



**UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

Département de Génie Civil

**MÉMOIRE DE MASTER EN GÉNIE CIVIL**

Spécialité : Matériaux En Génie Civil

**FORMULATION D'UN MORTIER AUTOPLAÇANT À  
BASE DE SABLE RECYCLÉ DE DÉCHETS DE  
BRIQUE**

Par :

**CHÉRIGUÈNE Aymen**

**BAALI Abd El Baki**

Encadrés par :

M. M. SI-AHMED

M.C.B

U.S.D.B 1

Promoteur

M. S. kenai

Professeur

U.S.D.B 1

Co-promoteur

Blida, octobre 2021

## **Remerciements**

Nous tenons d'abord à exprimer nos gratitudees à « Allah » de nous avoir donné le courage et la force pour l'accomplissement de notre humble travail.

Un spécial remerciement pour notre promoteur Dr Mohamed SI-AHMED et notre co-promoteur Pr Said KENAI qui nous ont donné l'opportunité de travailler dans leur laboratoire de recherche avec leurs contributions et précieux conseils, lesquels nous ont éclairés tout le long de la préparation de notre mémoire.

On tient à remercier aussi madame Nadia BENTLEMSAN pour sa disponibilité et son aide pour la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons adresser notre reconnaissance aux doctorantes et les techniciens du laboratoire de géo-matériaux et génie civil de l'université de Blida 1 pour leurs assistance et aides.

Nos remerciements les plus vifs et notre considération la plus haute s'adressent aux membres de jury qui nous ferons le plus grand honneur de porter leur précieux jugement sur notre travail.

Tous les enseignants qui nous ont tant éclairés et suivi rigoureusement le long de notre cursus d'étude.

Toute personne proche ou loin ayant manifesté un quelconque appui à notre égard.

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste mémoire fait avec tant de rigueur et d'abnégation à toutes les personnes qui me sont chères, notamment à :

- Mes chers parents à qui je dois tous mes succès grâce à la grande foi dont ils m'ont imprégné, et qui je ne remercierai jamais assez.
- Ma chère grand-mère.
- La mémoire de mes grands-parents et tante paternels et mon grand-père et tante maternel.
- Mes deux frères Houmam et Safouane et leurs femmes et enfants.
- Mes deux sœurs et leurs maris et enfants.
- Mes oncles et mes tantes.
- Mes très chers amis qui ont toujours été présents.
- Mon cher binôme BAALI Abd el baki et sa famille.
- Mes amis de promotion.

**CHERIGUENE Aymen**

Je dédie ce modeste travail à :

- A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.
- Particulièrement à mes chers parents, à qui je dois tout, j'espère être à la hauteur de leurs espérances et d'être dignes de leurs confiances et de leurs encouragements.
- A Aymen, cher ami avant d'être mon binôme. Pour tous les bons moments qu'on a passé pendant Ses années.
- A mes Sœurs "Cherifa, Zahra et Amina" pour leur présence à mes côtés.
- A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu.

**BAALI Abd el baki**

## ملخص

يوفر استخدام الركام المعاد تدويره في الملاط مزايا اقتصادية وبيئية لا يمكن إنكارها. الهدف من هذا العمل هو صياغة وتحليل تأثير الرمل المعاد تدويره من نفايات الأجر على خصائص الملاط ذاتي التماسك. يتم إنتاج رمل الأجر المستخدم في هذه الدراسة عن طريق سحق وطحن مخلفات الأجر من وحدة تصنيع محلية. نسب إستبدال الرمل الطبيعي بالرمل المعاد تدويره هي 0%، 10%، 20%، 30%، 40% و50%.

أظهرت النتائج التي تمت ملاحظتها انخفاضًا في قابلية التشغيل مع زيادة معدلات الاستبدال برمل الأجر. لا ينتج عن استبدال 40% و50% بالرمل الطبيعي بالأجر ملاط ذاتي التماسك.

لوحظ تحسن في القوة الميكانيكية على المدى القصير والطويل للمخاليط المحتوية على رمل الأجر.

تم الحصول على نتائج مقارنة لجميع المخاليط فيما يتعلق بامتصاص الماء الشعري وكذلك المسامية التي يمكن الوصول إليها من الماء.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط ذاتي التماسك، نفايات الأجر، رمل معاد تدويره، قابلية التشغيل، القوة الميكانيكية، الإمتصاص الشعري، المسامية.

## Résumé

L'utilisation de granulats recyclés dans les mortiers offrent des avantages économiques et écologiques indéniables. L'objet de ce travail est de formuler et d'analyser l'effet du sable recyclé de déchets de brique sur les propriétés des mortiers autoplaçants. Le sable de brique utilisé dans cette étude est produit par concassage et broyage de déchets de brique issu d'une unité de fabrication locale. Les taux de substitutions du sable naturel par le sable recyclé sont de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%.

Les résultats observés montrent une diminution d'ouvrabilité avec l'augmentation des taux de substitutions par le sable de brique. La substitution de 40% et 50% de sable naturel par la brique ne donne pas un mortier autoplaçant.

Une amélioration des résistances mécaniques a été observée à court et à long terme pour les mélanges contenant du sable de brique.

Des résultats comparables pour l'ensemble des mélanges ont été obtenus concernant l'absorption d'eau capillaire ainsi que la porosité accessible à l'eau.

**Mots clés :** Mortier autoplaçant, déchets de brique, sable recyclé, ouvrabilité, résistance mécanique, absorption capillaire, porosité.

## **Abstract**

The use of recycled aggregates in mortars offers undeniable economic and ecological advantages. The object of this work is to formulate and analyze the effect of recycled sand from brick waste on the properties of self-compacting mortars. The brick sand used in this study is produced by crushing and grinding waste brick from a local manufacturing unit. The rates of substitutions of natural sand by recycled sand are 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%.

The results observed show a decrease in workability with increasing rates of substitutions by brick sand. Substituting 40% and 50% natural sand with brick does not result in a self-compacted mortar.

An improvement in mechanical strength was observed in the short and long term for mixtures containing brick sand.

Comparable results for all of the mixtures were obtained concerning the absorption of capillary water as well as the porosity accessible to water.

**Keywords:** Self-compacting mortar, brick waste, recycled sand, workability, mechanical strength, capillary absorption, porosity.

## Liste d'abréviations et notations

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  : Alumine
- ASTM : Anciennement American Society for Testing and Materials
- BAP : Béton autoplaçant
- BFWA : Fines de brique avec absorption d'eau
- BFNWA : Fines de brique sans absorption d'eau
- $B_p$  : Axe des ordonnées
- $\text{C}_2\text{S}$  : Silicate bicalcique (belite)
- $\text{C}_3\text{A}$  : Aluminate tricalcique
- $\text{C}_3\text{S}$  : Silicate tricalcique (alite)
- $\text{C}_4\text{AF}$  : Ferro aluminate calcique
- $C_{\text{abs}}$  : Coefficient d'absorption
- $\text{CaO}$  : L'oxyde de calcium
- $\text{CaOH}$  : Chaux hydratée
- $\text{CaCO}_3$  : Carbonate de calcium
- CH : Méthylidyne
- Cl :Chlore
- $\text{CO}_2$  :dioxyde de carbone
- CSH : Silicate de calcium hydraté
- CEM I: Ciment Portland sans ajout
- CEM II : Ciment portland composé
- CEM III : Ciment de Haut fourneau
- CEM IV : Ciment pouzzolanique
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres
- D : Diamètre d'étalement
- DB : Déchets de briques
- DMA : Déchets ménagers et assimilés
- E/L : Rapport eau sur liant
- E/C : Rapport eau sur ciment
- ECDE : Entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Cheliff
- ER : Eau de robinet

