
<b>T :</b>	le temps
<b>S :</b>	section de l'éprouvette
<b>I :</b>	l'indice scléromètre
<b>S :</b>	Sable
<b>SR :</b>	Sable Recyclé de Brique Concassée
<b>D<sub>max</sub> :</b>	Diamètre maximal du gros granulat
<b>C :</b>	Ciment
<b>E :</b>	Eau
<b>G :</b>	Gravier
<b>Rb :</b>	classe du béton
<b>E/C :</b>	rapport eau sur ciment
<b><math>\rho</math> :</b>	masse volumique apparente
<b><math>\gamma</math> :</b>	masse volumique absolue
<b>V :</b>	Volume
<b>MF :</b>	module de finesse
<b>e (%) :</b>	indice des vides
<b>C(%) :</b>	Compacité
<b>E<sub>sv</sub> :</b>	équivalent de sable visuel

- Esp*** : équivalent de sable par piston
- V*** : la vitesse d'ultrason
- $\rho$***  : Masse volumique (Kg/m<sup>3</sup>).
- $\sigma_t$***  : Contrainte de traction.
- F*** : la charge de rupture.
- LA*** : Coefficient Los Angeles.
- a*** : Dimension de Base du Moule et Éprouvette (en mm<sup>2</sup>)
- f<sub>c28</sub>*** : Résistance en Compression à 28 jours.

# **Introduction générale**

---

## **Introduction générale :**

Le développement durable apparaît comme une stratégie politique visant à être gagnant sur les trois terrains de l'économie, du social et de l'environnement.

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des travaux génie civil.

Le ciment, le béton et d'autres matériaux de construction sont essentiels au développement de nos sociétés, mais leurs procédés de fabrication ont d'importants impacts environnementaux. Des émissions de CO<sub>2</sub> se produisent pendant la production du clinker qui est un composant intermédiaire dans la fabrication du ciment. La production de ciment engendre une forte consommation de matières premières et d'énergie. Il est responsable d'environ 5% des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement.

Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets.

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons et mortiers présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

### **1. Objectif :**

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

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats fins recyclés sur les caractéristiques physico –mécaniques du béton.

## **2. Plan de travail :**

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

- Introduction générale consiste à donner un aperçu sur la problématique et l'objectif réel d cette étude.
- Une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les agrégats recyclés et leur utilisation à travers quelques pays et évidemment leur influence dans la fabrication de béton.
- Une étude expérimentale a été réalisée afin d'établir en premier lieu les caractéristiques des agrégats recyclés.
- Une analyse et une discussion des résultats obtenus et finalement une conclusion générale sur cette étude avec des recommandations qui porte sur les particularités des agrégats recyclés ainsi que les mesures à prendre en compte lors de l'utilisation de ces agrégats dans la fabrication du béton.

# **Chapitre I : Etude bibliographique**

---

# **Etude bibliographique**

## **I. Revus générale sur le recyclage de déchets**

### **I.1 Introduction**

Avant de valoriser un déchet, il faut apprendre son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et ses caractéristiques dans le temps. L'approche globale du déchet permettra d'en définir son évolution, à savoir quel type de valorisation choisir. Dans cette partie, nous décrivons l'emploi de la gestion des différents types de déchets et les primordiales techniques de traitement à travers le monde. La évolution d'industrialisation et de développement urbain effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient certainement prises en considération.

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

La production des déchets est assurée pour les raisonnements suivants :

- **Biologiques** : Les déchets d'origine biologique sont définit par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites.
- **Technologiques** : Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production.
- **Economiques** : La durabilité des objets et des machines des produits en un courant de vie limitée.
- **Ecologiques** : Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique.
- **Chimiques** : toute réponse chimique est régie par le principe de la conservation de la matière sera un sous –produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.
- **Accidentelles** : Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.

### **I.3 Définition :**

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés ,un déchet est défini comme " Tout déchet d'un évolution de production, de transformation, ou d'utilisation, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble

abandonné et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs" La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse. D'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [1]

La définition du déchet des points de vue économique et juridique comme suit :

- **Du point de vue économique** : un déchet est tout objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur. Pour s'en débarrasser, il paye un service ou s'en charge lui-même, 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..

- **Du point de vue juridique** : la définition du déchet permet de distinguer une conception subjective et une conception objective. Elle lui appartient aussi longtemps qu'elle demeure dans son espace privé. Cette propriété appartient à la municipalité lorsqu'elle est déposée sur la voie publique car, en effet, par cet acte, le détenteur manifeste clairement sa volonté de l'abandonner. Selon la conception objective, un déchet est tout objet dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de sa valeur économique. Une autre question vient immédiatement à l'esprit : « que fait-on des déchets? ». Car le problème se situe bien à ce niveau et se pose de façon d'autant plus aiguë que la quantité des déchets augmente continuellement.

Les pays à fort niveau de consommation ont été les premiers à se trouver confrontés au problème, car l'accumulation des déchets occasionnait des nuisances insupportables : pollutions diverses et problèmes de santé publique [2].

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

### **I.4.1 Déchets ultimes (DU) :**

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, 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 l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route.[2]

### **I.4.2 Déchets ménagers et assimilés :**

Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne : emballages, restes de repas, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtements, etc.[3]

### **I.4.3 Déchets inertes (DI) :**

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., ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.



*Figure I.1. Déchets inertes*

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de substances et ne contenant que des déchets minéraux. [4].



**Figure I.2 : Compositions des déchets du bâtiment.**

## **I.4.4 Déchets dangereux (DD) :**

### **I.4.4.1 Déchets industriels spéciaux (DIS) :**

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

### **I.4.4.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS) :**

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [5]

### **I.4.4.3 Déchets non dangereux des activités économiques :**

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, les déchets de construction et les déchets des services publics (école, administration, etc.). La loi considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers. [3]

## **I.4.5 Les déchets industriels banals (DIB) :**

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie,

la peinture, la chimie et la pétrochimie. Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux.
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène.
- Les métaux ferreux et non ferreux.
- Les revêtements muraux et de sol textiles.
- Le polystyrène expansé, le polyuréthane.
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation.
- Les peintures, vernis, colles, mastics. [5]

#### **I.4.6 Les déchets médicaux et pharmaceutiques :**

Tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires. [6]

### **I.5 Recyclage des déchets :**

#### **I.5.1 Définition :**

Le recyclage est une méthode de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui admet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays étendus.

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

- **Réduire**, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- **Réutiliser**, qui regroupe les méthodes admettant de donner produit usé un nouvel usage.
- **Recycler**, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine.

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

### **I.5.2 Les types d'élimination :**

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

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

### **I.5.3 Intérêt du recyclage dans le génie civil :**

Maintenant, en Algérie et dans plusieurs pays, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels originaires de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins.

Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières Choix aux autres sources.

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

- Une économie de la ressource naturelle.
- une réduction du transport des matériaux.
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants.
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge. [7]

## **I.5.4 Technique de recyclage :**

### **I.5.4.1 Procédés du recyclage :**

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

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine. Le recyclage dit « organique », après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [8]

### **I.5.4.2 Etapes du recyclage :**

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes : [8].

- **Étape 1 : Collecte de déchets :**

Les méthodes de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation.

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

Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. Les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe.

La suite de la collecte, les déchets, triés ou non, Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques.

- **Étape 2 : Transformation :**

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

- **Étape 3 : Commercialisation et conservation :**

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

## **I.6 Gestion des déchets :**

### **I.6.1 Définition :**

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets, afin de diminuer leurs effets sur la santé humaine ou l'environnement.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement.

La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité. [9]

### **I.6.2 Principes de gestion des déchets :**

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

- **La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :**

- ⇒ **Réduire.**

- ⇒ **Réutiliser.**

- ⇒ **Recycler.**

La hiérarchie des stratégies a plusieurs fois changée d'aspect ces dix dernières années, mais le concept sous-jacent est demeuré la pierre angulaire de la plupart des stratégies de gestion des déchets : utiliser au maximum les matériaux et générer le minimum de rebuts.

Certaines solutions "repensées" sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile : afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles. Donc, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile.

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, Parfois le principe de «prévention de la pollution» indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source. L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets.

### **I.6.3 Méthodes de gestion des déchets :**

La gestion des déchets consiste en la détermination du type de traitement à mettre à telle ou telle autre catégorie des déchets. Certes pour assurer une bonne gestion des déchets, il faut mettre des moyens sur le plan financier que matériel, C'est ainsi que nous allons examiner successivement les différents modes de gestion des déchets.

Ces procédés sont actuellement au nombre de cinq.

#### **I.6.3.1 L'enfouissement :**

L'enfouissement est une méthode d'évacuation des déchets organiques qui consiste à creuser une fosse profonde de 0,5 à 1m pour y verser des déchets. Ce procédé utilise comme produits désinfectants ou désodorisants le chlore, la chaux, le mazout, et l'essence. Cette méthode reste très appropriée dans des formations sanitaires.



*Figure I.3. Enfouissement des déchets.*

#### **I.6.3.2 L'incinération :**

C'est une méthode urbain d'élimination finale des déchets qui consiste à bruler au moyen d'un feu les déchets produits par les hôpitaux, Elle peut être considérée comme un procédé par l'excellence de traitement des immondices, c'est une méthode satisfaisante qui présente cependant quelques inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution,
- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée,
- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour sa construction.



*Figure I.4. Incinération en plein air et usine d'incinération.*

### **I.6.3.3 La décharge contrôlée :**

La décharge contrôlée est un dépotoir public prévu à l'avance pour l'évacuation des immondices ménagères. Elle a l'avantage d'offrir des éléments pour l'alimentation des jardins ou des plantations d'arbres. Ce procédé n'est pas conseillé pour le traitement des déchets hospitaliers.



*Figure I.5. Photo d'une décharge contrôlée.*

#### **I.6.3.4 Le compostage :**

Le compostage est un méthode de décomposition des matières organiques usée de manière à le récupérer sous une autre forme permettant une utilisation ultérieure comme engrais. Il nécessite la préparation suivantes : réception des ordures, triage des ordures, préparation des compostes, décomposition, présentation du produit fini.



*Figure I.6. Compostage de déchets organiques.*

#### **I.6.3.5 Le recyclage :**

Etant donné que tout ce qui est brûlé est irrémédiablement perdu en tant que matière première, c'est ainsi que le recyclage, qui a pour avantage de réduire la consommation en matière première pour la fabrication de nouveau bien, permet de minimiser l'impact en environnemental des déchets. Cette opération a pour objectif principal d'éviter un souillage des déchets recyclables par des déchets non recyclables. En effet, ceci pourrait les rendre impropres au recyclage. D'autre part, il permet d'orienter les différents déchets vers la bonne destination.



*Figure I.7. Usine de recyclage des déchets.*

## **I.7 Différents déchets utilisés dans l'élaboration des bétons et des mortiers :**

### **I.7.1 Les Laitiers sidérurgiques :**

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer. Il est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact. Le laitier refroidi à l'air est utilisé comme granulat pour le béton. La résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de granulats de laitier est plus résistant [10].

Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer les grains de sable. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger dont la masse volumique apparente est comprise entre 800 et 950 kg/ m<sup>3</sup>.



*Figure I.8. Photo d'un laitier de haut fourneau.*

## **I.7.2 Laitier d'acier :**

Ce laitier est réalisé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Ce produit est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique. Ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Encore, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus.



*Figure I.9. Photo d'un laitier d'acier.*

### **I.7.2.1 Bénéfices de l'utilisation des additions minérales :**

#### **I.7.2.1.1 Bénéfices techniques :**

- L'incorporation des grains fins améliore la maniabilité et minimise la demande en eau.
- Ils peuvent changer la nature et la texture des hydrates formés.
- Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.
- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

#### **I.7.2.1.2 Bénéfices économiques :**

- La plupart des ajouts minérales sont des sous-produits de différentes industries et leur.
- Coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation.
- Minimise le prix du ciment et du béton.
- Admet un gain appréciable en clinker selon le pourcentage ajouté.
- Diminuer la dépense d'énergie nécessaire pour le broyage.

#### **I.7.2.1.3 Bénéfices écologiques et environnementaux :**

- Réduction de l'émission du CO<sub>2</sub> par l'industrie cimentière.
- Elimination des sous-produits de la nature.

#### **I.7.2.2 Fumée de silice :**

Aujourd'hui, la fumée de silice est peut-être un matériau de choix pour les ingénieurs qui conçoivent des bétons aptes à résister à des règlements d'exposition agressive. Utilisée en qualité d'addition et de stabilisateur. Les micros silices sont un sous-produit de la préparation du silicium et du Ferro silicium.

Au cours de ce processus, on vaporise du sable siliceux à l'arc électrique et puis il est condensé sous forme de fumée de silice dont la taille des particules est comprise entre 0.05 et 0.5  $\mu\text{m}$ , ont une très grande surface spécifique.



*Figure I.10 : Fumé de silice forme de poudre.*

### **I.7.2.3 Effets de fumé de silice :**

La fumée de silice est l'ajout pouzzolanique le plus réactif. Contrairement aux cendres volantes. Elle se précipite sous forme de silicate de calcium hydraté C-S-H avec l'hydroxyde de calcium CH qui se forme lors de l'hydratation du ciment.

Dans le béton frais les fumées de silice induisent les résultats suivants :

- Faible tendance au ressuage, à la sédimentation.
- Meilleure cohésion interne, légèrement thixotrope.
- Bon pouvoir de rétention d'eau.
- Faibles pertes d'air pour le béton à air entraîné.
- Meilleure adhérence sur le support.
- Réduction du rebond et amélioration de la résistance du béton projeté.
- Augmentation du besoin en eau.
- ❖ Consistance plus ferme.
- ❖ Le béton frais devient plus.
- ❖ L'introduction de pores d'air artificiels est plus difficile.
- ❖ Risque accru de fissures liées au retrait précoce.
- ❖ Durée de la cure plus importante.

### **I.7.3 Cendres volantes :**

Les cendres volantes pourraient composer de très bons granulats légers. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles transmettent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

Les cendres volantes sont classifiées selon leurs contenus en CaO et du type du charbon brûlé.



*Figure I.11. Photo de la cendre volante.*

#### **I.7.4 Déchets de verre :**

Le verre est une matière solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion, Le verre est l'un des matériaux les plus utiles.

Le problème environnemental que posent les déchets non biodégradables tels que les bouteilles non réutilisables devient une préoccupation majeure au regard des quantités énormes produites dans les grandes villes. L'une des rares voies de recyclage de ces déchets est de les stocker dans les procédés de construction. Ainsi, le verre est un matériau riche en silice et en sodium.

Son utilisation dans une matrice cimentaire entraîne deux réactions à effet contraire : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère, et la réaction pouzzolanique qui est bénéfique.

Des millions de tonnes de verre sont recouvertes chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre. Les poudres sont usées dans les mortiers en substitution du sable mais aussi dans l'industrie du ciment comme fines.



*Figure I.12. Déchets de verres.*

### **I.7.5 Pneus usagés :**

Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limitée ainsi qu'une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due au retrait.

Ainsi, l'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un béton confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la microfissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration dû au retrait.

Ensuite, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier.

Les travaux déjà mettre au point ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie. [11]



*Figure I.13. Déchets de pneus usagés.*

### **I.7.6 Ciment durci :**

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise.

Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet.

Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc raisonnable d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production.



*Figure I.14. Ciment durci.*

### **I.7.7 Déchets de démolition :**

Le béton compose presque 75%, en poids de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie de rebuts de démolition est constituée de béton, les sinistres fournissent chaque année des millions de tonnes de débris de béton.

Actuellement, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Donc, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature :

- a) les bétons armés sans enduit ni plâtre.
- b) les matériaux composés de tuiles, de briques, de pierres de graves, etc.
- c) les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, plastique, bois etc.
- d) les mauvais matériaux avec une teneur en plâtre, bois, plastique.
- e) les autres matériaux n'entrant pas dans les classes précédentes.



*Figure I.15. Déchets de démolition.*

### **I.7.8 Déchets de production de l'industrie du béton :**

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- a) Les débris de béton générés tout au long des étapes de la production ; ils résultent du nettoyage des installations de préparation et du transport du béton frais ; il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non usées ou inutilisables.
- b) Les produits imparfaits, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme ; à ces produits imparfaits s'additionnent les produits ayant fait le concept d'essais de résistance à la rupture.



*Figure I.16. Industrie du béton.*

### **I.7.9 Déchets de briques :**

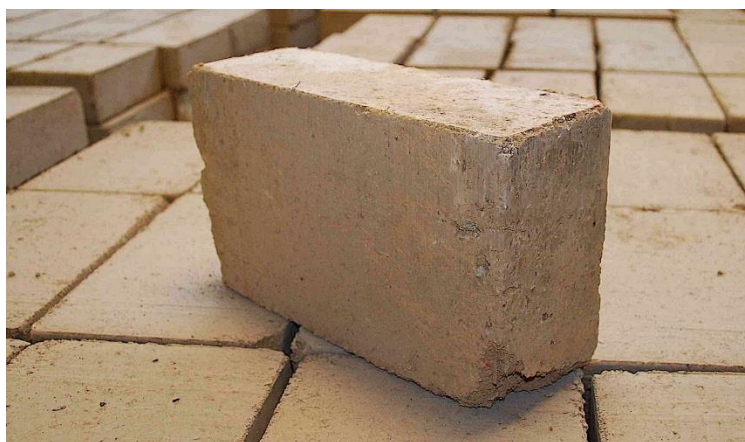
Les déchets de briques sont originaires de la fabrication des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction.

Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle. Il existe deux types de briques : briques en terre crue et briques en terre cuite.

#### **▪ Briques en terre crue :**

Les briques en terre crue (figure 1.17) composent un matériau de base pour la construction de murs et de voûtes. En principe, les briques sont, fabriquées à base de terre, de paille et d'eau.

Le mélange est coulé dans des moules en bois, pour obtenir des briques de (40.20.10) cm<sup>3</sup>. Les briques sont séchées à l'air pendant plusieurs jours, avant d'être utilisées. [12]



*Figure I.17. Briques en terre crue.*

### ▪ Briques en terre cuite :

Les briques en terre cuite (figure I.18) se composent d'argile, d'adjuvants naturels (sable, sciure de bois) et d'eau.

L'argile est réalisée puis séchée et cuite à une température d'environ 1000°C, pour devenir ce que l'on appelle des briques en terre cuite. [12]



*Figure I.18. Briques en terre cuite.*

La fabrication des produits génère des quantités considérables de déchets. Selon les statistiques disponibles, la quantité de rebus dans cette manufacture représente environ 10% de la production totale.

### I.7.10 Sables de fonderies :

Les sables de fonderie sont des sous-produits de la manufacture de la fonderie. Dans la méthode de moulage des pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques.

Ainsi que le sable n'est plus réutilisable pour la manufacture de la fonderie, il est mis en décharge. La réglementation française, en l'occurrence l'Arrêté Ministériel du 16 juillet 1991 relatif à l'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse: «les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la préparation de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénol est inférieure à 5mg/kg de sable rapporté à la matière sèche».



*Figure I.19. Sable de fonderies.*

### **I.7.11 Déchets plastiques :**

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation.

Les déchets plastiques peuvent saisis dans des matrices cimentaires. Ensuite, des études antérieures ont montrées qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons comme liant pour la production d'un matériau composite à haute performance ou sont additionnés dans le béton. [13]

Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- **Les déchets plastiques industriels** : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production de résines et de transformation des résines en objets fins.
- **Les déchets de production** : ils procèdent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible. On retrouve, en très grand majorité, les polymères de grande diffusion (PS, PVC, PE).
- **Les déchets de transformation** : ils procèdent de toutes les actions de plasturgie admettant l'obtention de produits finis (soufflage, injection, extrusion, calandrage, ...).

On retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opération de thermoformage, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine.



*Figure I.20. Déchet plastiques.*

### **I.7.12 Déchets de marbre :**

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire. Certains types de marbre portent des noms particuliers. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides de plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène, sa densité est élevée en moyenne de 2,27.

Le classement des marbres est fondé sur les teintes ou les dessins : ils existent des variétés, beiges, bleus, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production de marbre en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal, et la Grande Bretagne.

Les produits marbrières Algériennes sont extraits et transformés conformément aux normes européennes. Les méthodes utilisées en Algérie pour le travail du marbre sont ceux usés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.
- Transformation des produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçages avec des pierres ponce.

Le marbre Algérien est utilisé aujourd'hui par l'entreprise nationale du marbre "ENA marbre" qui ordonne de dix unités de production implantées dans cinq Wilayas. [12]



*Figure I.21. Déchets de marbres et déchets de marbre broyés.*

### **I.7.13 Boues rouges :**

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du évolution d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite. Elles sont stockées soit au fond des océans, soit près des usines.

Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



*Figure I.22. Boues rouges.*

## **II. Généralités sur les agrégats recyclés**

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

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

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

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne [14].

actuellement, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays développer l'utilisation des déchets de démolition comme de nouveau béton.

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

#### **II.2.1 États-Unis d'Amérique : [15]**

Sur les quelque 2,7 milliards de tonnes de granulats utilisés actuellement aux États-Unis, le compte trottoirs pour 10-15%, alors que d'autres la construction de routes et les travaux d'entretien consomme un autre 20-30%, et le volume d'environ 60-70% d'agrégats sont utilisés dans le béton de structure. Des entrepreneurs et des centres de recyclage de débris,

Respectivement, Mesures incitatives pour le transport des déchets de béton et de granulats transformés à partir de sites de production sont donnés à promouvoir l'utilisation de la RA, mais une grande partie de la production est approprié seulement comme matériau de remblayage ou de fondement de la construction.

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

Les différents intervalles d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont :

- Sélection, stockage et traitement des produits bruts.
- Préparation des matériaux avant concassage.
- Tri manuel.
- Déferrage électromagnétique.
- Concassage et criblage.
- Concassage secondaire.
- Stockage.
- Analyses éventuelles avant utilisation.

## **II.3 Déchets en Algérie :**

### **II.3.1 Naissance d'une véritable politique environnementale :**

L'Algérie est allée de éprouver un développement économique et démographique sans précédent.

Cela ne s'est pas fait sans résultats sur l'environnement. Face à la gravité des problèmes environnementaux, la administration algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, pour accéder les objectifs consignés dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), prévu jusqu'en 2010.

L'espace de l'environnement connaît aujourd'hui des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

## **II.4 Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton :**

Les granulats recyclés de béton différent des granulats naturels par leur composition.

En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont :

- Des granulats naturels concassés partiellement.
- De la pâte de ciment hydraté concassée enrobant les granulats naturels [16].

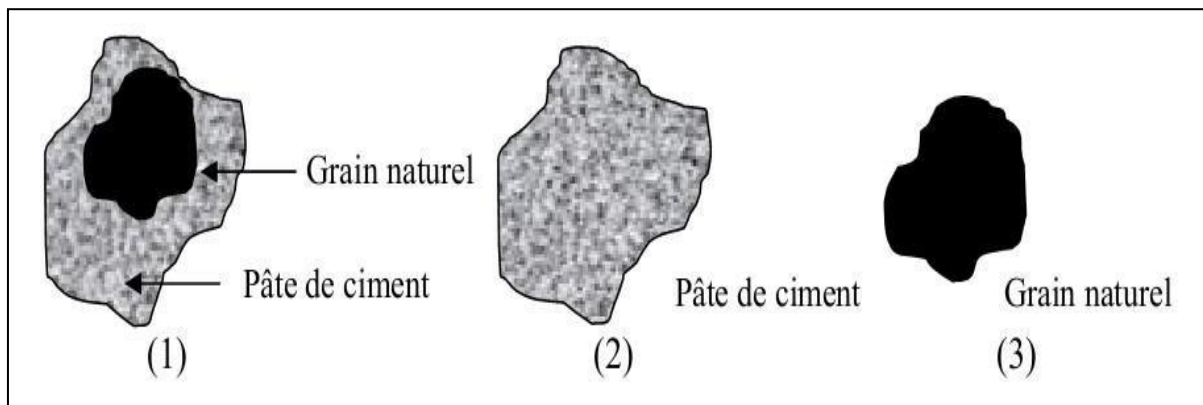


Figure I.23 : Formes des granulats recyclés.

Les matières constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente [17]. Les propriétés de la pâte de ciment sont à la naissance des éventuelles mauvaises propriétés des granulats recyclés constatées [16].

En effet, les propriétés physiques des granulats recyclés dépendent de la quantité et la qualité de pâte de ciment présente sur les granulats concassés [17]. Des études montrent que la densité de ces granulats recyclés est plus faible ou encore que leur capacité d'absorption est plus élevée [17].

De plus, leurs propriétés mécaniques s'avèrent être moins bonnes que celles des granulats naturels [18].

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

- La masse volumique des granulats recyclés semble plus faible que celle des granulats naturels.
- l'absorption d'eau est importante pour les granulats recyclés. En effet, l'ensemble des études montre que les granulats recyclés de béton sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau.
- Le coefficient de Los Angeles est élevé comparé à celui exigé par la norme XP P 18- 540- article 10.

Cette tendance est confirmée par les travaux de Sanchez de Juan & Gutierrez qui expliquent que cette valeur élevée du coefficient de Los Angeles est due à la quantité de pâte de ciment présent autour des granulats naturels concassés.

Il est donc nécessaire de contrôler la quantité et la qualité de la pâte de ciment présent sur les granulats d'origine afin de comprendre leur influence sur les propriétés des granulats recyclés et par conséquent. Il convient donc de définir les essais et analyses pertinents afin de caractériser les propriétés des granulats recyclés de béton.

## **II.5 Déchets de brique :**

L'objectif de cette partie est de donner quelques informations sur les déchets de brique qu'on nomme « briquillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du Déchet De brique et céramique béton, malgré la consommation universelle de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

En Algérie, selon les renseignements disponibles, l'étude sur ces matériaux est presque Négligeable.

On nomme « briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques. On nomme « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée. [19]

### **II.5.1 Définition de brique :**

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction.

Les briques se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions.

En plus de résister à la chaleur, la brique a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique. [20]

## II.5.2 Types de brique :

### a) Selon Leur Utilisation :

- **Face brique** : Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Découper fil brique est un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturé, puis couper par fil. Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures. [32].
- **Briques de construction** : Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres déchet de brique et céramique surfaces, et non pour les extérieurs, afin qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durable. [21]
- **Briques vernissées** : Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement en céramique. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaire s est très essentiel. [21]

### b) Selon leur forme :

- **Briques pleines** : La brique pleine ordinaire au format 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur). Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux. [21]
- **Briques perforées et blocs perfores** : La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément. [21]
- **Briques creuses** : Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. Cette maçonnerie reçoit généralement un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments. [21]

On distingue deux désignations de brique creuse :

- ❖ **C** : briques à faces de pose continues, montées à joints de mortier horizontaux continus.
- ❖ **RJ** : brique à rupture de joint, afin d'améliorer le comportement thermique du mur.

### II.5.3 Principaux constituants de la brique et ces caractéristiques chimiques :

Ces déchets proviennent de la briqueterie de m'sila. Ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire de génie civil Université de M'sila, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire.

**Tableau.I.1** Composition chimique des déchets de brique broyés [22].

Composant	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Teneur (%)	53.78	16.61	2.22	2.13	0.87	12.88	2.20	0.65

### II.5.4 Mode de fabrication de brique :

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc. [23]

#### II.5.4.1 L'extraction :

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques :( décapeuse, pelles chargeuses ...etc. La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.

#### II.5.4.2 Façonnage :

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage.

### II.5.4.3 Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30%. L'énergie consommée varie de  $3.5 \times 10^6$  à  $4.10 \times 10^6$  J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 Kwh.

### II.5.4.4 Cuisson :

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. Que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre  $850^\circ$  et  $1200^\circ\text{C}$  selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement. Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classés en deux catégories principales :

Les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu. Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu. Concernant la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, dimensions.

Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- ❖ Jusqu'à  $200^\circ\text{C}$  environ, évacuation de l'eau résiduelle durant le séchage.
- ❖ De  $200$  à  $450^\circ\text{C}$ , décomposition de matière organique.
- ❖ De  $450$  à  $650^\circ\text{C}$ , décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution.
- ❖ De  $650$  à  $750^\circ\text{C}$ , décomposition du carbonate de chaux. [23] [24] [25] [26].

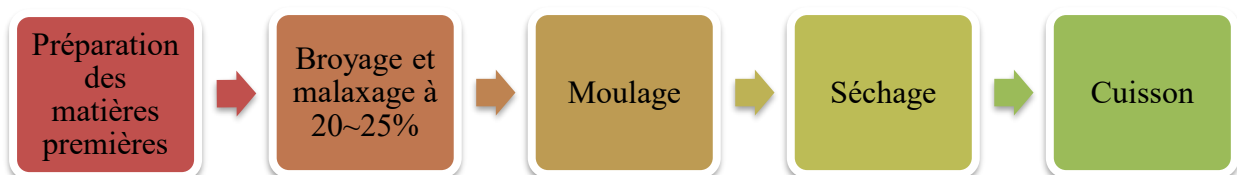


Figure I.24 : Schéma de fabrication des briques.

### II.5.5 Propriétés des bétons des déchets de brique :

Les briques concassées sont utilisées largement pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante.

Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes Propriétés du béton de granulats de brique. [27] Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de déchet brique, résultantes des essais et des recherches sont :

- ❖ L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec.  
C'était nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton.
- ❖ Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulat avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulat pendant 30 min.
- ❖ La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulat normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de déchet de brique.
- ❖ L'utilisation du granulat grossier de déchet de brique peut produire un béton déstructure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal. [28]
- ❖ La masse volumique apparente du béton de déchet brique varie de 2000 à 2080 kg/m<sup>3</sup> Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal.
- ❖ La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 Mpa.
- ❖ Pour le même niveau du béton, la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal. [27]
- ❖ Le béton contenant des granulats de déchet brique est plus perméable que le béton normal, il peut savoir corrosion et efflorescence dans le béton. [29]

## II.5.6 Utilisations des bétons des déchets de brique :

Les débris 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 (Z environ 0,25 kcal/m<sup>0</sup>c pour 1050 kg/ m<sup>3</sup>).
- ❖ Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de débris de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée. [30]
- ❖ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage. [31]
- ❖ Le béton de débris de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité. [30]
- ❖ Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager. [32]
- ❖ Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu. [29]

## **II.5.7 Avantages et inconvénients d'utilisation des briques :**

### **II.5.7.1. Avantage :**

- Les avantages du point de vue environnement sont :
  - ❖ La terre absorbe et restitue l'humidité.
  - ❖ La terre régule la température par inertie thermique.
  - ❖ La terre est un très bon isolant phonique.
- Les Avantages écologiques sont :
  - ❖ 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.5.7.2 Inconvénients :**

La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler.

Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel, en effet il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation. [33]

## **II.5.8 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, des recommandations seront également données pour mieux apprécier et approfondir cette étude.

## **III. Propriétés des agrégats recyclés à l'Etat frais et à l'Etat durci :**

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

La thématique des bétons de granulats recyclés est un sujet très vaste qui couvre un grand nombre d'études. Cette partie bibliographique ne présente que les éléments essentiels à l'étude de la rhéologie du béton de granulats recyclés de béton à l'état frais et à l'état durci.

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

### **III.2 Distribution granulométrique :**

Les agrégats recyclés ont souvent plus de grains fines que les agrégats naturels [34].

Toutefois, on ne peut pas développer cette caractéristique puisqu'elle change beaucoup en fonction du type de agrégats recyclé utilisé et du type de agrégats naturel.

### **III.3 Masse volumique :**

La densité relative du granulat recyclé est moins grande que celle du granulat naturel [34] ; [35] ; [36] ; [37] ; [38].

La littérature à ce sujet indique que la densité relative des agrégats recyclés se situe généralement entre 2400 à 2500 kg/m<sup>3</sup>, alors que les granulats naturels ont généralement une masse volumique de l'ordre de 2750 kg/m<sup>3</sup>.

La masse volumique plus faible des agrégats recyclés est causée par la présence du béton restant qui a une masse volumique plus faible que celle des agrégats originaux et réduit par conséquent la masse volumique totale des agrégats recyclés. [34]

Cette diminution en densité est fonction de la teneur en béton résiduel. [35]

### III.4 Absorption :

Les études réalisées sur les agrégats recyclés ont relevé des valeurs d'absorption d'eau beaucoup plus grande pour les granulats recyclés que les granulats naturels [39]; [36]; [40]; [41]; [38]; [42].

Cette propriété est plus grande différence entre les agrégats recyclés et l'agrégat naturel [37].

Les valeurs d'absorption des agrégats recyclés se situent généralement entre 3 et 10% alors que pour un agrégat naturel celles sont souvent en deçà de 1%, mais ont augmenté jusqu'à une valeur de 5% [42].

La mesure de l'absorption d'un agrégat recyclé est un procédé simple qui peut être usée pour estimer la qualité de celui-ci. Comme l'absorption du granulat est due en grande partie au béton résiduel, une valeur d'absorption élevée indique la présence d'une grande teneur en mortier résiduel [42].

Cette propriété est particulièrement nécessaire puisqu'elle affiche la quantité d'eau à ajouter au mélange pour une maniabilité donnée

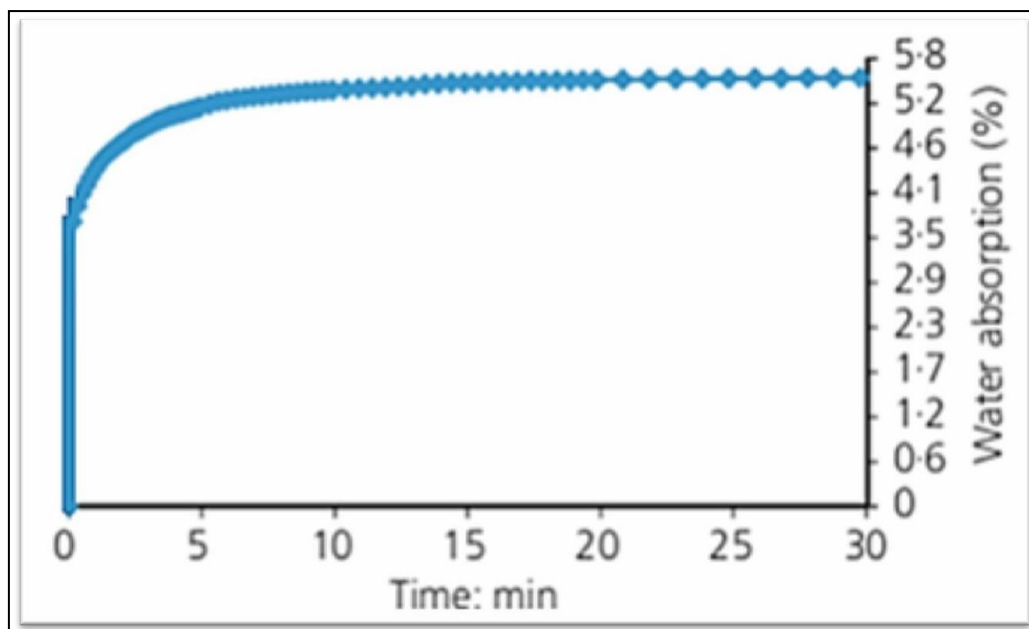


Figure I.25 : Absorption d'un granulat recyclé en fonction du temps [43].

### **III.5 Résistance à l'abrasion :**

Quand de l'essai de résistance à l'abrasion Los Angeles, tout le béton résiduel lié aux agrégats d'origine se détache de celui sous la conséquence de l'abrasion [de Juan et Gutierrez, 2009].

On regarde aussi une grande perte de masse pour le agrégat recyclé ce qui explique des coefficients Los Angeles plus élevés que ceux régulièrement relevés pour des agrégats naturels [34];[44];[37];[38];[45].

La résistance à l'abrasion est ensuite directement reliée à la résistance à la teneur en béton résiduel [35].

### **III.6 Impact du remplacement du granulat naturel :**

Certaines propriétés du béton et mortier sont affectées par le remplacement des agrégats naturels par un agrégat recyclé.

L'effet sur les propriétés du béton de ce remplacement dépend de plusieurs facteurs et peut être complexe à évaluer. Les éléments affectant les propriétés du béton recyclé sont particulièrement : les types de liants usés, la source des agrégats recyclés, le taux de substitution, le rapport eau/ciment ou eau/liant et la teneur en eau des agrégats. [45]

### **III.7 Propriétés du béton à l'état frais :**

Certaines études ont présenté que pour une teneur en eau identique, et ceci plus particulièrement quand le pourcentage de remplacement de granulats excède 50% [Topç 2004] [Seng 2004].

Cette différence est très certainement due à la plus grande porosité des agrégats recyclés par rapport aux agrégats naturels. Aussi, de différentes recherches ont été réalisées en faisant varier les conditions de préparation des granulats. L'eau peut être ajoutée de différentes façons, soit en pré-saturant les agrégats préalablement au malaxage, soit en compensant en ajoutant directement l'eau d'absorption dans l'eau de gâchage [Ferr 2011] [Zhao 2014].

La masse volumique du béton frais naturel est connue pour être aux alentours de 2400kg.m<sup>-3</sup>.

Dans le cas des bétons formulés à partir de agrégats recyclés, la valeur est nettement inférieure aux alentours de 2150kg.m<sup>-3</sup> et bien sur ce quel que soit le type de ciment .[Topç 1995] [Katz 2003].

## **III.8 Propriétés du béton à l'état durci :**

### **III.8.1 Zone de transition inter faciale :**

Il n'est pas tout à fait exact de examiner le matériau béton comme étant un composite à deux phases : granulats et matrice cimentaire.

En réalité, la pâte de ciment n'est pas complètement homogène et sa microstructure est modifiée à proximité des agrégats. Cette zone est généralement nommée ITZ (Interfacial Transition Zone). Par conséquent dans le béton frais la porosité et le rapport E/C augmentent de la matrice vers la surface des agrégats.

