

# **UNIVERSITE DE BLIDA 1**

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

Laboratoire de Géo matériaux et Génie Civil

## **MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE MASTER**

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

### **Comportement d'un mortier autoplaçant à base de fines de déchet de brique**

Par

**Oumaza Mohamed**

**Temmar Ibtissem**

Devant le jury composé de :

Pr Menadi Belkacem	Professeur	U.S.D.B.1	Président
Mme Hammat Sihem U. S. D. B. 1	Examineur		
SI-AHMED Mohammed	M. C. B	U. S. D. B. 1	Promoteur
KENAI Saïd	Professeur	U. S. D. B. 1	Co-promoteur

Blida, Août 2020

# Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étudier des mortiers autoplaçant à base de sable de déchets de brique provenant d'une unité de fabrication locale à différents taux de substitution de sable. Analyser les comportements rhéologiques à l'états frais et les performances mécaniques à l'état durci ainsi que l'étude des paramétrés de durabilité.

Dans ce travail, l'effet des granulats recyclés de différentes source notamment celles des déchets de brique sur la rhéologie des différents mortiers a été étudiée à travers des essais à l'état frais. L'étude sur la teneur en air occlus a été effectuée également. A l'état durci, la résistance à la compression, résistance à la traction, l'absorption d'eau par capillarité ainsi que la porosité accessible à l'eau sont également analysées.

En raison de cette épidémie, nous n'avons pas pu terminer ce travail et faire les essai a l'état frais ou à l'état durci sur le mortier autoplaçant a base des fines de déchet de brique et en arrêté a la caractérisation de sable utilise et le ciment.

Mots clés : Mortier autoplaçant, déchets de brique, granulats recyclés, résistance, paramètre de durabilité.

# ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة ملاط ذو رص ذاتي المصنوع من نفايات رمل الطوب من وحدة تصنيع محلية بمعدلات استبدال أسمنت مختلفة. تحليل السلوك الريولوجي في الحالة الجديدة والأداء الميكانيكي في الحالة الصلبة بالإضافة إلى دراسة متغيرات المتانة.

في هذا العمل، تمت دراسة تأثير الركام المعاد تدويره من مصادر مختلفة بما في ذلك نفايات الطوب على ريولوجيا الملاط المختلفة من خلال الاختبارات في الحالة الجديدة. كما تم إجراء دراسة على محتوى الهواء المغطى. في الحالة الصلبة، يتم أيضاً معالجة قوة الضغط وقوة الشد وامتصاص الماء عن طريق خاصية الامتصاص الشعيري بالإضافة إلى المسامية التي يمكن الوصول إليها من الماء.

بسبب هذا الوباء، لم تتمكن من إكمال هذا العمل وإجراء الاختبارات في حالة جديدة أو في حالة تصلب على الملاط الذاتي الوضع بناءً على غرامات نفايات الطوب ومن أجل توصيف الرمل. الاستخدامات والاسمنت.

الكلمات الأساسية: ملاط مضغوط ذاتياً، نفايات طوب، ركام معاد تدويره، مقاومة، متانة

# Abstract

The increase in population and the decrease in raw material lead us to think about the future, other methods of designing our buildings, and reduce their impact on the environment. The use of natural raw materials in construction depletes the capacities of quarries. Besides, the old abandoned buildings in Algeria is another problem that must be taken into consideration. Their demolition leads to another problem, which is the management of the waste generated.

Economically, the treatment of large volumes of waste continuously produced by industrial and urban activities is costly. The amount of waste produced each year in the world can reach hundreds of billions of tons. These amounts of waste are continuously increasing and will reach higher levels in the coming years; the amount of waste produced each year in the world is expected to climb to 3.4 billion tones over the next three decades, from 2.01 billion in 2016.

The building materials industry is always accompanied by secondary products or wastes that have a significant impact on the environment. In Western countries, the disposal of solid waste, from factories of construction materials and demolition of buildings, in public landfills is strictly prohibited. Waste recycling has become the best solution for the management of these residues. This debris from construction or demolition sites helps to solve the problem of waste storage. The same goes for reducing environmental pollution, as well as preserving natural resources and reducing co2 emissions, reducing the cost of construction. The resulting idea is to replace natural sand with recycled brick sands.

Construction and demolition sites produce a significant amount of concrete and masonry waste. Locally, in the region of Guelma (northern Algeria), the annual production of the two main brick factories is estimated in 2009 at around.

Eighty thousand tones in the first plant in Bendjerrah, with almost 10% of the units rejected and around 15% for the Bordj Sabbath plant, with a production of 39,100 tones.

On the other hand, the masonry industry produces significant amounts of waste during manufacturing, estimated at 10% to 15%.

Recycling these materials to make new aggregates is a solution that will help solve the problem of waste storage and preserve natural resources.

Mortars and self-consolidating concrete offer several advantages over traditional mortars and concretes, such as concrete in complex places, better filling of molds, elimination of the means of vibration, and reduction of labor.

This work is a continuation of research work on the effect of brick waste on mortars and concretes, the main purpose of which is to formulate self-consolidating mortars based on a high rate of fine brick waste from a manufacturing unit. Local at different cement substitution rates (0%, 10%, 20%, and 30%) and to analyze the rheological behavior of MAPs in the fresh state and the mechanical performance in the hardened state. Finally, study the parameters of sustainability.

“The main objective was to study the behavior of a MAP made from sand recycled from waste brick. The egg has caught us and is preventing him from doing the lab tests. Born at least conclusions can be drawn from the chapters carried out, namely:

- Recycled brick aggregates are generally less dense than regular aggregates.
- The high dosage of sand recycled from brick waste increases the spreading of mortars and concrete; decreases the flow time.
- The content of entrained air increases with the increase of sand recycled from waste brick.
- Mechanical resistance to bending decreases with the increasing rate of brick waste used as aggregate.
- The increase in recycled sand from waste brick leads to a decrease in compressive strength. The 20% substitution rate gives the best results in the short and long term with a loss of resistance of around 10 to 15% compared to the reference mortar.
- Concretes produced with brick aggregates has a high porosity of 10-45.
- Sands recycled from waste brick absorbs much more than natural sands; this is due to the higher porosity of brick sand.
- The more the brick dosage is increased, the more the shrinkage increased.

Keywords: recycled brick, self-consolidating concrete, self-consolidating mortars, mortars, resistance, sustainability parameter.

# Remerciement

J'exprime ma profonde gratitude tout d'abord à "Allah " de m'avoir donné la force, la patience, le courage, et la volonté pour réaliser ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon promoteur Dr Mohamed SI-AHMED et mon Co-promoteur Pr Saïd KENAI et Pr Belkacem MENADI qui m'ont accepté dans leurs laboratoire de recherche et ont bien voulu diriger ce modeste travail, leurs conseils et leur confiance accordée, qui m'ont été très bénéfique.

Je remercie tous les techniciens et l'équipe du laboratoire de génie civil et géo-matériaux de l'université de Blida I.

Je tiens à remercier madame Nadia BENTLMCEN pour sa présence continue et son aide au laboratoire. Plusieurs personnes nous ont assisté, chacune à sa manière. Il est opportun, à cette occasion, de leur réitérer nos remerciements :

- Tout d'abord j'adresse mes plus chaleureux remerciements à ma chère Benteftifa Nesrine, pour son soutien moral, son aide, et son encouragement pour terminer ce travail.

- J'adresse mes plus chaleureux remerciements à Dr Bougara, pour son aide et sa disponibilité.

- Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, et qui me fera le plaisir de l'apprécier.

- Nous remercions aussi tous nos amis pour leurs aides, leurs patiences, leurs compréhensions et leurs encouragements.

Nous souhaitons enfin, remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents, à qui je dois tout. J'espère être à la hauteur de leurs espérances et être dignes de leurs confiances et de leurs encouragements.*

*Mes frères Sidali, Hamza*

*Ma chère binôme Temmar Ibtissem*

*Tous mes amis*

**Mohamed**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*La mémoire de ma mère Wahiba rabi yerhamha qui grâce à son testament je suis arrivée à ce niveau d'étude et à ma deuxième mère Zohra et Amou*

*Belkacem*

*Mon chère frère Hamza*

*Mon binôme Oumaza Mohamed*

*Toutes les familles Merdji, AMROUCHE et SI-AHMED*

*Toutes mes amies*

**Ibtissem**

## Table des matières

I.1	Introduction .....	22
I.2	Historique et expérience de certains pays dans le recyclage.....	22
I.2.1	Les bétons auto-plaçants .....	23
I.2.2	Mortiers autoplaçants :.....	23
I.2.3	Domaine d'applications MAP .....	25
I.3	Classification des déchets destinés au recyclage .....	25
I.3.1	Déchets inertes désignés DI :.....	26
I.3.2	Déchets industriels banals (DIB) :.....	26
I.3.3	Déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets dangereux (DD) :.....	26
I.4	La filiale de recyclage dans le monde .....	27
I.4.1	Valorisation des déchets en Algérie.....	29
I.4.2	Quelques chiffres des déchets de construction en Algérie .....	29
I.4.3	Difficultés de la filiale de recyclage dans la construction .....	30
I.5	Granulats recyclés .....	31
I.5.1	Granulats recyclés de démolition.....	31
I.5.2	Filière granulats des sous-produits industriels.....	32
I.5.3	Granulats issus de sous-produits industriels .....	32
I.5.4	Différentes origines de granulats recyclés .....	33
I.5.5	Les déchets de brique.....	34
I.6	Définition de la brique .....	35
I.6.1	Principaux constituants de la brique .....	35
I.6.2	Influence de l'ancien mortier adhérent au granulats de béton recyclés.....	36
I.6.3	Influence de la forme et de la texture de surface des granulats .....	37
I.7	Effet de granulats recyclés sur les mortiers et les bétons à l'état frais.....	38
I.7.1	Effet des granulats recyclés sur l'ouvrabilité du béton et du mortier .....	38
I.7.2	L'absorption d'eau .....	42

I.7.3	La densité.....	43
I.7.4	La teneur en air .....	45
I.8	Effet des granulats recyclés sur les propriétés des bétons et des mortiers a l'état durci	46
I.8.1	Résistance à la compression .....	46
I.8.2	Résistance à la flexion .....	49
I.8.3	Le Retrait .....	50
I.9	Durabilité et performance de bétons recyclés .....	52
I.9.1	Perméabilité et porosité .....	52
I.10	Conclusion : .....	55
II	Matériaux et Protocole Expérimental .....	57
II.1	Introduction .....	57
II.2	Caractéristiques des matériaux utilisés .....	57
II.2.1	Ciment.....	57
II.2.2	Granulats.....	58
II.2.3	Granulats naturels : .....	58
II.2.4	Granulats recyclés :.....	62
II.2.5	Le superplastifiant.....	63
II.3	Formulations adoptées .....	64
II.4	Essais effectués sur le mortier à l'état frais.....	65
II.4.1	Essai d'étalement au Mini-Cône .....	65
II.4.2	Essai à l'entonnoir en V-Funnel.....	66
II.4.3	Essai au rhéomètre .....	66
II.4.4	Essai au cône de Marsh.....	67
II.4.5	Essai de l'air occlus (Teneur en air avec la Méthode du manomètre).....	68
II.5	Confection et conservation des éprouvettes .....	69
II.6	Essais effectués sur le mortier à l'état durci.....	69
II.6.1	Essais sur la résistance .....	69

II.6.2	Essais sur les indicateurs de durabilité .....	72
II.7	Organigramme des différents essais réalisés sur le mortier .....	76

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Constituants des mortiers [7] .....	24
<b>Figure I.2</b> : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers autoplaçants[7]. .....	24
<b>Figure I.3</b> : Utiliser le mortier pour remplir les conduites.....	25
<b>Figure I.4</b> : Remplir des espaces vides avec MAP .....	25
<b>Figure I.5</b> : Les différents types de déchets [12] .....	27
<b>Figure I.6</b> : Classification des déchets (%) [12] .....	27
<b>Figure I.7</b> : Déchets d'enrobés.....	31
<b>Figure I.8</b> : Différentes origines de granulats recyclés[4] .....	34
<b>Figure I.9</b> : Déchets de brique .....	35
<b>Figure I.10</b> : Distribution du coefficient d'absorption d'eau pour un fuseau granulaire recyclé étroit de 6,3/10 mm[28].....	36
<b>Figure I.11</b> : Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique[51] .....	41
<b>Figure I.12</b> : la Variation d'étalement (mini cône) avec l'augmentation du remplacement [36].....	42
<b>Figure I.13</b> : Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique[43] .....	40
<b>Figure I.14</b> : Diagramme d'absorption d'eau en fonction du temps [43] .....	42
<b>Figure I.15</b> : Variation de l'absorption d'eau des bétons frais [52] .....	43
<b>Figure I.16</b> : Variation des Masses volumiques des différents mortiers [56].....	44
<b>Figure I.17</b> : Variation de la densité des bétons frais en fonction du taux de substitution[37] .....	45
<b>Figure I.18</b> : Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution [36].....	45
<b>Figure I.19</b> : Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution[37] .....	46
<b>Figure I.20</b> : Influence du taux de substitution sur la résistance en Compression .....	47
<b>Figure I.21</b> : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans le traitement thermique à 300°C et 600°C [60] .....	48
<b>Figure I.22</b> : Mortiers à base de sable de brique CPJ[50].....	48
<b>Figure I.23</b> : Mortiers à base de sable de béton concassé CPJ[50].....	48
<b>Figure I.24</b> : Mortiers à base de sable de brique CRS[50].....	49
<b>Figure I.25</b> : Mortiers à base de sable de béton concassé CRS[50] .....	49

<b>FigureI.26</b> : Résistance à la flexion [63].....	50
<b>FigureI.27</b> :Mortiers à base de sable de brique CPJ[50].....	50
<b>FigureI.28</b> : Mortiers à base de sable de béton Concassé CPJ[50].....	50
<b>FigureI.29</b> : Le retrait de Mortier à base de brique recyclé en fonction du temps.[67].....	53
<b>FigureI.30</b> : Evolution de la déformation du retrait total des différents mélanges [37] .....	53
<b>FigureI.31</b> : Prosité des bétons aux granulats recyclés sains [65] .....	54
<b>FigureI.32</b> :Prosité des bétons aux granulats recyclés incendiés [65] .....	51
<b>FigureI.33</b> : Porosité du béton [60].....	52
<b>Figure II.1</b> :Ciment portland au calcaire de type CEM II/A-L 42.5 N.... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>Figure II.2</b> :Sable de Baghlia. ....	59
<b>Figure II.3</b> : Sable d'Oued souf.....	60
<b>Figure II.4</b> : Sable corrigé.....	61
<b>FigureII.5</b> : DB avant le concassage. ....	62
<b>Figure II.6</b> : Le Superplastifiant (SP) GRANITEX MEDAFLOW 30. . <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>Figure II.7</b> : Malaxer à mortier .....	65
<b>Figure II.8</b> : Essai d' étalement au Mini-Cône. ....	66
<b>FigureII.9</b> : Essai à l' entonnoir V-Funnel. ....	66
<b>Figure II.10</b> :Dispositif du rhéomètre utilisé et le Schéma descriptif du rhéomètre à mortier. ....	68
<b>Figure II.11</b> :Essai au cône de Marsh. ....	68
<b>Figure II.12</b> :Teneur en air avec la méthode du manomètre. ....	68
<b>FigureII.13</b> :Confection et conservation des éprouvettes. ....	69
<b>Figure II.14</b> :L' essai de résistance à la traction par flexion à trois points. ....	71
<b>FigureII.15</b> :L' essai de résistance à la compression. ....	72
<b>FigureII.16</b> :L' essai d' Absorption capillaire.....	74
<b>FigureII.17</b> : Porosité Accessible à l' eau par immersion sous vide.....	76

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Taux de recyclage en Europe[14] .....	28
<b>Tableau I.2</b> : Quantités de débris issus des catastrophes naturelles en Algérie [15] .....	30
<b>Tableau I.3</b> : L'affaissement de béton et mortier à base des granulats recyclés .....	39
<b>Tableau II.1</b> :Compositions chimiques et minéralogiques du ciment .....	58
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment.....	58
<b>Tableau II.3</b> : Caractéristiques physiques du sable de Baghlia .....	59
<b>Tableau II.4</b> : Composition chimique du sable de Baghlia (%) .....	59
<b>Tableau II.5</b> : Caractéristiques physiques de sable d' Oued souf.....	60
<b>Tableau II.6</b> : Composition chimique de sable d' Oued souf (%) .....	60
<b>Tableau II.7</b> : Caractéristiques physiques de sable corrigé. ....	61
<b>Tableau II.8</b> : Composition chimique de déchets de brique utilisés (%) .....	62
<b>Tableau II.9</b> :Caractéristiques de MEDAFLOW 30 .....	63

## LISTE DES ABREVIATIONS

AD :	Accélérateurs de durcissement
DI :	Déchets inertes désignés
DIB :	Déchets industriels banals
DIS :	Déchets industriels spéciaux
DD :	Déchets dangereux
AP :	Accélérateurs de Prise
BAP :	Béton autoplaçant
MAP:	Mortier autoplaçant
BTP :	Bâtiments et travaux public
BO:	Béton ordinaire
M0 :	Mortier autoplaçant avec 0% des fines des déchets de brique
M20 :	Mortier autoplaçant avec 20% des fines des déchets de brique
M30 :	Mortier autoplaçant avec 30% des fines des déchets de brique
M40 :	Mortier avec 40% des fines des déchets de brique
GBR :	Granulat de brique recyclé
GN :	Granulat naturel
GR :	Granulat recyclé
Cabs :	Coefficient d'absorption de sable
CaCO <sub>3</sub> :	Carbonate de calcium
CaO :	Oxyde de calcium ' la chaux '
CEM :	Le Ciment Portland
CPI-CEM:	Ciment Portland composé
CPA-CEM:	Ciment Portland
C <sub>2</sub> S :	Silicate bi-calcique
C <sub>3</sub> S :	Silicate tricalcique
C <sub>3</sub> A :	Aluminate tricalcique
C <sub>3</sub> AF :	Aluminoferritetétra-calcique
DB :	Déchets de brique
AR :	Agrégat recyclé
AN :	Agrégat naturel
SN :	Sable naturel
SR :	Sable recyclé
EA :	Entraîneurs d'Air
E/C :	Rapport de l'Eau sur Ciment

E/L :	Rapport de l'Eau sur Liant
G/S	Granulats sur sable
ESV :	Equivalent de sable visuel
ESP :	Equivalent de sable avec piston
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	Oxyde de fer
HM :	Hydrofuges de Masse
I :	Coefficient d'absorption d'eau capillaire
K <sub>2</sub> O :	Oxyde de potassium
MAP :	Mortier autoplaçant
MgO :	Oxyde de magnésium
MK :	Métakaolin
MF :	Module de finesse
ITZ :	la zone interfaciale
Na <sub>2</sub> O :	Oxyde de sodium
Na OH :	La soude
PRE :	Plastifiants Réducteurs d'Eau
RP :	Retardateurs de Prise
R <sub>c</sub> :	Résistance à la compression
R <sub>c28</sub> :	Résistance à la compression à 28 jours
R <sub>t</sub> :	Résistance à la traction
S/M :	Rapport de Sable sur Mortier
SiO <sub>2</sub> :	La silice
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	Alumine
SO <sub>3</sub> :	Trioxyde de soufre
SP :	Superplastifiant
SPHRE	Superplastifiants Haut Réducteurs d'eau
SSB :	Surface Spécifique de Blaine
Ti <sub>2</sub> O :	Monoxyde de titane
T <sub>vf</sub> :	Temps d'écoulement en V-Funnel
η :	Viscosité dynamique
v :	Viscosité cinétique
η <sub>R</sub> :	Viscosité relative
η <sub>SP</sub> :	Viscosité spécifique
τ :	La contrainte de cisaillement

$\tau_0$ :	Seuil cisaillement
$\dot{\gamma}$ :	Taux de cisaillement
$\mu$ :	Viscosité plastique
$\mu_\infty$ :	Viscosité à taux de cisaillement infini
$\mu_0$ :	Viscosité à taux de cisaillement nul
$\rho_{\text{abs}}$ :	Masse volumique absolue
$\rho_{\text{app}}$ :	Masse volumique apparente
$\varphi$ :	La porosité accessible à l'eau
$\rho$ :	La masse volumique hydrostatique

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

Les professionnels de la construction, sont de plus en plus confrontés aux questions liées à la préservation de l'environnement et font face depuis quelques années à une double problématique qui est la gestion de l'urbanisation croissante et la diminution des ressources naturelles.