- ERCC : Entreprise des Ciments et Dérivés CENTRE
- ERCE : Entreprise des Ciments et Dérivés EST
- ERCO : Entreprise des Ciments et Dérivés OUEST
- ESP : Equivalent de sable Piston
- ESV : Equivalent de sable visuel
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Oxyde de fer
- G : Pourcentage de sable
- K<sub>2</sub>O : Oxyde de potassium
- BAP : Béton autoplaçant
- MAP : Mortier autoplaçant
- MF : Module de finesse
- MgO : Oxyde de magnésium
- Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Carbonate de Sodium
- $\rho_{abs}$  : Masse volumique absolue
- $\rho_{app}$  : Masse volumique apparente
- PB : Poudre de brique
- SD : Sable de dune
- R<sub>c28</sub> : Resistance à la compression à 28 jours
- Rc : Refus cumulé sous les tamis
- Rp : Etalement relative
- S/M : Rapport sable sur Mortier
- SP : Super plastifiant
- SiO<sub>2</sub> : Dioxyde de silicium
- SO<sub>3</sub> : Trioxyde de soufre
- SS : Sulfate de sodium
- Tv : Temps d'écoulement



## Liste des figures

	Page
<b>Figure I.1</b> : Les constituants du mortier ordinaire et autoplaçant.....	22
<b>Figure I.2</b> : Poudre de ciment courant.....	26
<b>Figure I.3</b> : Microphotographie d'un clinker .....	27
<b>Figure I.4</b> : L'effet du super plastifiant sur les grains de ciment.....	33
<b>Figure I.5</b> : Étalement au Mini cône de mortier.....	36
<b>Figure I.6</b> : Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel).....	36
<b>Figure I.7</b> : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	37
<b>Figure I.8</b> : Dispositif de rupture en compression.....	37
<b>Figure I.9</b> : Répartition des recycleurs par Wilayas.....	40
<b>Figure I.10</b> : répartition des récupérateurs et recycleurs par type de déchets.....	40
<b>Figure I.11</b> : Composition moyenne des DMA- 4 saisons Algérie- 2018/2019.....	41
<b>Figure I.12</b> : Les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie.....	42
<b>Figure I.13</b> : Déchets d'enrobés.....	43
<b>Figure I.14</b> : Déchets de brique.....	44
<b>Figure I.15</b> : Influence du taux de substitutions de la poudre de déchets de brique sur l'étalement du MAP.....	47
<b>Figure I.16</b> : Influence du taux de substitutions de la poudre de déchets de brique sur le temps d'écoulement du MAP.....	48
<b>Figure I.17</b> : Corrélation entre la viscosité et le v-funnel.....	48
<b>Figure I.18</b> : Variation de la densité des mélanges.....	49
<b>Figure I.19</b> : La variation de la teneur en air.....	49
<b>Figure I.20</b> : La variation de la densité absolue.....	50
<b>Figure I.21</b> : Influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur la résistance à la compression des MAP.....	51
<b>Figure I.22</b> : Résistances à la compression des MAP.....	51
<b>Figure I.23</b> : Résistance à la traction des MAP.....	52

<b>Figure I.24 :</b> L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour le MAP avec et sans le traitement thermique.....	53
<b>Figure I.25 :</b> L'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le MAP témoin avec et sans le traitement thermique.....	54
<b>Figure I.26 :</b> L'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le MAP avec l'ajout du brique, avec et sans le traitement thermique.....	54
<b>Figure I.27 :</b> Effet du taux de substitution de la poudre de brique sur l'absorption d'eau(a) et la sorptivité(b).....	55
<b>Figure I.28 :</b> Résistance à la compression du mortier à base de PB sous des conditions différentes à 180 jours.....	55
<b>Figure I.29 :</b> L'ouvrabilité des MAP.....	56
<b>Figure I.30:</b> Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution.....	57
<b>Figure I.31 :</b> Variation de la densité pour les différents taux de substitutions.....	57
<b>Figure I.32 :</b> Variation de la teneur en air pour les différents taux de substitutions...58	
<b>Figure I.33 :</b> Variation de la masse volumique pour les différents taux de substitutions.....	59
<b>Figure I.34 :</b> La masse volumique des MAP.....	59
<b>Figure I.35 :</b> Masse volumique des mortiers à base de sable de brique.....	60
<b>Figure I.36 :</b> Résistance à la flexion (a) et à la compression (b) des MAP.....	61
<b>Figure I. 37 :</b> Convergence entre La résistance à la compression et la masse volumique.....	62
<b>Figure I.38 :</b> Effet du SB sur l'absorption d'eau des mortiers.....	63
<b>Figure I.39 :</b> Perte de masse d'échantillons de mortier réalisés avec SB due à l'immersion dans une solution d'acide sulfurique.....	64
<b>Figure I.40 :</b> la détérioration des échantillons de mortier dans l'environnement de sulfate.....	64
<b>Figure II.1 :</b> Ciment de type CEM II/B 42,5 N.....	68
<b>Figure II.2 :</b> Sable de Baghlia.....	70
<b>Figure II.3 :</b> Sable de bougezoul.....	71
<b>Figure II.4 :</b> Sable corrigé.....	72

<b>Figure II.5</b> : Courbe granulométrique des 3 sables.....	73
<b>Figure II.6</b> : Déchets de brique utilisée avant et après concassage.....	74
<b>Figure II.7</b> : Processus de concassage du déchets de briques.....	75
<b>Figure II.8</b> : courbe granulométrique des déchets de brique concassé à l'aide de la machine Los Angeles.....	75
<b>Figure II.9</b> : Courbes granulométriques du sable corrigé et des déchets de brique...	76
<b>Figure II.10</b> : Le super-plastifiant (SP) utilisé.....	76
<b>Figure II.11</b> : Malaxeur à mortier.....	78
<b>Figure II.12</b> : Séquence de malaxage du MAP.....	78
<b>Figure II.13</b> : Etalement au mini cône.....	79
<b>Figure II.14</b> : Les dimensions du mini cône.....	79
<b>Figure II.15</b> : dispositif de l'essai V-Funnel.....	80
<b>Figure II.16</b> : Moule prismatique à mortiers.....	80
<b>Figure II.17</b> : conservation des éprouvettes.....	81
<b>Figure II.18</b> : Essai de résistance à la flexion.....	82
<b>Figure II.19</b> : Essai de compression.....	83
<b>Figure II.20</b> : Essai d'absorption capillaire.....	85
<b>Figure II.21</b> : Essai de porosité accessible à l'eau.....	87
<b>Figure II.22</b> : Organigramme du procédé de formulation des MAP.....	88
<b>Figure II.23</b> : Les essais réalisés.....	88
<b>Figure III.1</b> : Etalement au mini cône en fonction du dosage en SP.....	91
<b>Figure III.2</b> : Temps d'écoulement en V-Funnel en fonction du dosage en SP.....	92
<b>Figure III.3</b> : Etalement au mini cône en fonction du taux de substitution du sable de brique.....	95

<b>Figure III.4 :</b> Le temps d'écoulement en V-Funnel en fonction du taux de substitution du sable de brique.....	96
<b>Figure III.5 :</b> L'évolution de la résistance à la compression à 7 et 90 jours.....	98
<b>Figure III.6 :</b> L'évolution de la résistance à la flexion à 7 et 90 jours.....	99
<b>Figure III.7 :</b> Effet de sable de déchets de brique sur l'absorption d'eau par capillarité après 97 jours de cure humide.....	101
<b>Figure III.8 :</b> Evolution de la masse volumique des différents MAP après 97 jours de cure humide.....	102
<b>Figure III.9 :</b> Evolution de la porosité accessible à l'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide.....	102