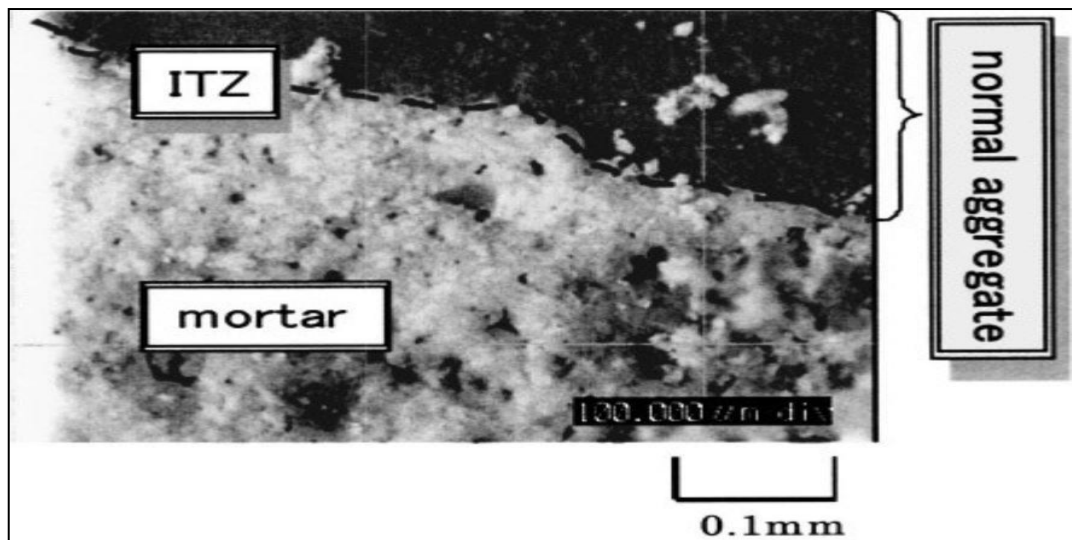
Cette perturbation, qui est plus significative sur quelques dizaines de microns autour de la surface du granulats entraîne un certain nombre de perturbations:

- Le proportionnellement large espace laissé vacant à proximité de la surface du agrégat combiné à la mobilité des ions résultant des composés anhydres, conduit, pendant l'hydratation, à une cristallisation préférentielle des hydrates correspondants aux ions les plus mouvants (Ca, Na, S).
- Un rapport E/C localement plus élevé induit moins de sites de nucléation, mieux formés et préférentiellement orientés.
- Finalement, comme les pores à remplir sont plus larges, la porosité, à tout âge, sera supérieure au reste de la matrice. Les ions provenant des agrégats peuvent se combiner avec les ions mobiles provenant des grains de ciment. [Olli 1995]

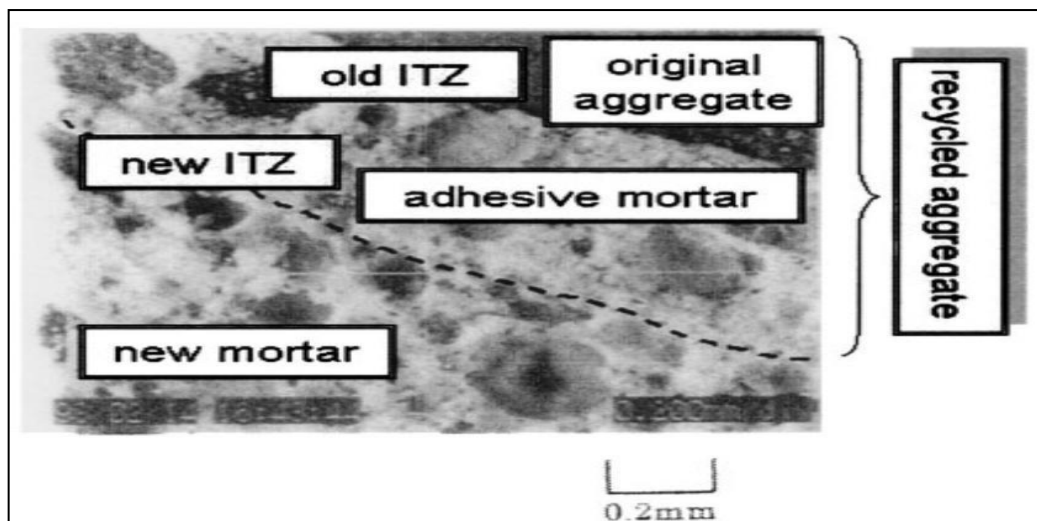
Ce phénomène de zone de transition et l'influence qu'il peut avoir sur les propriétés mécaniques du béton semblent, d'après Diamond [Diam 2001]

Dans le cas des bétons fabriqués à partir de agrégats recyclés, il a été montré dans différentes études que la présence d'ancien béton autour des agrégats améliore significativement les performances mécaniques de la zone de transition.

En effet, on examine une bonne réaction entre l'ancien et le nouveau béton et également une bonne résistance à l'abrasion [Kou 2011] [Evan 2007].



**Figure I.26** : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton conventionnel. [46]



**Figure I.27** : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton recyclé. [46]

La micro dureté Vickers de la nouvelle zone de transition augmente lorsque le rapport E/L minime pour les bétons incorporant des agrégats recyclés.

Ainsi que pour les bétons contenant des agrégats naturels. La quantité de béton attaché aux agrégats recyclés ne semble pas avoir de but sur la micro consistance Vickers de la vieille zone de transition. [46]

### **III.8.2 Propriétés de transfert (perméabilité /porosité) :**

Du fait de la présence de béton attaché aux agrégats, la structure des bétons recyclés est entièrement plus poreuse qu'un béton naturel [Evan 2007] [Gome 2002] [Topç 2004] [Rao 1996] [Queb 1996] [Hadj 1998].

Toutefois il a été étudié une réduction de porosité significative une fois que le béton a mûré quelques temps. En effet, Gomez-Soberon [Gome 2002] a montré que le taux de substitution des agrégats est directement corrélé au volume de pores total et à leurs tailles, mais que si cette influence est tout à fait vérifiée au jeune âge du béton. Ceci semble dû à la cristallisation de nouveaux produits qui réduisent à la fois le nombre et la taille des pores.

Il a été largement prouvé que les bétons fabriqués à partir de agrégats recyclés sont clairement plus perméables que les bétons classiques, cela dit, il faut tout de même noter que

Cette perméabilité peut facilement être minime en utilisant des fines (cendres volantes, fillers, fumée de silice... etc.).

### **III.8.3 Propriétés mécaniques :**

#### **III.8.3.1 Résistance à la compression :**

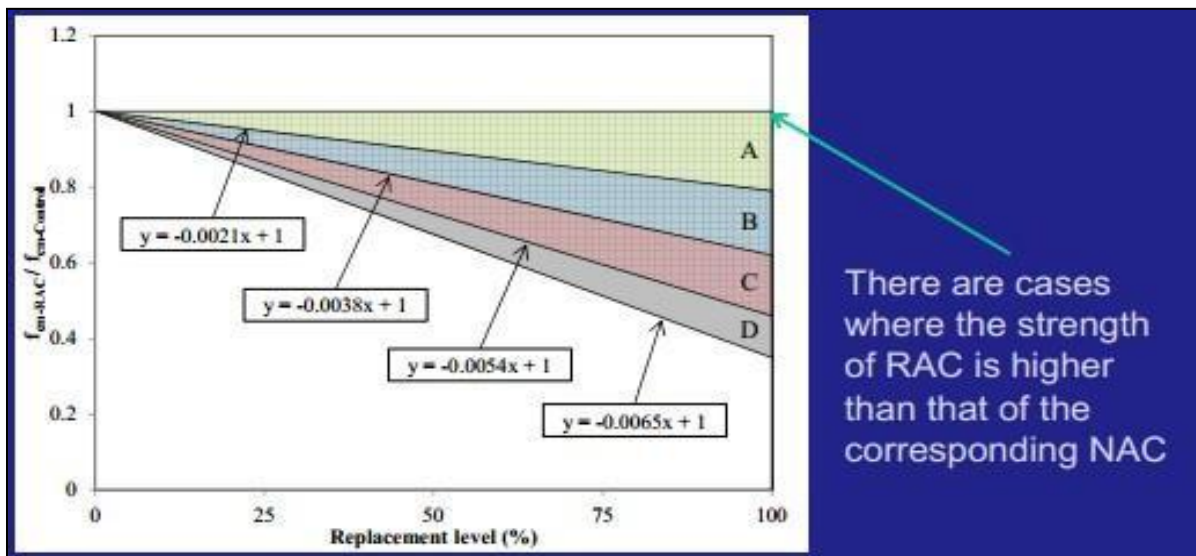
De façon générale, il a été souvent constaté [Butl 2013] [Duan 2014] [Paul 2014] que les bétons formulés à partir d'agrégats recyclés présentent des résistances à la compression inférieures aux bétons standards. Il a été montré par exemple qu'à E/C élevé (entre 0,6 et 0,75), la résistance d'un béton recyclé est comparable à celle d'un béton standard jusqu'à un taux de substitution encore important que 75%. [Katz 2003]. Rao et al. [Rao 2005] ont également constaté que pourvu que le rapport E/C soit supérieur ou égal à 0.55, avec un rapport E/C réduit à 0.4, la valeur de la résistance chute de 25%.

De façon générale, on peut dire que plus le rapport agrégats recyclés/ agrégats naturels augmente, plus la résistance à la compression diminue, on parvient toujours à atteindre les résistances requises. [Evan 2007] [Gome 2002] [Topç 2004] [Rao 1996] [Queb 1996]. également constaté que la qualité du agrégats recyclé joue un rôle très important dans la résistance en compression du béton dans lequel il est incorporé (Figure1.2).

De plus, il est extrêmement important de inscrire que si, à 28 jours, le béton naturel présente clairement une meilleure résistance à la compression, et peut aller jusqu'à dépasser le béton standard sur le très long terme (5 ans) [Kou 2011] [Evan2007].

**Tableau I.2 : Résistance en compression pour des bétons de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution.**

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



**Figure I.28 : Résistance en compression pour des bétons de différentes qualités de granulats recyclés à différents taux de substitution.**

### **III.8.3.2 Résistance à la traction par flexion et par fendage :**

Les recherches terminées relatif à la résistance en traction des bétons recyclés présentent des résultats légèrement différents les uns des autres

Certains ont obtenu une réduction de 15 à 20% à un taux de remplacement de 100% [Rao 2005] et d'autres une perte de moins de 10% pour un essai réalisé à 28 jours [Ajdu 2002].

Ces auteurs ont également constaté que l'utilisation de divers adjuvants, tels que la fumée de silice par exemple, admet d'améliorer les performances du béton recyclé.

De la même façon que pour la résistance à la compression, il a été constaté que sur le long terme (5 ans). [Gome 2002] zone de transition) peuvent se combiner avec les ions mobiles provenant des grains de ciment. [Olli 1995].

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

Dans le cas des bétons fabriqués à partir de agrégats recyclés, il a été montré dans différentes observations que la présence d'ancien béton autour des agrégats améliore significativement les performances mécaniques de la zone de transition.

Ensuite, on regarde une bonne interaction entre l'ancien et le nouveau béton et également une bonne résistance à l'abrasion [Kou 2011] [Evan 2007].

### **III.8.4 Essais non destructifs :**

#### **III.8.4.1 Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2) :**

##### **❖ Objectif de l'essai :**

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité, elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

##### **❖ Principe de l'essai :**

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

##### **❖ Equipement nécessaire :**

- Un scléromètre à béton conforme à la norme.
- Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.

##### **❖ Conduite de l'essai :**

- Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C.
- Placez l'éprouvette surfacée au centre des 2 plateaux de la presse.
- Appliquez une charge en KN correspondant à une pression de 0,5 mpa. Tourner ensuite la vis de mise en charge au minimum (-) pour stabiliser la charge.
- Maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai.
- Augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au déclenchement du choc.
- Après le choc, enregistrer l'indice de rebondissement.
- Pour obtenir une estimation fiable de l'indice de rebondissement de la surface d'essai.
- Neuf essais au moins doivent être effectués.

- Enregistrer la position et l'orientation du marteau à chaque série d'essai.
- La distance minimale entre deux essais de choc doit être de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée.

❖ **Expression des résultats :**

A partir de l'indice sclérométriques  $I_s$  de la zone testée et de l'abaque illustré ci-après on peut déduire directement la résistance du béton.

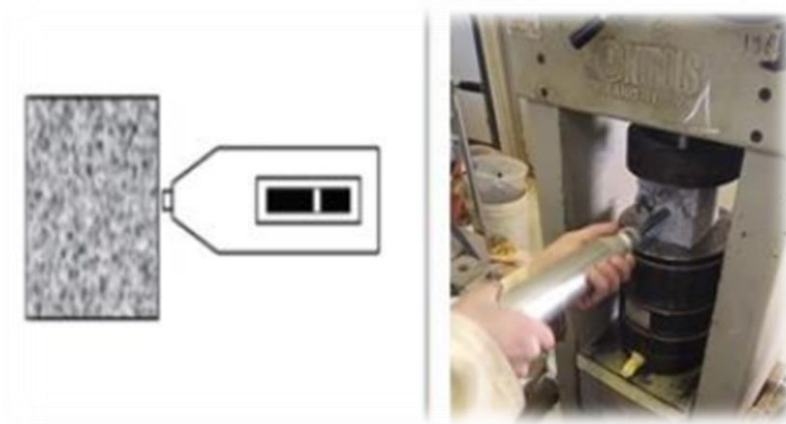


Figure I.29 : essai sclérométrique.

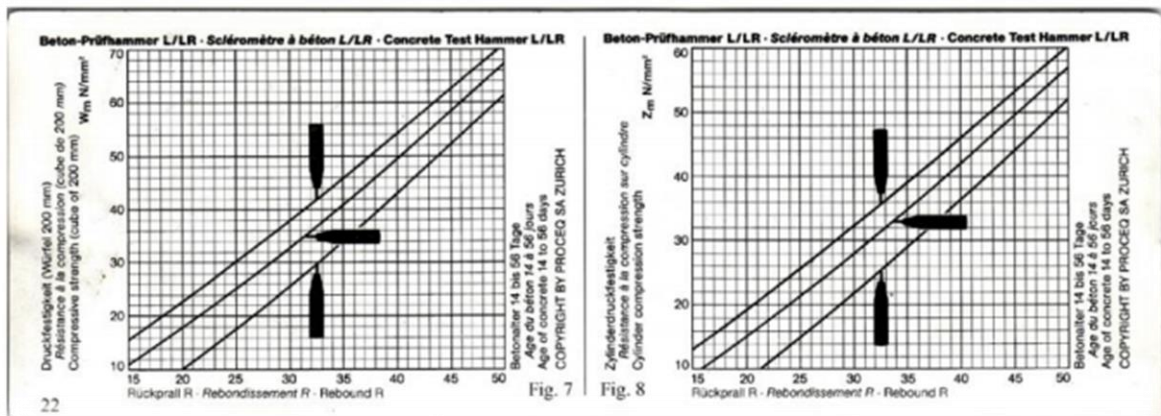


Figure I. 30 : Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques  $I_S$ .

### III.8.4.2 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 125044) :

#### ❖ Objectif de l'essai :

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

#### ❖ Principe de l'essai :

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton, cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc a priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores t.

$$E_d = V^2 \rho_b \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu}$$

Le module d'élasticité dynamique ( $E_d$ ), la masse volumique de béton ( $\rho_b$ ), la coefficient de poisson ( $\nu$ ), et la vitesse de son ( $V$ ).

#### ❖ Equipement nécessaire :

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques.
- Paire de transducteurs.
- Un amplificateur.
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur
  - émetteur et son arrivée au transducteur-récepteur.
- Un barreau de calibration est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse.

#### ❖ Conduite de l'essai :

##### 1- Préparation de l'éprouvette :

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

## **2- Point de mesure :**

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage testé. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, ...) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5 m, le cas des petits éléments (poteaux, poutres...) les mesures se font en six points.

## **3- Disposition du transducteur :**

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

### **❖ Expression des résultats :**

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = L/T$$

Ou :

*V* : est la vitesse de propagation du son, en km/s.

*L* : est la longueur de parcours, en mm.

*T* : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en  $\mu$ s.



Figure I.31 : Essai d'ultrason (ultrason de laboratoire de Géo-matériaux).

## III.9 Produits ajouté dans béton :

### III.9.1 Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion. Les bétons peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. [47]

#### III.9.1.1 Intérêt des adjuvants :

La raison de l'utilisation croissante des adjuvants est qu'elle confère physiquement et économiquement au béton des avantages considérables. Même s'ils ne sont pas toujours bon marché, les adjuvants ne représentent pas nécessairement des dépenses supplémentaires, car leur utilisation peut engendrer des économies.

Les adjuvants fournissent au formulation de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur formulation au temps froid et au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci.

Il y a toutefois lieu d'insister sur le fait que, même utilisés de manière adéquate et bénéfique pour le béton, ils ne peuvent en aucun cas servir à corriger la mauvaise qualité des autres constituants ni leur dosage incorrect, ni des erreurs de manutention lors du transport, de la mise en place du béton. [48]

### **III.9.1.2 Classification des adjuvants :**

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps, mais leur développement réel et la multiplication de leur utilisation n'ont commencé que depuis 1960. Leur qualité et leur constance s'améliorent sans cesse.

Les adjuvants peuvent être organiques ou inorganiques selon leur composition chimique, mais leur caractère chimique, distinct de celui des autres minéraux utilisés dans la fabrication du béton, est essentiel. Ainsi, dans la nomenclature Américaine on les appelle adjuvants chimiques, mais ici cette qualification est superflue. Les adjuvants peuvent être classés selon leur fonction, on distingue :

- ❖ Les entraîneurs d'air.
- ❖ Les réducteurs d'eau.
- ❖ Les retardateurs de prise, les accélérateurs de prise.
- ❖ Les super plastifiants.
- ❖ Les adjuvants divers (ceux qui améliorent la viscosité, l'adhérence, etc.). [48]

### **III.9.1.3 Le super plastifiant :**

Les super plastifiants sont des produits chimiques qui ajoutés au mortier permettent de réduire sa teneur en eau jusqu'à 30% (c'est un super réducteur d'eau), c'est-à-dire trois ou quatre fois plus qu'un réducteur d'eau normal. [48]

### **III.9.1.4 Les avantages principaux de l'utilisation des super plastifiants :**

- La production de mortier de haute ouvrabilité sans réduire la teneur en ciment et la valeur de la résistance.
- La production d'un béton contenant moins de ciment, mais ayant une résistance et une ouvrabilité normale. Grâce à cette découverte, il est maintenant possible de fabriquer des mortiers fluides qui contiennent seulement la quantité d'eau nécessaire pour hydrater les grains de ciment. On évite ainsi l'eau qui ne participe jamais à l'hydratation du ciment et qui affaiblit la structure durcie du béton et augmente sa porosité. [48]

### **III.9.1.5 Facteurs affectant l'action des super plastifiants :**

La capacité des super plastifiants d'augmenter l'affaissement du mortier dépend de plusieurs facteurs :

- **Le type de super plastifiant :**

Pour obtenir un affaissement de 260 mm à partir d'un Affaissement initial de 50 mm, il est nécessaire d'ajouter 0,6 de SMF ou MLS, mais seulement 0,4% de SNF.

- **Le dosage en super plastifiant :**

L'augmentation de l'affaissement est proportionnelle au dosage en super plastifiant, mais l'efficacité diminue au-delà d'un certain dosage. De plus la concentration en super plastifiant influence le taux et la vitesse d'hydratation des constituants.

- **Le rapport E/C :**

Les mesures de la viscosité et de l'affaissement montrent que pour des rapports E/C compris entre 0,4 et 0,65, l'addition d'une certaine quantité de super plastifiant augmente l'affaissement et diminue la viscosité en augmentant le rapport E/C.

- **Le moment de l'addition :**

Si le super plastifiant sont ajoutés au début avec l'eau de malaxage, l'affaissement augmente considérablement, mais dans le cas où il est ajouté entre 5 et 50 minutes après le début du malaxage, généralement l'affaissement par rapport au premier cas est moindre.