L'augmentation de la population et la diminution de la matière première, nous mène à réfléchir à l'avenir. À d'autres méthodes pour concevoir nos constructions et réduire leur impact sur l'environnement. L'utilisation des matières premières naturelles dans la construction épuise les capacités des carrières. De plus, les anciens bâtiments abandonnés en Algérie est un autre problème qui doit être pris en considération. Leur démolition conduit à une autre problématique, qui est la gestion des déchets générés.

Economiquement le traitement des volumes importants de déchets produits continuellement par les activités industrielles et urbaines coute très chère. La quantité de déchets produite chaque année dans le monde peut aller jusqu'à des centaines de milliards de tonnes. Ces quantités de déchets sont en augmentation continue et vont atteindre des niveaux supérieurs dans les prochaines années. La quantité de déchets produite chaque année dans le monde devrait grimper à 3,4 milliards de tonnes au cours des trois prochaines décennies, contre 2,01 milliards en 2016[1].

L'industrie des matériaux de construction est toujours accompagnée par des produits secondaires ou des déchets qui ont une incidence importante sur l'environnement. Dans les pays occidentaux le rejet des déchets solides, provenant des usines des matériaux de construction et de démolition des constructions, dans les décharges publiques est strictement interdit. Le recyclage des déchets est devenu la meilleure solution pour la gestion de ces résidus[1].

Les sites de construction et de démolition produisent une quantité importante de déchets de béton et de maçonnerie[2] localement , dans la région de Guelma (nord de l'Algérie), la production annuelle des deux principales usines de briques est estimée en 2009 à environ 80 000 tonnes dans la première usine de Bendjerrah, avec près de 10% des unités rejetées et environ 15% pour l'usine de Bordj Sabath, par une production de 39 100 tonnes[3].

D'autre part ,l'industrie de la maçonnerie produit des quantités importantes de déchets lors de la fabrication estimée de 10% à 15%[2].

Le recyclage de ces matériaux pour fabriquer de nouveaux granulats est une solution qui contribuera à la résolution du problème de stockage des déchets et à la préservation des ressources naturelles.

Les mortiers et les bétons autoplaçants, offrent plusieurs avantages par rapport aux mortiers et aux bétons traditionnels, comme le bétonnage dans des endroits complexes, meilleurs remplissages des moules, suppression des moyens de vibration et réduction de la main d'œuvre.

Ce travail est une continuité des travaux de recherches sur l'effet des déchets de brique sur les mortiers et bétons dont le but principal est de formuler des mortiers autoplaçants à base de sable recyclés de déchets de brique provenant d'une unité de fabrication locale avec différents taux de substitution (0%, 10%, 20% et 30%) et d'analyser les comportements rhéologiques des MAP à l'état frais, et les performances mécaniques à l'état durci et en fin étudier les paramètres de durabilité.

### **Plan de travail**

Ce travail est une continuité des travaux de recherches menées au laboratoire de géo matériaux et génie civil de l'université de Blida1 sur le comportement des mortiers et des bétons à base de déchets de brique. Le but principal est de formuler des mortiers autoplaçants à base de différents taux de substitution de sable naturel en sable de déchets de brique provenant d'une unité de fabrication locale. Les taux de substitutions sont de 0%, 10%, 20% et 30%. Une étude sur le comportement rhéologique des MAP à l'état frais, et les performances mécaniques à l'état durci est réalisée.

La rédaction du mémoire est réalisée en trois parties :

- **La première partie** est consacrée à une étude bibliographique. Les principaux résultats des travaux ultérieurs sur le même sujet seront résumés.
- **La seconde partie** porte sur la partie expérimentale. Les caractéristiques des différents matériaux utilisés ainsi que la procédure expérimentale adoptée seront données.
- **Dans la dernière partie**, une analyse et une discussion des résultats expérimentaux sont présentés. Enfin, une conclusion générale qui reprend les principaux résultats obtenus dans cette étude sera tirée ainsi que des recommandations pour les futurs travaux.

# **Chapitre I**

## **Revue Bibliographique**

### I.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons donner une définition des bétons auto-plaçants (BAP) et des mortiers auto-plaçants (MAP), leurs constituants, leurs domaines d'utilisation en génie civil, La règlementation concernant les déchets et leurs classifications. Ainsi que le comportement des mortiers et des bétons fluides à base de granulats recyclés.

### I.2 Historique et expérience de certains pays dans le recyclage

Il est connu que le principe de recyclage des matériaux n'est pas nouveau car il a déjà été utilisé par les romains.

Les villes sinistrées pendant et après la seconde guerre mondiale en Europe et plus précisément en Allemagne et en Grande-Bretagne a conduit au recyclage des matériaux qui a été présenté comme une solution pour libérer les espaces et fabriquer de nouveaux matériaux.

A partir de 1975, les premières tentatives de recyclage ont débuté aux Etats-Unis et plus précisément dans le domaine routier, où ils utilisaient les granulats recyclés provenant du concassage de béton armé et non armé dans les couches de fondation de chaussées.

La première utilisation de béton recyclé était pour les sous couches des voies de circulation en Californie et la composition comportait du béton recyclé, d'asphalte et de 8% de ciment. En 1976, la première réussite de l'utilisation d'agrégats recyclés et celle d'un ancien béton de 41ans d'âge pour la formulation d'un nouveau béton toujours de chaussée [1].

En Algérie, des bâtiments publics, des immeubles et des ponts sont démolis après des sinistres naturels comme le séisme et les crues ou par le vieillissement.

Les matériaux de démolition sont, pour l'instant rarement recyclés.

En 1980, la ville algérienne d'El Asnam (Chlef actuellement), a été secouée par deux tremblements de terre intenses qui l'ont quasiment réduit en un énorme tas de gravats. En s'appuyant sur l'expérience acquise par la Belgique En 1981, en matière de recyclage des déchets de construction et de démolition, qui leur a permis de recycler quelques tonnes de débris en blocs de construction de qualités convenables[4,5].

### I.2.1 Les bétons auto-plaçants

Les bétons autoplaçants dits BAP, sont des bétons très fluides en écoulement, homogènes et stables, et se mettent en œuvre sans vibration ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation des constructions. Un béton autoplaçant permet de remplir des coffrages dont la complexité de forme ou la densité en ferrailage n'est pas réalisée dans le cas d'un béton ordinaire. Pour cela, les BAP doivent avoir des propriétés à l'état frais bien déterminées à savoir la fluidité (étalement au cône d'Abrams), la capacité de remplissage (boite en L) et la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis).

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais. Les critères caractérisant un béton autoplaçant sont :

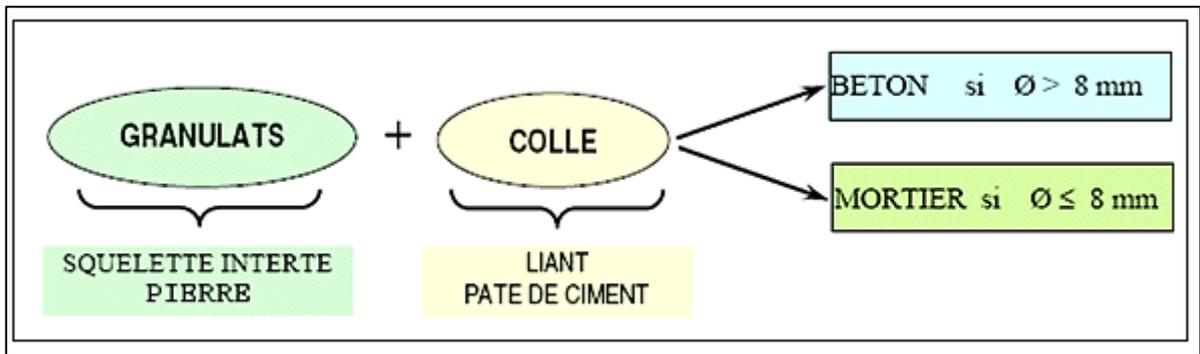
- les valeurs cibles d'étalement au cône d'Abrams sont généralement fixées dans la fourchette de 60 cm à 75 cm (et pas de ségrégation visible à la fin d'essai : auréole de Laitance ou amoncellement de gros granulats au centre).
- le taux de passage à la boîte en L doit être supérieur à 0,8.
- Le béton doit être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée[6].

### I.2.2 Mortiers autoplaçants :

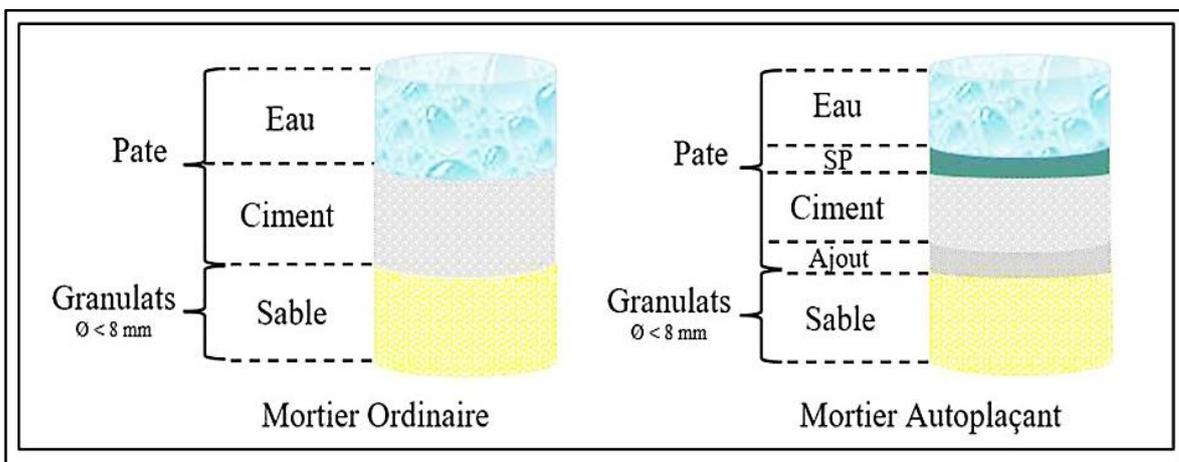
Le mortier autoplaçant MAP se caractérise par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage. Il garantit aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilités. De telles caractéristiques sont directement liées à leurs compositions. En effet les recherches menées, au cours des dernières années, montrent que les MAP sont formulés différemment des mortiers ordinaires : ils contiennent plus d'éléments fins, ils doivent comporter au moins une addition minérale, et un dosage élevé en superplastifiant[7].

Le mortier auto-plaçant est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure. Il est composé de ciment, d'eau de sable, et d'adjuvant spécialisé. Ce produit peut être pompé pour être mis en place[7].

Les Figure I.1 et Figure I.2 montrent les constituants des mortiers et la différence entre les mortiers ordinaires et les mortiers autoplaçants.



FigureI.1 : Constituants des mortiers [7]



FigureI.2 : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers autoplaçants[7].

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres[7].

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers.

Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire[8], voire ternaire ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice [7].

## Chapitre I : Revue Bibliographique

L'introduction de dosage relativement important de superplastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité.

Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage[9].

### I.2.3 Domaine d'applications MAP

Le mortier autoplaçant est habituellement utilisé pour remplir des conduites (Figure I.3), des réservoirs souterrains, des espaces vides (Figure I.4).

Le mortier autoplaçant peut être injecté pendant 2 heures sur des distances allant jusqu'à 100 mètres[8].



**Figure I.3 :** Utiliser le mortier pour remplir les conduites



**Figure I.4 :** Remplir des espaces vides avec le MAP

### I.3 Classification des déchets destinés au recyclage

On définit le déchet comme un produit ou n'importe quel résidu issu du métabolisme ou d'une activité humaine : domestiques, industrielles et agricoles, quand il ne peut plus être utilisé à d'autres fins par celui qui l'a fabriqué (Figure I.5), (Figure I.6).

Les granulats recyclés proviennent des déchets de démolition de bâtiments ou de routes. Ces déchets de chantier sont constitués de résidus des procédés de production et de transformation comme les déchets chimiques et emballages.

Ces déchets de démolition font partis des déchets industriels dans la classification usuelle. Il est donc nécessaire de distinguer les différentes catégories des déchets industriels[10]. Quatre grandes catégories permettent de classer ces déchets industriels :

### **I.3.1 Déchets inertes désignés DI :**

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction[11].

### **I.3.2 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, peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie. Certains déchets inertes sont concassés, criblés, transformés en granulat pour être réutilisés dans les travaux publics...[11]

### **I.3.3 Déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets dangereux (DD) :**

En opposition avec les DIB, ce type de déchet est traité par des procédés qui diffèrent de ceux employés pour les résidus ménagers, ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement, leur stockage et leur traitement sont soumis à des règles strictes.

Exemple : amiante, solvants, peintures, huiles, colles, goudron, bois traités ou emballages souillés[12].

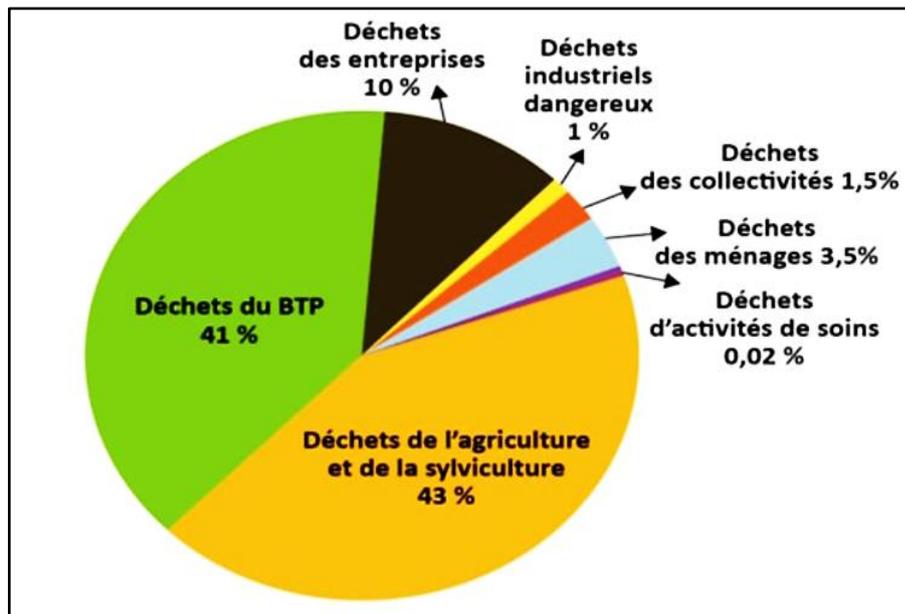


Figure I.5 : Les différents types de déchets [12]

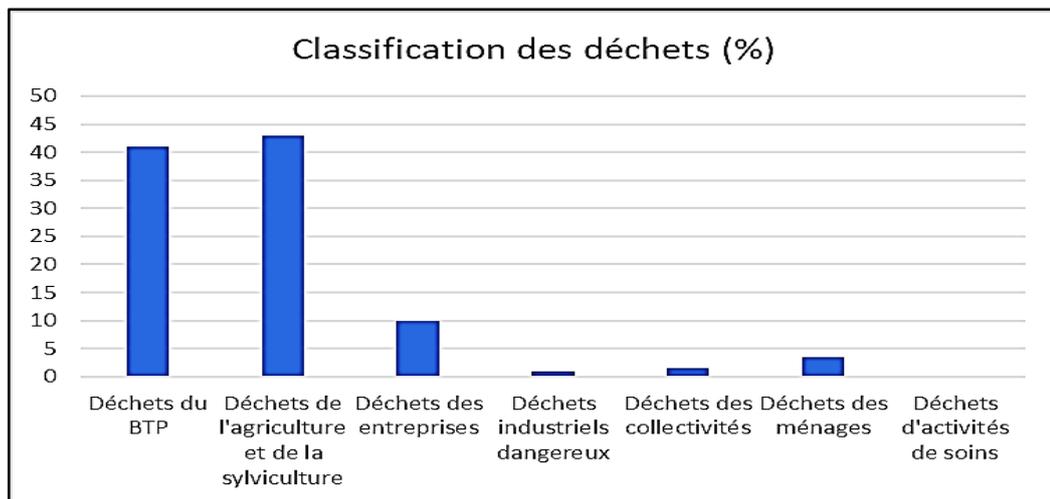


Figure I.6 : Classification des déchets (%) [12]

#### I.4 La filiale de recyclage dans le monde

En 2018, Eurovia conforte sa place sur le podium des producteurs de granulats avec un réseau de 350 carrières ayant produit en 2018 quelque 82 millions de tonnes de granulats, et 150 installations de recyclage et de valorisation de matériaux. Ses réserves représentent 3,1 milliards de tonnes, soit plus de 50 années de production. Les derniers mois ont été marqués par un renforcement significatif de son implantation en Amérique du Nord. (Par Julia Tortorici, le 16 avril 2019)

## Chapitre I : Revue Bibliographique

En France, les déchets du BTP sont estimés à 227 millions de tonnes, dont 93 % sont inertes. Sur les 211 millions de tonnes de déchets inertes, 148 millions de tonnes sont recyclés ou valorisés. Ils peuvent être réutilisés par un réemploi direct de chantier à chantier, par le recyclage via des plateformes, ou encore par la valorisation via le remblayage des carrières.