## Liste des tableaux

	Page
<b>Tableau I.1</b> : Classification de sables en fonction de sa composition, teneurs en % massique.....	24
<b>Tableau I.2</b> : Composition chimique et minéralogique du clinker.....	28
<b>Tableau I.3</b> : Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition.....	29
<b>Tableau I.4</b> : Classification des ciments en fonction de leur résistance normale.....	30
<b>Tableau I.5</b> : Classification des ajouts selon leur réactivité.....	32
<b>Tableau I.6</b> : Utilisation Des ajouts dans les cimentaires algériennes.....	32
<b>Tableau I.7</b> : Quantités de débris issus des catastrophes naturelles en Algérie.....	41
<b>Tableau I.8</b> : Pourcentage des constituants de la brique.....	45
<b>Tableau I.9</b> : La résistance à la compression à 14 et 28 jours.....	62
<b>Tableau I.10</b> : Récapitulation des résultats de recherches sur l'effet des fines de brique sur les mortiers ordinaires et autoplaçants.....	65
<b>Tableau I.11</b> : Récapitulation des résultats de recherches sur l'effet du sable de brique sur les mortiers ordinaires et autoplaçants.....	65
<b>Tableau II.1</b> : Compositions chimiques et minéralogiques du ciment.....	69
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment.....	69
<b>Tableau II.3</b> : Caractéristique physiques de sable de Baghlia.....	70
<b>Tableau II.4</b> : Composition chimique de sable de baghlia (%).....	70
<b>Tableau II.5</b> : Caractéristiques physiques de sable de bougezoul.....	71
<b>Tableau II.6</b> : Composition chimique de sable de bougezoul (%).....	71
<b>Tableau II.7</b> : Caractéristiques physiques de sable corrigé.....	72
<b>Tableau II.8</b> : Caractéristiques physiques de déchets de brique utilisés.....	74
<b>Tableau II.9</b> : Compostions chimique de déchets de brique utilisés (%).....	74
<b>Tableau II.10</b> : Caractéristique du « MEDAFLOW 30 ».....	77

<b>Tableau III.1 :</b> Valeurs d'étalement au mini cône en fonction du dosage en SP.....	92
<b>Tableau III.2 :</b> Valeur de temps d'écoulement en fonction du dosage en SP.....	93
<b>Tableau III.3 :</b> Composition des différents MAP par un Volume de 1,8 litre.....	94
<b>Tableau III.4 :</b> Valeur de l'étalement au mini cône des différents MAP.....	94
<b>Tableau III.5 :</b> Valeur de l'écoulement en V-Funnel des différents MAP.....	95
<b>Tableau III.6 :</b> Regroupement des résultats obtenus par l'essai d'étalement et d'écoulement.....	97
<b>Tableau III.7:</b> Résistance à la compression des MAP.....	97
<b>Tableau III.8 :</b> Résistance à la flexion des MAP.....	99
<b>Tableau III.9 :</b> Les valeurs moyennes d'absorption d'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide.....	100
<b>Tableau III.10 :</b> Les valeurs moyennes de la masse volumique ainsi que la porosité accessible à l'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide.....	101

## Table des matières

	Page
RÉSUMÉ.....	03
LISTE D'ABREVIATIONS ET NOTATIONS.....	06
LISTE DES FIGURES.....	08
LISTE DES TABLEAUX.....	12
TABLE DES MATIÈRES.....	14
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	19
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1 Introduction.....	22
I.2 Généralités sur les mortiers autoplaçants.....	22
I.2.1 Mortiers autoplaçants.....	22
I.2.2 Constituants du MAP.....	23
I.2.2.1 Le sable.....	23
I.2.2.1.1 Choix Du Sable.....	23
I.2.2.1.2 Classification Des Sables.....	24
I.2.2.1.3 Types de sable.....	25
I.2.2.2 Le ciment.....	26
I.2.2.2.1 Les Constituants Du Ciment.....	27
I.2.2.2.2 Classification des ciments.....	28
I.2.2.3 L'eau de gâchage.....	30
I.2.2.4 Ajout minéraux.....	30
I.2.2.5 Super-plastifiant.....	32
I.2.3 Formulation des MAP.....	33

I.2.3.1	Méthodes de Formulation d'okamura.....	34
I.2.3.2	Caractérisation de MAP à l'état frais.....	35
I.2.3.2.1	Essais de l'étalement au Mini cône de mortier.....	36
I.2.3.3	Caractérisation de MAP à l'état durci.....	37
I.2.4	Domaine d'application d'un MAP.....	38
I.3	Recyclage.....	38
I.3.1	Généralité.....	38
I.3.2	Valorisation des déchets en Algérie.....	39
I.4	Granulats recyclés.....	41
I.4.1	Généralités sur les granulats recyclés.....	41
I.4.2	Granulats recyclés de démolition.....	42
I.4.3	Déchets de briques.....	43
I.4.3.1	Les constituants de la brique.....	44
I.4.3.2	Rôles des constituants de la brique.....	45
I.5	Effet de la substitution du ciment par les fines de brique sur le comportement des mortiers.....	47
I.5.1	A l'état frais.....	47
I.5.1.1	Etalement et viscosité.....	47
I.5.1.2	Densité et air occlus.....	49
I.5.2	Comportement à l'état durci.....	50
I.5.2.1	Résistance à la compression.....	50
I.5.2.2	Résistance à la traction par flexion.....	52
I.5.2.3	Absorption capillaire.....	54
I.6	Effet de la substitution du sable naturel par le sable de brique sur le comportement des mortiers.....	56
I.6.1	Comportement à l'état frais.....	56
I.6.1.1	L'ouvrabilité.....	56



I.6.1.2	La densité et l'air occlus.....	57
I.6.2	Comportement à l'état durci.....	60
I.6.2.1	Résistance à la compression.....	60
I.6.2.2	Absorption capillaire.....	62
I.6.2.3	Milieux agressives.....	63
I.7	Récapitulation des résultats sur l'effet des fines et sable recyclés de brique sur le comportement des mortiers.....	64
I.8	Conclusion.....	66

## CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1	Introduction.....	68
II.2	Caractéristiques des matériaux utilisés.....	68
II.2.1	Ciment.....	68
II.2.2	Sable.....	69
II.2.3	Sable de déchets de brique.....	73
II.2.4	L'eau de gâchage.....	76
II.2.5	Le super-plastifiant.....	76
II.3	Essais réalisés.....	77
II.3.1	Formulation.....	77
II.3.2	Essais sur MAP à l'état frais.....	78
II.3.2.1	Essai d'étalement au mini cône.....	78
II.3.2.2	Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test).....	80
II.3.2.3	Confection et conservation des éprouvettes.....	80
II.3.3	Essais sur MAP à l'état durci.....	81
II.3.3.1	Résistance à la flexion.....	81
II.3.3.2	Résistance à la compression.....	82

II.3.4	Essais sur les indicateurs de durabilité des MAP.....	83
II.3.4.1	Absorption capillaire.....	83
II.3.4.2	La porosité accessible à l'eau.....	85
II.4	Organigrammes des essais.....	87
II.5	Conclusion.....	89

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1	Introduction.....	91
III.2	Optimisation du dosage en superplastifiant.....	91
III.2.1	Effet du superplastifiant sur l'étalement au mini cône.....	91
III.2.2	Effet du superplastifiant sur l'écoulement en V-Funnel.....	92
III.3	Effet du sable de déchets de brique sur les MAP à l'état frais.....	93
III.3.1	Effet du sable de déchets de brique sur l'étalement au mini cône.....	94
III.3.2	Effet du sable de déchets de brique sur l'écoulement en V-Funnel.....	95
III.4	Effet de sable de déchets de brique sur les MAP à l'état durci.....	97
III.4.1	Effet de sable de déchets de brique sur la résistance à la compression..	97
III.4.2	Effet de sable de déchets de brique sur la résistance à la flexion.....	99
III.5	Effet de sable de déchets de brique sur la durabilité des MAP.....	100
III.5.1	Effet de sable de déchets de brique sur l'absorption d'eau par capillarité.....	100
III.5.2	Effet de sable de déchets de brique sur la porosité accessible à l'eau..	101
III.6	Conclusion.....	103
CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS.....		106
RÉFÉRENCES.....		108
ANNEXES.....		116

### Introduction générale

Plus de 850 millions de tonnes de déchets provenant du secteur de la construction et de la démolition sont produits chaque année par la communauté européenne, représentant le flux principal et significatif des déchets générés par les membres d'états [1]. Cette fraction a contribué pour 34,7 % de la quantité totale de déchets produits par l'UE-28, selon les statistiques d'Eurostat de 2014, avec une production moyenne de 1,7 tonne par habitant et par an [2]. L'estimation de l'agence nationale des déchets en Algérie été d'environ 13,1 millions de tonnes en 2018. En raison de la croissance constante de la population mondiale, l'augmentation résultante de la construction du bâtiment n'a montré aucun signe de diminution. De plus, l'industrie de la construction est également responsable de l'exploitation d'une énorme quantité de matières premières ainsi que de la production d'un volume considérable de déchets à plusieurs étapes de la phase de construction. En particulier, les principaux processus avec le plus grand impact sont l'extraction de matières premières, la fabrication de nouveaux produits, le remblayage par les matériaux et la démolition, qui est le sujet le plus courant [3].