- **La température :**

Pour des températures allant de 5 à 300C, il n'y a généralement pas de différence d'affaissement due à l'addition de super plastifiant. Au-delà de 300C, l'efficacité du super plastifiant diminue. [48]

### **III.9.1.6 Domaines d'utilisation de super plastifiants :**

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- Bétons à compacité, et donc durabilité.
- Bétons à haute performance.
- Bétons autoplaçants. [49]

### **III.9.2 Les ajouts cimentaires :**

#### **III.9.2.1 Les ajouts inertes :**

Sont des produits qui n'ont aucune influence sur le processus de fabrication d'hydratation et de durcissement du ciment, ces ajouts finement broyés sont ajoutés au clinker avant le broyage. [50]

#### **III.9.2.2 Les ajouts actifs :**

On appelle ajouts minéraux actifs les substances naturelles ou artificielles finement broyées et ajoutées au clinker avant ou après le broyage, améliorent la résistance du ciment et son pouvoir hydraulique. [50]

#### **III.9.2.3 Les ajouts :**

Les ajouts que l'on utilise dans les bétons sont :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice, etc....).
- Fibres de différentes natures.
- Colorants (naturels ou synthétiques).
- Polymères. [51]

## **Conclusion :**

Dans notre étude nous concluons que le déchet est un grand problème, à toute vie biologique et à toutes activités, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les êtres vivants (les personnes, les plantes, les animaux... etc.). Cela ne peut être que réduire le déchet, où nous utilisons dans beaucoup de cas de figures importantes surtout le domaine de génie civil.

Nous pouvons également utiliser les déchets comme solution pour les régions où les granulats naturels font défaut dans le domaine de construction.

Les déchets inertes donc, peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers de travaux publics ou encore comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique, qui peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une 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, des recommandations seront également données pour mieux apprécier et approfondir cette étude.

# **Chapitre II. Matériaux et matériels d'essais**

---

# Matériaux et matériels d'essais

## II.1 Introduction

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

Nous avons utilisé des matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à L'université de Mohamed Boudiaf - M'sila.

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

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de brique concassée (fin) comme granulats dans le béton en substitution volumique de sable, avec des taux de substitution de (0%, 25% 50% 75% et 100%) et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état durci. Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons.

La formulation du béton a été basée sur la méthode de « Dreux-Gorisse »

## II.2 Matériaux utilisés :

- ❖ Un sable (0/3).
- ❖ Un gravier (3/8).
- ❖ Un gravier (8/15).
- ❖ Le ciment : ciment portland NA 442/2013.GICA
- ❖ Eau de gâchage : L'eau potable du Laboratoire de département de génie civil d'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila.
- ❖ L'adjuvant : (Super- plastifiant).
- ❖ Sable recyclé (SDBR) 0/5.
- ❖ Ajouts : fumé de silice (dans le but d'augmenter la compacité des mélanges).

## II.2.1 Le ciment :

### Ciment Portland NA 442/2013

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment CEM II 42,5 (GICA) provenant de la cimenterie d'Ain El Kbir. Les propriétés physico-chimiques ont été étudiées conformément la norme algérienne (NA 442) et européenne (EN 197-1).



Figure II.1– Ciment CEM II 42, 5 (GICA).

### DOMAINE D'APPLICATION :

- ❖ Béton étanche.
- ❖ Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- ❖ Béton pompé.
- ❖ Mortier.
- ❖ Chapes

**Dosages :** Sauf pour composition spécifique.

Dosage moyen pour béton courant.

**Conditionnement :** Sac et Vrac

### Caractéristiques techniques

#### Analyses chimiques :

Teneur en sulfates (SO<sub>3</sub>) < 2,5%

Teneur en Chlorures (Cl) < 0,1%

Teneur en (MgO) < 1%

Perte au feu (PAF) : 0,5–1,5%

#### Composition minéralogique du clinker (Selon BOGUE) :

C<sub>3</sub>S > 60±3%

C<sub>3</sub>A : 3 – 7,5 %

**Propriétés physiques :**

Consistance normale : 26 à 28%

Début de prise  $\geq$  60min

Fin de prise : 200 à 350min

Expansion  $<$ 5mm

Finesse (SSB) : 3200-3800 (Cm<sup>2</sup>/g).

**Résistance à la compression :**

2 jours (EN 196-1)  $\geq$  10 Mpa

28 jours (EN 196-1)  $\geq$  42.5 Mpa

**II.2.2 Les granulats (naturels et recyclés) :**

**II.2.2.1 Le sable :**

- Sable naturel (SN) concassée
- Sable recyclé (SDBR) 0/5 produit par le concassage de la brique cuit de la briqueterie.

**II.2.3 L'analyse granulométrique :**

**- But de l'essai :**

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

**- Principe de l'essai :**

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

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

**Mode opératoire :**

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond.
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.
- Agiter automatiquement cette colonne.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.
- Nous prenons le poids de chaque tamis à l'aide d'une balance électronique.
- Varier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933 -1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamis et de la masse initiale).

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

**Tableau II. 1 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.**

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide	Poids des Tamis +gravier	Refus du Gravier	Refus Cumulés	Refus Cumulés%	Tamisant Cumulés%
16	849	977.2	128.5	128.5	4.01	95.99
12.5	816	1590.8	774.8	903.2	28.22	71.78
10	875.6	1931.5	1055.9	1959	61.21	38.79
8	788.3	1795.7	1007.4	2966.4	92.7	7.3
6.3	803.6	1015.4	211.8	3178.1	99.31	0.69
5	404.3	816.2	11.9	3190.1	99.69	0.31
4	780.8	783.3	2.5	3192.6	99.76	0.24
2.5	700.2	702.6	2.4	3195	99.84	0.16
Fond	600.3	605	4.9	3200	100	0

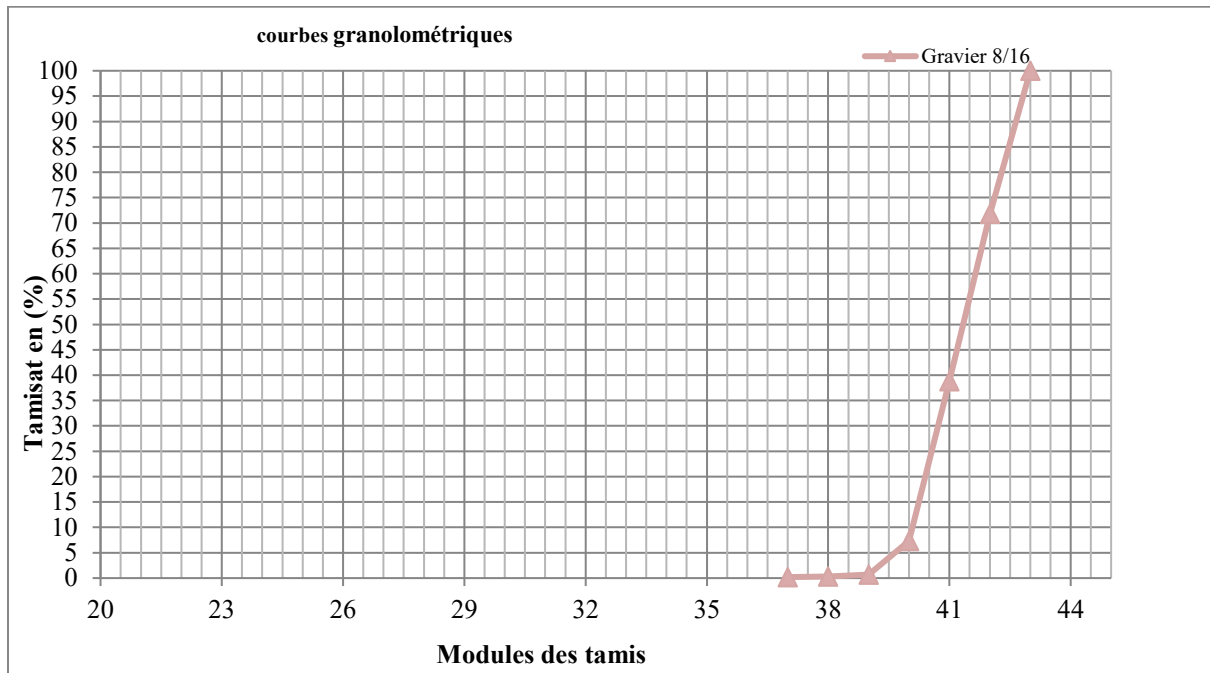


Figure II. 2 Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.



Figure II.3 : Analyse granulométrique. (Tamiseuse de laboratoire Géo-matériaux).

Figure II .4. Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé.

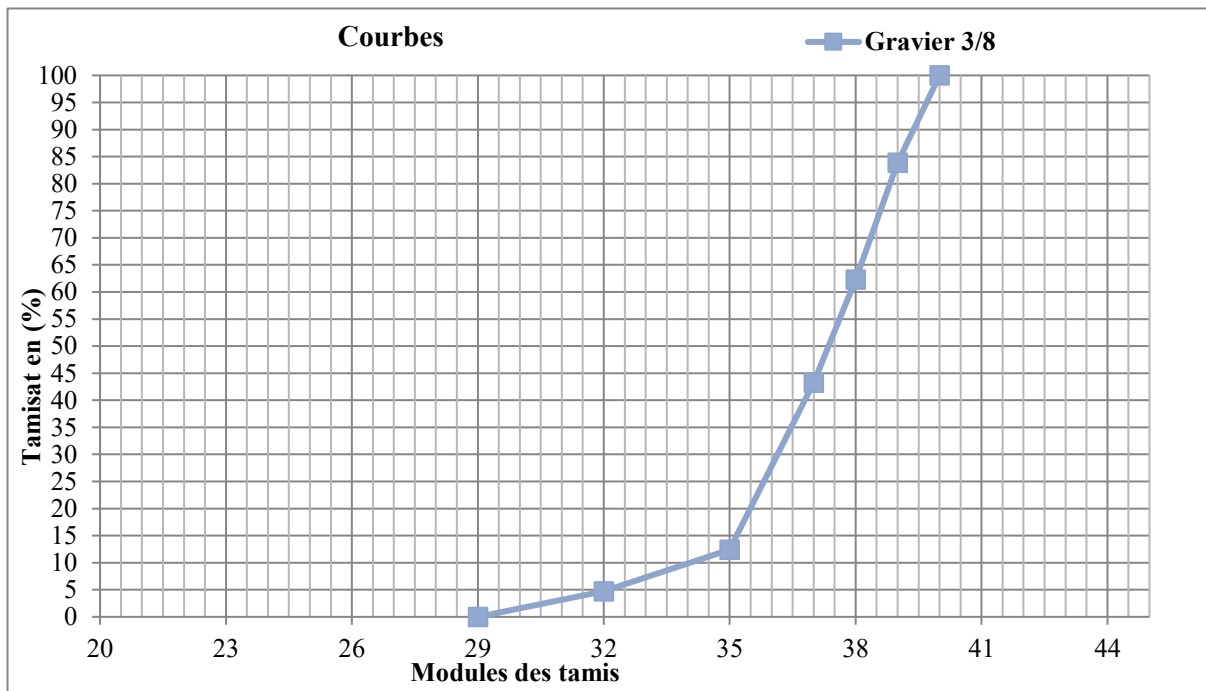


Tableau II. 2 l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé.

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide	Poids des Tamis +gravier	Refus du gravier	Refus Cumulés	Refus Cumuls%	Tamisant Cumules%
8	788.3	810.1	21.8	21.8	1.36	98.64
6.3	803.5	1039.6	236.2	258	16.12	83.88
5	802.5	1147.2	344.9	602.9	37.68	62.32
4	780.7	1084.9	304.4	907.3	56.70	43.3
2.5	699.1	1192.9	493.8	1401.1	87.56	12.44
1.21	646.8	770.4	123.6	1524.7	95.29	4.71
Fond	600.2	675.3	75.3	1600	100	0

## II.2.4 Masse volumique :

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

### II.2.4.1 a. La masse volumique apparente ( $\gamma$ ) :

C'est le rapport entre la masse et le volume apparent d'un matériau (y compris les vides). Elle est exprimée en (g/cm<sup>3</sup> ; Kg/m<sup>3</sup> ; t/m<sup>3</sup>).

#### - Principe :

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

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

#### - Mode opératoire :

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

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

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

**Tableau II. 3 Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé.**

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	$\rho$ app (kg/l)	$\rho$ app moyen (kg/l)
Gravier 3/8 v=7l	1	2.924	10.068	1.020	1,011
	2		9.978	1.007	
	3		9.980	1.008	
Gravier 8/16 v=10l	1	3.496	14.596	1.110	1,104
	2		14.564	1.106	
	3		14.470	1.097	

### II.2.4.2 b. La masse volumique absolue ou spécifique ( $\rho$ ) :

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

#### - Principe :

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

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

#### - Mode opératoire :

- Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V1 (400ml).
- Peser une masse M du corps (400 g) et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien éliminer les bulles d'air
- Lire le nouveau volume V2.
- Le volume absolu ou réel est :  $V = V2 - V1$
- La masse volumique réelle est :  $\rho = M / (V2 - V1)$

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

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

**Tableau II. 4 Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.**

Fraction	Essai	M1 (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho_{abs}$ (g/ml)	$\rho_{abs}$ moyen (g/ml)
3/8	1	400	400	550	2.66	2.60
	2			560	2.50	
	3			550	2.66	
8/16	1			560	2.50	2.55
	2			550	2.66	
	3			560	2.50	

### II.2.5 Absorption d'eau :

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de **la norme [NF EN 1097-6, 2001]**. Le coefficient d'absorption d'eau est définie comme le rapport de l'augmentation

de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption **Abs** est ainsi définie par :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100$$

**M humide**–**M sèche** désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion. **M sèches** la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à **105°C**.

**Tableau II. 5 coefficients d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.**

Fraction	Essai	M1 (g)	M2 (ml)	Abs%	Abs% moyen
3/8	1	500	526	5.2	5.4
	2		528	5.6	
8/16	1	500	514	2.8	3.2
	2		518	3.6	

## II.2.6 Porosités :

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influe sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité P pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

**Tableau II. 6 La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.**

Graviers	(P%)
3/8	61.11
8/16	56.70

## II.2.7 La Compacité :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}$$

Tableau II. 7 compacités des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.

Fraction	La compacité C (%)
3/8	38.88
8/16	43.29

## II.2.8 Indice des vides :

$$I = \frac{P}{C}$$

Tableau II. 8 Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.

Fraction	Indice de vide
3/8	1.57
8/16	1.30

## II.2.9 Résistance à la fragmentation :

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec la charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min).

Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm Coefficient de los Angeles « LA »

$$LA = \frac{m}{5000} * 100$$

- Si LA < 20 : le gravier très dur.
- Si 20 < LA < 30 : le gravier dur.
- Si LA > 30 : le gravier friable.

Tableau II. 9 los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé.

Nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	$L_A$
<b>G. concassé</b>	3/8	5000	1205	7	24.4
	8/16		1041	11	22

**Résultat** : le gravier dur.

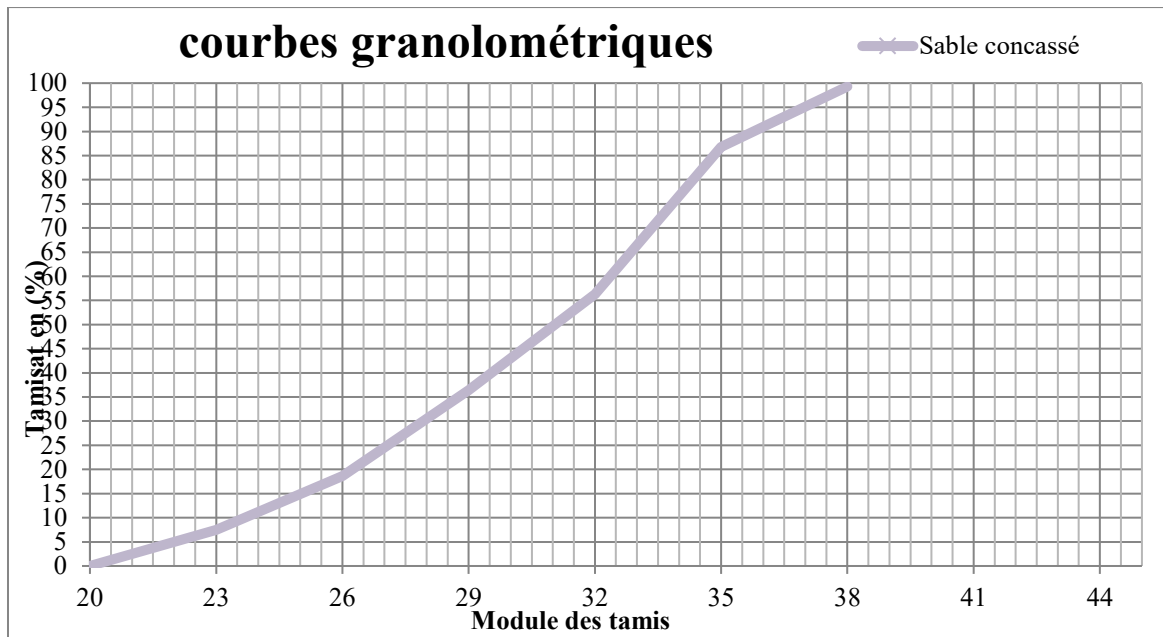
### II.3 Sable (sable concassé 0/5) :

#### II.3.1 Composition granulométrique :

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie. Mais différentes séries de tamis.

Tableau II. 10 l'analyse granulométrique d'un sable 0/5.

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des Tamis +sable (g)	Refus du Sable (g)	Refus Cumules (g)	Refus Cumules %	Tamisant Cumules %
<b>5</b>	802.3	808.6	6.8	6.8	0.68	99.32
<b>2.5</b>	699.1	824.7	125.6	132.4	13.24	86.76
<b>1.25</b>	646.8	951.8	305	437.4	43.74	56.26
<b>0.63</b>	607.3	805.4	198.3	635.7	63.57	36.43
<b>0.315</b>	558.5	736.4	177.9	813.6	81.36	18.64
<b>0.16</b>	533.7	645.6	11.9	925.5	92.55	7.45
<b>Fond</b>	600.2	674.5	74.5	1000	1000	0



**Figure II. 5 l'analyse granulométrique d'un sable 0/5.**

### II.3.2 Equivalent de sable : NF P 18-598 :

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultra fines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

#### a. Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- Prendre une pesée de 120 g.
- Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vente au-dessus de l'éprouvette,
- Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en

même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2èmerepère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

#### A / Equivalent de sable visuel (ESV) :

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.

- Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Où :  $h_2 > h_1$  avec :  $h_1$  : sable propre + éléments fins.

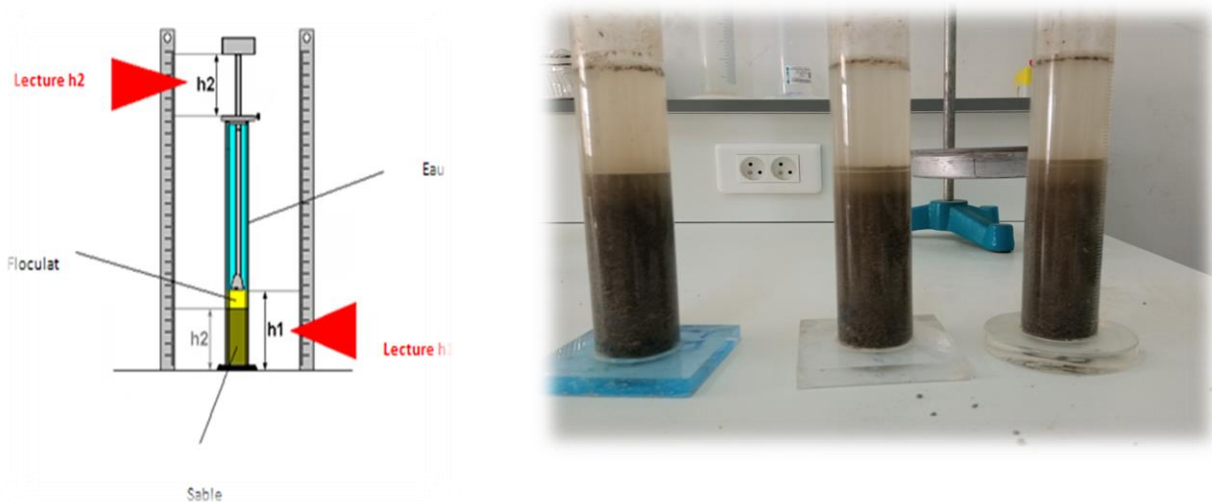


Figure III.6. Essais d'équivalent de sable.