Les professionnels de l'industrie extractive ont dépassé le seuil de 70% de déchets issus du BTP recyclés fixé par l'Union européenne d'ici 2020. Le pourcentage actuel, situé autour de 80%, permet de couvrir 28% des besoins en granulats pour la construction en France. La profession propose aujourd'hui d'aller encore plus loin avec un objectif de 90% de taux de recyclage à l'horizon 2025.

En Suisse les quantités de gravats produites sur les chantiers atteignent les 12 millions de tonnes par année.

Quant à l'Algérie, aucun progrès significatif pour favoriser la filière de recyclage des déchets de construction et de démolition qui sont estimés en hausse[13].

Actuellement, la valorisation des déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation et connaît un développement assez important. Le taux de recyclage dans de différents pays est résumé dans le (Tableau 1).

**Tableau II.1 : Taux de recyclage en Europe[14]**

Pays	Déchets de démolition en millions de tonnes par an	Matériaux recyclés en millions de tonnes par an	Pourcentage de recyclage par rapport à la production de déchets	Pourcentage de recyclage par rapport à la production des granulats naturels
Pays-Bas	12.2	8.5	73	2.6
Royaume-Uni	24	11	45.8	3.8
Allemagne	58	14.9	34.6	3.6
Belgique	7.5	2.2	29	5.8
Danemark	05	1.25	25	4.25
France	25	03	13	0.75
Espagne	13.5	0.5	3.7	0.2
Total	145	42	Moyenne = 31	21.0

### I.4.1 Valorisation des déchets en Algérie

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis-à-vis de l'environnement, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an, soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. C'est un véritable gisement. Or, il n'existe que 247 micro-entreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui ne valorisent à peine que 5 ou 6% de ce potentiel dont une partie est exportée[13]. L'Etat mise beaucoup sur le développement d'une industrie de récupération et de recyclage. Elle est au cœur même du programme national de gestion des déchets municipaux, qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation des déchets ménagers. Il existe deux (02) types de filières classiques (plastiques, papiers, métaux, textiles, verres, bois et matières organiques) et complexes (pneus usagés, huiles usagées, piles et batteries et autres déchets d'équipements électriques et électroniques)[13].

### I.4.2 Quelques chiffres des déchets de construction en Algérie

Vu le manque de statistiques annuelles sur les débris générés en Algérie, on se contentera alors des rapports présentés par : [AFPS, 2003] et [C.A.R.T.E, 2003].

-L'association française du génie parasismique (AFPS), dans son rapport préliminaire sur le séisme du 21 mai 2003, déclare que parmi les dégâts causés, 190000 unités touchées dont 160000 logements environs, 30% des unités ne seront pas récupérables (à démolir).

- La Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (C.A.R.T.E), dans son rapport du 13 avril 2003 sur "L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie inquiétudes actuelles et futures", a présenté les statistiques ci-dessous voir (Tableau II.2).

**Tableau II.2:** Quantités de débris issus des catastrophes naturelles en Algérie [15]

Lieu	Date	Dégâts
<b>EL Asnam – Chlef (séisme)</b>	10 octobre 1980	2900 logements détruits
<b>Mascara (séisme)</b>	18 aouts 1994	1000 habitations détruites
<b>Skikda (explosion gazoduc)</b>	3 mars 1998	10 maisons détruites et 50 maisons endommagées
<b>Ain – Temouchent (séisme)</b>	22 septembre 1999	600 habitations détruites et 1200 sérieusement endommagées
<b>Bal El-Oued Alger (inondations)</b>	9 et 10 novembre 2001	22400 logements endommagés et 300 à détruire complètement

Ces quantités très importantes et gênantes de matériaux abandonnées dans la nature, peuvent être valorisées et recyclées, permettant d'une part de libérer de l'espace pour de nouvelles constructions, et d'autres parts d'absorber le manque en granulats.

#### **I.4.3 Difficultés de la filiale de recyclage dans la construction**

Outre les freins psychologiques liés à la notion de déchets, la filiale de recyclage souffre principalement de l'absence des normes propres aux matériaux recyclés. Sauf exception,

l'utilisation de ces matériaux se fait sur la base d'un comparatif avec des matériaux dits nobles. Manque d'une volonté d'imposer l'utilisation de ces matériaux recyclés. Le développement de la réutilisation des matériaux de démolition repose principalement sur la rentabilité économique de l'opération.

### I.5 Granulats recyclés

#### I.5.1 Granulats recyclés de démolition

Ça concerne les matériaux issus de la démolition de bâtiments ou de chaussées. On parle de granulats recyclés car la matière première utilisée pour les produire est elle-même constituée de granulats « purs » ou combinés à des liants (dans le béton et les enrobés routiers).

Le secteur routier est en pointe puisque plus de 90 % des granulats recyclés proviennent du décapage de routes[16].

Le recyclage in situ des granulats qui constituent les couches d'assises des routes est très répandu : les granulats retirés de l'ancienne voie sont concassés et triés dans une installation mobile de concassage et criblage, positionnée sur le chantier routier, avant leur réutilisation immédiate[16].

La récupération des enrobés (Figure I.7), c'est-à-dire de la couche de roulement constituée d'un mélange de bitume et de granulats, est aussi couramment pratiquée. Ces matériaux appelés « agrégats d'enrobés » sont traités sur place ou dans des installations spécifiques appelées « plateformes de recyclage » avant d'être réutilisés dans la construction de nouvelles chaussées. La réglementation française autorise l'incorporation de 10 % d'enrobés recyclés (Circulaire du 18 juin 2001)[5].



**Figure I.7 : Déchets d'enrobés**

## **Chapitre I : Revue Bibliographique**

Le recyclage du béton qui, rappelons-le, est constitué pour l'essentiel de granulats, s'avère parfois plus complexe. Les ouvrages d'art sont plus faciles à recycler car ils sont constitués de béton pur, par rapport aux autres constructions. Le dispositif normatif qui s'applique aux granulats recyclés est le même que celui en vigueur pour les granulats naturels, moyennant quelques caractéristiques spécifiques aux granulats recyclés[9].

Le béton à base de déchets de brique a déjà été utilisé dans les revêtements de routes et aussi comme un matériau de remblais. Les déchets de brique sont recyclés comme granulats dans la construction d'assises routières, pour l'aménagement paysager qui est isolant et poreux, pour les carrelages, les parpaings.

La résistance de la brique à la traction varie de 5 à 10 kg/cm<sup>3</sup> et sa résistance à la compression est de 20 à 50 kg/cm<sup>3</sup>. Pour les coefficients de retrait il est de 0,20 à 0,30 mm/m.

Les granulats à base de brique concassée conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont en général, utilisés pour la confection d'ouvrage soumis à des températures élevées tels que les revêtements des chaudières, carreaux de cheminées et conduites de fumées pour les fours [17].

### **I.5.2 Filière granulats des sous-produits industriels**

Ce sont les Schistes houillers, laitiers de hauts fourneaux ou d'aciéries, mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, on parle alors aussi de granulats artificiels car la matière première utilisée n'est pas du sable et des graviers mais des résidus de procédés industriels[15].

### **I.5.3 Granulats issus de sous-produits industriels**

Les industries de la houille, les hauts fourneaux et les aciéries, ainsi que les usines d'incinération des ordures ménagères produisent des déchets qui sont valorisés à travers la production de granulats artificiels.

Les unités de traitement de ces sous-produits industriels se situent à proximité des gisements en question. Les granulats ainsi produits sont en général employés sur les chantiers routiers, en sous-couches[18].

### I.5.3.1 Schistes houillers

Sont des sous-produits de l'industrie minière de la houille. Lors de l'extraction du charbon dans la mine, des bancs intercalaires de matériaux stériles accompagnent inévitablement le charbon. Le terme « schistes houillers » désigne le sous-produit résultant de la séparation entre le charbon et le stérile[18].

### I.5.3.2 Laitiers de hauts-fourneaux

Ou d'aciéries font partie de la gamme des co-produits sidérurgiques. Le laitier de haut-fourneau résulte de la production de la fonte : c'est la partie liquide surnageant à la surface du fer en fusion dans le haut-fourneau qui va être concassée après sa solidification. Le laitier d'aciérie est constitué des impuretés résultant du traitement de la fonte pour obtenir de l'acier[18].

### I.5.3.3 Mâchefers d'incinération

D'ordures ménagères sont la fraction incombustible des déchets restituée à la sortie du four sous forme d'un matériau solide[18].

## I.5.4 Différentes origines de granulats recyclés

En règle générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés (Figure I.8) [4]:

- **Granulats de débris de béton** Proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil (bétons ou béton armé d'acier).
- **Granulats de débris de maçonnerie** Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments.
- **Granulats de débris hydrocarbonés** Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes...), de la démolition de parkings...
- **Granulats de débris mixtes** Proviennent de la construction / rénovation démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles...).



Figure I.8 : Différentes origines de granulats recyclés[4]

### I.5.5 Les déchets de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir une corrosion et une efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel[19].



Figure I.9 : Déchets de brique [19]

## I.6 Définition de la brique

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

### I.6.1 Principaux constituants de la brique

Les briques cuites sont fabriquées avec tous types d'argile : les illitiques (couleur marron gris à rouge, après cuisson), les kaoliniques (très claires) et les bravais tiques (couleur orange à rose)[20].

On trouve dans la pâte argileuse essentiellement des éléments métalliques, sous forme d'oxydes plus ou moins hydratés :

Les éléments réfractaires dont le degré de fusion lors de la fabrication est compris entre 800 à 1000° sont la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et l'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )[20].

Les éléments "colorants" dont la proportion détermine la couleur basique de la brique en plus du degré de cuisson qui est l'autre facteur déterminant de cette couleur. Ce sont l'oxyde de fer et l'oxyde de titane, Pour les fondants on utilise ou bien les oxydes alcalins qui sont principalement les oxydes de sodium et de potassium, ou alors les oxydes alcalino-terreux.

### I.6.2 Influence de l'ancien mortier adhérent au granulats de béton recyclés

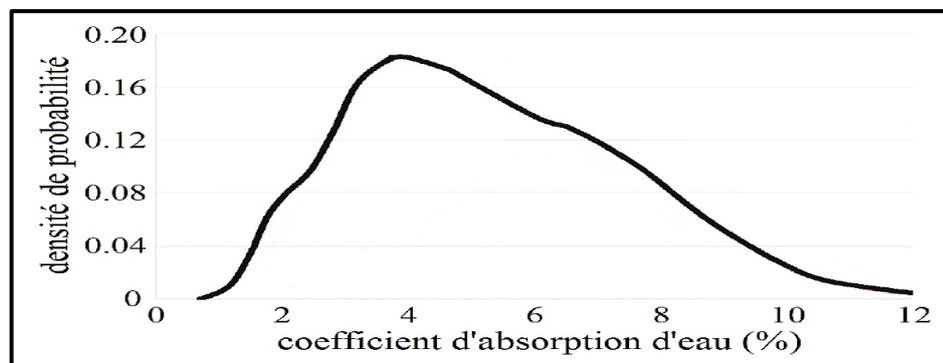
Une des tares du granulat issu de la démolition, l'ancien mortier collé par les granulats qui ne peut pas être éliminé facilement. Sa quantité est aléatoire, elle dépend de la qualité d'adhérence entre granulats-pâte de ciment ainsi que de la puissance de concassage lors de la fabrication des recyclés.

Cette quantité de mortier attaché aux granulats recyclés peut affecter la résistance du béton. Les résultats de Medina [21] sur la microstructure de béton recyclé ont montré que la zone de transition interfaciale entre l'agrégat recyclé-pâte est beaucoup plus compacte et moins poreuse que celle de l'agrégat naturel-pâte, d'autant que le béton recyclé est caractérisé par des propriétés plus ou moins améliorées par rapport au béton ordinaire. Selon les recherches de Cuenca-Moyano et al [22], le mortier attaché par les granulats recyclés sous 44% peut être utilisé dans le béton structural, avec un bon succès ainsi, qui permet d'atteindre une résistance à la compression de plus de 25N/mm<sup>2</sup>.

Padmini et al[23], ont également constaté que les caractéristiques du mortier dépendaient des performances du béton d'origine [24].

Dans une autre étude, Sanchez et al[25], ont observé que La présence du mortier réduit la résistance aux chocs, à l'usure et au gel.

Résultats obtenus par De Khoury et al dont l'étude expérimentale montre une forte variabilité du coefficient d'absorption d'eau des GBR, de 1 à 12 %, à l'intérieur d'un fuseau 6,3/10 mm étroit caractérisé par un coefficient d'absorption d'eau moyen de 4 % (Figure I.10)[26].



**Figure I.10:** Distribution du coefficient d'absorption d'eau pour un fuseau granulaire recyclé étroit 6,3/10 mm[26]

Le résultat, compte tenu de la capacité d'absorption d'eau propre à chaque constituant du GBR, suggère la présence de fragments : soit majoritairement composés de granulats naturels ; soit avec une grande proportion de mortier accolé, et ce, à l'intérieur du fuseau 6,3/10 mm (dont la proportion de mortier accolé). Les caractéristiques du GBR sont d'autant plus éloignées de celles du granulat naturel que la quantité de mortier accolé qu'il contient est importante. De ce fait, le GBR possède généralement une masse volumique réelle inférieure et une capacité d'absorption d'eau supérieure à celle du granulat naturel, en lien avec la proportion de mortier qui lui est accolé[27].

De nombreux ouvrages de référence [28] et travaux de synthèse Deodonne[29] indiquent une corrélation entre la proportion de mortier accolé et le diamètre du GBR. Il illustre cette corrélation par des différents rapports eau efficace/ciment des bétons parents et montre que la proportion de mortier accolé est d'autant plus importante quand le diamètre du GBR est petit.

L'étude de Sanchez[25] quant à elle montre une bonne corrélation entre le coefficient d'absorption d'eau des granulats recyclés et leur masse volumique, Cette tendance peut s'expliquer par une plus grande quantité de mortier attaché connu pour posséder une masse volumique plus faible due à un réseau poreux plus développé comparativement à une roche naturelle.

Nguyen Vu Nam[30], a remarqué que la quantité de mortier attaché semble présenter une corrélation avec les caractéristiques d'absorption d'eau et d'aptitude à la fragmentation des granulats recyclés obtenus. D'autre part, malgré un indice de confiance faible, il semblerait que l'on observe qu'un béton initialement de bonne qualité (60MPa comparativement à 30MPa) peut induire un granulat recyclé de meilleures performances en termes d'absorption et d'abrasion, Il a observé aussi la présence d'une quantité importante de mortier attaché (zone plus friable se détériorant prioritairement lors la phase de concassage ou de malaxage)[31].

### **I.6.3 Influence de la forme et de la texture de surface des granulats**

D'après l'étude de Brahim Safi sur l'effet des sables recyclés (déchets de brique réfractaire) sur les propriétés à l'état frais du MAP (mortier autoplaçant), on constate que la forme différente du sable recyclé par rapport au sable naturel aura un effet néfaste sur la maniabilité du mortier[34,35].

## Chapitre I : Revue Bibliographique

Les fines recyclées seront faibles si elles présentent une surface lisse après le concassage comparable à celle des granulats naturels de forme angulaire et de surface rugueuse[34].

Ainsi, la résistance à la compression est diminuée avec l'augmentation du rapport E/C [21]. La résistance à la compression des bétons à base des granulats lisses est inférieure de 10 % à celle des bétons à base des granulats rugueux. La résistance du béton dépend du rapport E/C, elle augmente avec l'augmentation du dosage de ciment (diminution de rapport E/C)[35]

Les résultats des études statistiques basées sur ce protocole expérimental de Pepe[36], montrent que l'impact du diamètre du granulat sur sa résistance est moins prononcé, bien que toujours existant, pour les granulats naturels. Ce résultat sous-entend que les GBR comprennent plus de défauts (une forme irrégulière et anguleuse) que les granulats naturels, ce qui semble logique compte tenu de la présence du mortier accolé[36].

D'après les études d'Evangelista et al[37], il apparaît qu'un sable recyclé possède des formes plus anguleuses et plus irrégulières comparativement à un sable naturel, En effet, lors de la phase de vibration, la forme et la rugosité des gravillons recyclés peuvent empêcher le dégazage des bulles d'air. Le phénomène peut être accentué si la quantité de sable est importante dans le béton de Larrard[38].

### **I.7 Effet de granulats recyclés sur les mortiers et les bétons à l'état frais**

#### **I.7.1 Effet des granulats recyclés sur l'ouvrabilité du béton et du mortier**

Etant une des caractéristiques rhéologiques importantes la maniabilité du béton frais caractérise son aptitude à remplir convenablement les coffrages et à enrober adéquatement les armatures des éléments en béton armé [45]. Cette propriété dépend fortement de la composition de la gâché du béton et elle influence à son tour et de manière directe de diverses propriétés à l'état frais et durci du béton telles que la densité, l'air entraîné et la résistance.