Ce secteur ne représente pas seulement la principale industrie pour l'utilisation des ressources naturelles, mais aussi la principale voix pour la consommation d'énergie (40 % de la consommation mondiale) et l'émission de CO<sub>2</sub> liée [4]. La recherche de nouvelles zones de production de matières premières et de remblayage des déchets de Construction et Démolition peut conduire à l'occupation, dans certains cas, de zones potentielles exploitables à d'autres fins. Certes, le secteur de la construction, au fil des années et des réglementations émises, prend de plus en plus conscience de l'importance du retraitement des sous-produits au sein de ses procédés. Plusieurs types de recherches ont étudié l'ajout de différents matériaux, la plupart de même nature que les déchets de construction et démolitions commune, dans la fabrication du produit le plus courant pour l'industrie du bâtiment : le béton. Depuis que la question environnementale est devenue de plus en plus urgente, plusieurs études ont été menées pour étudier la réutilisation de matériaux particuliers, qui, dans certains cas, peuvent représenter un refus commun découlant de la construction et de la démolition de bâtiments. Le choix de recycler une substance dans le processus de fabrication du béton, par exemple, peut représenter non seulement un avantage en termes

d'impact environnemental mais également en termes économiques, conduisant à une économie de matériaux dont le coût peut également affecter le budget de construction.

L'objectif de ce travail est de compléter les études antérieures sur la valorisation des déchets de brique dans les mortiers à travers l'étude de l'effet des déchets de brique sur le comportement des mortiers autoplaçants (MAP).

Ce travail illustre l'effet du sable de déchets de brique sur le comportement des mortier autoplaçant avec différents taux de substitutions du sable naturel (0%, 10%, 20%, 30%) à l'état frais et durci des MAP ainsi que leur durabilité.

La rédaction du mémoire comporte trois parties. La première est une revue bibliographique qui résume les recherches et travaux antérieurs ainsi que des généralités sur les MAP. Deuxièmement, la partie expérimentale qui comporte la caractérisation des différents matériaux utilisés ainsi que les modalités d'essais. La dernière partie est consacrée à l'analyse et discussion des résultats du travail expérimental. Au final, une conclusion générale et des recommandations pour des futures études sont présentées.

## I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons voir une généralité sur les mortiers autoplaçants (MAP), y compris leurs constituants, domaines d'utilisations en génie civil et leurs comportements à base des fines recyclés.

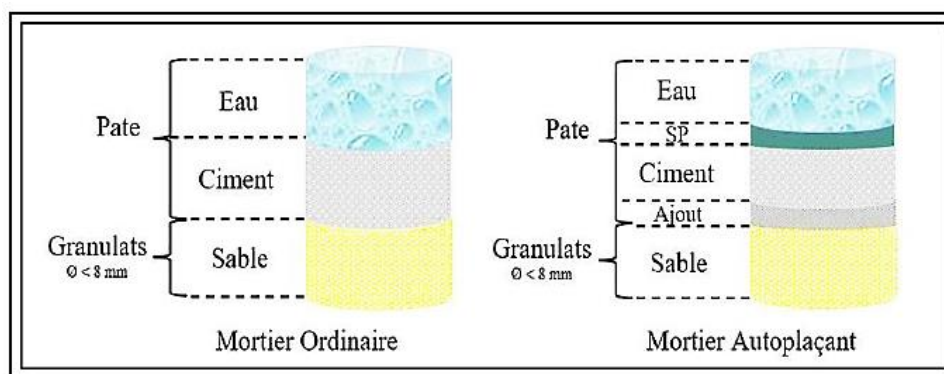
## I.2 Généralités sur les mortiers autoplaçants

### I.2.1 Mortiers autoplaçants

Les mortiers autoplaçants «MAP» se caractérisent par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité [5].

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se diffèrent selon les réalisations et d'adjuvant [6].

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 qui doivent comporter au moins une addition minérale, un dosage élevé en superplastifiant et assez souvent un agent colloïdal.



**Figure I.1 :** Les constituants du mortier ordinaire et autoplaçant [5].

Par ailleurs, en Algérie, la plupart des bétons sont exclusivement fabriqués avec de sable alluvionnaire. Cependant, beaucoup de régions du pays souffrent d'un manque remarquable

en sable alluvionnaire approprié. En outre, les exigences d'environnement, l'impact sur les coûts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et l'éloignement des chantiers par rapport à ces gisements sont également des facteurs qui encouragent à chercher d'autres types de sables.

Le sable concassé produit énormément par les carrières ainsi que le sable de dunes disponible de quantités inépuisables dans le sud du pays ne sont pas encore exploités sérieusement dans la formulation des bétons. Ces sables, qui contiennent normalement des teneurs élevées en fines, se présentent comme une alternative attirante du point de vue technique, économique et écologique pour la formulation des bétons [5].

### **I.2.2 Constituants du MAP**

La différence entre le mortier autoplaçant et le mortier traditionnel ou le mortier vibrant réside dans ses performances fraîches et sa composition poudre fine minérale (additifs minéraux) et une quantité de super plastifiant.

Les composantes du MAP jouent un rôle très important dans la détermination des caractéristiques du MAP à l'état frais et durci. Par conséquent, il est nécessaire de savoir quel rôle chaque composant peut jouer et comment il affecte les performances du MAP [7].

#### **I.2.2.1 Le sable**

Le sable forme une ossature inerte de mortier durci. Il doit avoir une bonne granulométrie et être propre, c'est-à-dire qu'il ne doit contenir aucune matière organique ni particules d'argile[8].

##### **I.2.2.1.1 Choix du sable**

Le choix du sable est un élément particulièrement important car il affecte fondamentalement les propriétés du mortier, c'est-à-dire l'ouvrabilité du mortier frais et la résistance du mortier durci. La granulométrie du sable grossier naturel (de 0/2 à 0/4) est continue et croissante ; en revanche, la granulométrie du sable fin naturel (0/1) est plus grande.

Le sable grossier contribue à la stabilité du mortier car vous pouvez le traiter avec une teneur en eau inférieure à celle du sable fin. Il réduit également le risque de retrait des mortiers et de fissures dans les mortiers frais et durcis.

Par conséquent, il est parfois recommandé d'ajouter une quantité limitée de médium au sable fin. Il améliore l'adhérence du mélange frais sans affecter négativement les performances finales du mortier[9].

#### I.2.2.1.2 Classification des sables

##### ✓ Selon son origine

Le sable peut être classé en trois catégories :

- Naturel : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable sincère n'ayant subi aucun changement autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- Artificiel : d'origine minérales sont obtenues par conversion thermique ou d'autres procédés industriels de conversion.
- Recyclé : obtenu en traitant des matériaux inorganiques précédemment utilisés dans la construction comme le béton démolé[8].

##### ✓ Selon sa composition

En fonction de sa composition minéralogique, teneurs en silice, alumine et chaux. Le sable peut être classé en quatre catégories.

**Tableau I.1** : Classification de sables en fonction de sa composition, teneurs en % massique[8]

Composition	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Siliceux	70 à 90	0,1 à 1	1 à 10
Silico-alumineux	50 à 70	1 à 5	10 à 25
Silico-calcaires	15 à 20	15 à 30	3 à 10
Calcaires	2 à 10	30 à 50	0,5 à 2

##### ✓ Selon la densité

En fonction de la densité du sable, il est possible de distinguer trois types :

- Léger : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>, le plus souvent à base d'argile expansée, d'argile expansée ou de laitier.
- Courant : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m<sup>3</sup>, généralement représentée par du limon, du quartzite, du grès, du porphyre, de la diorite, du granite, de l'ardoise et du laitier.
- Lourd : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m<sup>3</sup>, les plus courants sont la labradorite, la densité absolue est de 4,2 à 4,7, la magnétite la densité absolue est de 4,5 à 5,1 [8].