#### B / Equivalent de sable visuel (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit partie sédimentée.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Où  $h_2$  : La hauteur du sable ( $h_2 < h_1$ )

(ESV) moy = 53,28 %

(ESP) moy = 47,64%

Donc : 54% < ESV

60% < ESP

Tableau II. 11 Equivalent du sable Concassée 0/5.

<i>N<sup>o</sup></i> <i>d'essais</i>	<b>h<sub>1</sub></b> <b>(cm)</b>	<b>h'<sub>2</sub></b> <b>(cm)</b>	<b>ESV</b> <b>(%)</b>	<b>h<sub>2</sub></b> <b>(cm)</b>	<b>ESP</b> <b>(%)</b>
<b>1</b>	15.5	8.4	54.19	7.2	46.45
<b>2</b>	15.4	8.4	54.52	7.6	49.35
<b>3</b>	17.4	8.9	51.14	8.2	47.12



Figure II.7 Essais d'équivalent de sable.

Tableau II. 12 Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥85	E.S >80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Résultats :** Sable contenant des fines : Risque de retrait. Pour un bon béton, ce type de sable doit être corrigé. Dans notre étude, on a pris le sable concassé avec son état naturel (carrière).

### II.3.3 Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où :

**RC :** Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le  $M_f$  des sables comme suit :

- Sable gros  $M_f \geq 2.5$

- Sable moyen  $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin  $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin  $1 < M_f < 1.5$

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} = 2.94$$

C'est un sable Gros

### **II.3.4 Masses volumiques apparentes :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

#### **II.3.4.1 Principe de l'essai :**

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

#### **II.3.4.2 Mode opératoire :**

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique. La Masse volumique apparente est donnée par formule suivant :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

**Tableau II.13 : Masses volumiques apparentes de sable Concassée 0.5.**

N° d'essais	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ moye (g/cm <sup>3</sup> )
01	116	1488	1.524	1.508
02	116	1482	1.517	
03	116	1453	1.485	

Volume de récipient V=900cm<sup>3</sup>**II.3.5 Masses volumiques absolues :**

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la

Formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

**Tableau II .14 Masses volumiques absolues de sable Concassée 0.5.**

N° d'essai	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho_{abs}$ (g/ml)	$\rho_{abs}$ M (g/ml)
1	300	300	440	2.14	2.24
2	300	300	430	2.30	
3	300	300	430	2.30	

**II.3.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555) :**

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

**Tableau II.15. Porosités (%) du sable.**

Porosité P(%)
32.67%

**II.3.7 Compacité :**

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

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - P$$

**Tableau II. 16 Compacité C(%) du sable.**

Compacité C (%)
67.33

**II.3.8 Indice des vides :**

$$I = \frac{P}{C}$$

**Tableau II. 17 Indice de vide des fractions sable Concassée 0.5.**

Fraction	Indice de vide
sable Concassée 0.5	0.485

**II.4 Sable de brique concassé :**

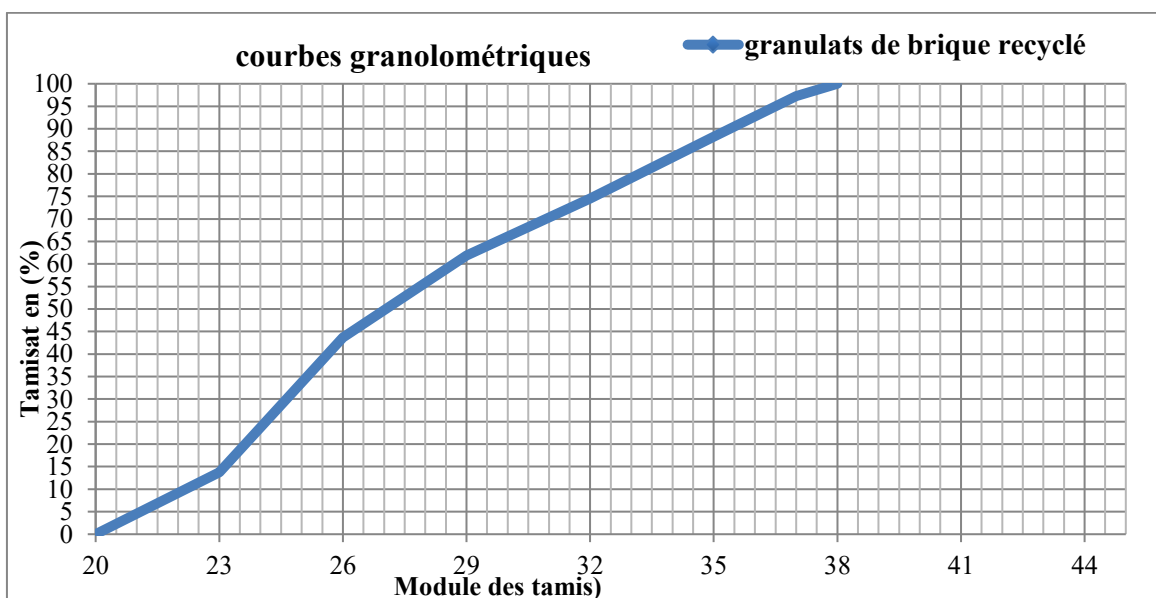
Les granulats de brique sont obtenus après concassage de débris de briques rouge de construction.

### Composition granulométrique

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable ensuivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie. Mais différentes séries de tamis

**Tableau II. 18. l'analyse granulométrique d'un sable de brique concassé.**

sable de brique concassé				
Tamis	Refus partiel	Refus cumulés		Tamisât
(mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
5	2	2	0	100
4	53.5	55.5	2.78	97.23
2.5	180.5	236	11.80	88.20
1.25	273	509	25.45	74.55
0.63	253.5	762.5	38.13	61.88
0.315	364.5	1127	56.35	43.65
0.16	597.5	1724.5	86.23	13.78
0	275.5	2000	100	0.00



**Figure II.8 l'analyse granulométrique d'un brique concassé.**

## II.5 La formulation des bétons :

### II.5.1 L'objectif de la formulation de béton :

L'Objectifs d'une formulation est d'avoir les performances requises pour un béton :

- Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams, noté h ;
- les qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours ; notée  $f_{cm28}$  (résistance moyenne) ;
- des qualités de durabilité qui conduisent à imposer une résistance caractéristique minimum, un dosage minimum en liant équivalent  $(C + kA)$  et un rapport maximum  $E/(C + kA)$
- formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences au moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible tout en vérifiant que le dosage minimal est atteint.
- Des logiciels permettent de traiter toute la partie non expérimentale du travail formulation. Même avec de tels outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres influent sur les qualités du béton, car ces paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris en compte dans toute leur complexité (sans compter que des produits comme les adjuvants sont en constante évolution). C'est l'objet des paragraphes qui suivent de présenter ces paramètres de manière à rendre d'autant plus efficaces les outils de calcul (et les essais qui demeurent incontournables) pour et lui qui cherche à résoudre un problème de formulation de béton. [52]

### II.5.2 Quelques Méthodes de composition des bétons :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de  $1\text{m}^3$  de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique acceptée.

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et appliqué dans les différentes pays du monde, permis ces méthodes on peut citer

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY

- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUX GORISSE
- Méthode des volumes absolus
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures)

L'objectif de toutes les méthodes de formulation des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible.

Dans notre travail nous utiliserons la méthode pratique de **DREUX –GORIS**

### **II.5.2.1 Méthode de formulation de 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 conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats. [53]

#### **a) Détermination du dosage en ciment :**

On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = G \cdot R_c (E/C - 0.5)$$

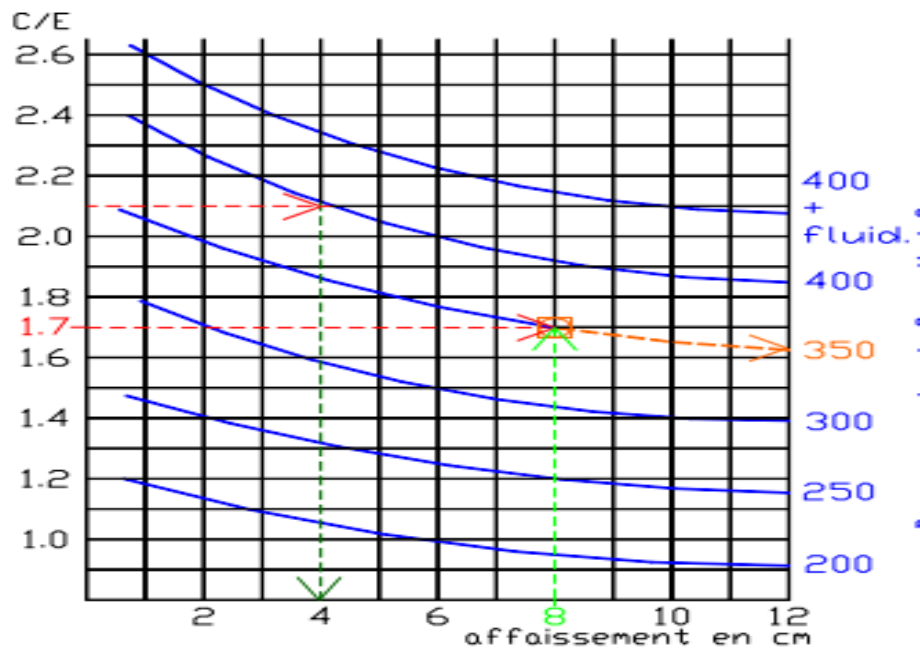
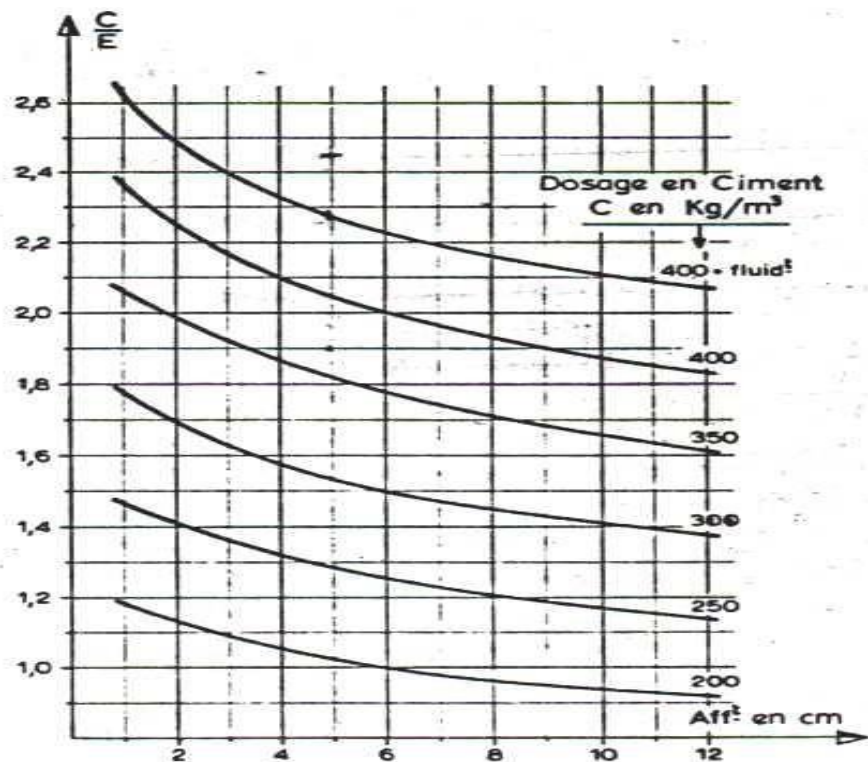
Où :

**R<sub>b</sub>** : Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars.

**G** : Coefficient granulaire

**R<sub>c</sub>** : Classe vraie du ciment à 28 jours, en bars.

Connaissant le rapport  $C/E$  la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque. [54]



**Figures II.9** Abaques permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport  $C/E$  et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

Tableau II. 19 Valeurs de G coefficient granulaire.

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins	Moyens	Gros
	$D \leq 12.5$	$20 \leq D \leq 31.5$	$D \leq 40$
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

b) **Détermination du dosage en eau** : Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par le formule :  $E = C / (E/C)$  [30]

c) **Détermination du dosage en granulat** :

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulaire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, ci-dessous courbe OAB.

La courbe OAB, où **B** à l'ordonnée 100% correspond à la dimension **D** du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• **En abscisse** :

Si  $D \leq 20\text{mm}$  l'abscisse est  $D/2$ .

Si  $D \geq 20\text{mm}$  l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspond à (D max).

• **En ordonnée** : Y donnée par la formule suivante :

$$YA = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$$

$K_s$ , ajustement de la granularité du sable

- Pour  $FM > 2.8$   $K_s = 5.4$  FM-15

- Pour FM est varié de 2 à 3  $K_s = 6$  MF-15

**K** : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le Tableau [30]

Tableau II. 20 valeurs du terme correcteur K.

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	concassé	roulé	concassé	Roulé	Concassé
Forme (t, s, sable)						
400+fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$  par exemple. Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$c = C / \rho_c$$

$\rho_c$  : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V = (1000 \times \gamma) \cdot c.$$

Où :

$\gamma$  : coefficient de compacité qui est donné par le tableau :

Tableau II. 21 coefficients de compacité.

consistance	serrage	Coefficient de compacité $\gamma$						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
		0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850

**a. Dosage en ciment :**

- $C=350 \text{ kg/m}^3$  valeur prescrite.

**b. Dosage en eau :**

- ⇒ On à  $C=350 \text{ kg/m}^3$
- ⇒ Et affaissement = 8 cm (béton plastique)
- ⇒ Après l'abaque :  $C/E= 1.71 \rightarrow E/C= 0.58$
- Alors :  $E= 350/1.71=204.67\text{L}$

**Correction du dosage en eau selon le diamètre maximal D du mélange granulaire****Tableau III. 22 valeurs de la correction sur le dosage en eau.**

Diamètre (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction en %	9	6	4	2	0	-2	-4	-6

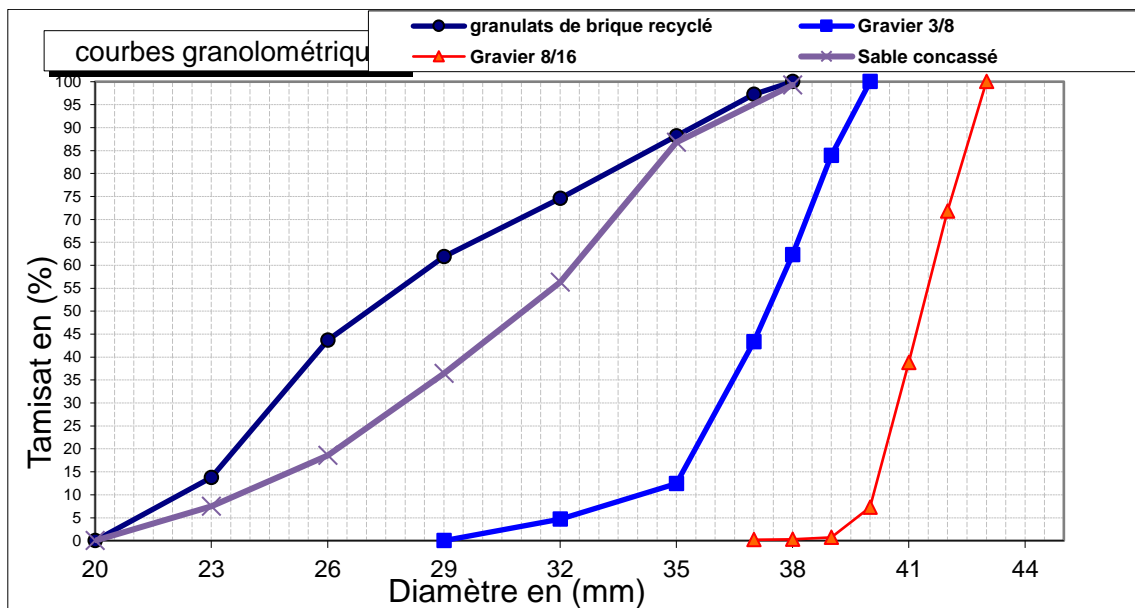
On a un **D max= 16 mm** qui correspond à une correction de **4%** en plus de la quantité d'eau calculée donc on obtient :

$$E=F_{\text{calculée}}+0.04 \times F_{\text{calculée}}= 204.67 + 0.04 (204.67) = 212.85$$

Litre E après correction = **212.85 Litres**

**c. Dosage des granulats :**

La granularité du mélange obtenu peut être représentée et approchée par deux segments de droite. Cette courbe simplifiée une modélisation de la courbe réelle.

**Figure II. 10 courbe d'analyses granulométriques des granulats.**

Cette modélisation est intéressante car cette courbe théorique est suffisamment proche de la courbe réelle pour être significative et elle peut être entièrement déterminée ç partir de seulement trois points appelés respectivement O origine, A point de brisure, B extrémité.

Pour les granulats à béton, il apparait que les points O, A et B, sont invariable quel que soit les proportions du mélange.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisât sur le plus petit tamis (0.08 mm). Ce point est Repéré par ses coordonnées : O [0.08 ; 0] de même, le d'extrémité, B se situe le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisât. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100].

Pour le point de brisure A, il apparait que le tamis sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange. En observant de plus après, il apparait que ce tamis se situe à  $D/2$ , si  $D \leq 20$ mm, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si  $D > 20$  il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange. Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquence sur sa résistance. La meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode dite DREUX-GORISSE.

L'ordonnée optimisée du point de brisure, YA est déterminée par la relation suivante :

$$YA = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$$

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre. K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment. Voir tableau ci-contre :

**Tableau II. 23 valeurs du terme correcteur k.**

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	Concassé
400+fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

- La valeur trouvée est  $K=+2$

$K_s$ , ajustement de la granularité du sable

- Pour  $FM$  est varié de 2 à 3  $\rightarrow K_s=6 MF-15$

On a  $FM=2.65 \rightarrow K_s=(6 \times 2.65) - 15 = 0.9$

$K_p$ , ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par pompes à béton

$K_p=0$  si le béton est non pompable

$5 \leq K_p \leq 10$  si le béton est pompable

On a un béton non pompable. Donc :  $K_p=0$

Pour un béton non pompable réalisé avec des granulats roulés dont le gravier a un diamètre,

$D=16 \text{ mm}$ , le sable a un module de finesse  $MF=2.65$ , un dosage en ciment de 350 kg

$K=0$ ,  $K_s=5.4 \times 3.44 - 15 = -3.57$ ,  $K_p=0$ ,  $Y_A=50 - \sqrt{16} + 2 + 0.9 + 0 = 48.9\%$

$X_A=16/2=8 \text{ mm}$  le point A à pour coordonnées : **A [8 ; 48.9]**

#### d. La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée **95%** de la courbe des plus petits granulats au point d'ordonnée **5%** de la courbe granulaire des plus gros granulats. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et de gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection.

Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier

- Le mélange optimal est obtenu avec un volume absolu de **40%** de sable et **60%** de gravier (**15%** gravier 3/8 et **49.6%** gravier 8/15 et sable concassé **35.4%**).

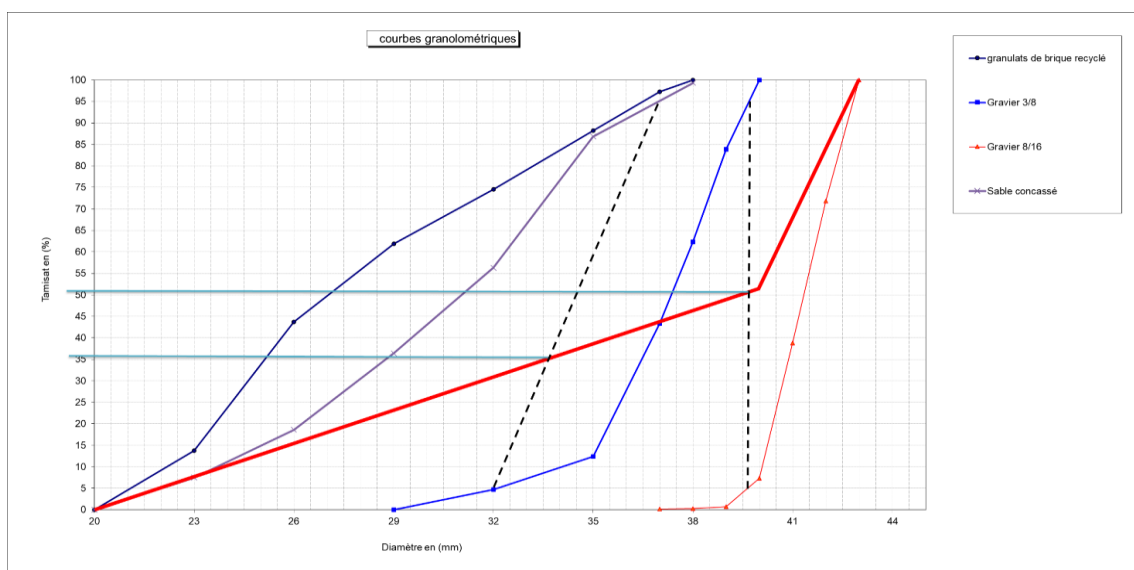


Figure II. 11 les lignes de partage.

Le mélange optimal est obtenu avec un volume absolu de **40%** de sable et **60%** de gravier (**15%** gravier 3/8 et **49.6%** gravier 8/15 et sable concassé **35.4%**).

**e. Dosage en masse des granulats :**

La connaissance de la compacité du béton et des masses volumiques absolues des matériaux. La meilleure compacité est obtenue en vérifiant les proportions du mélange granulaire. Mais indépendamment de cela, elle dépend également du diamètre D des granulats, des conditions de vibration du béton et de sa plasticité. L'expérience permet de prévoir approximativement la compacité du béton selon les valeurs suivantes :

**f. Coefficient de compacité :**

**Tableau II. 24 valeurs du coefficient de compacité  $\gamma$ .**

consistance	Serrage	Coefficient de compacité $\gamma$							
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80	
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820	
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825	
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830	
Plastique	Piquage								
	Vibration faible	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830	
	Vibration normale		0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
			0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845	
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845	
		0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850	

- La correction effectuée, on trouve  $\gamma = 0.815$

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter la correction suivante :

Sable roulé et gravier concassé = **-0.01**

Sable et gravier concassé = **-0.03**

Alors :  $\gamma = 0.815 - 0.01 = 0.805$

Toutes les masses des constituants du béton ont été déterminé pour obtenir un béton conforme aux attentes. Il est maintenant nécessaire de réaliser des éprouvettes, pour vérifier et ajuster les dosages expérimentalement afin de garantir la qualité du béton.

**g. Quantité des agrégats en pourcentage :**

Sable concassée (%)=35.6%. (%) S/100= **0.356**

Gravier 3/8 (%)= 15%. (%) Gravier (3/8)/100= **0.15**

Gravier 8/15 (%)= 49.6%. (%) Gravier (8/15)/100= **0.496**

**Volume absolu de l'ensemble des granulats :**

On a :  $V = (1000 \times \gamma) - c$ .

$c = C/3.10 = 111.11$

volume absolu de l'ensemble des granulats  $V = (1000 \times \gamma) - c = (1000 \times 0.810) - 111.11 =$   
**698.89L.**

**Dosage des granulats en kg dans 1 m<sup>3</sup> :**

Sable concassée [kg]= $0.354 \times 692.1 \times 2.6 = 637$  litres

Gravies 3/8[kg]= $0.15 \times 692.1 \times 2.6 = 269.9$  litres

Gravies 8/15[kg]= $0.496 \times 692.1 \times 2.55 = 875.36$  litres

Les masses spécifiques sont :

\* Sable = **2.6 g/cm<sup>3</sup>**

\* Gravier (3/8) = **2.6 g/cm<sup>3</sup>**

\* Gravier (8/16) = **2.55 g/cm<sup>3</sup>**

➤ Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/ m<sup>3</sup> :

\*Ciment = **350 kg/m<sup>3</sup>.**

\* Sable =  $2.6 \times 637 = 1656.2$  kg/m<sup>3</sup>

\* Gravier (3/8) =  $2.6 \times 269.9 = 701.74$  kg/m<sup>3</sup>

\* Gravier (8/16) =  $2.55 \times 875.36 = 2231.25$ kg/m<sup>3</sup>

\* Eau total = **204.64 l/m<sup>3</sup>**

Notre béton a été formulé d'après la méthode de **DREUX-GORISSE.**

## II.6 Constituants ajoutés dans béton :

### II.6.1 Ajouts minéraux :

#### II.6.1.1 Fumée de silice :

Elle est à base de micro silice provenant de la société « GRANITEX » sous forme de poudre grise. Cette Fumée de silice est désignée par le nom « MEDAPLAST HP ». Ces caractéristiques physiques sont présentées au tableau II-25

**Dans notre étude, on a utilisé 7.5% de fumé de silice (du poids de ciment)**

**Tableau II-25 : Caractéristiques physiques de la fumée de silice.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.5
Densité absolue (g/cm <sup>3</sup> )	1.87
Finesse (cm <sup>2</sup> /g)	20470



*Figure II-12 : Fumé de silice forme de poudre.*

## II.6.2 L'adjuvant :

Dans notre travail, l'adjuvant qui nous avons utilisé s'appeler : Le super plastifiant (MEDAPLAST 30).

### II.6.2.1 Description :

D'après la fiche technique (Annexe), le MEDAPLAST 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité, en plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

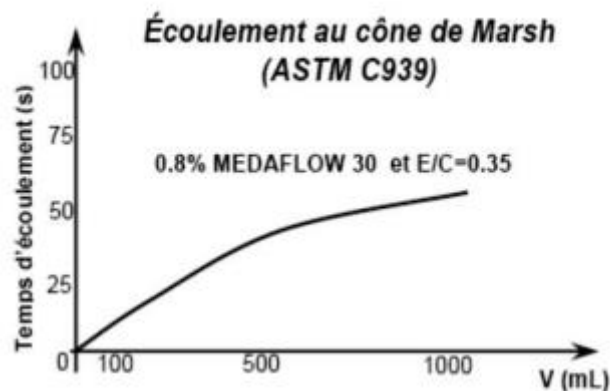


Figure II.13 Evolution découlement au cône de Marsh.

### II.6.2.2 Propriétés :

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

#### Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

#### Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).

- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

**Tableau II.26 Evolution des résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.**

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
<b>MEDAFLOW 30 (1.4%)</b>	<b>39.2</b>	<b>54.7</b>	<b>62.2</b>

### II.6.2.3 Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

Dans notre étude, on a utilisé 1.8% d'adjuvant ( du poids de ciment)



**Figure II.13 Le super plastifiant (MEDAPLAST 30).**

#### **II.6.2.4 Caractéristique :**

- Aspect .....Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité .....  $1,07 \pm 0,01$
- Teneur en chlore .....  $< 0,1 \text{ g/l}$
- Extrait sec ..... 30%

### **II.7 Étude de béton :**

#### **II.7.1 Confection et cure des éprouvettes :**

Des moules cubiques (10 x 10 x 10) cm<sup>3</sup> ont été utilisée pour les essais de compression, des prismes (10 x 10 x 40 cm) pour les essais de flexion et des cubiques (15 x 15 x 15) cm<sup>3</sup> pour les essais de sclérométrie et d'auscultation sonore. La confection des éprouvettes est réalisée conformément à la modalité des normes NF P 18-404 et 405.

#### **II.7.2 L'exécution de malaxage :**

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

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

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

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

#### **II.7.3 Malaxage du béton :**

Il est essentiel que les constituants de base (C ; S ; G et E) soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pate de

ciment et qui sera alors homogène à grande échelle et possédera par conséquent des propriétés uniformes.

Le malaxage est effectué dans des malaxeurs ou à la main. Dans notre cas on a utilisé le malaxeur.

#### **II.7.4 Malaxeurs à béton : [NA EN 12390-2]**

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



**Figure II.14 : Le malaxeur utilisé (malaxeur de laboratoire Géo-matériaux).**

#### **II.7.5 Programme des essais :**

##### **II.7.5.1 Mesure de la consistance (Norme NF P 18 415) :**

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

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

**Tableau II. 27 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.**

Classe de consistance	Définition	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Très plastique	100 à 150
S4	Fluide	160 à 210
S5	Très fluide	≥220

✚ Notre béton dans la class S2 : 5 à 9 (cm) alors béton plastique.



**Figure II. 15 : l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.**

### II.7.5.2 Vibration : [NA EN 12390-2]

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

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

- On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre ai laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau.



**Figure II.16 : la table vibrante (vibrant de laboratoire de Géo-matériaux).**

## **II.7.6 Essais à l'état durci :**

### **II.7.6.1 Essais non destructifs :**

#### **II.7.6.1.1 Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2)**

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton en fonction de l'indice de rebondissement mesuré au moyen d'un scléromètre appliqué sur la surface du béton. L'essai a été réalisé conformément à la norme NF EN 12504-2 sur des éprouvettes ayant l'âge de 28 jours et cela juste avant l'essai de compression par écrasement à la presse.



**Figure II.17 : Essai Sclérométrique (scléromètre de laboratoire de Géo-matériaux).**

#### **II.7.6.1.2 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) : (NF EN 12504-4)**

L'essai consiste à émettre une onde dans une éprouvette de béton et de mesurer le temps et la vitesse de cette onde en parcourant une distance connue, on peut par la suite déduire graphiquement la résistance à la compression du béton.

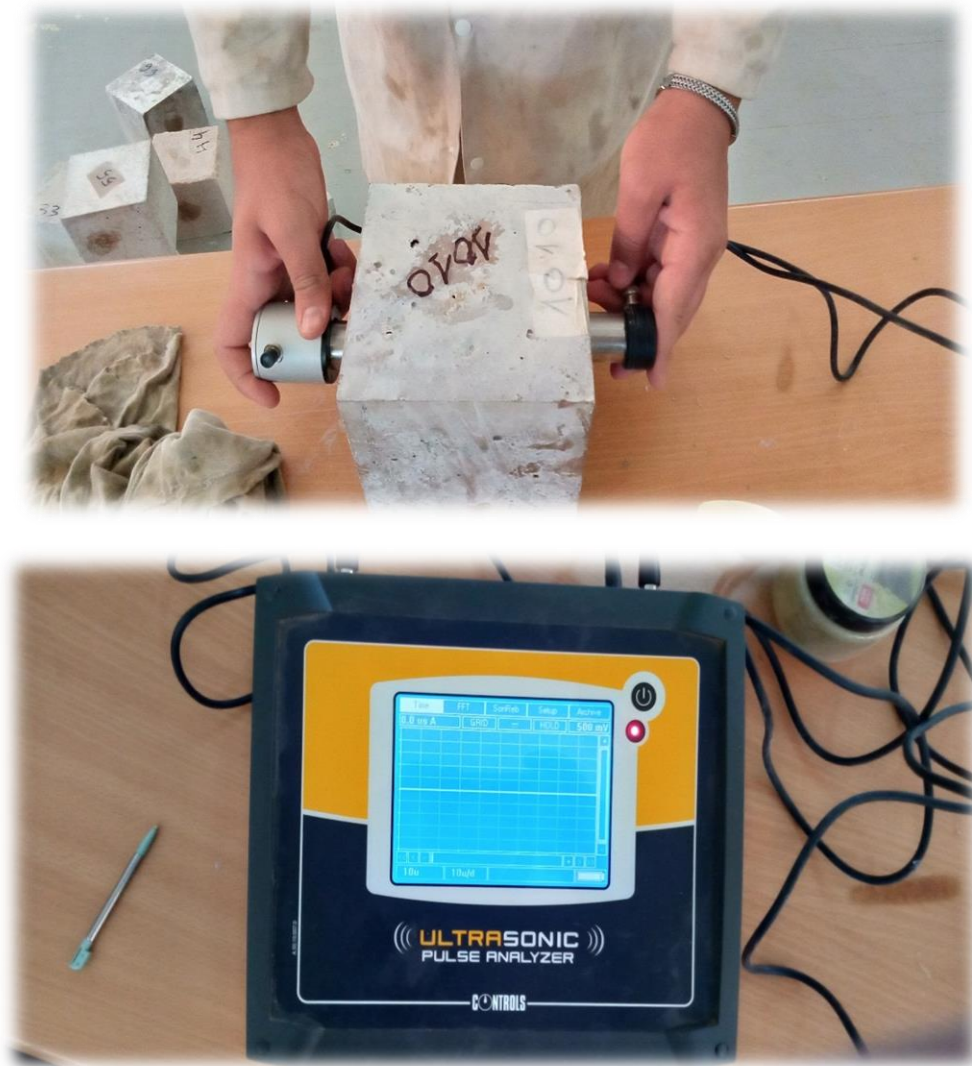


Figure II. 19 : Essai d'ultrason (ultrason de laboratoire de Géo-matériaux).

## II.7.6.2 Essais destructifs :

### II.7.6.2.1 Essai de compression : [NEP 18 – 406]

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cubiques de dimensions (10x10x10 cm<sup>3</sup>) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression  $f_{cj}$  Obtenus à 28 jours représentent la moyenne de deux échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kn en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation  $f_{cj} = FS$  (en Mpa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette.



**Figure II. 20 : La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (la machine de laboratoire de Géo-matériaux).**

#### **II.7.6.2.2 Essai de traction par flexion : [NFP 18-407]**

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme NF P 18-407. L'essai s'effectue sur une machine de flexion sollicitant l'écrasement d'éprouvettes prismatiques (10 x10 x40) cm<sup>3</sup> à une flexion directe.



**Figure II-21 : machine de traction par flexion.**

## **Conclusion :**

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux de bases utilisés pour la confection des différents types de béton de notre étude expérimentale.

On a présenté les différents essais pour caractériser les matières premières utilisées dans notre étude ainsi que la méthode de formulation et les dosages de différents constituants du béton.

La partie expérimentale consiste à valoriser les agrégats recyclés, ensuite étudié les comportements des bétons frais et évalué les performances des bétons durcis.

Les résultats des essais effectués sur le béton à l'état frais et à l'état durci sont présentés et discutés dans le chapitre suivant.

# **Chapitre III. Résultats et Discussions**

---

# Résultats et discussions

## III.1 Introduction

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

Dans ce chapitre nous allons analyser les résultats obtenus après la fin des essais expérimentaux.

Des propriétés du béton (résistance à la compression, et la résistance à la traction par flexion), sur les échantillons confectionnés.

Ensuite, nous mesurons la vitesse de propagation des ultrasons et l'essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) à travers le béton car cela nous renseigne sur l'homogénéité du béton, les résistances du béton, et en faisant des interrelations entre ces paramètres et la vitesse des ultrasons et la résistance de d'auscultation dynamique (Sclérométrique).

## III.2 Les résultats des essais effectués sur bétons :

### III.2.1 Essais sur béton frais :

**III.2.1.1 Affaissement :** nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

Pour les différents gâchés, l'affaissement au cône d'Abrams est prise entre 5 cm et 9 cm (béton plastique). Ce qui est plus répandu dans les chantiers de coulage.

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

D'après Le tableau III.2 même remarque peut être faite sur le rapport E /C des différents mélanges qui varie dans le même sens que le taux de substitution en poids en granulats recyclés. Cela se traduit par la présence d'une grande quantité des fines argileuse qui est caractérisé par sa forte absorption d'eau ont une porosité.

Tableau III. 1 Affaissement.

Dosage de ciment kg/m <sup>3</sup>	Type Béton	N° de gâché	G/S	Affaissement en (Cm)	
<b>350</b>	<b>SDBR 0%</b>	<b>100/0/0</b>	11	1.79	6
	<b>SDBR 25%</b>	<b>75/0/25</b>	22	1.79	6
	<b>SDBR 50%</b>	<b>50/0/50</b>	33	1.79	6
	<b>SDBR 75%</b>	<b>25/0/75</b>	44	1.79	9
	<b>SDBR 100%</b>	<b>0/0/100</b>	55	1.79	7
<b>350 Kg de ciment + 7.5% Fumée de silice + 1.8% d'adjuvant</b>	<b>SDBR 0%</b>	<b>100/0/0</b>	66	1.79	6
	<b>SDBR 25%</b>	<b>75/0/25</b>	77	1.79	7
	<b>SDBR 50%</b>	<b>50/0/50</b>	88	1.79	9
	<b>SDBR 75%</b>	<b>25/0/75</b>	99	1.79	9
	<b>SDBR 100%</b>	<b>0/0/100</b>	1010	1.79	6.5

### III.2.2 Essais sur bétons durcis (béton ordinaire) :

#### III.2.2.1 La Résistance à la compression 28 jours :

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

Pour la détermination de la résistance à la compression, des éprouvettes cubique 10×10×10 ont été réalisé. Les essais ont été effectués sous une presse hydraulique en respectant les prescriptions des règles suivantes :

- L'éprouvette est centrée sur le plateau de la presse.
- Aucune matière n'est interposée entre l'éprouvette et les plateaux de la presse.
- La charge est applique d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



Figure III. 1 : L'essai de la résistance à la compression.