Dans le cas des bétons avec les granulats recyclés cette propriété ainsi que d'autres dépendent fortement des propriétés des agrégats utilisés (la texture de la surface et l'angularité des granulats recyclés). D'où la maniabilité des bétons avec ce type de granulats se trouve plus difficile comparée à un béton ordinaire gâché a la même teneur en

eau car l'absorption des granulats recyclés est supérieure à celle des agrégats naturels ce qui entraîne une réduction dans la quantité d'eau de la gâchée.

Le Tableau II.3 présente quelques exemples sur l'affaissement enregistré pour des bétons à base de granulats recyclés.

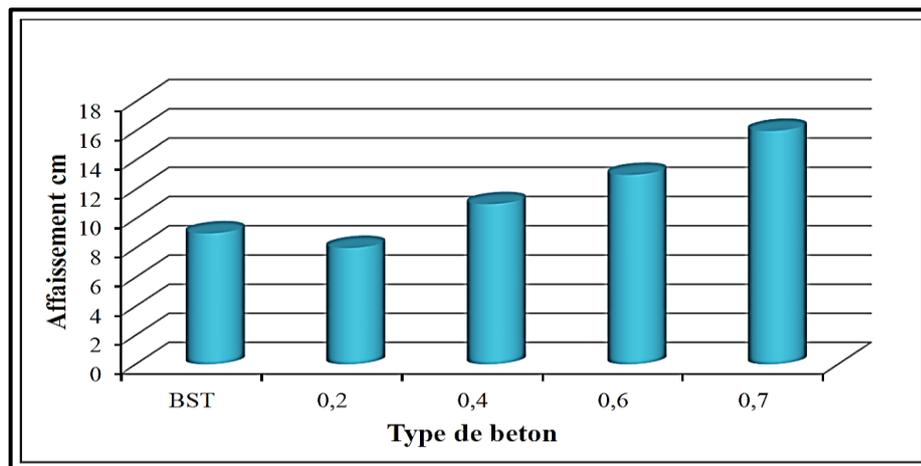
**Tableau II.3 : L'affaissement de béton et mortier a base des granulats recyclés**

Références	Type d'agrégat (remplacement)	Valeur E/C	Slump (mm)
Soutsos et al[39]	- Basalte grossier	0.76	90
	- Gros agrégats recyclés (100%)	0.73	75
		0.74	95
		0.70	80
Yang et al. [40]	- Agrégat naturel		33
	- Gros agrégat recyclé 100 %		24
	- Gros agrégat recyclé (80%) + (20 %) gros granulats de briques recyclés		20
	- Gros granulats recyclés (50%) +gros granulats de briques recyclés (50 %)		10
Vieira et al. [41]	- Agrégats naturels	0.43	89±2.8
	- Gros granulats recyclés (20%,)	0.44	91±6
	- Gros granulats recyclés 50%,)	0.46	88±7.4
	- Gros granulats recyclés (100%)	0.49	82±4
Etxeberria et al. [42]	- Agrégats naturels	0.50	80-100
	- Agrégats recyclés	0.40-0.50	80-100
Gonzalez-Fonteboa et al. [38]	- Agrégats naturels	0.65	120
	- Gros granulats recyclés (20%)	66	110
	- Gros granulats recyclés (20%)	0.68	110
	- Gros granulats recyclés (20%)	0.69	110

Où par exemple les études expérimentales menées par Topçu[43], ont enregistré un affaissement égal à 75mm pour le béton produit avec des agrégats recyclés tandis que celle du béton conventionnel est égale à 100 mm La maniabilité moins importante du béton avec des granulats recyclés comparé au béton conventionnel conduit à l'ajout d'une quantité d'eau supplémentaire pour ajuster l'ouvrabilité du béton [43].

En revanche une autre étude a été faite par Benaichi El hadj[44], sur l'affaissement du mortier à base de granulats de brique recyclés , indique que l'affaissement des granulats de brique est plus grand que celui des granulats naturels.

Pour mieux voir l'influence de la nature des granulats sur la maniabilité nous présentons dans la Figure I.13 les résultats des travaux de recherches de master de GueraichiAhlem[45] sur la variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique recyclés.

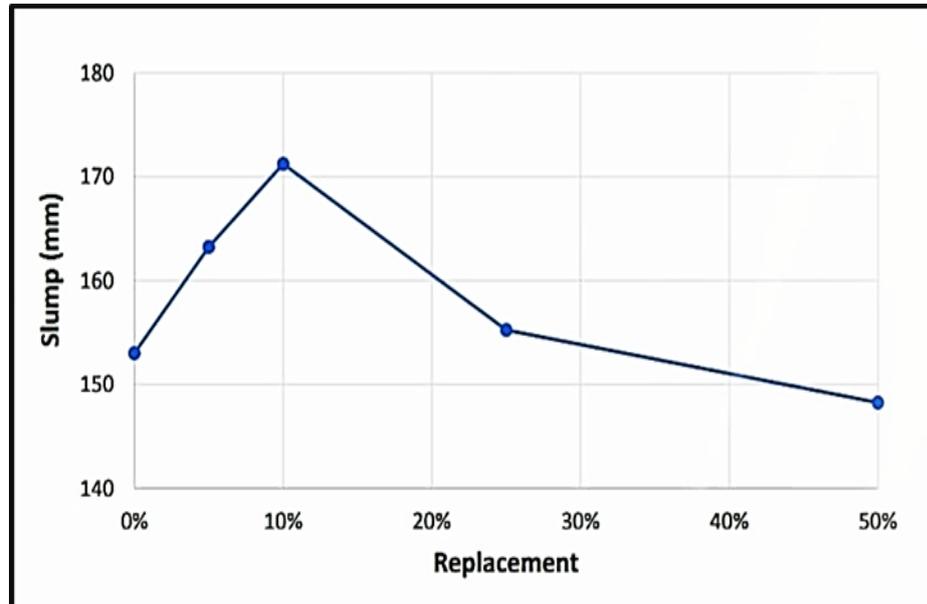


**Figure I.11 :** Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique[45]

Il est clair d'après la figure que GueraichiAhlem[45], montre que La maniabilité des bétons de sable chargé avec les granulats de brique recyclés augmente avec l'augmentation du rapport G/S (granulats sur sable), cette augmentation est de l'ordre de 22%, 44% et 89% respectivement avec les rapports de G/S de 0,4, 0,6 et 0,7% pour les granulats de brique. Il est à noter que L'état des granulats recyclés peut jouer un rôle dans l'augmentation de la maniabilité pour les graviers de brique.

## Chapitre I : Revue Bibliographique

Dans la tendance des marges d'affaissement produites par le mini-cône (Figure I.11), les valeurs affichent l'augmentation de la moyenne des diamètres, donc également de l'ouvrabilité et de l'écoulement, jusqu'à 10% de remplacement par le sable de brique. Alors que, à plus de 10% de remplacement par le sable de brique, la propagation de l'affaissement diminue jusqu'à atteindre une valeur inférieure par rapport au mortier de référence [34]

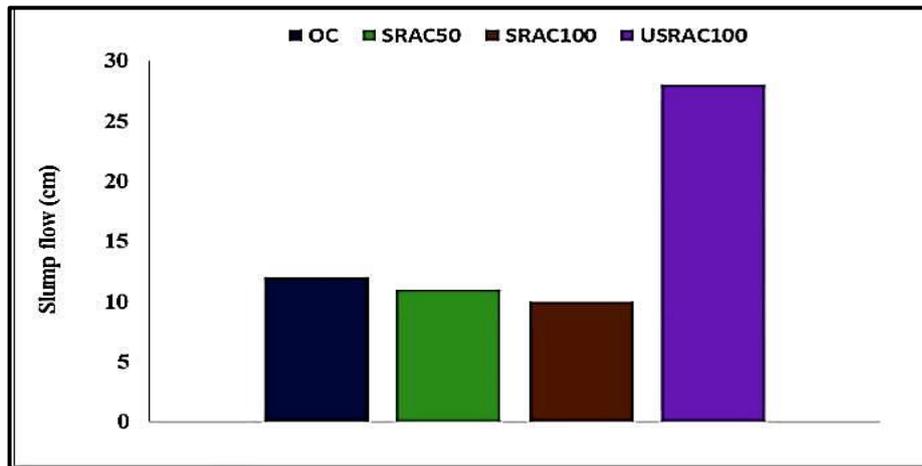


**Figure I.12** : la Variation d'étalement (mini cône) avec l'augmentation du remplacement [34]

D'autres chercheurs ont aussi trouvé qu'à un taux de remplacement de 50% des AN par des AR, il y a une réduction d'ouvrabilité du mélange [46]. La forte absorption d'eau est due à la présence de l'ancien mortier attaché aux granulats recyclés [47].

La forte absorption des granulats recyclés conduit à l'ajout d'une quantité d'eau supplémentaire pour ajuster l'ouvrabilité du béton [48].

En revanche une autre étude a été faite par Tourkia et al [48], sur l'affaissement du béton à base de granulats recyclés (Figure I.12) indique que Les bétons fabriqués avec des agrégats recyclés à 100% insaturés ont la meilleure ouvrabilité en raison de leur eau contenue en quantité. Il existe une relation directe entre l'ouvrabilité et les résistances mécaniques des bétons fabriqués avec des granulats recyclés [49]

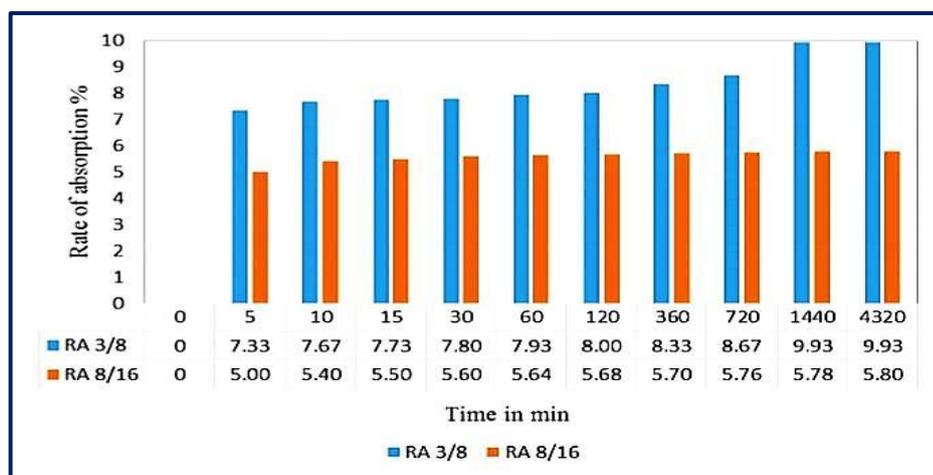


**Figure I.13 :** Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique[48]

### I.7.2 L'absorption d'eau

Benaichi El hadj [56], a montré que les sables recyclés absorbent beaucoup plus que les sables naturels, cela est dû à la présence d'ancien mortier dans les granulats de béton concassé. Par contre, il semble que pour les granulats de brique cela est dû à la porosité élevée de ces derniers.

Tourkia et al[48], ont étudié 2 types de granulats et ont constaté que La quantité d'eau absorbée par (RA3/8) est supérieure à celle de le (RA 8/16), cela doit être dû à leur importante teneur en pâte de ciment ancienne entourant de petits graviers naturels. Pour les deux agrégats recyclés, une saturation complète a été observée après 24 heures.



**Figure I.14 :** Diagramme d'absorption d'eau en fonction du temps[48]

Dans une autre étude Kanai et Debieb[50] ont étudié l'effet de remplacer partiellement le gravier et le sable naturel par le mélange de gros et de fins granulats à base d'ancien béton et de briques cuites concassées pour des taux (25, 50, 75 et 100%)(Figure I.15). A partir des résultats, l'absorption d'eau des bétons recyclés réalisés est plus élevée que celle d'un béton témoin à base de 100% de granulats naturels. La pénétration d'eau des bétons réalisés, augmente en fonction du pourcentage de substitution en granulats recyclés et peut atteindre le double de celle du béton à base des granulats naturels.[50]

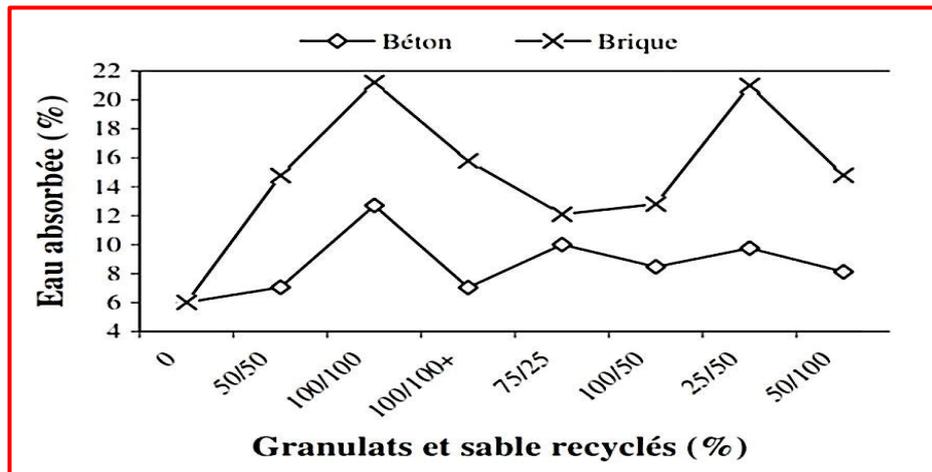


Figure I.15 : Variation de l'absorption d'eau des bétons frais[50]

### I.7.3 La densité

La densité de béton frais produit avec des agrégats recyclés est légèrement inférieure à celle du béton ordinaire. La faible densité du ciment résiduel du mortier adhérent sur les agrégats recyclés est l'un des facteurs qui affectent la densité du béton recyclé [51]. Ou il faut signaler que les granulats recyclés ont le plus souvent une densité plus faible et une absorption d'eau plus élevée que celles des granulats naturels[52].

Par contre Katz[53] lors d'une étude n'a observé aucune influence de la densité du béton produit de granulats recyclés aux différents âges (1,7 et 28j), ce qui indique que la quantité du mortier adhérent aux granulats recyclés est constante à n'importe quel âge d'écrasement.

Pour mieux voir l'influence de la nature des granulats sur la maniabilité nous présentons

la Figure I.16 les résultats des travaux de recherches de Layachi et al[54] sur la densité des mortiers en fonction du taux de substitution en granulats recyclés, dont ils ont fait une comparaison entre les mortiers adjuvants et les mortiers sans adjuvants.

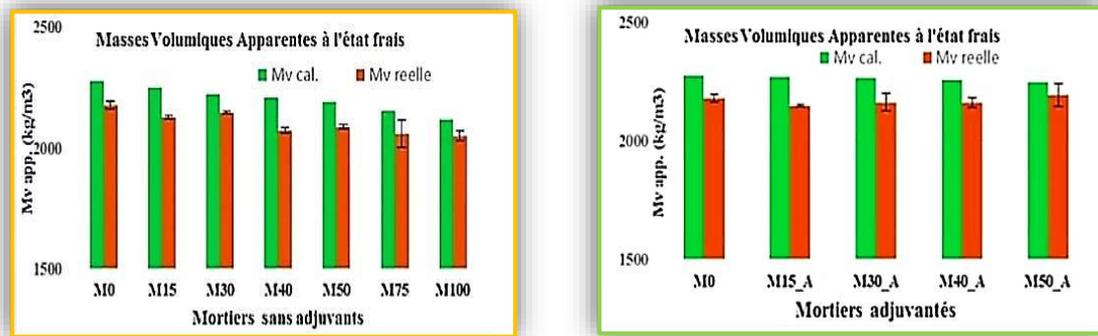


Figure I.16: Variation des Masses volumiques des différents mortiers[54]

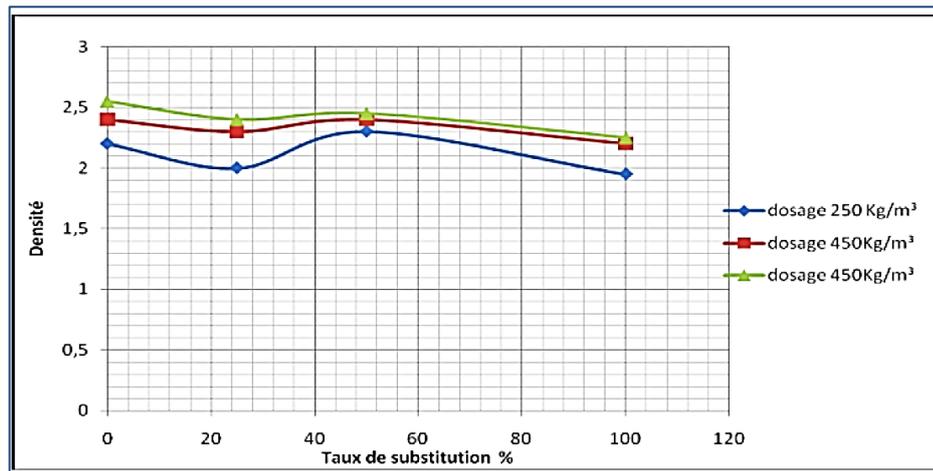
Il est clair d'après la figure que Layachi et al[54], ont trouvé que les masses volumiques des mortiers sans adjuvants diminuent avec l'augmentation du taux de remplacement du SN par le SR, pour le mortier recyclé 100%. Cela est dû à l'augmentation de la teneur en eau avec l'augmentation de la teneur en sable recyclé.

Par contre pour les mortiers adjuvés la masse volumique réelle augmente, et on constate que 1% d'augmentation pour le mortier à 50% de sable recyclé. Cela est probablement dû à l'effet de superplastifiant qui améliore la compacité des mortiers.

Soutsos et al. [39] ont observé que le béton produit avec des granulats recyclés AR présente une densité humide légèrement plus faible qu'à celle du béton produit avec les fines calcaires.

Dans une autre étude Bourmatte et al[35], ont remplacé le sable naturel avec des déchets de brique dans le béton à différents taux de substitution (0%, 25%, 50%, 75% et 100%). Ils ont également trouvé que Les granulats de béton recyclé sont généralement moins denses que les granulats ordinaires.