#### ✓ **Selon la forme**

Selon la forme du sable, deux types principaux peuvent être distingués.

- Roulé : La forme est obtenue en érodant des roches meubles, rivière ou alluvions fluviales ou des dunes de sable.
- Angulaire ou Concassé : la forme est obtenue par dynamitage et broyage de roches dures.

#### I.2.2.1.3 Types de sable

#### ✓ **Sable alluvionnaire**

Le sable alluvionnaire, également appelé roulé, se présente sous forme d'érosion. Il provient de roches meubles de sédiments alluviaux trouvés dans des canaux ou des rivières et contiennent du silicium.

Le sable utilisé pour fabriquer du béton doit avoir une bonne granulométrie. Si les petits grains dominent alors il faut augmenter la dose en eau de béton. Si le sable est trop rugueux, la plasticité du mélange est suffisante et la mise en place est difficile[8].

#### ✓ **Sable De Dune**

Le sable de dune est le produit de roches qui sont lentement détruites sous l'action d'agents érosion tels que l'air et la pluie. Les dunes de sable peuvent être déplacées par l'érosion dans le sens du vent et s'entasser sur la pente opposée. Avec le soutien de ressources naturelles abondantes (Sahara), d'un coût minier quasi nul et d'une pureté apparente, il apporte une



solution au problème de l'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un futur matériau [10].

✓ **Sable concassé**

Le sable concassé est le substrat rocheux et le sable est produit de la même manière qu'il se formerait naturellement : les roches sont concassées et pulvérisées en particules de plus en plus petites. A l'aide de différents types de broyeurs et d'un processus adapté, en fonction de l'application et de la spécification du sable à produire, des broyeurs à cône, à percussion à axe horizontal ou vertical et des broyeurs à cylindres peuvent être utilisés pour transformer les roches en tout type de granulats remplissant les exigences spécifiées[11].

I.2.2.2 Le ciment

C'est un Liant hydraulique qui durcit rapidement et atteint sa résistance maximale en quelques jours. Après durcissement, la pâte peut conserver sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Habituellement, il s'agit d'une poudre mélangée à de l'eau pour ajouter du sable fin, du gravier, du mortier et même du béton.

Le ciment est un constituant important du béton - entre 7 et 15 % du mélange - auquel il confère un certain nombre de propriétés, notamment sa résistance [8].



**Figure I.2 :** Poudre de ciment courant [8].

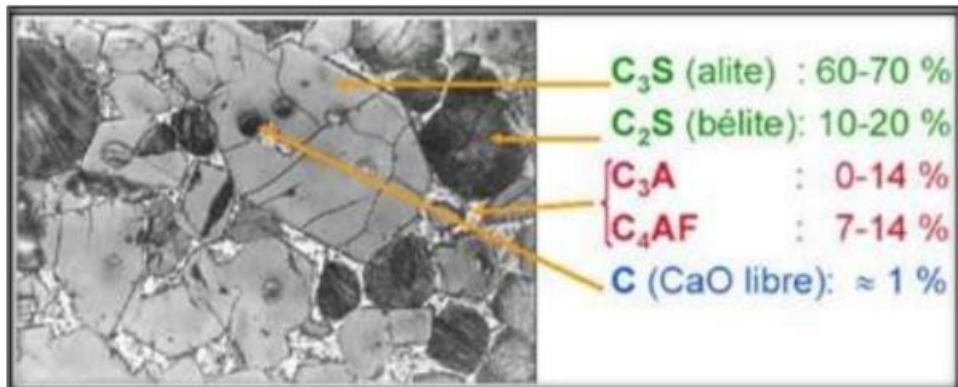
## I.2.2.2.1 Les Constituants Du Ciment

✓ **Le clinker**

C'est un produit obtenu par cuisson et homogénéisation d'un mélange de calcaire + argile composé de chaux (CaO), silice (SiO<sub>2</sub>) et alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) avant fusion partielle (Clinkerisation).

Le mélange est généralement constitué de produits naturels de carrière (calcaire, argile, chaux, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) associés aux composants minéraux suivants :

- ❖ Silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) : 3CaO.SiO<sub>2</sub> (Alite).
- ❖ Silicate bicalcique (C<sub>2</sub>S) : 2CaO.SiO<sub>2</sub> (Bélite).
- ❖ Aluminate tricalcique (C<sub>3</sub>A) : 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- ❖ Ferro aluminate calcque (C<sub>4</sub>AF) : 4CaO .Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> .Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Célite) [12].



**Figure I.3** : Microphotographie d'un clinker [13].

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau I.2 ci –dessous :

**Tableau I.2 :** Composition chimique et minéralogique du clinker [14]

Composants	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne(%)
<b>Minéralogiques</b>		
<b>C3S</b>	40-70	60
<b>C2S</b>	00-30	15
<b>C3A</b>	02-15	08
<b>C4AF</b>	00-15	08
<b>Oxydes</b>	-	-
<b>CaO</b>	60-69	65
<b>SiO<sub>2</sub></b>	18-24	21
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	04-08	06
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	01-08	03
<b>MgO</b>	< 05	02
<b>K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	< 02	01
<b>SO<sub>3</sub></b>	< 03	01

#### ✓ Le Gypse(CaSO<sub>4</sub>)

Le sulfate de calcium est un composé inorganique ionique solide anhydre composé de sulfate et de calcium. Sa formule chimique est CaSO<sub>4</sub> et sa masse molaire est de 136,14 g / mol. Le corps minéral naturel, appelé anhydrite, est un composant typique de l'évaporite, bien qu'il soit caché car il se décomposera après avoir été gonflé avec de l'eau et formera un composé di hydraté CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O à la surface, qui est un minéral symbolique de l'évaporite. Ce minéral est mieux connu comme minéralogiste ou géologue et s'appelle gypse. Il peut aussi plus souvent former le minéral semi-hydraté CaSO<sub>4</sub>. ½ H<sub>2</sub>O par transformation thermique, qui est le minerai de fer baryté, ou plus couramment l'un des principaux composés du plâtre, qui est un type de poudre blanche obtenue par cuisson [13].

#### I.2.2.2.2 Classification des ciments

##### ✓ Selon leur composition

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 [15] et ENV 197-1 [16]. Les différents types de ciments sont donnés sur le tableau suivant :

**Tableau I.3** : Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition

[17]

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur (%) en constituants	Teneur en constituants secondaires (filler)
<b>C P A- CEM I</b>	Ciment portland	95 à 100%		<b>0 à 5%</b>
<b>C PJ-CEM II/A</b>	Ciment portland Composé	80 à 94%	- de 6 à 20% (fumées de silice est limitée à 10%)	0 à 5%
<b>CPJ-CEMII/B</b>		65 à 79%	- de 21 à 35%	0 à 5%
<b>CHF-CEM III/A</b>	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	-35 à 65% de laitier	0 à 5%
<b>CHF-CEMIII/B</b>		20 à 34%	-66 à 80% de laitier	0 à 5%
<b>CLK-CEMIII/C</b>		5 à 19%	-81 à 95% de laitier	0 à 5%
<b>CPZ-CEMIV/A</b>	Ciment pouzzolanique	45 à 64%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice ( $\leq 10\%$ )	0 à 5%
<b>CPZ-CEMIV/B</b>		65 à 90%	-36 à 55% comme ci-dessus	0 à 5%
<b>CLC-CEMIV/A</b>	Ciment au laitier et aux cendres	20 à 39%	-18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5%
<b>CLC-CEMIV/B</b>		40 à 64%	-31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%

✓ **Selon leur résistance**

La norme européenne NF EN 197-1 [16] classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression déterminée conformément à la norme EN 196-1[18], mesurée à 28 jours en cinq classes de résistance.

Il existe trois classes de résistance normale à vingt-huit jours, désignées par leur valeur caractéristique inférieure exprimée en MPa soit : 32.5-42.5-52.5. Il existe deux classes de résistances au jeune âge, appelées ordinaires ou élevées [19].