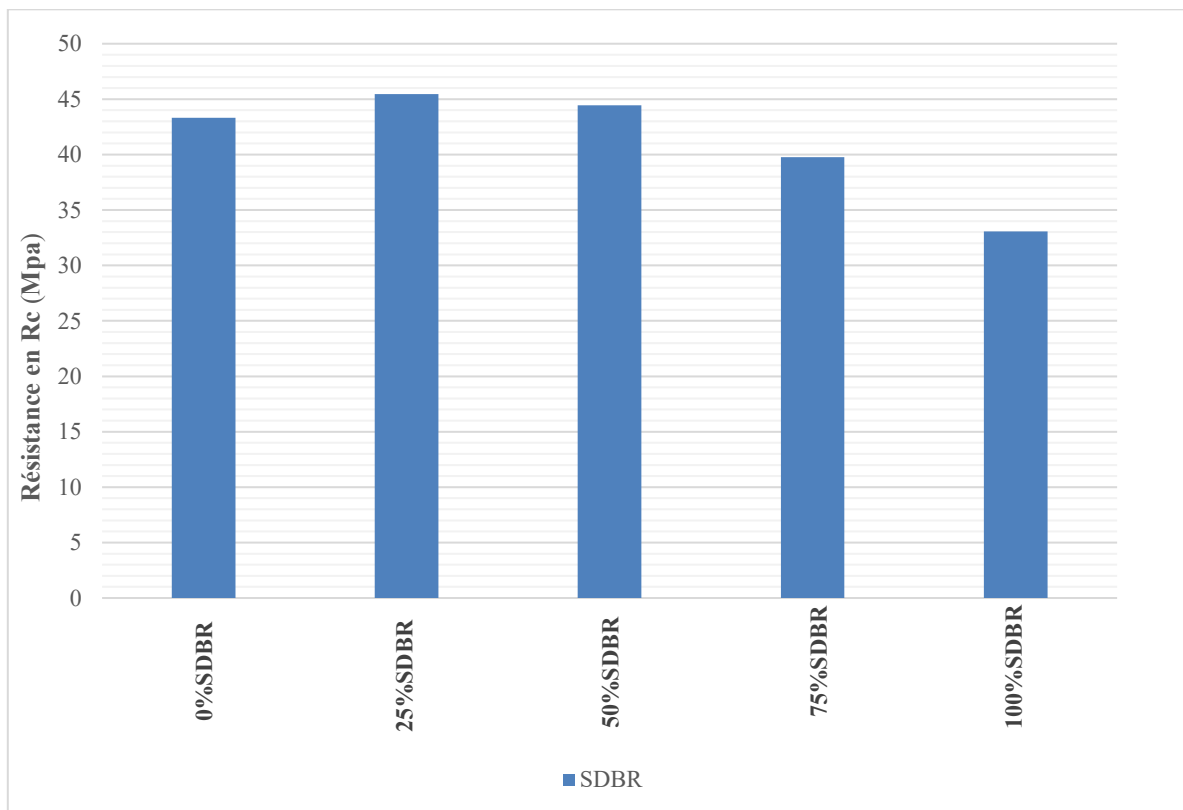


Figure III.2 : Résistance à la compression à 28 jours.

Dans la figure précédente, on remarque que la résistance à la compression est maximale dans le cas où le pourcentage en sable de brique concassé est de 25%, elle est légèrement faible dans

le cas de 50%. L'augmentation du taux de brique concassé au-delà de 50 % conduit à une réduction de résistance. Ainsi, une meilleure résistance est obtenue avec un pourcentage de sable de brique concassé de 25%.

### III.2.2.2 La Résistance à la traction par flexion 28 jours :

Résistance à la flexion des bétons à base de sables recycle pour un dosage de ciments, 350kg/m<sup>3</sup> sur des éprouvettes (10x10x40) cm<sup>3</sup>.

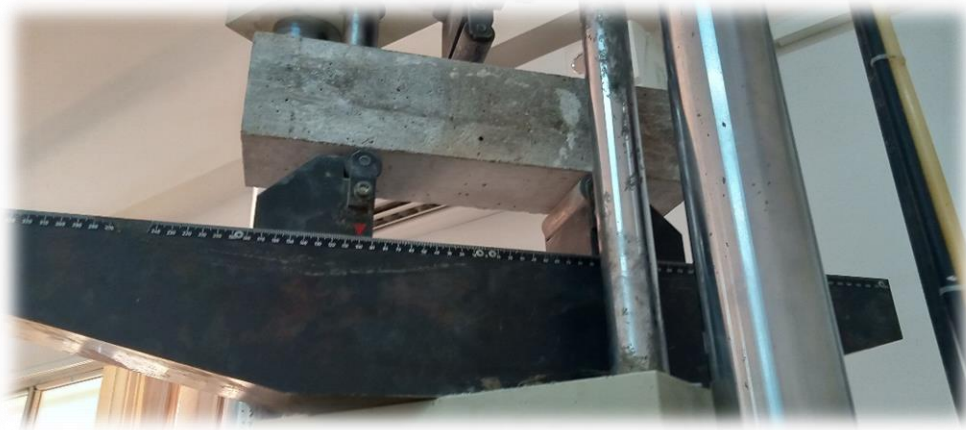


Figure III.3 Essai de traction par flexion.

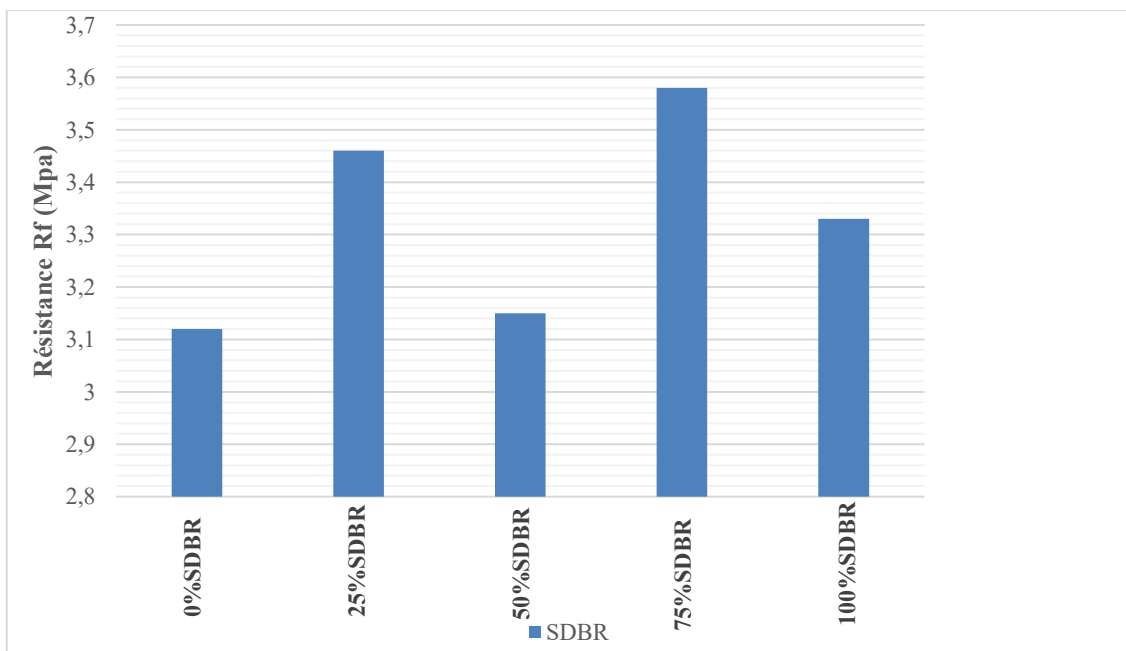


Figure III.4 La Résistance à la flexion.

La figure III.4 représente la résistance à la flexion en fonction du taux de brique concassé. Dans cette figure, la résistance maximale en flexion est obtenue pour un pourcentage de sable de brique concassé de 75%.

### III.2.3 Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression (fumée de silice + adjuvant) :

Afin d'améliorer le comportement du béton frais et durci à base de sable de brique recyclés, on a incorporé un ajout minéraux actif (fumé de silice) et un adjuvant dans le but de réduire la quantité d'eau pendant le malaxage.

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité puissent en effet être plus importantes. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus la résistance du béton est presque universellement utilisée lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

**Tableau III. 2 le rapport E/C et l'effet de l'ajout minéraux sur la résistance à la compression.**

Type de béton	E/C	AJOUT (fumé de silice) g	
00%SDBR+FS	0.51	Rc=66.74	7.5%
25%SDBR+FS	0.45	Rc=74.71	
50%SDBR+FS	0.51	Rc=66.27	
75%SDBR+FS	0.54	Rc=70.18	
100%SDBR+FS	0.58	Rc=71.61	

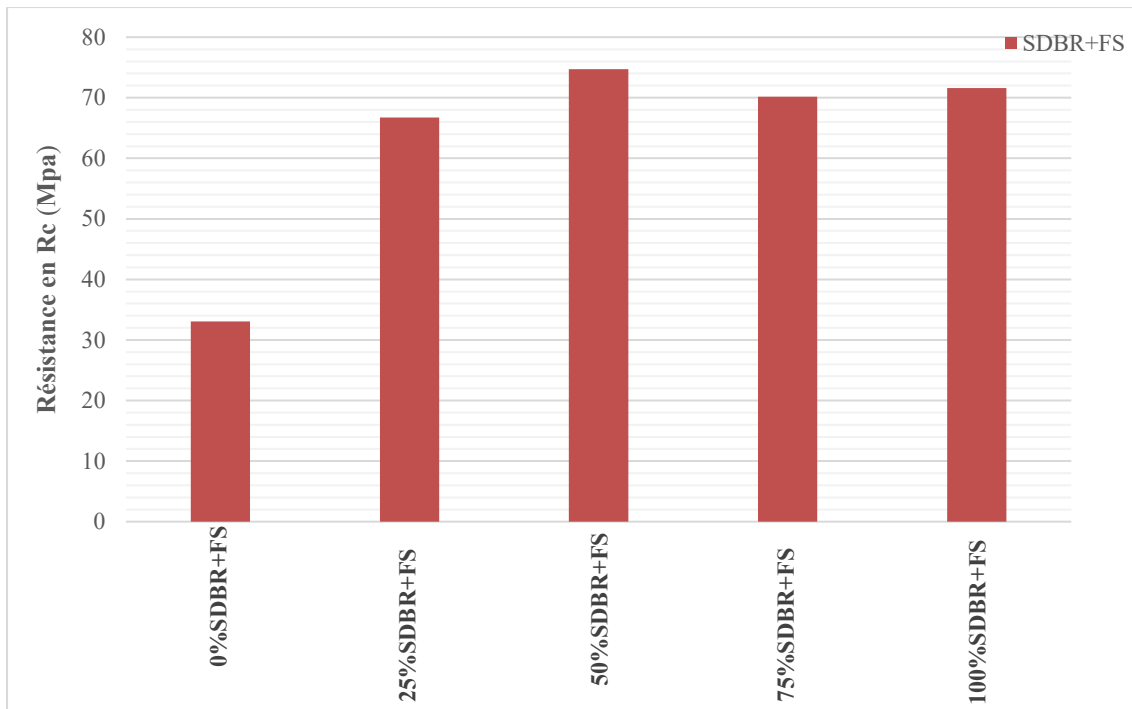


Figure III. : 5 Résistance à la compression à 28 jours.

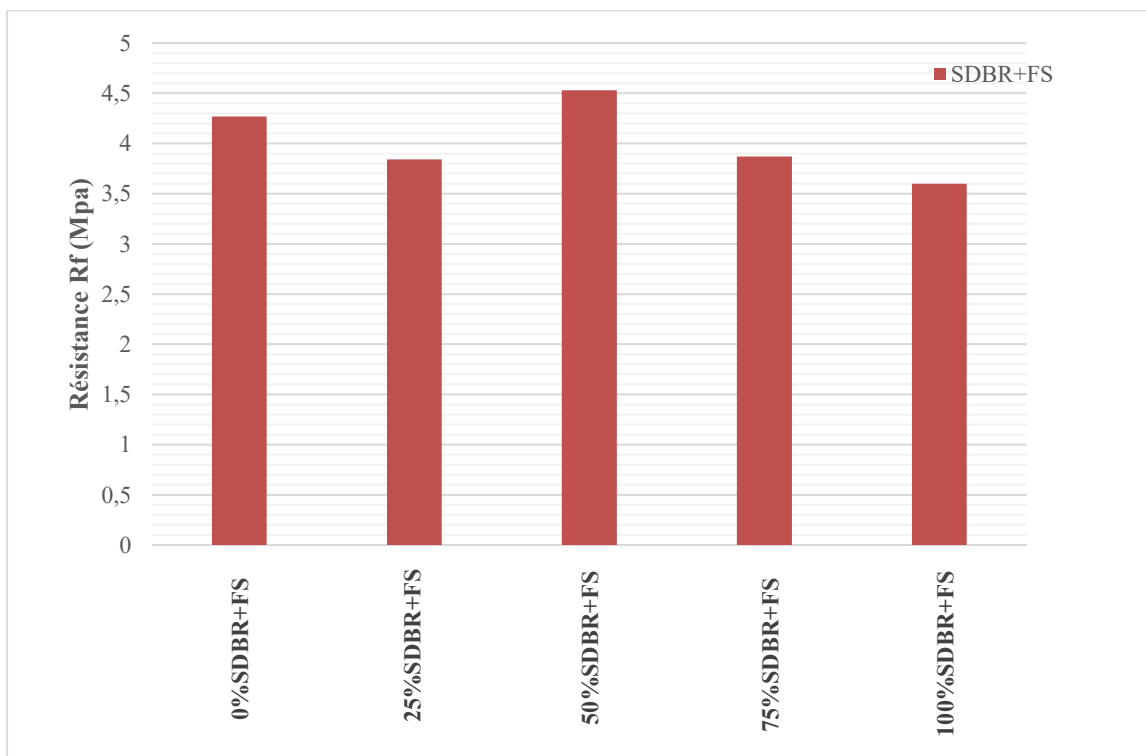


Figure III.6 La Résistance à la flexion.

Les figures III.5 et III.6, représentent respectivement la résistance à la compression et à la flexion des échantillons de béton confectionnés en incorporant de la fumée de silice et un adjuvant super plastifiant. Dans ces figures les meilleures résistances sont obtenues dans le cas des échantillons préparés avec 50% de brique concassé. L'incorporation de la fumée de silice et la réduction de la quantité d'eau ont conduit à des résistances élevées surtout en compression ou ces résistances atteintes plus de 70 Mpa.

### III.2.4 ESSAIS NON DESTRUCTIF :

#### III.2.4.1 Essais ultrasoniques :

Pour déterminer la vitesse ultrasonique, nous avons fait l'expérience éprouvettes cubique 15×15×15 cm.

**Tableau III.5 : Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique).**

Type de béton	Ultrason		Ed (module d'élasticité) (Mpa)
	Temps (μs)	Vitesse (km/s)	
0%SDBR	32.8	4.57	36782.48
25%SDBR	31.7	4.73	39072.03
50%SDBR	32.9	4.55	35388.85
75%SDBR	33.0	4.54	36911.25
100%SBDR	33.4	4.49	35804.33
0%SDBR+FS	30.3	4.95	43879.07
25%SDBR+FS	29.4	5.10	46578.70
50%SDBR+FS	30.3	4.95	43335.12
75%SDBR+FS	30.7	4.88	40884.56
100%SBDR+FS	32.3	4.64	36324.74

**Ed : Le module d'élasticité dynamique du béton (Mpa).**

Avec la relation :  $Ed = V^2 \times \rho b \times \frac{[(1+v)(1-2v)]}{1-v}$

v : le coefficient de poisson du béton

v=0.3

V= vitesse ultrason

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

✚ La résistance de béton est mesurée par le module d'élasticité

Donc : E ↑ la résistance ↑

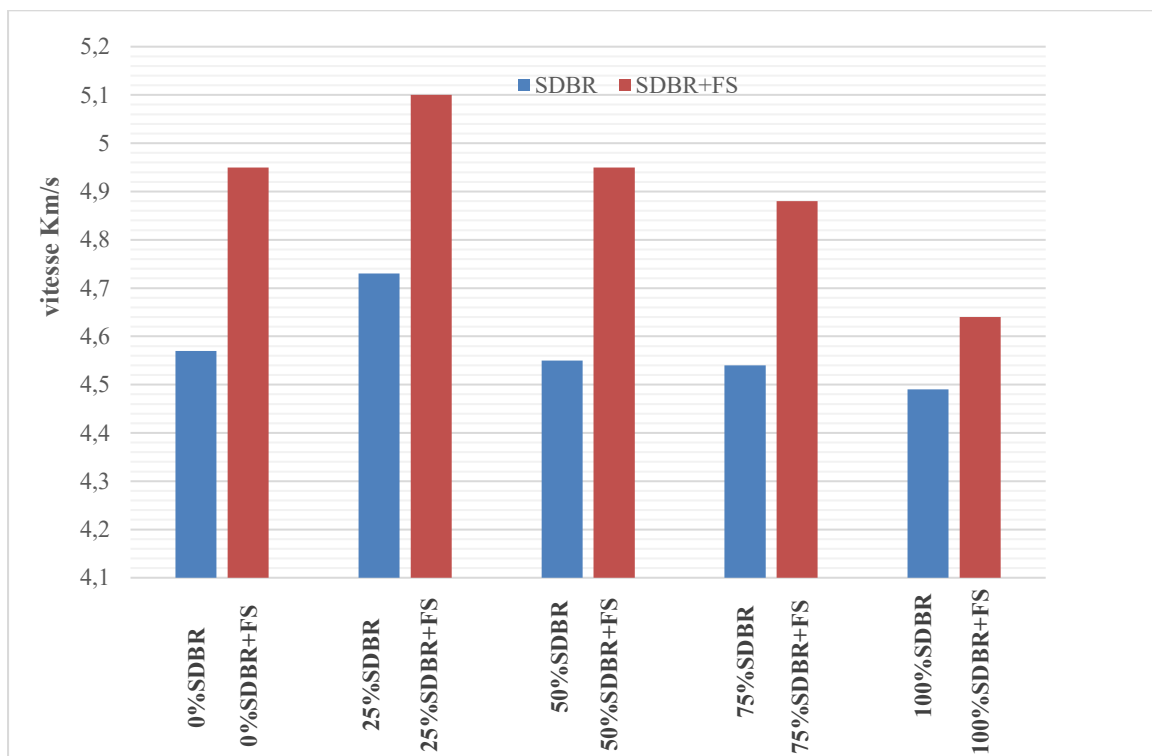


Figure III.7 auscultation dynamique (ultrason).

Le tableau III. 5 représentent la vitesse ultrasonique et module d'élasticité calculé par les valeurs trouvées pour les différents échantillons de béton. D'après les résultats obtenus, on peut donner les remarques suivantes :

- Les vitesses ultrasoniques nous informent de l'état interne du béton. Les vitesses élevées sont ceux du béton confectionné avec de la fumée de silice et d'adjuvant d'où des bétons de compacité élevée avec moins de

microfissures dû à la réduction du rapport E/C suite à la réduction de la quantité d'eau de gâchage en employant l'adjuvant.

- Le module d'élasticité nous renseigne de la résistance mécanique à la compression des différents types de béton. Les valeurs trouvées confirment l'effet positif de l'incorporation de la fumée de silice et de l'adjuvant qui ont conduit à des modules d'élasticités élevés.

La figure III.7 donne une image claire sur l'effet de la fumée de silice et de l'adjuvant en comparaison avec le béton ordinaire. Dans cette figure, on remarque que les valeurs élevées de la vitesse ultrasonique sont obtenues avec 25% de brique concassé soit pour le béton ordinaire ou avec fumée de silice et adjuvant.

### III.2.4.2 Essai Sclérométrique :

Pour déterminer la résistance sclérométrique, nous avons fait l'expérience éprouvettes cubique 15×15×15 cm.