Dans laFigure I.17 les variations de la densité des bétons frais en fonction du taux de substitution sont montrées, où on observe que les densités sont décroissantes avec le taux de substitution en granulats recyclés (déchets de brique) et Pour un taux de substitution de 100% la densité décroît jusqu'à 1.95 ce qui est du à la porosité plus élevée et aux impuretés légères présentes dans ces granulats.

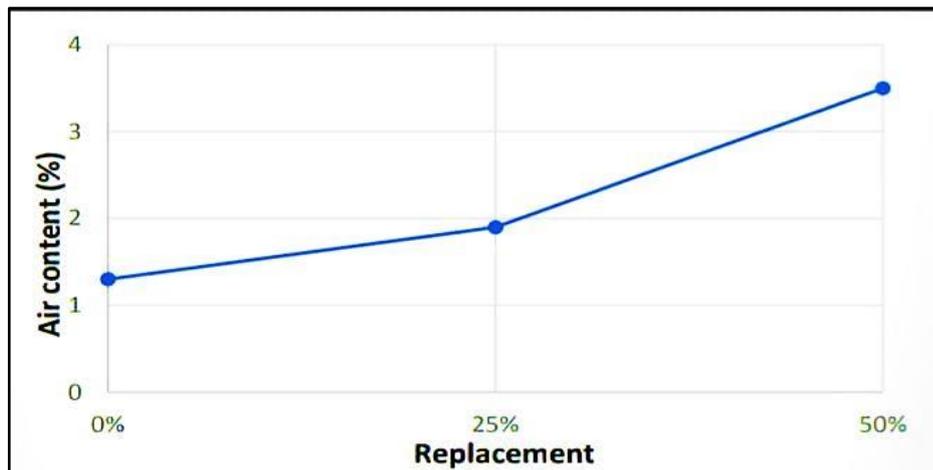


**Figure I.17 :** Variation de la densité des bétons frais en fonction du taux de substitution[35]

#### I.7.4 La teneur en air

La présence d'une certaine quantité de bulles d'air emprisonnées dans le béton influence positivement les propriétés à l'état frais et durci.

Tabarelli[34] a trouvé que la teneur en air de mortier recyclé (déchets de brique) est plus élevée que celle du mortier naturel (Figure I.18). Ceci peut être lié à deux aspects différents. D'abord, cela s'explique par la forte porosité du sable de briques. Secondairement, l'attachement de la pâte de ciment aux grains de brique.



**Figure I.18:** Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution[34]

Les mêmes observations ont été retrouvées dans les travaux de Bourmate et al [35]. Le remplacement total de granulat naturel (100% GN) par les granulats recyclés (déchets de brique) (Figure I.19), augmente légèrement la teneur en air du mortier.

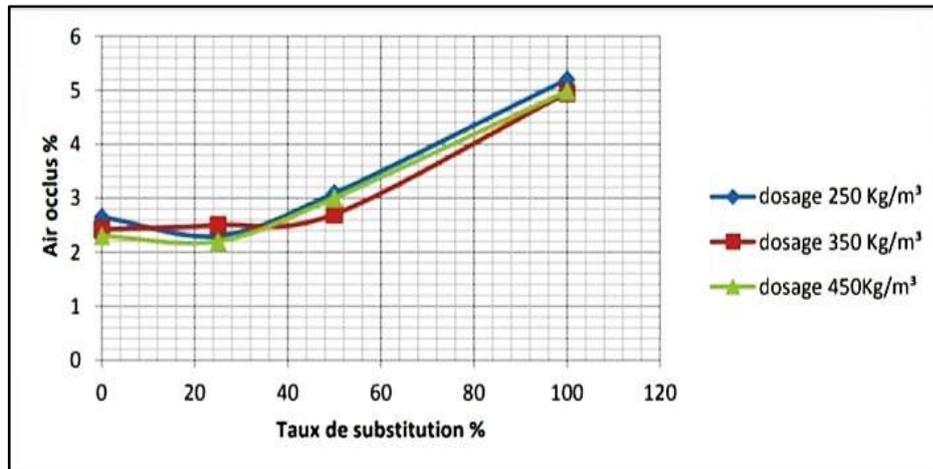


Figure I.19 :Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution[35]

## I.8 Effet des granulats recyclés sur les propriétés des bétons et des mortiers a l'état durci

Comme pour l'état frais les propriétés du béton à l'état durci se trouvent influencées par la nature des granulats, donc nous allons exposer dans la suite leurs influences sur la résistance à la compression et à la traction.

### I.8.1 Résistance à la compression

Lors de leurs étude, Bektas et al ont montré que les déchets de brique utilisés comme substitution partielle des granulats jusqu'à un pourcentage de 20% ne provoquent pas de perte de résistance des mortiers, particulièrement à long terme [7].

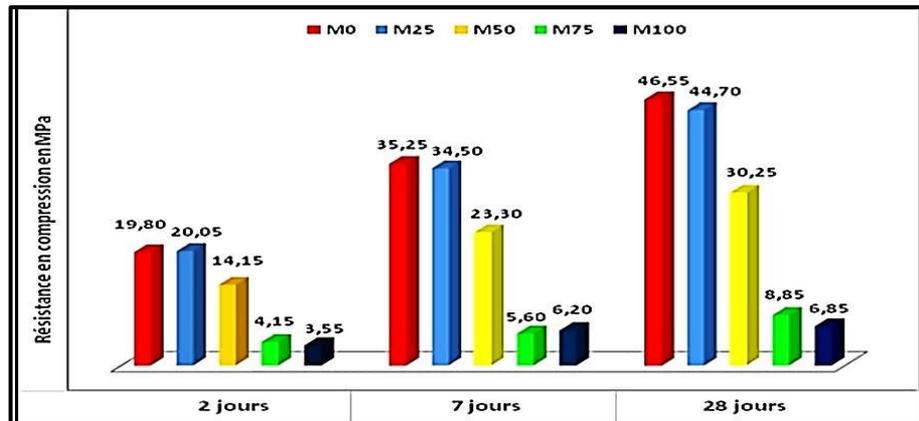
Par contre d'autres essais ont montré que la résistance à la compression (RC) diminue avec l'augmentation du taux de déchets de brique utilisés comme agrégats ce qui est dû principalement à la résistance des granulats eux même relativement plus faible comparée à celle des granulats naturels du fait que les déchets de briques possèdent une plus grande porosité [55].

Sani et al [56] ont obtenus des résistances en compression de 80 MPa à 28 jours sur des éprouvettes de béton confectionnées avec des granulats de déchets de béton préfabriqué.

Toutefois, il faut signaler que d'après les études précédentes il n'y a pas un effet significatif à la résistance du béton jusqu'à 30% de substitution de gros granulats naturels par des granulats recyclés (GR)[57].

Bourmatte et al[35], ont observé qu'avec la substitution totale de granulats naturels par les granulats recyclés, la résistance mécanique du mortier recyclé est plus faible par rapport à

celle d'un mortier conventionnel(Figure I.20), cela peut être attribué à la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de sable de déchets de briques .



**Figure I.20 :** Influence du taux de substitution sur la résistance en Compression des mortiers à base de déchets de briques[35]

D'après les études effectuées il peut être constater que la résistance à la compression du mortier préparé avec des granulats recyclés est moins faible que celle du mortier avec des granulats naturels, du fait de différents paramètres à savoir : l'adhérence entre le mortier et le gros granulat, le rapport eau/ciment et la texture, la forme et la dureté des granulats[35]. D'autres études ont été faites par Bensafi et Belkacem [58] pour étudier l'influence de la température sur la résistance à la compression des bétons confectionnés avec des granulats recyclés (déchets de brique)(Figure I.21). Ils ont observé que ces bétons présentent d'excellentes résistance même sous des températures de 300°C et 600°C, ils ont aussi remarqué que les bétons avec un fort pourcentage de granulats de briques ont les meilleures résistances a la compression en comparaison avec le béton ordinaire[59].



Figure I.21 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans le traitement thermique à 300°C et 600°C [58]

L'impact de la dimension des granulats recyclés a été aussi étudié où Zengfeng Zhao [60], a étudié les propriétés mécaniques des mortiers fabriqués avec des teneurs variables en GR ou avec des fractions de substitution différentes. Il a constaté que la fraction fine des GR a une influence plus néfaste sur les propriétés des bétons recyclés que la fraction grossière. Les figures suivantes (22,23,24,25) montrent les résultats de travaux de recherches de Benaichi El hadj [44] sur les quatre essais de résistances à la compression des mortiers à base de sable recyclé (sable de démolition de béton concassé et de brique concassée) pour de différents dosages en ciment à savoir 300 ; 350 et 400 kg/m<sup>3</sup> pour deux types de ciment CEM II/A et CEMI.

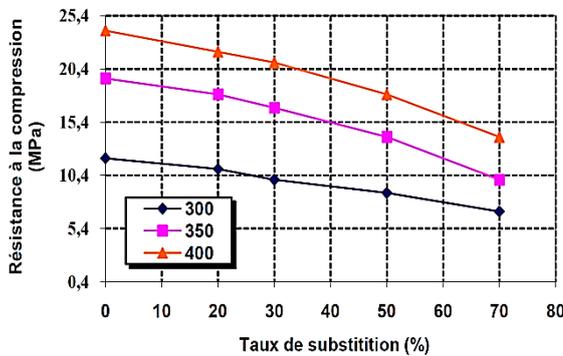


Figure I.22 : mortiers à base de sable de brique CEM II/A [44]

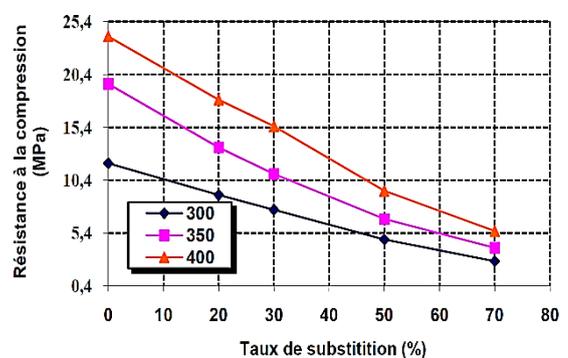
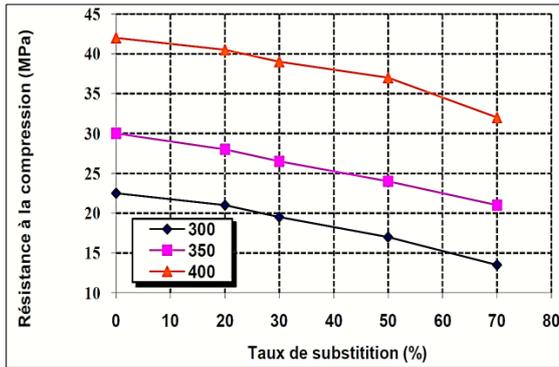
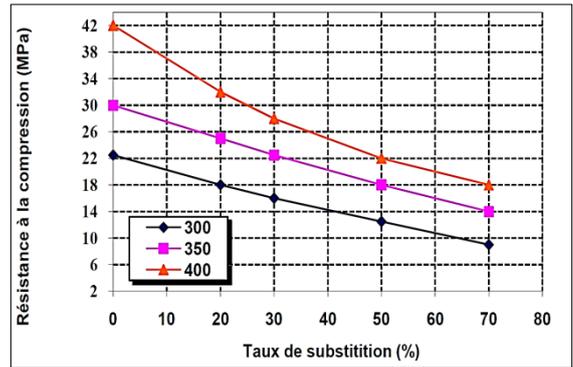


Figure I.23 : mortiers à base de sable de béton concassé CEM II/A [44]



**Figure I.24** :mortiers à base de sable de brique CEMI [44]



**Figure I.25**: mortier à base de sable de béton concassé CEMI [44]

Benaichi[44] a trouvé que les mortiers à base de sables recyclés présentent des résistances à la compression plus faibles par rapport aux mortiers naturels. Il est à noter que le mortier à base de sable de brique concassée avec un taux de substitution de 20% présente une meilleure résistance à la compression, cependant elle est inférieure à celle du sable de béton concassé et cela été expliqué par la présence de matériaux argileux et la porosité élevée du sable concassé de brique et l'augmentation de la résistance à la compression avec le dosage en ciment dans tous les mortiers étudiés. Il a trouvé aussi que la résistance à la traction par flexion est inversement proportionnelle au taux de substitution en sable à base de béton concassé et de brique concassée.

### I.8.2 Résistance à la flexion

L'impact de la dimension des granulats recyclés a été étudié par Safi et al[61], propriétés mécaniques des mortiers fabriqués avec des teneurs variables en GR (déchets de brique) ou avec des fractions de substitution différentes (Figure I.26). Il a été constaté que les valeurs de la résistance à la flexion des mortiers sont les mêmes et ne sont pas influencées par le remplacement du sable.

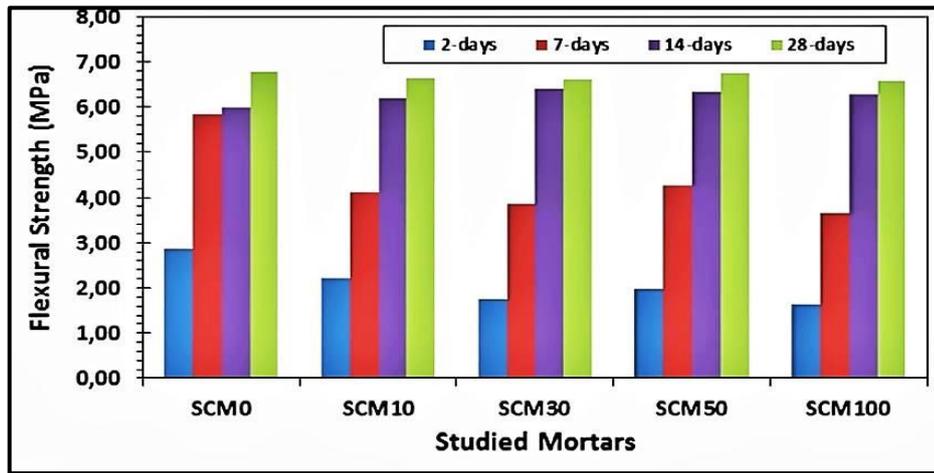


Figure I.26 : Résistance à la flexion[61]

Par contre d'autres études ont été faites par Layachi et al[54] concernant la résistance à la Flexion des mortiers confectionnés avec des granulats recyclés.

Ils ont observé que ces mortiers présentent d'excellentes résistances en comparaison avec le mortier à base de sable naturel.

La résistance à la traction par flexion est inversement proportionnelle au taux de substitution en sable à base de béton concassé et de brique concassée(Figure I.27 et Figure I.28)[44].

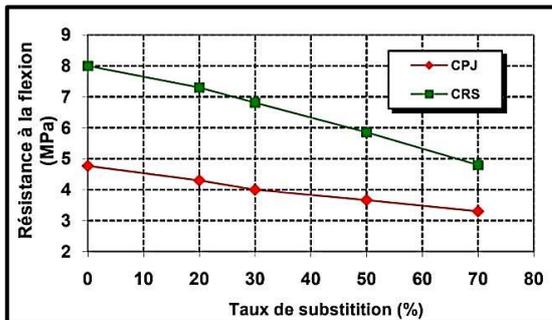


Figure I.27 : mortiers à base de sable de brique CEMI [44]

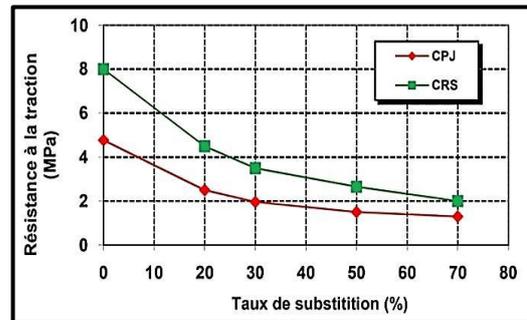


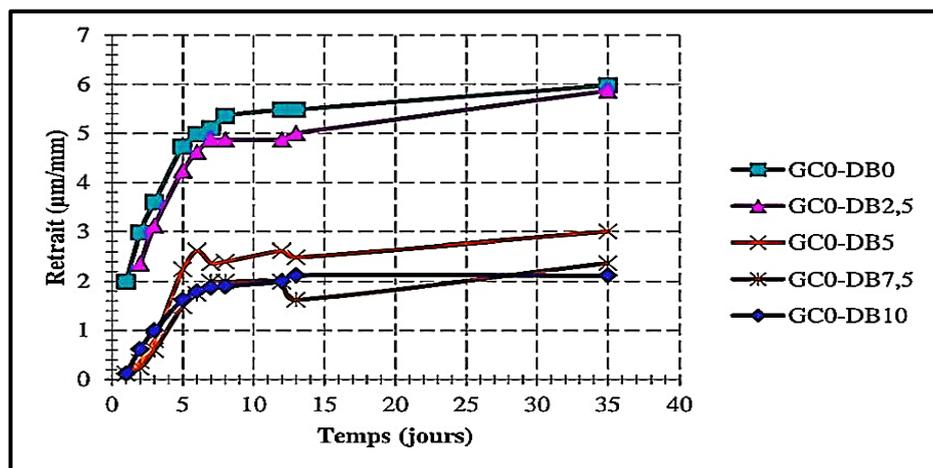
Figure I.28 : mortiers à base de sable de béton Concassé CEMI [44]

### I.8.3 Le Retrait

Avant que la réaction chimique ne commence, le béton contient une quantité initiale d'eau. Selon le rapport E/C du béton, la majorité d'eau est consommée par la réaction chimique

Lors de l'hydratation du béton. Si le béton n'est pas dans les conditions normales, une partie de l'eau, qui n'est pas consommée dans les premiers temps de la réaction chimique peut s'évaporer (cela peut cependant varier selon les conditions externes auxquelles est exposé le béton).