**Tableau I.4** : Classification des ciments en fonction de leur résistance normale [19]

Classe	$R_{C2}$ (Mpa)	$R_{C7}$ (Mpa)	$R_{C28}$ (Mpa)	$R_{C28\ maxi}$ (Mpa)
32.5N	-	16(minimum14)	32.5 (minimum30)	52.5
32.5R	10(minimum8)	-		
42.5N	10(minimum8)	-	42.5 (minimum40)	62.5
42.5R	20(minimum18)	-		
52.5N	20(minimum18)	-	52.5 (minimum50)	-

### I.2.2.3 L'eau de gâchage

L'eau a deux fonctions : d'une part, elle sert à hydrater le ciment ; d'autre part, elle fluidifier la pâte [20].

Certaines eaux sont utilisées pour l'hydratation du ciment en étant contenues dans la composition chimique de l'hydrate ou retenues dans les pores de l'hydrate. Cette eau n'aide pas à la fluidification de la pâte car elle est fixée physiquement et chimiquement par l'hydrate. L'eau ne participe pas à l'hydratation du ciment [7].

### I.2.2.4 Ajout minéraux

Les ajouts additifs pour ciment sont des matériaux qui peuvent améliorer les performances du mortier frais, du mortier hydraulique ou pouzzolanique ou des deux lorsqu'ils sont combinés avec du ciment Portland. Des exemples courants sont Les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé et les fumées de silice [21].

Une addition minérale est définie par la norme européenne EN 197-1 [16] comme étant, un matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières [22].

Il existe deux catégories des ajouts minérales :

- Les fines actives : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent (cendres volantes, fumée de silice, laitier...etc.).
- Les fines inertes : comme les fillers calcaires, l'objectif de leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance.

✓ Avantages économiques et environnementaux

L'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une énergie importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO<sub>2</sub> de l'industrie cimentière dans la nature [23].

✓ Avantages techniques

– améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons, en raison de leurs petites dimensions.

– limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble.

– Les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique [23].

✓ Classification des ajouts minéraux dans le ciment Portland

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique, des centrales thermiques à charbon, de la nature et sont classés selon la norme NF EN197-1 en ajouts minéraux inertes et actifs [24]. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau ci-dessous.

**Tableau I.5** : Classification des ajouts selon leur réactivité [25]

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, , terres a diatomées
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

- L'utilisation des ajouts en Algérie

Le moyen efficace d'augmenter la production de ciment est d'utiliser des additifs très bon marché disponibles en grande quantité en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau I.6 donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes [13].

**Tableau I.6** : Utilisation Des ajouts dans les cimenteries algériennes [13]

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djar Essaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	Raiss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

#### I.2.2.5 Super-plastifiant

La fonction principale de l'agent réducteur d'eau est la floculation des particules de ciment. La répulsion électrostatique est de neutraliser la charge et/ou la répulsion spatiale à la surface

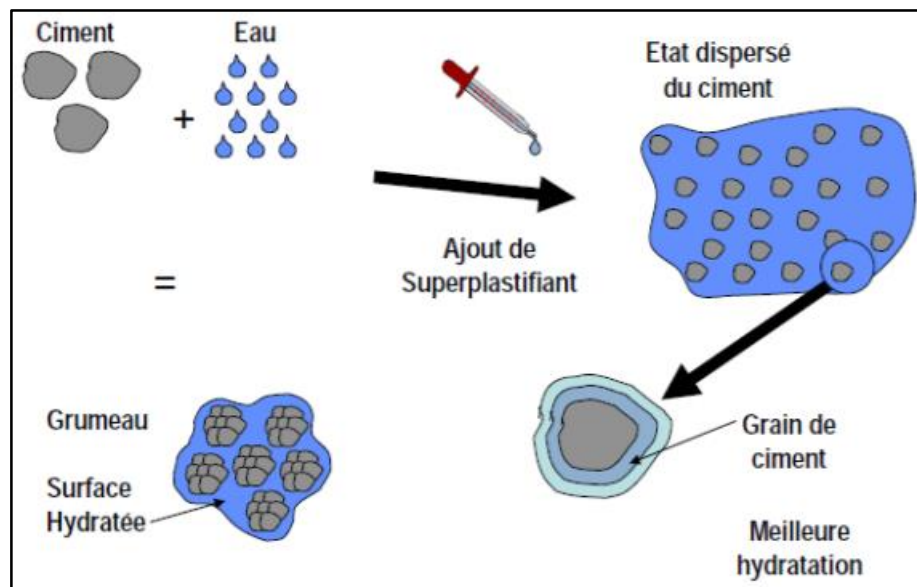
des particules. En raison de la longue chaîne moléculaire, l'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles [23].

- Réduisent considérablement la demande en eau de 12 % à 30 % et la teneur en liants,
- Produisent des bétons avec une ouvrabilité normale ou améliorée voir même fluide

Affaissement > 190 mm selon ASTM 1017 et cohésif.

La diminution du dosage en eau et du rapport eau/liants peuvent permettre :

- une résistance à la compression de plus de 70 MPa.
- une augmentation des gains de résistance au jeune âge.
- une meilleure durabilité.
- une plus grande résistance à la pénétration des ions chlore [26].



**Figure I.4 :** L'effet du super plastifiant sur les grains de ciment [26].

### I.2.3 Formulation des MAP

La méthode de formulation de MAP et BAP est basés sur les principes suivant :



✓ **Un volume de pâte élevé**

Le frottement entre les gravillons restreint l'écoulement du béton, donc le MAP contient une grande quantité de pâte, son rôle est de maintenir les gravillons à part [27].

✓ **Une quantité importante de fines**

Afin d'assurer une maniabilité suffisante et de limiter les risques de ségrégation et de ressuage, le MAP contient plus de particules fines que le mortier ordinaire. Cependant, afin d'éviter le problème d'échauffement excessif lors du processus d'hydratation et de réduire son coût global, le liant est souvent un composé binaire[28], voire ternaire [29]; Ciment Portland et cendres volantes, laitier, filler calcaire, pouzzolane naturelle ou fumées de silice.

✓ **Un fort dosage de super plastifiant**

L'introduction d'une plus grande dose de super plastifiant dans le BAP peut d'abord réduire la teneur en eau tout en maintenant sa capacité de maniabilité. Une dose trop élevée peut augmenter la sensibilité du béton aux changements de teneur en eau liés aux problèmes de ségrégation et du ressuage [30].

• **Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal**

Bien que non systémique, dans la plupart des cas, le BAP contient des agents colloïdes[31]. Comme les fines particules, ce produit évite le ressuage et limite le risque de ségrégation des granulats, épaississant ainsi la pâte. En principe, il semble raisonnable d'utiliser ce produit pour des bétons à fort rapport eau/liant, car les petites particules ne suffisent pas toujours à fixer l'eau dans le béton ; en revanche, cela semble inutile. Dans le cas du MAP à faible rapport massique eau/liant, sa résistance dépasse 50 MPa. Son utilité doit être étudiée au cas par cas. Il est bien connu que les agents colloïdes peuvent rendre le BAP moins sensible aux changements de teneur en eau liés à la ségrégation et ressuage [32], [33].

#### I.2.3.1 Méthodes de Formulation d'okamura

Selon la méthode développée par l'Université de Kochi au Japon[34], la génération de MAP est réalisée en toute sécurité, en tenant compte du volume de pâte, mais au détriment des granulats. Cette procédure de formulation est conçue pour les expériences de dose unitaire et de dose d'eau. Et des adjuvants. Pour développer un BAP basé sur cette méthode appelée méthode japonaise, nous devons procéder comme suit :

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- -Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est égal à 2 %.
- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif «  $R_p$  » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées «  $\beta P$  » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour cimenter les additions minérales[35], [36].

$$R_p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left( \frac{d}{100} \right)^2 - 1 \quad \mathbf{I.1}$$

Avec :

$R_p$  : L'étalement relatif.