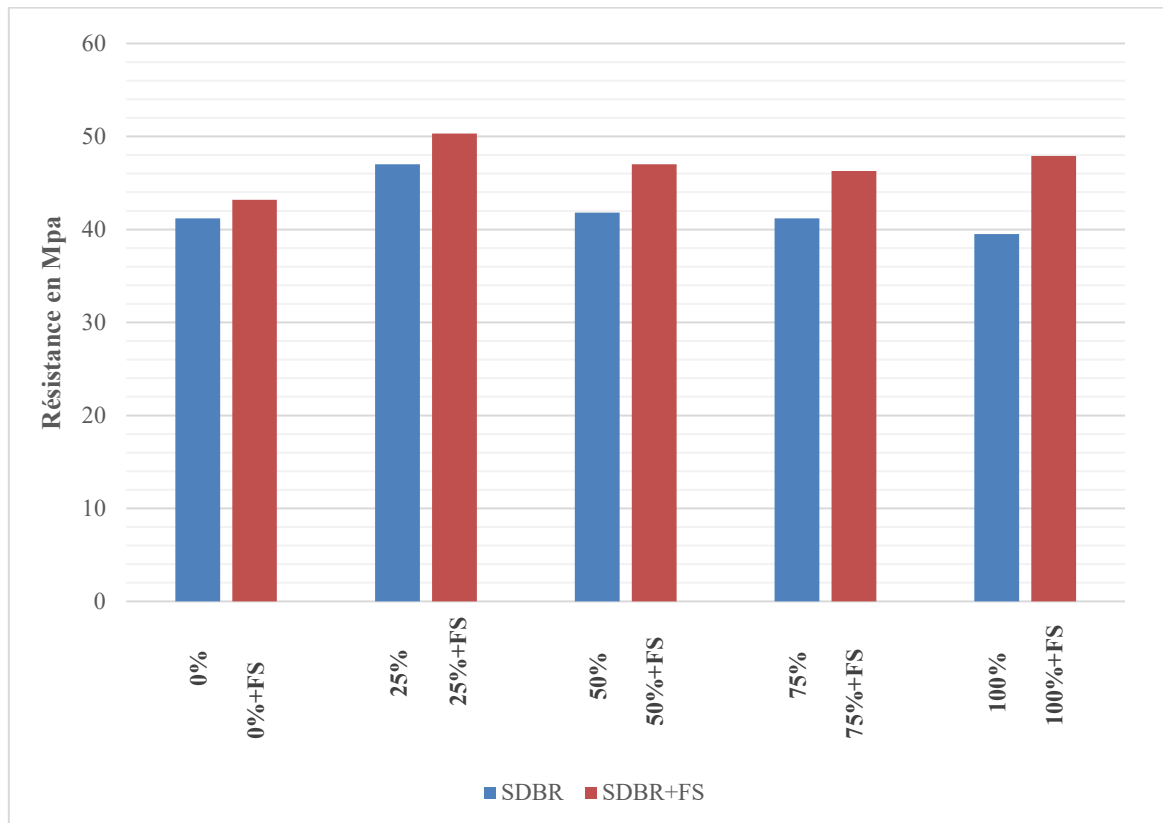
**Tableau III. 6 : Résultat des contrôles non destructifs (scléromètre) d'un béton sur l'éprouvette cubique (15× 15 × 15) cm<sup>3</sup>.**

N° DESSAIS	LECTURE I									I <sub>Moy</sub>
<b>11</b>	41.8	41.8	40	40.9	41.8	39.9	41.2	42.3	41.4	<b>41.2, S=0.2</b>
<b>22</b>	50.2	42.7	49.6	51.8	44.2	45.7	41.4	43.1	53.9	<b>47, S=4.2</b>
<b>33</b>	43.5	41.2	40.7	41.5	40.6	40.4	42.5	41.8	43.3	<b>41.8, S=1.8</b>
<b>44</b>	42.1	39.4	40.2	41.4	40.8	38.8	43.5	42.5	42.3	<b>41.2, S=1.5</b>
<b>55</b>	39.6	43.1	38	40.1	38.8	38.1	39.4	38.7	39.2	<b>39.5, S=1.4</b>
<b>66</b>	41.3	46.1	45.4	41.7	45.2	42.1	44.2	40.7	42.4	<b>43.2, S=1.9</b>
<b>77</b>	50.5	54	49.6	49.9	51.2	51.3	48.7	51.3	46.2	<b>50.3, S=2</b>
<b>88</b>	45.5	48.4	48.4	47.9	46	47.7	47.1	44.6	47.7	<b>47, S=1.3</b>
<b>99</b>	47.7	42.9	44.7	45.6	48.9	45.4	44	48	50	<b>46.3, S=2.3</b>
<b>1010</b>	48	48.6	48.9	50.3	48.7	48.1	45.5	47.6	45.3	<b>47.9, S=1.5</b>

S=l'écart type

$$S = \sqrt{(\sum(\sigma m - \sigma i)^2 / n-1)}$$

$$S1=\sqrt{(41.2-41.8)^2+(41.2-41.8)^2+\dots/9-1}\rightarrow S=0.294375$$



**Figure III.8 Résistance (MPa) par essai de scléromètre.**

La figure III.8 donne la résistance à la compression en fonction du pourcentage de brique concassé pour les béton ordinaire et béton avec fumée de silice. Dans cette figure, on remarque que

- Les résistances à la compression obtenus avec le scléromètre sont faibles en comparant les valeurs trouvées par les essais d'écrasement des échantillons.
- Les meilleures résistances sont obtenues dans le cas de 25% de brique concassé.
- Les résistances des échantillons confectionnés en employant de la fumée de silice et de l'adjuvant sont élevées en comparaison avec ceux du béton ordinaire.

### III.3 Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés, on peut conclure que :

- La résistance à la compression est maximale dans le cas où le pourcentage en sable de brique concassé est de 25%, elle est légèrement faible dans le cas de 50%. L'augmentation du taux de brique concassé au-delà de 50 % conduit à une réduction de résistance.
- La résistance maximale en flexion est obtenue pour un pourcentage de sable de brique concassé de 75%.
- Les meilleures résistances sont obtenues dans le cas des échantillons préparés avec 50% de brique concassé. L'incorporation de la fumée de silice et la réduction de la quantité d'eau ont conduit à des résistances élevées surtout en compression ou ces résistances atteintes plus de 70 Mpa.
- Les vitesses ultrasoniques nous informent de l'état interne du béton. Les vitesses élevées sont ceux du béton confectionné avec de la fumée de silice et d'adjuvant d'où des bétons de compacité élevée avec moins de microfissures dû à la réduction du rapport E/C suite à la réduction de la quantité d'eau de gâchage en employant l'adjuvant.
- Le module d'élasticité nous renseigne de la résistance mécanique à la compression des différents types de béton. Les valeurs trouvées confirment l'effet positif de l'incorporation de la fumée de silice et de l'adjuvant qui ont conduit à des modules d'élasticités élevés.
- Les résistances à la compression obtenus avec le scléromètre sont faibles en comparant les valeurs trouvées par les essais d'écrasement des échantillons.

# **Conclusion générale**

---

## Conclusion générale

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons et mortiers présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

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

- ✚ La résistance à la compression est maximale dans le cas où le pourcentage en sable de brique concassé est de 25%
- ✚ La résistance à la compression augmente nettement dès que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés dépassant **25%** en employant de la fumée de silice et un adjuvant plastifiant.
- ✚ Les résistances élevées sont obtenues dans le cas des échantillons préparés avec 50% de brique concassé. L'incorporation de la fumée de silice et la réduction de la quantité d'eau ont conduit à des résistances élevées surtout en compression ou ces résistances atteintes plus de 70 Mpa

L'étude des caractéristiques des bétons à base de déchet de brique ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Il est indispensable de valoriser les déchets de brique pour la fabrication du béton,
- Les déchets de brique produisent des bétons dont la résistance en compression admissible.
- La résistance du béton est fonction de la densité des déchets de brique, Plus la densité est importante plus la résistance du béton est grande.
- L'aspect extérieur de couleur rouge éclairée des bétons confectionnés avec des déchets de brique peut offrir une voie nouvelle dans le domaine des bétons apparents.
- Les bétons à base de déchets de brique confectionnés, présentent une homogénéité convenable.
- La résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique chute au fur et à mesure par substitution successive des déchets, c.à.d. plus le taux de substitution est élevé plus la résistance est faible.

- L'essai d'auscultation dynamique par vitesse du son semble être fiable pour les bétons à base du déchet de brique.
- 

**Recommandations :**

- ❖ Dans les conditions ordinaires le taux de substitution des granulats naturels par des granulats recyclés de brique concassé ne doit pas dépasser 25 %, et 50% dans le cas de SDBR+FS.
- ❖ L'utilisation des ajouts minéraux actifs est vraiment nécessaire et ceci pour réduire la perméabilité et l'absorption d'eau des bétons fabriqués à base des agrégats de démolition.
- ❖ Analyser le comportement des éléments structuraux fabriqués en béton armé à base des agrégats recyclés sous chargement statique et dynamique.

Enfin, la possibilité d'utiliser le déchet de brique dans le domaine de génie civil pour la confection des bétons, ont donnés des résultats satisfaisants dans ce travail.

Afin de valoriser les déchets de brique, il faut apporter des améliorations aux caractéristiques de ces derniers et de connaître leur performances extrêmes pour mieux apprécier et approfondir cette étude.

# **Références bibliographiques**

---

## Références bibliographiques

- [1] KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014.
- [2] Mehdi C. « Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment» thèse de fin de formation 2007.
- [3] STAMBOULI M. « Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières : Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte », Mémoire de master recherche, 2016.
- [4] CHELABI H , TALEB Z ., « Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre ». Mémoire de master, université de bouira 2017
- [5] MAEL A, XAVIER GH, CHRISTIAN M, DORIS N. « Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets », Collection « Références » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), Mai 2012.
- [6] EL HAFIANE S. Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel, mémoire de fin d'étude, Marrakech, mars 2012
- [7] Mamery Serifou « Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation ». Université de Bordeaux département de GENIE CIVIL, Option Géomatériaux-2013.
- [8] <https://www.fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>. Consulté le 12/06/2022
- [9] BOURMATTE N. « Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques », thèse de doctorat, université des Frères Mentouri Constantine, Mars 2017.
- [10] RAMACHANDRAN V-S ., utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.
- [11] BONNET S, TURATSINZE A et GRANJU J-L., effets de l'incorporation de granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration d'un mortier de ciment, Annales du bâtiment et des travaux publics, décembre 2004-N° 6
- [12] NIGRI G. « Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique », thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018.
- [13] BELKBIR H. « Elaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique », mémoire de DEUA, Université de Boumerdes, 2011.
- [14] Khalaf FM, DeVenny AlnaS. « Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in Concrete: review ». ASCE J Mater Civil Eng 2004 :331-40
- [15] Gilpin Robinson Jr R, Menzie DW, Hyun H. « Recycling of construction de brisas aggregate in the Mid-Atlantic Region»,
- [16] De Juan M.S. and Gutiérrez P.A., Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, 23 (2), pp. 872-877, 2009

- [17] Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S., Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836, 2009
- [18] G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8eme édition, 1998
- [19] Barakat Abderrezak, «valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton ». Mémoire de magister en génie civil, Université de Ouargla 05/11/2006.
- [20] Nacéri Abdelghani and Makhloufi Chikouche Hamina, «Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar ». *Waste management* 29.8 (2009) : 2378- 2384.
- [21] Arezki née Djadouf Samia, « l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico -mécaniques de la brique de terre cuite ». Université d'Abderrahmane Mira de Béjaia.
- [22] Bourmatte Nadjoua, «Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques ». Thèse de Doctorat, Université des frères Metouri Constantine 12 Mars 2017.
- [23] L. Alviset, « Matériaux de Terre Cuite ». *Techniques de l'Ingénieur* 1994.
- [24] A. Komar, «Matériaux et Elément de Construction ». Edition MIR 1978.
- [25] E. Oliver, «Technologie des Matériaux de Construction ». Edition ISBN 1976
- [26] R. Delebecque, « Éléments de Construction "Bâtiment" ». Edition Delagrave1990.
- [27] Akhtaruzzaman A.A et Hasnat, « Properties of Concrete Using Crushed Brick As aggregate », *concrete international*, Vol. 5, N°. 2, Feb.1983, p. 58 – 63.
- [28] Devenny A et Khalaf F.M, «The Use of Crushed Brick as Coarse Aggregate in concrete » *masonry international*, Vol.12, N°. 3, Feb. 1999, p. 81–84.
- [29] Ramachandran, V. S. «Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton ». Division des recherches en construction, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada juin 1981.
- [30] Kleinlogel A, « Influence des divers éléments physico - chimique sur les Bétons ». Edition Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.
- [31] bouwmaterialen "", [en ligne], 2004, disponible sur : [http://www.lessiusho.be/vipterm/databank\\_bouwmaterialen2.htm](http://www.lessiusho.be/vipterm/databank_bouwmaterialen2.htm).
- [32] Guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement – annexe E "", service d'architecture et de génie - Services Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004, Disponible sur : [http://www.ecrc\\_handbook\\_appende-f.html](http://www.ecrc_handbook_appende-f.html)
- [33] 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.
- [34] Chakradhara Rao, M., Bhattacharyya, S. K. Et Barai, S. V. (2011). Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, volume 44, numéro 1, p.205-220
- [35] De Juan M.S. and Gutiérrez P.A. «Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate» 2009,*Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 872-877.USA. *Resour Consery Recycle* 2004; 42(3):275-94.

- [36] Fathifazl, G., Abbas, A., Razaqpur, A. G., Isgor, O. B., Fournier, B. et Foo, S. (2009). New mixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 21, numéro 10, p.601-611.
- [37] Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S., «Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete», *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836,2009.
- [38] Sagoe-Crentsil, K., Brown, T. et Taylor, A. H. (2001). Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, volume 31, numéro 5, p.707-712.
- [39] Butler, L., West, J. S. ET Tighe, S. L. (2011). The effect of recycle concrete aggregate properties on the bond strength between RCA concrete and steel reinforcement. *Cement and Concrete Research*, volume 41, numéro 10, p.1037-1049.
- [40] Levy, S. M. ET Helene, P. (2004). Durability of recycled aggregates concrete: A safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, volume 34, numéro 11, p. 1975-1980.
- [41] Malesev, M., Radonjanin, V. ET Marinkovic, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, volume 2, numéro 5, p. 1204-25.
- [42] Tam, V. W. Y. ET Tam, C. M. (2008). Diversifying two-stage mixing approach (T SMA) for recycled aggregate concrete: T SMA and T SMA<sup>asc</sup>. *Construction and Building Materials*, volume 22, numéro 10, p.2068-77.
- [43] Ferreira, L., Barra, M. ET de Brito, J. (2011). Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, volume 63, numéro 8, p.617-27.
- [44] Lopez-Gayarre, F., Serna, P., Domingo-Cabo, A., Serrano-Lopez, M. et LopezColina, C. (2009). Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. *Waste Management*, volume 29, numéro 12, p. 3022-3028.
- [45] Tabsh, S. W. ET Abdelfatah, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction & Building Materials*, volume 23, numéro 2, p.1163-7.
- [46] Rao, A., Jha, K. N. ET Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, volume 50, numéro 1, p.71-81.
- [47] Arezki Tagni Hamou, «Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons». Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, 2014.
- [48] Manai K, «Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants». Mémoire de maîtrisées sciences appliquées, Sherbrooke-Canada, 1995
- [49] juin 1970. Regourd M, « Hydratation du ciment Portland, dans le béton hydraulique». Édité par baron J. Et Saute Rey R., 1982, Presses de l'école nationale des ponts chaussées, ISBN 2-85978-033-5, p.193-221.
- [50] Amor. M, sd« Contribution à l'étude rhéologique d'un béton à hautes performances (BHP) local » Mémoire De Magistère, Université 20 Aout Skikda.

- [51] Livres rédigés par les meilleurs experts BTP en construction génie civil et architecture.
- [52] « R.DUPAIN ; J.C.saint-arroman»GRANULATS.SOLS.CIMENTS ET BÉTONS
- [53] Safi B. « les méthodes composition de béton », SL, pp1-5. 2011.
- [54] « J.Festa ; G.Dreux »Eyrols, Nouveau guide du béton et ses constituants, huitième édition, troisième tirage 2007.
- [55] AMRIOU Abderrachid, BENCHEIKH Mohamed. New experimental method for evaluating the water permeability of concrete by lateral flow procedure on a hollow cylindrical test piece. *Construction and Building Materials*, 151 (2017) 642-649.
- [56] Abderrachid Amriou, Hocine Ziani, Sadek Deboucha, Mohamed Bencheikh. Effect of gravel content on mechanical performance and porous structure of concrete. *Annales de Chimie - Science des Matériaux*. Vol. 46, No. 1, (2022), pp. 19-25

# **Annexes**

---

# FICHE TECHNIQUE : MEDAFLOW 30

NOTICE TECHNIQUE

Version 03

Edition février 2017

2

1

1 9

## MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

### Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

### Domaines D'application

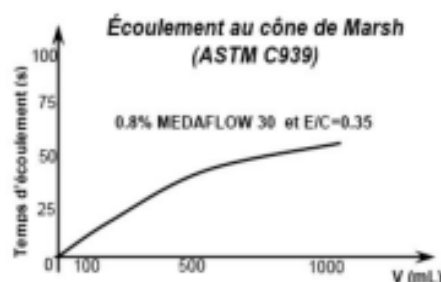
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

### Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



### Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

### Caractéristique

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec ..... 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de conformance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex  
قرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tel : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz • E-mail: granitex@granitex.dz



# MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

**Super plastifiant-haut réducteur d'eau**

## Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

### **Dosage :**

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

## Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

### **Délai de conservation :**

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$ ).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

## Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

**NB :** La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en 22 AVR 2012

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tel : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex.dz](http://www.granitex.dz) - E-mail: [granitex@granitex.dz](mailto:granitex@granitex.dz)



# FICHE TECHNIQUE : CIMENT CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

المصنع الصناعي لإسمنت الجزائر  
GICA  
شركة الاسمنت بني صاف  
Société des ciments de BeniSaf

جিকা بيطون  
GICA BÉTON

CEM II/A-M(P-L) 42.5 N

+213 43 74 92 35 info@scibs.dz www.scibs.dz

Norme algérienne NA 442

## FICHE TECHNIQUE CIMENT CEM II /A-M(P-L) 42.5 N

### Analyse chimique CIMENT:

ANALYSE CHIMIQUE	MIN	MAX
SiO <sub>2</sub>	22,80	32,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,20	6,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,20	3,60
CaO	52,00	62,00
MgO	1,02	1,20
K <sub>2</sub> O	0,35	0,45
Na <sub>2</sub> O	0,40	0,50
SO <sub>3</sub>	1,80	2,20
PF	2,00	2,80
CL	0,03	0,45
RI	6,00	12,00
CaOL	0,40	1,54

### CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANIQUES

ESSAIS PHYSICO-MECANIQUE	MIN	MAX	NORME
SS Blaine cm <sup>2</sup> /g	2960	4200	-
Consistance %	25,5	26,8	-
Début de prise	80	160	≥ 60 mn
Compression 02	12,5	23	> 10,0
Compression 07	25	36	-
Compression 28	43	52	≥ 42,5
Expansion à	0	8,5	< 10 mn
Les constituants de ciment en % *			
CLINKER			80-88
POUZZOLANE + CALCAIRE			12-20
GYPSE(Régulateur de prise)			00-05

\* Ces valeurs font référence au noyau du ciment à l'exclusion du sulfate de calcium (gypse) et de tout autre aditif.

### Domaine d'utilisation

C'est un ciment gris avec un mélange d'ajouts pouzzolane et calcaire pour bétons de haute performance destiné à la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments.

Ce ciment est plus couramment utilisé dans :

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (Décoffrage rapide).
- Béton en élévation, armé ou d'ouvrage courant.
- Béton de haute performance.
- Fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs.
- Dallages, sols industriels.
- Maçonneries
- Stabilisation des sols

**NB:** Les données que comporte cette fiche sont fournies à titre indicatif. La présente fiche se veut un outil d'information à portée générale seulement et ne doit pas être considérée comme la fiche technique du mois en cours ni du stock existant. Vous êtes prié de demander conseil auprès de la direction commerciale qui prendrait en compte les données techniques nouvelles et de ne pas vous fier uniquement aux données de la présente fiche d'information\*. \* certains changements peuvent éventuellement se produire dans les limites autorisées par les normes.