Le rétrécissement (particulièrement le retrait de séchage) est généralement augmenté avec l'augmentation de taux des granulats recyclés réutilisés. D'après la littérature, la présence de l'ancien mortier adhérent par les granulats recyclés augmente la quantité totale de ciment du mélange de béton. À cet effet, l'incorporation des granulats recyclés dans le béton a été identifiée comme une cause principale d'un retrait de séchage élevé au béton recyclé[62]. Ainsi, Tagba et al [63], ont observé un retrait plus élevé pour le béton conventionnel que celui du béton produit avec des briques recyclées à différentes rations(Figure I.29), ce qui est dû à la capacité liante de l'argile formant les déchets de brique.



**Figure I.29:**Le retrait de Mortier à base de brique recyclée en fonction du temps.[63]

Bourmate et al[35], ont observé qu' avec le remplacement total des agrégats naturels par le granulat recyclé, le retrait est diminué en comparaison avec le béton conventionnel (Figure I.30).

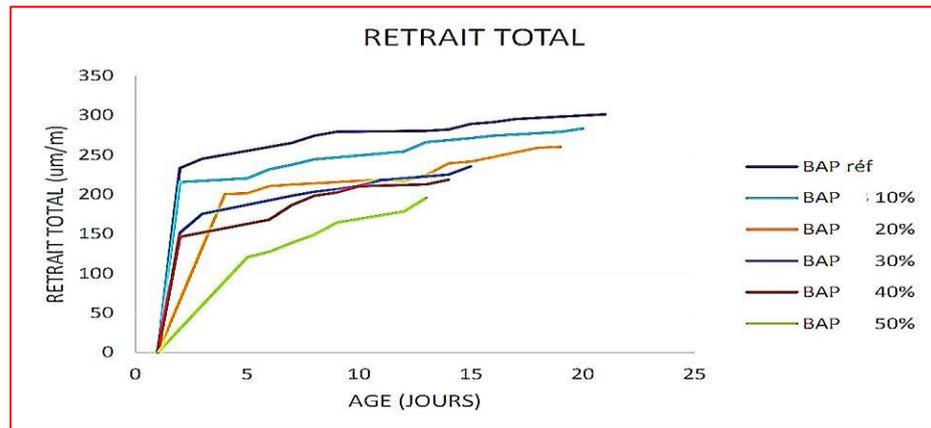


Figure I.30 : Evolution de la déformation du retrait total des différents mélanges[35]

## I.9 Durabilité et performance de bétons recyclés

La durabilité d'un ouvrage est définie par la capacité du béton à résister aux attaques sulfatiques, chimiques de l'environnement extérieur, des actions physiques et des phénomènes intérieurs. Ainsi, la durabilité du béton dépend de différents facteurs tels que les propriétés des composants du béton et leur dosage, les conditions de durcissement et d'environnement externes. Un béton ayant une longue durée de service doit avoir une performance durable.

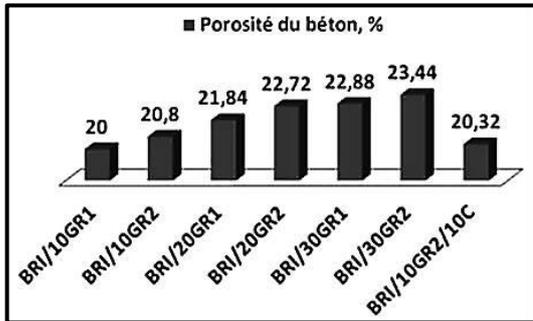
L'étude de la durabilité des bétons à base de granulats recyclés constitue une étape indispensable afin de valider l'utilisation de GR dans le béton structural. Elle est la partie la plus essentielle qui assure la durabilité de l'ouvrage. Plusieurs recherches ont été effectuées sur des divers comportements de durabilité de béton produit avec les agrégats recyclés de déchets de construction et de démolition.

### I.9.1 Perméabilité et porosité

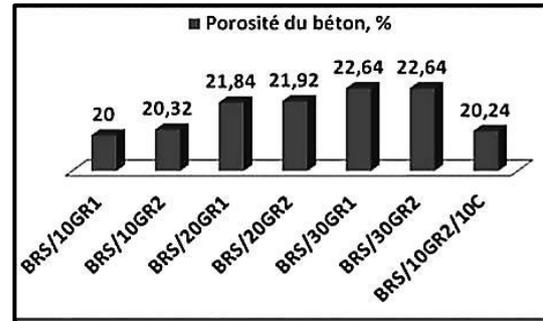
La perméabilité du béton se singularise par la perméabilité de la pâte de ciment et des granulats. La perméabilité de la pâte de ciment hydraté est liée par la nature du réseau poreux à l'intérieur de la pâte, et dépend ainsi de la zone interfaciale ITZ entre la pâte de ciment et granulat.

Le béton produit avec les granulats recyclés ait une perméabilité de 10-45% supérieure à celle du béton conventionnel , cette augmentation dans la perméabilité est liée à la source naturelle des agrégats [64].

Les figures suivantes (31,32) montrent les résultats de travaux de recherches de Matar et al [65] sur les deux essais de porosité des bétons à base de sable recyclé (sable de démolition de béton concassé) pour de différents dosages en ciment.



**Figure I.31 :** Porosité des bétons aux granulats recyclés sains[65]



**Figure I.32:** Porosité des bétons aux granulats recyclés incendiés[65]

Matar et al[65], ont trouvé que la porosité des bétons augmente avec l'augmentation du taux des granulats recyclés. La porosité est élevée à cause de la porosité des granulats recyclés et elle augmente avec l'augmentation du rapport E/C. Ils ont noté que l'indice de durabilité des granulats provenant du béton incendié est beaucoup plus petit que celui des granulats provenant du béton sain. Par conséquent, le béton formé par des granulats recyclés non incendiés sera sûrement plus durable que celui formé par des granulats recyclés incendiés.

Dans une autre étude Zaharieva et al [64] prouvent que le séchage de béton à longue durée diminue le diamètre des pores et par conséquent la perméabilité du béton recyclé est réduite de 50% par rapport à celle du béton naturel.

Bensafi et al[58], ont montré que Le béton qui est entièrement en brique concassée est plus poreux, en conséquence plus Perméable. Selon la méthode de dreuxGorisse, la porosité de ce béton correspond à celle d'un mauvais béton. Par contre, la porosité du béton avec des granulats recyclés de brique concassée correspond à celle d'un béton satisfaisant.

Les résultats de remplacement des agrégats naturels par des agrégats recyclés de brique montrent l'augmentation de la porosité du mortier (Figure I.33).

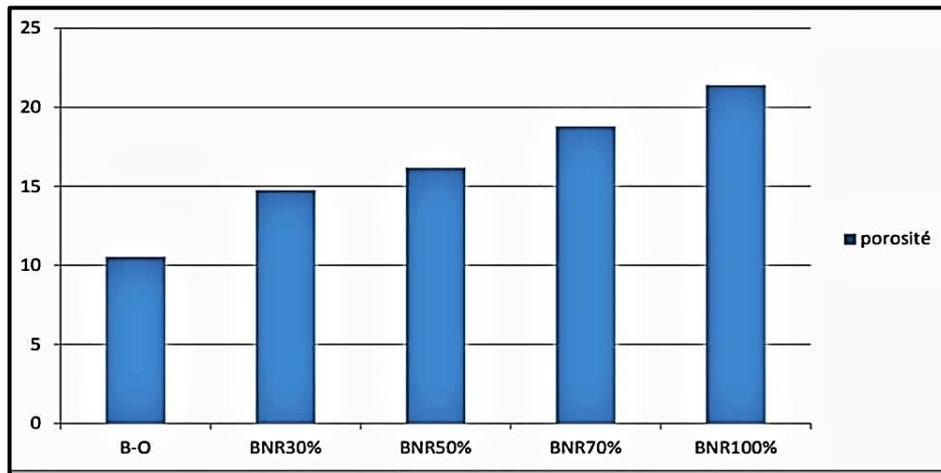


Figure I.33: porosité du béton[58]

### I.10 Conclusion :

L'utilisation des bétons et des mortiers autoplaçants facilite la mise en œuvre grâce à leurs grandes fluidités et leurs capacités de passage et de remplissage en évitant la ségrégation donc ils se mettent en place sans vibration.

Les déchets de brique peuvent être recyclés, cela peut être aussi une solution avec de multiples intérêts, à savoir :

- ✓ Réduire les déchets industriels.
- ✓ La préservation de l'environnement et des ressources naturelles.
- ✓ Réduire l'émission du CO<sub>2</sub>

Le vieux mortier collé aux granulats recyclés influence négativement les propriétés des mortiers et des bétons à base de granulats recyclés.

L'ouvrabilité est réduite, la résistance ainsi que la durabilité sont diminuées également.

Les taux de substitution des graviers par les granulats recyclés peuvent être plus importants que la substitution du sable.

**Chapitre II**  
**Matériaux et Protocole Expérimental**

### II Matériaux et Protocole Expérimental

#### II.1 Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un MAP joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures.

En effet, les propriétés essentielles du MAP sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

Le choix des essais permettra de classer les matériaux, afin de s'assurer de la pertinence d'un tel matériau dans les formulations des mortiers selon ses propriétés, en se référant aux normes en vigueur.

#### II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés

##### II.2.1 Ciment

Le type de ciment utilisé dans notre travail de recherche est un ciment portland au calcaire de type CEM II/A-L42.5 N provenant de la cimenterie de LAFARGE M'SILA.



**Figure II.1** : ciment portland au calcaire de type CEM II/A-L 42.5 N.

Les compositions chimiques et minéralogiques ainsi que les caractéristiques mécaniques de ce ciment sont présentées dans les tableaux II.1 et II.2.

**Tableau II.1 :** Compositions chimiques et minéralogiques du ciment

Composition chimique (%)									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PaF
16.37	3.90	2.73	66.04	1.37	2.68	0.57	0.13	0.015	10.56
Compositions minéralogiques (%)									
C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF		CaOl	
56		18		5		13		<2	

**Tableau II.2:** Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment

$\rho_{abs}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (kg/m <sup>3</sup> )	La finesse (cm <sup>2</sup> /g)	Début de prise (heure, minute)	Fin de prise (heure, minute)
3050	1036	4155	1h 15min	4h 15min

## II.2.2 Granulats

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé deux types de granulats :

### II.2.3 Granulats naturels :

#### II.2.3.1 Sable de Baghlia

C'est un sable grossier de classe granulaire (0/5) mm, provenant de la wilaya de Boumerdes Figure II.2. Les caractéristiques principales du sable utilisé sont présentées dans le tableau II.3 et leur composition chimique dans le tableau II.4.



**Figure II.2:** Sable de Baghlia.

**Tableau II.3:** Caractéristiques physiques de sable de Baghlia

$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	ESV (%)	ESP (%)	MF
<b>2.78</b>	1.587	97.52	95.54	3.47

**Tableau II.4:** composition chimique de sable de Baghlia (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PaF
<b>47.57</b>	<b>6.80</b>	<b>5.60</b>	<b>20.70</b>	<b>1.40</b>	<b>0.04</b>	<b>0.80</b>	<b>0.45</b>	<b>0.001</b>	<b>16.64</b>

### II.2.3.2 Sable d'Oued souf

C' est un sable fin de classe granulaire (0/2) mm, provenant de la wilaya d' oued-souf

figure II.3. Les principales caractéristiques du sable utilisé sont présentées dans

le tableau II.5.



Figure II.3: Sable d'Oued souf.

Tableau II.5 : Caractéristiques physiques de sable d' Oued souf

$\rho_{abs}$	$\rho_{app}$	ESV	ESP	MF
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	
2.52	1.618	89.79	87.24	1.91

Tableau II.6: Composition chimique de sable d' Oued souf (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PaF
96.06	1.82	0.42	1.63	0.33	0.01	0.34	0.05	0	0

NB :

Nous avons mélangé les deux sables Figure II.4 pour obtenir un mélange de module de finesse (MF = 2.4), les caractéristiques de mélange des deux sables sont présentées dans le tableau II.7.



**Figure II.4:** Sable corrigé

Soit :

- $MF_1 > MF_2$ .
- $MF_1$  = Module de Finesse du sable de Baghlia.
- $MF_2$  = Module de Finesse du sable d' oued souf.
- $MF$  = Module de Finesse souhaité du mélange selon la méthode d' Abrams.

On trouve les fractions suivantes :

$$S_1 = \frac{MF - MF_2}{MF_1 - MF_2} = 31.78\%$$

$$S_2 = \frac{MF_1 - MF}{MF_1 - MF_2} = 68.21\%$$

Avec :

- $S_1$  : Pourcentage de Sable Grossier (Baghlia) =32%
- $S_2$  : Pourcentage de Sable de sable fin (d' oued souf) =68%

**Tableau II.7:** Caractéristiques physiques de sable corrigé.

$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	ESV (%)	ESP (%)	MF
2.52	1.643	95.187	93.58	2.4

II.2.4 Granulats recyclés :

II.2.4.1 Déchets de brique :

Les déchets de brique résultent de l'industrie des produits rouges. Nous avons utilisé dans cette étude des déchets de brique provenant de l'usine de brique de SIDI RACHED (Wilaya de TIPAZA).

Les déchets de brique ont fait l'objet d'un concassage pour les transformer en sable.

Figure II.5.

La Composition chimique de déchets de brique utilisés sont présentées dans le tableau II.8



Figure II.5:DB avant le concassage.

Tableau II.8: Composition chimique de déchets de brique utilisés (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PaF
58,85	14,50	6,69	9,24	3,90	0,11	2,43	0,6	0,014	3,69

### II.2.5 Le superplastifiant

Le superplastifiant utilisé dans notre travail pour les différents mélanges de mortier autoplaçant est le MEDAFLOW 30 qui est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération.

Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Le MEDA FLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable. Le MEDA FLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.



Figure II.6 : Le Superplastifiant (SP) GRANITEX MEDAFLOW 30

Tableau II.9 : Caractéristiques de MEDAFLOW 30

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

Le **MEDAFLOW 30** offre plusieurs avantages aux bétons et mortiers à savoir :

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

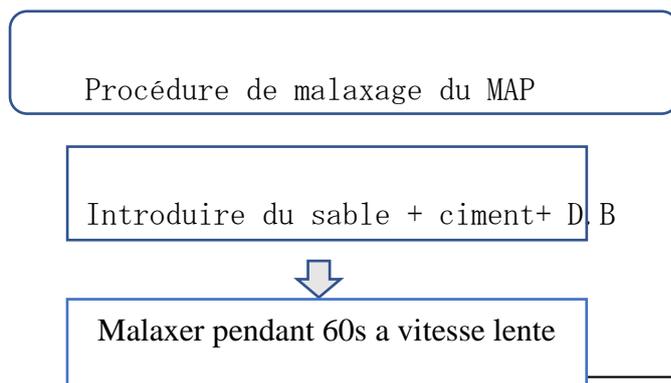
### II.3 Formulations adoptées

La formulation est basée sur la méthode d' Okamura dont l' objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire optimale pour chaque constituant, afin d' obtenir un MAP qui aura les propriétés souhaitées avec une substitution de 0%, 10%, 20% et 30 % de sable par les des déchets de brique. Le paramètre important considéré dans la formulation est le rapport Eau/ liant (E/L), qui est fixé à 0,38. Le rapport sable / mortier (S/M) est fixé à 0,5.

Le dosage en superplastifiant a été optimisé par des essais d' ouvrabilité à l' état frais avec une variation de pourcentage entre 0,4% et 1% afin d' obtenir un mortier autoplaçant à un étalement au mini cône comprendre de 270 mm et 330 mm et un temps d' écoulement en V-funnel compris entre 2 et 10 secondes.

Les quantités des constituants du mortier ont été calculées à l' aide d' une feuille de calcul Excel donnée dans l' annexe A. Le malaxage a été réalisé à l' aide d' un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité FigureII.7.

L' organigramme de malaxage :



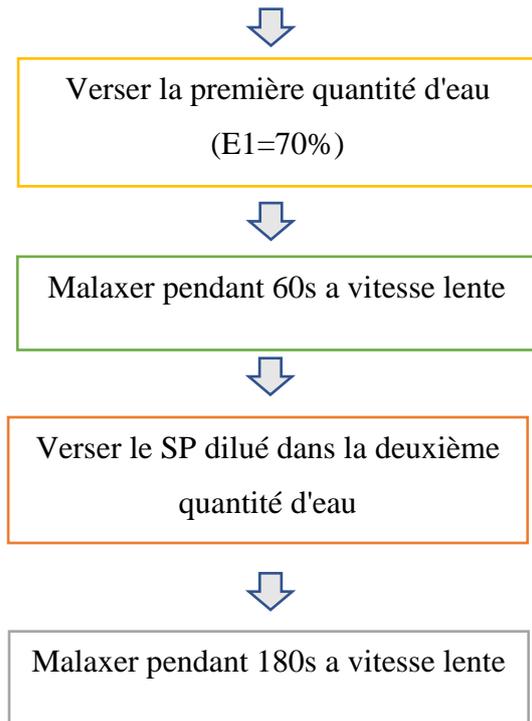


Figure II.7 : Malaxeur a mortier [66]

### II.4 Essais effectués sur le mortier à l'état frais

#### II.4.1 Essai d'étalement au Mini-Cône

But : L'essai d'étalement au cône permet de mesurer la capacité du matériau à s'écouler en milieu non confiné et sans obstacle.

L'essai d'étalement réalisé à l'aide du cône d'Abrams (Le cône DIN peut aussi être utilisé). En effet, la valeur de l'étalement, donnée par la mesure du diamètre de la galette de béton, s'avère être plus représentative que celle de l'affaissement. Il peut éventuellement être associé à une mesure du temps écoulé pour obtenir un étalement de 50 Cm ( $T_{50}$ ), ce qui fournit une indication sur le caractère visqueux du matériau.



**Figure II.8 :** Essai d'étalement au Mini-Cône.

### II.4.2 Essai à l'entonnoir en V-Funnel

Cet essai permet une évaluation qualitative du MAP, il caractérise la capacité de passage du mortier à travers un orifice. Le principe de cet essai consiste à remplir l'entonnoir avec du mortier puis mesurer le temps d'écoulement entre l'instant de l'ouverture de la trappe de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers

le bas de l'entonnoir. Le temps d'écoulement doit être compris entre 2s et 10s pour un MAP.