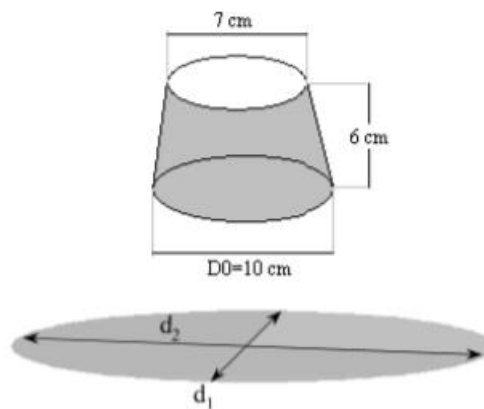
$d$  : le diamètre d'étalement moyen en millimètre de la galette de pâte.

### I.2.3.2 Caractérisation de MAP à l'état frais

La déformabilité du mortier est définie comme la capacité de mortier à changer de forme sous son propre poids. Le mortier nécessite un haut niveau de ductilité. Afin d'obtenir une déformabilité suffisante, il est important de minimiser les frottements entre le sable du mélange. Une grande quantité de sable grossier et une quantité accrue de pâte sont nécessaires pour atteindre la déformabilité MAP requise. Une autre façon de réduire le frottement inter sable et le sable consiste à ajouter des minéraux supplémentaires comme les fillers[37]. De manière générale, la norme de stabilité d'écoulement est plus difficile à résoudre, mais avec l'aide d'agents colloïdes, elle peut fournir une teneur élevée en additifs minéraux ou une teneur correspondante en sable, stabilité et déformabilité[5].

## I.2.3.2.1 Essais de l'étalement au Mini cône de mortier

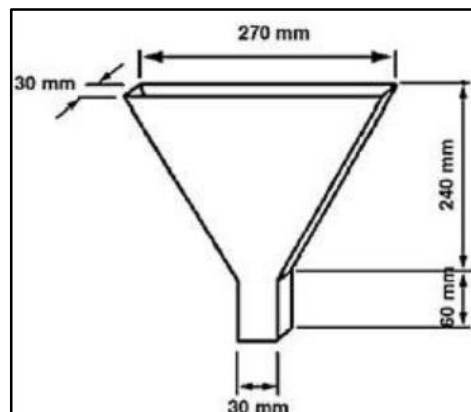
L'essai d'étalement consiste à remplir le mini cône miniature placé sur un plan horizontal, et après avoir soulevé le cône, le diamètre d'étalement de mortier est mesuré dans deux directions verticales pour obtenir une valeur moyenne. Le mortier doit être compris entre 270 et 330 mm pour obtenir un mortier auto-plaçant. La Figure I.5 montre le dispositif de l'essai d'étalement de mortier[38].



**Figure I.5 :** Étalement au Mini cône de mortier [39].

- **Essais De l'Entonnoir En V (V-Funnel)**

L'essai d'écoulement à l'entonnoir est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité d'un MAP. Un entonnoir d'une certaine taille est rempli d'un mortier d'en haut. Ensuite, la vanne d'arrêt à sa base est ouverte et le temps ( $T_v$ ) nécessaire pour que la solution quitte la trémie avant qu'elle ne soit complètement vide est mesuré. Ce temps d'étalement, qui doit être compris entre 2 et 10 secondes, caractérise la viscosité de mortier [40].

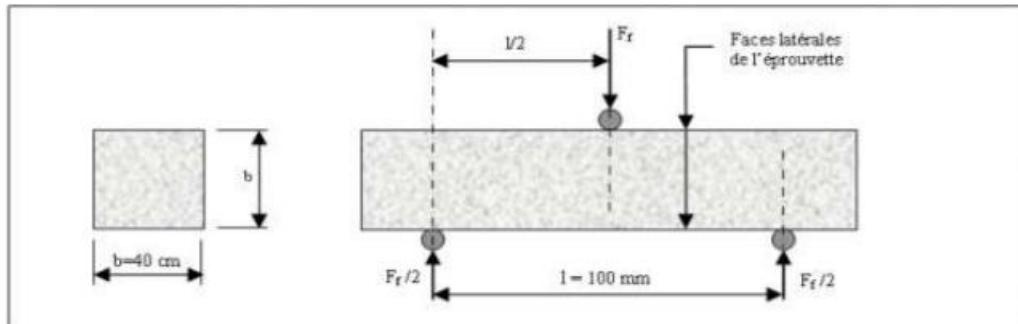


**Figure I.6 :** Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel) [40].

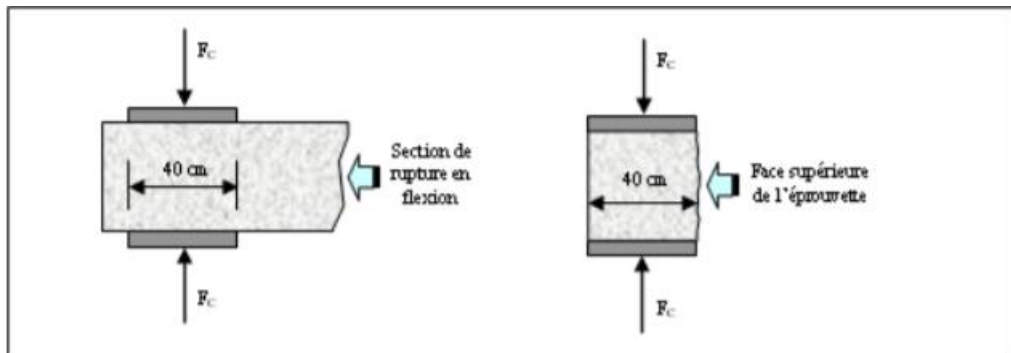
## I.2.3.3 Caractérisation de MAP à l'état durci

- **Essais de Résistances mécaniques**

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps entre 1 et 28 jours [6].



**Figure I.7 :** Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [41].



**Figure I.8 :** Dispositif de rupture en compression [41].

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours [6].

### **I.2.4 Domaine d'application d'un MAP**

Le mortier autoplaçant est généralement utilisé pour remplir des espaces vides et difficiles pour y accéder contrairement au béton [42]. Le domaine d'application du MAP est très vaste, on peut l'utiliser comme :

- Un joint.
- Une réparation.
- Un support pour les peintures murales.

## **I.3 Recyclage**

### **I.3.1 Généralité**

Le recyclage est un concept très ancien utilisé par les romains, qui a pour but de récupérer des déchets et de les transformer en de nouveaux objets réutilisables.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, cette technique a commencé à attirer l'attention des gens car de nombreux bâtiments démolis produisaient beaucoup de gravats dont il fallait se débarrasser.

Le recyclage et la réapplication des déchets dans le béton présentent des avantages environnementaux apparents, ainsi que de nombreux autres avantages. Premièrement, le recyclage des déchets dans le béton sous forme de granulats réduit la quantité de déchets et préserve les ressources naturelles [43].

L'une des premières utilisations des granulats recyclés (GR) dans la construction de chaussées a été sur la route américaine 66 dans l'Illinois dans les années 1940, lorsque le béton d'une partie de la route à deux voies existante a été concassé et stocké pour être utilisé comme agrégat dans les deux secondes voies de l'autoroute.

Le recyclage du béton est devenu plus courant dans les années qui ont suivi et cette pratique a été largement adoptée aux États-Unis depuis les années 1970 [44].

L'utilisation de GR comporte également des avantages économiques et contribue à la conformité réglementaire. Le GR fabriqué est devenu plus économique que les granulats vierges en termes de coûts de transport et d'augmentation du coût des débris d'enfouissement [43].

En Algérie, les catastrophes naturelles comme les séismes de Boumerdes et Chlef ont générés des quantités importantes de gravat.

### **I.3.2 Valorisation des déchets en Algérie**

La valorisation des déchets est définie comme un mode de traitement qui consiste dans le réemploi, le recyclage ou autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.