**Figure II.9 :** Essai à l'entonnoir V-Funnel.

### II.4.3 Essai au rhéomètre

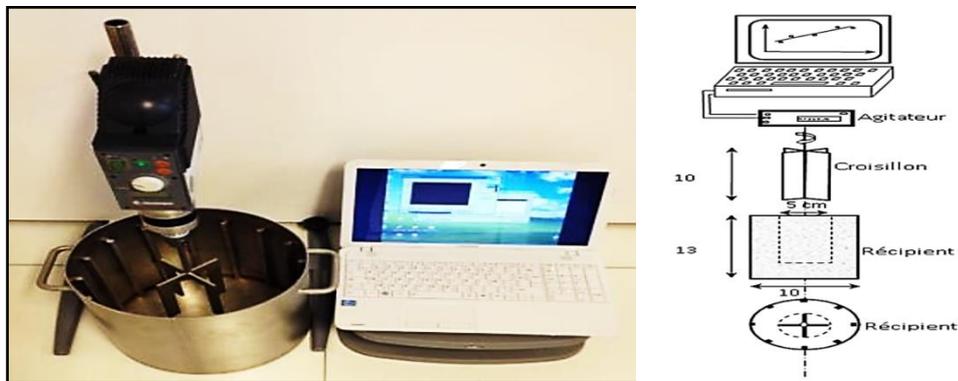
Pour l'étude des comportements rhéologique des MAP, nous avons utilisé un rhéomètre rotatif de type Couette. Il est composé d'un agitateur à vitesse variable, un croisillon composé de deux plaques perpendiculaires de dimensions 5x10 cm<sup>2</sup> et d'un récipient cylindrique. Ce rhéomètre est relié avec un ordinateur qui est équipé par un logiciel de type

## Chapitre II : Matériaux et protocole Expérimental

« Watch & Control 2000 ».

Le rhéomètre a été développé par une équipe de recherche du laboratoire L2MGC de l'université de Cergy-Paris. Le principe est basé sur le versement du mortier préparé dans le récipient qui est fixe afin d'empêcher tout mouvement. Après cela, on fait descendre le croisillon au milieu du récipient qui pénètre au centre du mortier tout en vérifiant que l'extrémité supérieure des ailes du croisillon est à ras du mortier. En se servant du logiciel, on lance la rotation du croisillon suivant un profil de vitesse imposé. À travers un programme

Excel, on obtient les taux de cisaillement, le seuil de cisaillement ainsi que la viscosité.



**Figure II.10:** Dispositif du rhéomètre utilisé et le Schéma descriptif du rhéomètre à mortier. [54]

### II.4.4 Essai au cône de Marsh

L'essai de Cône Marsh est effectué sur des coulis ayant un rapport Eau/Liant de 0,35 de façon à déterminer leur comportement en présence de superplastifiant. La procédure de malaxage est la suivante :

- Peser l'eau et le superplastifiant dans le récipient du mélangeur électrique ;
- Introduire le liant pendant le malaxage sur une période d'une minute et demie ;
- Poursuivre le malaxage pendant 30 secondes ;
- Arrêter le malaxage pendant 15 secondes pour racler les côtes du récipient ;
- Enfin malaxer encore pendant 45 secondes.

Cet essai permet de mesurer la fluidité des MAP à travers le temps d'écoulement. Le principe de cet essai consiste à remplir le cône de Marsh à un certain niveau après

## Chapitre II : Matériaux et protocole Expérimental

fermeture de l'orifice de 11 mm de diamètre. On lance le chronomètre au moment où on libère l'orifice.

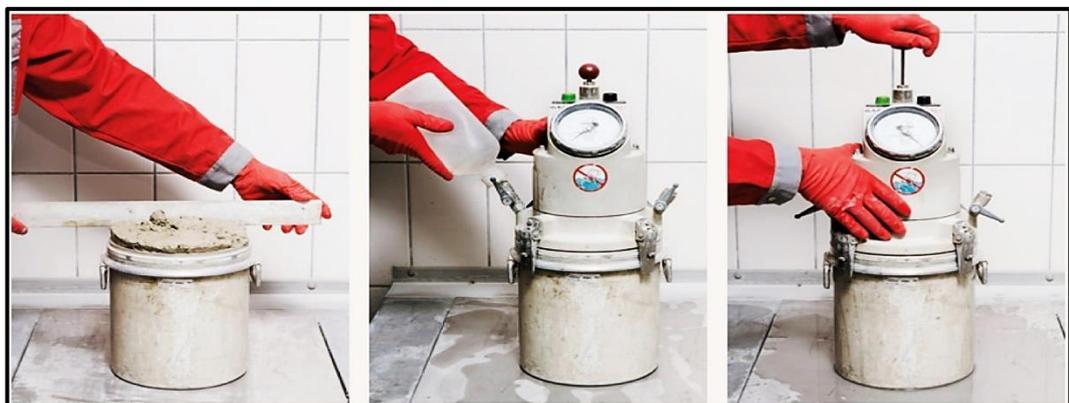
On arrête le chronomètre dès que le remplissage soit à ras du récipient d'un volume d'un litre (1L) placé au-dessous du cône.



**Figure II.11:** Essai au cône de Marsh.

### II.4.5 Essai de l'air occlus (Teneur en air avec la Méthode du manomètre)

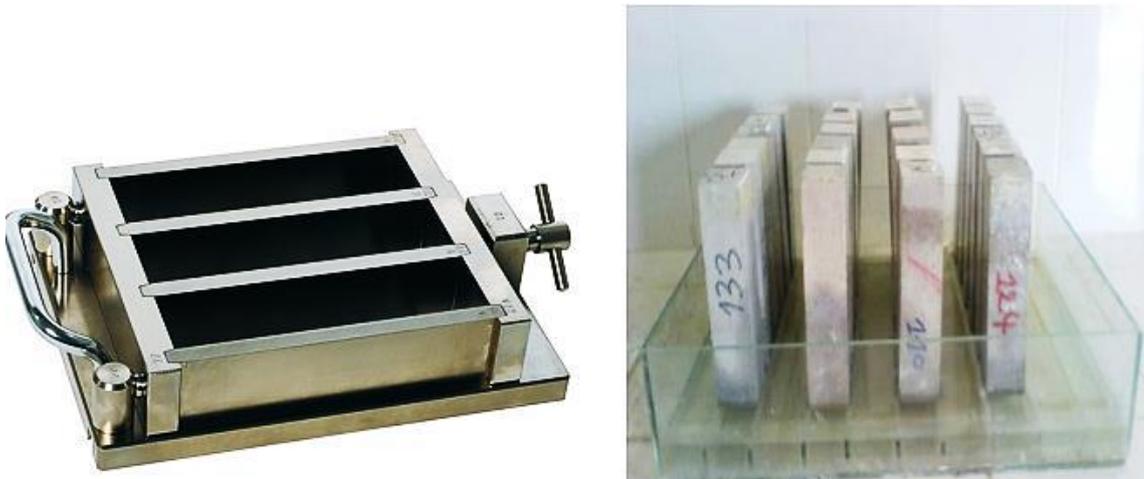
Le principe de l'essai c'est qu'On égalise un volume d'air connu à une pression connue dans une enceinte hermétique avec le volume d'air inconnu de l'échantillon de MAP. Le cadran du manomètre est étalonné en % d'air correspondant à la pression résultante, mise en œuvre du MAP avec serrage à refus, pomper (mise en pression de la chambre) et ajuster l'aiguille au trait rouge puis relâcher et lire le pourcentage sur manomètre.



**Figure II.12 :** Teneur en air avec la méthode du manomètre.

### II.5 Confection et conservation des éprouvettes

Des éprouvettes de  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup> de dimension doivent être remplis pour tous les essais sur le MAP à l'état durci. Le coulage doit être dans des moules métalliques à trois alvéoles préalablement huilés. On introduit le MAP sans vibration dans les moules par deux couches pour assurer l'homogénéité des éprouvettes. On enlève l'excédent de mortier par arasage à l'aide d'une petite spatule ou d'une règle. La surface des éprouvettes est lissée et recouverte d'un film plastique pendant 24 heures. Après démoulage (24h) elles se sont placées dans un bac plein d'eau saturée en chaux à une température de  $20^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$  pour assurer une cure normalisée Figure II.13.



**Figure II.13:** Confection et conservation des éprouvettes.

### II.6 Essais effectués sur le mortier à l'état durci

#### II.6.1 Essais sur la résistance

Pour toutes les caractérisations physico-mécaniques, des spécimens prismatiques de  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup> mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression obtenus à 7 et 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons de chaque essai.

### II.6.1.1 Résistance à la traction par flexion

Pour effectuer les essais de traction par flexion, ont procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup>) mûries à l'eau. La résistance à la traction obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion.

- La résistance à la traction par flexion est calculée suivant la formule suivante :

$$R_t = \frac{1.5 F l}{b^3}$$

Avec :

- F : la force appliquée sur l'éprouvette (MPa).
- l : la distance entre les appuis 100 (mm).
- b : la largeur de l'éprouvette 40 (mm<sup>2</sup>).



**Figure II.14:** L'essai de résistance à la traction par flexion à trois points.

### II.6.1.2 Résistance à la compression

La résistance à la compression du mortier est déterminée sur les deux parties résultantes de l'essai de résistance à la flexion ( $40 \times 40 \text{ mm}^2$ )

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression.

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

Les résistances en compression ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique, pourvue d'un dispositif de compression pour les moules de mortiers. La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.

- La résistance à la compression est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{b^2}$$



**Figure II.15:** L'essai de résistance à la compression.

### II.6.2 Essais sur les indicateurs de durabilité

#### II.6.2.1 Absorption capillaire

Les essais d'absorption capillaires sont également intéressants et faciles à effectuer. Ils renseignent globalement sur la structure et sur l'importance du réseau capillaire. Ils sont aussi utilisés en complément d'autres essais pour caractériser la durabilité du mortier.

Il consiste à déterminer le taux d'absorption par remontée capillaire, due à la force de succion, d'une éprouvette de dimension (4 x 4 x 16) cm du mortier posé à sa base sur de petits supports de telles manières que seuls les 5 premiers millimètres du bas de l'éprouvettes soient immergés.

On mesure alors l'augmentation de la masse de l'éprouvette en fonction du temps La variation de la masse est mesurée après 1min, 5min, 10 min, 20 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h,

4 h, 5 h, 6 h, 1 jour, 2 jours, 3 jours, 4 jours, 5 jours, 6 jours, 7 jours, 8 jours. A chaque échéance, l'éprouvette est sorti du récipient, pesée (M) et replacée dans le récipient en position verticale.

Les résultats obtenus à chaque échéance sur deux éprouvettes de chaque type de mortier sont exprimés sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.

## Chapitre II : Matériaux et protocole Expérimental

Le coefficient d'absorption d'eau capillaire (I) est exprimé par la formule suivante :

$$I = \frac{(M_x - M_0)}{a \cdot \rho} = \frac{Q}{a \cdot \rho} \text{ [mm]}$$

Le coefficient de sorptivité (S) est exprimé par la formule suivante :

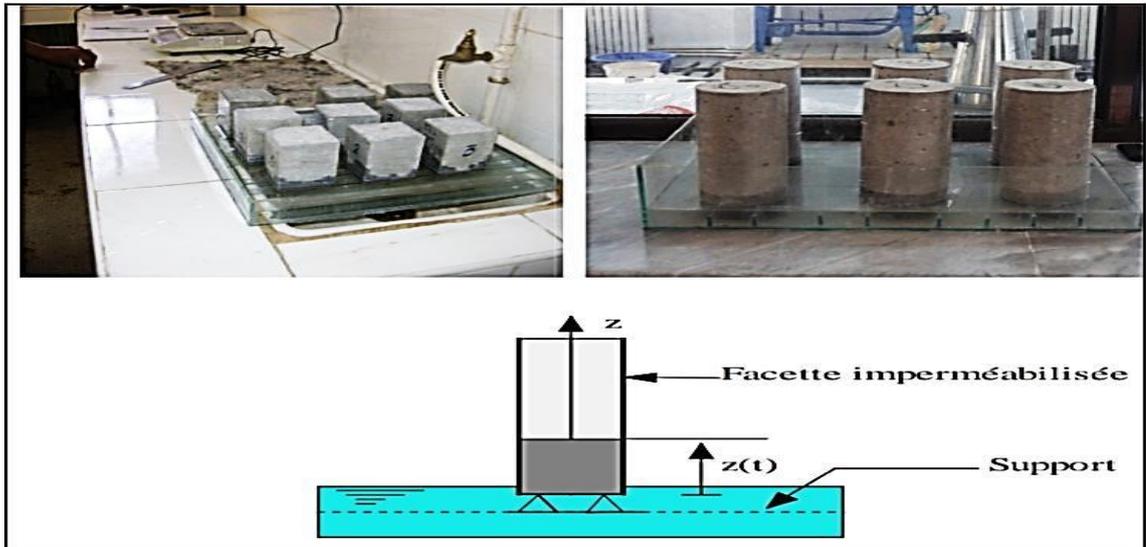
$$S = \frac{I}{\sqrt{t}} \text{ [mm/s}^{1/2}\text{]}$$

On a tracé la courbe  $I = f(\sqrt{t})$  en fonction de la racine carrée du temps, ensuite on a calculé S qui est l'angle de la pente de la courbe

$$I=f(\sqrt{t})$$

Avec :

- $M_x$ : masse de l'éprouvette à l'instant ( $t_x$ ).
- $M_0$ : masse de l'éprouvette à l'instant ( $t_0$ ).
- Q: quantité d'eau absorbée en (g) ( $M_x - M_0$  [g]).
- a: surface base en contact avec l'eau en ( $\text{mm}^2$ ).
- $\rho$  : densité d'eau en ( $\text{g}/\text{mm}^3$ ).



**Figure II.16:** L'essai d'Absorption capillaire.

### II.6.2.2 Porosité accessible à l'eau par immersion sous vide

L'essai de la porosité accessible à l'eau est par définition le pourcentage du volume des vides ( $V_v$ ) par rapport au volume total ( $V_t$ ). Il s'agit de la détermination par pesage de la masse apparente d'un échantillon du béton après immersion dans l'eau avec lequel il a été saturé sous vide.

C'est une méthode utilisée pour évaluer un paramètre de premier ordre dans l'évaluation de la durabilité à travers l'estimation de la porosité accessible à l'eau. Cette méthode nous permet aussi de mesurer la masse volumique apparente des échantillons.

Les échantillons ont été préalablement séchés à une température de  $80 \pm 5^\circ \text{C}$  jusqu'à une masse constante. Une fois séché, on obtient la masse  $M_{\text{sec}}$  avec une balance de précision de 0.1g. Ensuite on met les éprouvettes dans une enceinte fermée et on fait en marche la pompe à vide (sous une pression constante). Après 3 heures on introduit l'eau dégazée progressivement jusqu'à couverture les éprouvettes d'environ 2 cm. Après 4 heures on arrête la pompe à vide, et on maintient les éprouvettes en saturation pendant  $18 \pm 2\text{h}$ . Ensuite on fait sortir les éprouvettes du

## Chapitre II : Matériaux et protocole Expérimental

dessiccateur et on effectue une pesée dans l'eau par une balance hydrostatique et on passe une éponge sur les éprouvettes, pour absorber l'eau sur les faces des éprouvettes et on pèse à nouveau dans l'air pour déterminer respectivement  $M_{\text{eau}}$  et  $M_{\text{air}}$

- La porosité accessible à l'eau  $\varphi$  (%) est donnée par la relation suivante :

$$\varphi = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}}$$

- La masse volumique apparente  $\rho$  (%) est donnée par la relation suivante :

$$\rho = \frac{M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}}$$

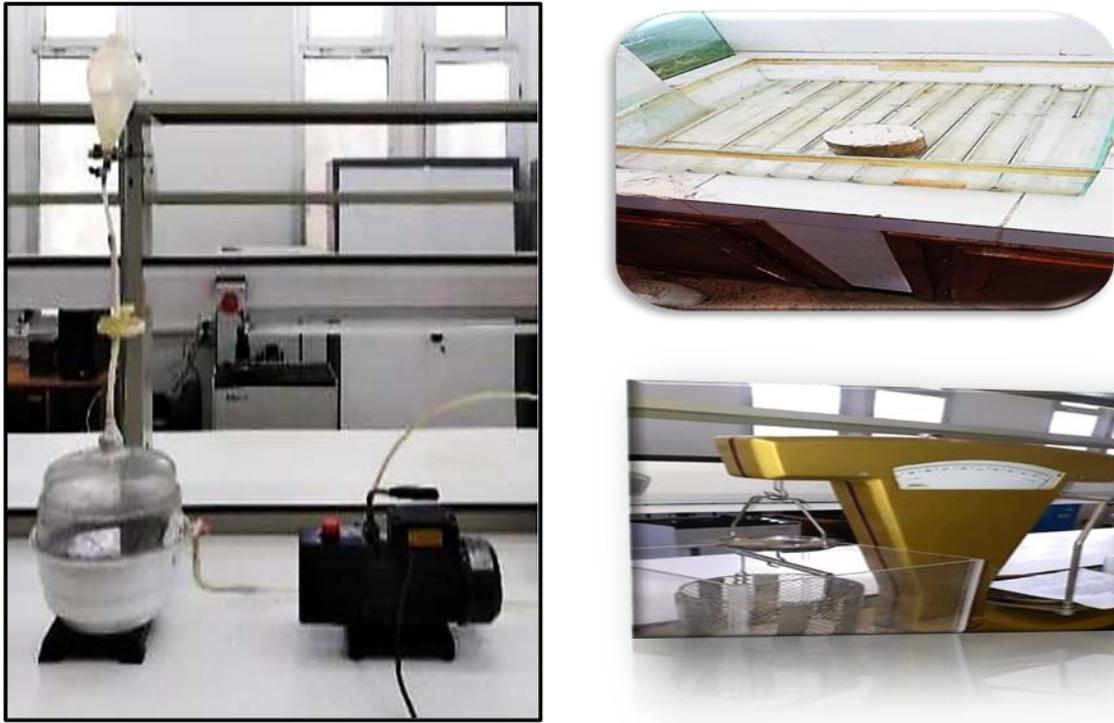
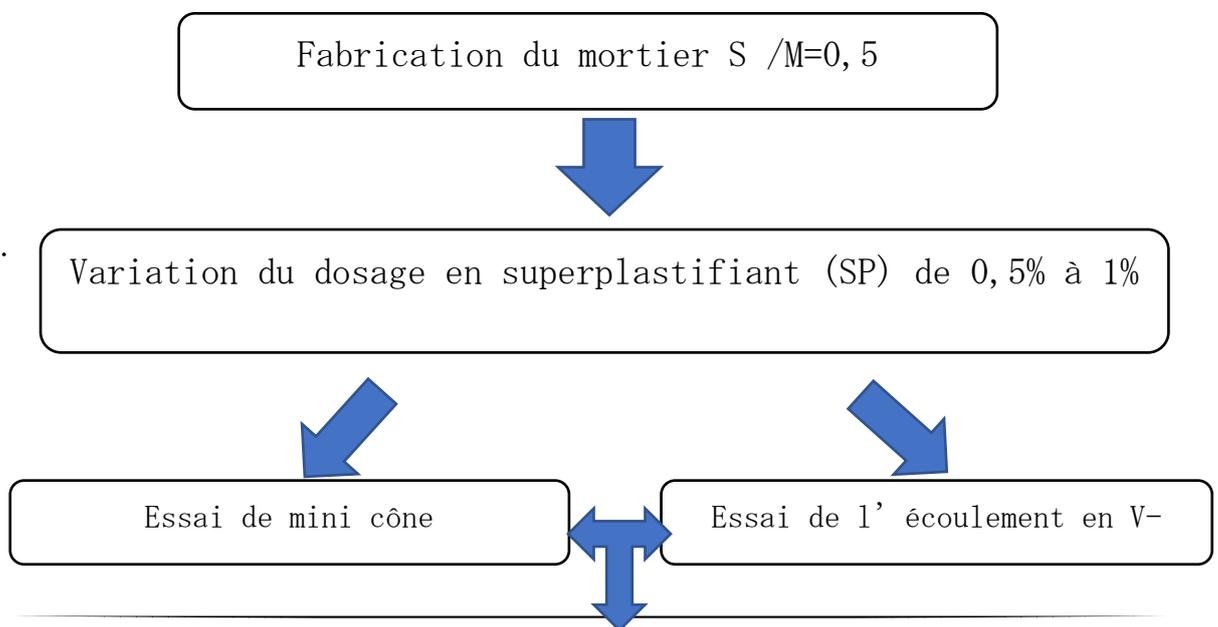
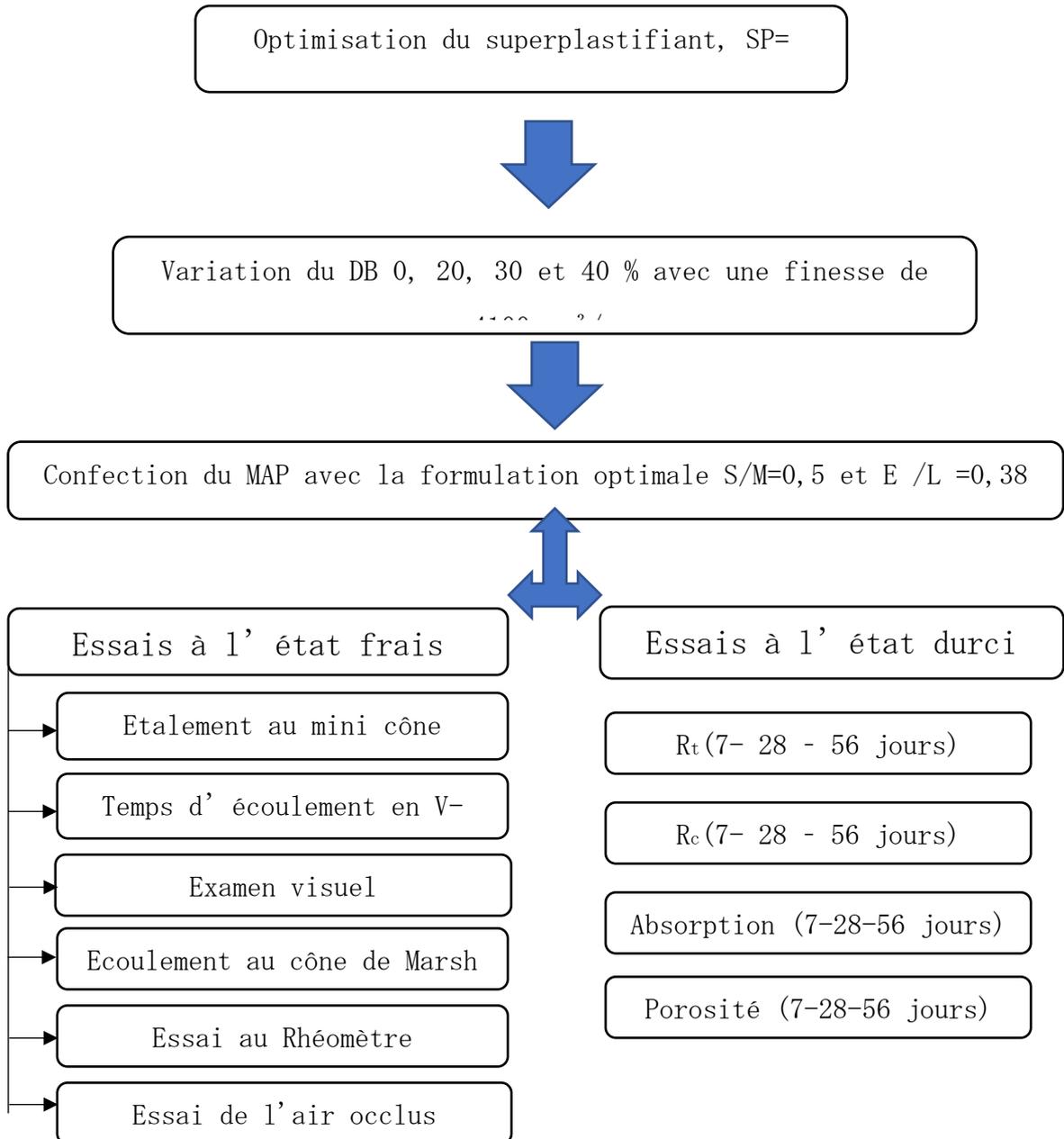


Figure II.17: Porosité Accessible A l'eau par immersion sous vide.

### II.7 Organigramme des différents essais réalisés sur le mortier





### Conclusions générales

- Les conclusions tirées de cette recherche bibliographique sont comme suit:
- L'objectif principal était du comportement d'un MAP à base de sable recycle de déchets de brique, mais malheureusement la pandémie nous a empêchés de faire les essais au laboratoire. Néanmoins, des conclusions peuvent être tirées à partir des chapitres réalisés savoir :
- Les briqueteries en Algérie produisent une quantité de déchets estimée entre 10 à 15% de leur production.

## Chapitre II : Matériaux et protocole Expérimental

- Le recyclage des matériaux de construction est nécessaire en raison de l'augmentation de la population et la diminution de la matière première naturelle, existence d'anciens bâtiments abandonnés ou en voie de démolition datant de l'époque coloniale, les catastrophes naturelles comme les séismes et autres qui conduisent à l'apparition de quantités importante de déchets et aussi le cout élevé de la gestion des déchets de bâtiments. Les granulats de brique recyclé sont généralement moins denses que les granulats ordinaires.
- Le dosage élevé de sable recyclé de déchets de brique augmente l'étalement des mortiers et des bétons ; et diminue le temps d'écoulement.
- La teneur en air occlus augmente avec l'augmentation du taux des sables recyclé de déchets de brique.
- La résistance mécanique à la flexion diminue avec l'augmentation du taux de déchets de brique utilisés comme agrégats.
- L'augmentation du taux de sable recyclé de déchets de brique conduit à une diminution de la résistance en compression. Le taux de substitution de 20% donne les meilleurs résultats à court et long terme avec une perte de résistance de l'ordre de 10 à 15% par rapport au MAP de référence.
- Les bétons produits avec des granulats de brique ont une porosité élevée (10-45%).
- Les sables recyclés de déchets de brique absorbent plus que les sables naturels, cela est dû à la porosité plus élevée des sables de brique.
- Plus on augmente le taux de brique dans les mortiers et bétons et plus le retrait augmente.

## Références

- [1] Frank Van Woerden, Silpa Kaza, Lisa Yao, P.B.-T.: What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. The World Bank (2018)
- [2] Vernus, E., Cazenove, A.D.E.: Déchets de démolition et déconstruction : gisements, caractérisations, filières de traitement et valorisation. (2011)
- [3] Harbi, R.: Comportement mécanique et durabilité des mortiers a base des déchets de brique, (2009)
- [4] MATRIciel;, Santos, A.R. dos, Souza, A.S. de: Fiche 4.1 : L'utilisation de granulats issus du recyclage. Igarss 2014. 24 (2014). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- [5] Rp--fr, B.: Guide d ' utilisation des déchets recyclés pour le BTP à la RÉUNION Rapport final. (2012)
- [6] Proust, E.: Retraits et fluages des bétons auto-plaçants : vers une meilleure compréhension des comportements différés, (2002)
- [7] Bektas, F., Wang, K., Ceylan, H.: Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability. Constr. Build. Mater. 23, 1909-1914 (2009). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.006>
- [8] M. Yurugi, N. Sakata, M.I. and G.S.: Mix Proportion for Highly Workable Concrete. (2003)
- [9] De Larrard, F., Bosc, F., Catherine, C. et Deflorenne, F.: Nouvelle méthode des coulis l'A.F.R.E.M. pour la formulation des bétons à hautes performances. (1996)
- [10] Grondin, A.: Valorisation des granulats recyclés de beton : Etude des caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de granulats recyclés de béton. 81 (2011)
- [11] L-, A.: Partie législative Livre V : Prévention des pollutions , des risques et des nuisances Titre IV : Déchets Chapitre Ier : Prévention et gestion des déchets Section 1 : Dispositions générales Article L541-1-1. 2007-2008 (2020)
- [12] M, B., G, A.: GESTION DES DECHETS MENAGERS SOLIDE. (2015)
- [13] Perkins, N., Ajir, A., El ouazzani, L.: Rapport sur la gestion des déchets solides au

MAROC. 57 (2014)

- [14] Quebaud, M.: Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats, (1996)
- [15] Z, A.: Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants, (2006)
- [16] Le LERM: Déchets de chantiers de bâtiment. (1999)
- [17] Bourema, M., Riad, D.: Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci, (2015)
- [18] Demix béton, Mortier autoplaçant. 2016, une division de groupe CRH canada inc.
- [19] SAADANI, S.: Comportement des bétons à base de granulats recyclés
- [20] Ministère de la culture et de la communication: Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie. (2006)
- [21] Frías, M., Medina Martínez, C., Sánchez de Rojas, M.I.: MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF RECYCLED CONCRETES USING CERAMIC SANITARY, <http://hdl.handle.net/10261/45257>, (2012)
- [22] Cuenca-Moyano, G.M., Martín-Morales, M., Valverde-Palacios, I., Zamorano, M.: Study on the Influence of Moisture State in Recycled Fine Aggregate on the Properties of Masonry Mortars. Sardinia 2013, .... 1, 2682 (2013)
- [23] Padmini, A.K., K, R., Mathews, M.S.: Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. Constr. Build. Mater. 23, 829-836 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006>
- [24] Committee, R.: (RILEM TC). RILEM TC 121-DRG: specification for concrete with recycled aggregates. Mater. Struct. 27, 557-559 (1994)
- [25] De, S.: CHARACTERIZATION OF MIXED RECYCLED AGGREGATES FOR USE IN NON-STRUCTURAL CONCRETE: INFLUENCE OF THE TREATMENT PROCESS. (2020)
- [26] Khoury, E., Ambrós, W., Cazacliu, B., Sampaio, C.H., Remond, S.: Heterogeneity of recycled concrete aggregates, an intrinsic variability. Constr. Build. Mater. 175, 705-713 (2018). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.163>
- [27] Dao, D.-T.: (Multi-) recyclage du béton hydraulique, (2012)

- [28] Corinaldesi, V.: Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. *Cem. Concr. Compos.* 31, 505-510 (2009).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.003>
- [29] Deodonne, K.: Etudes des caractéristiques physico-chimiques de bétons de granulats recyclés et de leur impact environnemental,  
<http://www.theses.fr/2015STRAD013/document>, (2015)
- [30] Berredjem, L., Molez, L., Minh, N. Van, Meftah, H., Berredjem, L., Molez, L., Minh, N. Van, Meftah, H., Étude, N.A., Layachi, B., Laurent, M., Van-minh, N., Houria, M.: Étude expérimentale de la formulation des mortiers à base de sable recyclé To cite this version : HAL Id : hal-01366545 Étude expérimentale de la formulation des mortiers à base de sable recyclé. (2019)
- [31] Juan, M., Gutiérrez, P.: Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Constr. Build. Mater.* 23, 872-877 (2009).  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012>
- [32] Saidi, M., Safi, B., Benmounah, A., Megdoud, N., Radi, F.: Physico-mechanical properties and thermal behavior of firebrick-based mortars in superplasticizer presence. *Constr. Build. Mater.* 104, 311-321 (2016).  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.026>
- [33] Safi, B., Ghernouti, Y., Rabehi, B., Aboutaleb, D.: Effect of the Heat Curing on Strength Development of Self-compacting Mortars Containing Calcined Silt of Dams and Ground Brick Waste. *Mater. Res.* 16, 1058-1064 (2013).  
<https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000094>
- [34] Tabarelli, E.: The recycling of crushed waste bricks in the self-compacting mortar,  
<http://hdl.handle.net/2268.2/5378>
- [35] BOURMATTE, N., HOUARI, H.: Caractérisation expérimentale des betons et mortiers a base de granulats recycles : beton de demolition et dechets de briques. 25-31 (2013)
- [36] McNeil, K., Kang, T.H.K.: Recycled Concrete Aggregates: A Review. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 7, 61-69 (2013). <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0032-5>
- [37] Evangelista, L., de Brito, J.: Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 29, 397-401 (2007).

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
- [38] de Larrard, F.: « Concrete mixture-proportioning – a scientific approach », modern concrete technology series. Etudes Rech. des Lab. des ponts chaussées. 591 (1999)
- [39] Soutsos, M.N., Tang, K., Millard, S.G.: Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks. *Constr. Build. Mater.* 25, 3131-3143 (2011). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.024>
- [40] Yang, J., Du, Q., Bao, Y.: Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Constr. Build. Mater.* 25, 1935-1945 (2011).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063>
- [41] Vieira, J.P.B., Correia, J.R., de Brito, J.: Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled concrete coarse aggregates. *Cem. Concr. Res.* 41, 533-541 (2011). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.02.002>
- [42] Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., Barra, M.: Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Res.* 37, 735-742 (2007).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002>
- [43] Topçu, İ., Şengel, H.: Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cem. Concr. Res.* 34, 1307-1312 (2004).  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.019>
- [44] B.El hadj: Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs. 183 (2019)
- [45] Ahlem, G.: ÉLABORATION DES BÉTON S DE SABLE CHARGE A BASE DES GRANULATS RECYCLES, (2019)
- [46] Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H., Kou, S.C.: Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cem. Concr. Res.* 34, 31-36 (2004). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8)
- [47] Poon, C.S., Lam, C.S.: The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. *Cem. Concr. Compos.* 30, 283-289 (2008). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.10.005>

- [48] Tourkia, G., João, P.C.-G., Mebrouki, A.: Study of concretes properties based on pre-saturated recycled aggregates. (2018)
- [49] Salgues, M., Souche, J.-C., Devillers, P., Garcia-Diaz, E.: Influence of initial saturation degree of recycled aggregates on fresh cement paste characteristics: consequences on recycled concrete properties. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 22, 1146-1160 (2018). <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1245630>
- [50] Kenai, S., Debieb, F.: Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés. *Mater. Struct.* 44, 815-824 (2011). <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9668-7>
- [51] Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., Degeimbre, R.: Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 32, 421-426 (2010). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.004>
- [52] Recybeton, P.N.: Le Recyclage Du Béton Dans Le Béton, Tout Naturellement. 10-17 (2015)
- [53] Katz, A.: Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cem. Concr. Res.* 33, 703-711 (2003). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01033-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01033-5)
- [54] Layachi, B., Laurent, M., Van-minh, N., Houria, M.: Étude Expérimentale De La Formulation Des Mortiers À Base De Sable Recyclé. (2016)
- [55] R, H.M.B.: Propriétés Phsico-Mécanique Et Durabilté Des Mortier À Base De Déchet De Brique, (2012)
- [56] Sani, D., Moriconi, G., Fava, G., Corinaldesi, V.: Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. *Waste Manag.* 25, 177-182 (2005). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.006>
- [57] Hansen, T.C. and Narud, H.: Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate. (1983)
- [58] Bensafi, boucif, Belkacem, oussama soufyane: Valorisation des Bétons à base de granulats recyclés (granulats de brique) sous l'effet de température
- [59] DESSY. P, NIRONI. L: The mechanical and physical performance of building

- componments made with the recycled aggregates. Présenté à (1999)
- [60] Zhao, Z.: Valorisation des sables de béton recyclé pour la fabrication de mortiers, <http://www.theses.fr/2014LIL10004/document>, (2014)
- [61] Aboutaleb, D., Safi, B., Chahour, K., Belaid, A.: Use of refractory bricks as sand replacement in self-compacting mortar. *Cogent Eng.* 4, (2017). <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1360235>
- [62] Kou, S., Poon, C., Agrela, F.: Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. *Cem. Concr. Compos.* 33, 788-795 (2011). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.05.009>
- [63] Hamad, K., TAGBA, M.: Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux, (2015)
- [64] Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., Wirquin, E.: Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Compos.* 25, 223-232 (2003). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00010-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00010-0)
- [65] Matar, P., El Dalati, R.: Caractéristiques du béton à base de granulats recyclés. Etude expérimentale. *Ann. du bâtiment des Trav. publics.* 3-4, 32-39 (2012)
- [66] Khalil, Y., Mohamed, S., Autopla, D.E.M., Diff, B.D.E., Sables, R.T.D.E.: Mémoire de Fin d'Études Présenté au. 2016-2017 (2017)