D'après l'Agence Nationale des Déchets, les déchets ménagers et assimilés (DMA) représentent la plus grande proportion de déchets solides produits en Algérie. Elle a estimé que la production en 2018 dépassera 13,1 millions de tonnes. Ce chiffre est basé sur des données démographiques de 42,2 millions de personnes en 2018 et un taux moyen de production de déchets de 0,8 kg par habitant et par jour. Au cours de la dernière décennie, les gens ont ressenti plus fortement l'évolution de la quantité et de la qualité des DMA, qui a accru ses risques pour l'environnement et la santé publique. Cette situation est encore plus préoccupante lorsque le taux d'élimination et de recyclage des déchets est relativement lent.

Ces DMA sont composés en majorité de matières organiques avec 53,6%. Les plastiques représentent environ 15,2%, les couches jetables sont de 11,5% et d'un faible pourcentage pour les papiers cartons et les textiles de 7,07% et 4,5% respectivement [45].

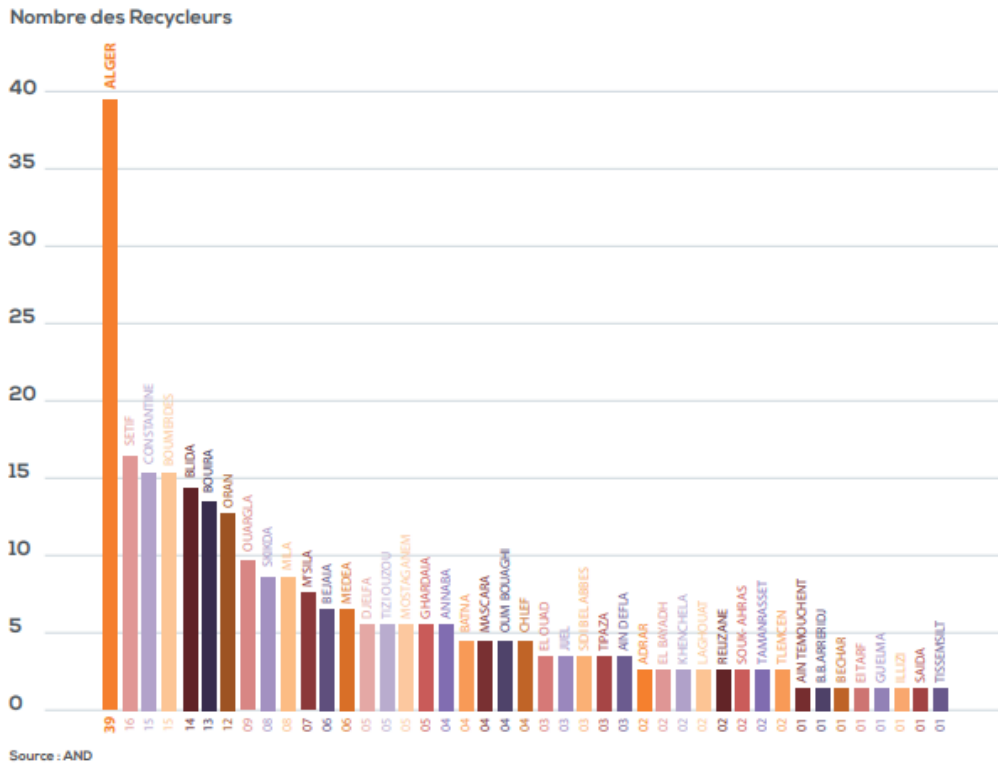


Figure I.9 : Répartition des recycleurs par Wilayas [46].

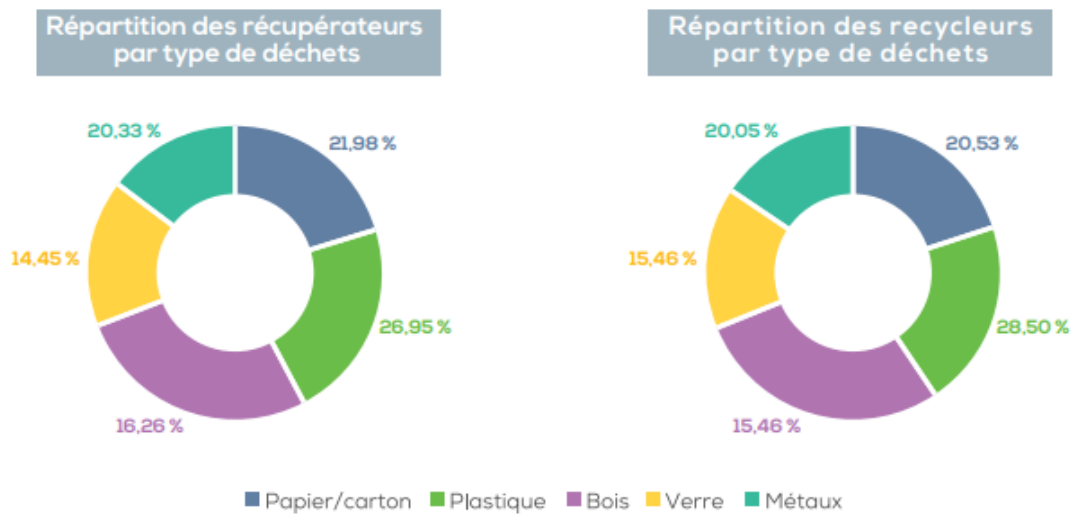
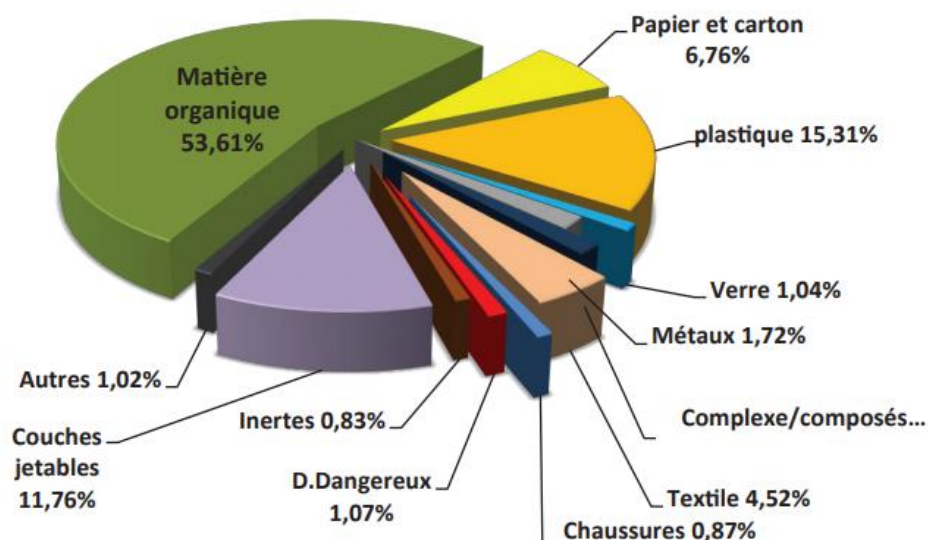


Figure I.10 : Répartition des récupérateurs et recycleurs par type de déchets [46].

Il est évident d’après les résultats des graphes ci-dessus, que le papier carton et le plastique constituent les premières sources d’alimentation des différentes filières de valorisation des déchets et ce, d’une part, grâce au savoir-faire acquis par les opérateurs notamment dans le domaine du recyclage- et, d’autre part, pour la prédominance de ces matériaux dans le conditionnement des produits [46].



**Figure I.11** : Composition moyenne des DMA- 4 saisons Algérie- 2018/2019 [45].

L'Algérie a connu pas mal de catastrophes naturelles, et voici quelques statistiques retirées de La Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (C.A.R.T.E) :

**Tableau I.7** : Quantités de débris issus des catastrophes naturelles en Algérie [47,48]

Lieu	Date	Dégâts
EL Asnam – Chlef (Séisme)	10 octobre 1980	2900 logements détruits
Constantine (Explosion gazoduc)	février 2003	316 habitations + un marché hebdomadaire
Bab El Oued-Alger (inondations)	9 et 10 novembre 2001	22400 logements endommagés et 300 à détruire complètement
Azazga-Tizi Ouzou (inondations)	12 octobre 1971	Des centaines d'habitations détruites.
Zemmouri-Boumerdes (séisme)	21 mai 2003	100.000 habitations détruites

## I.4 Granulats recyclés

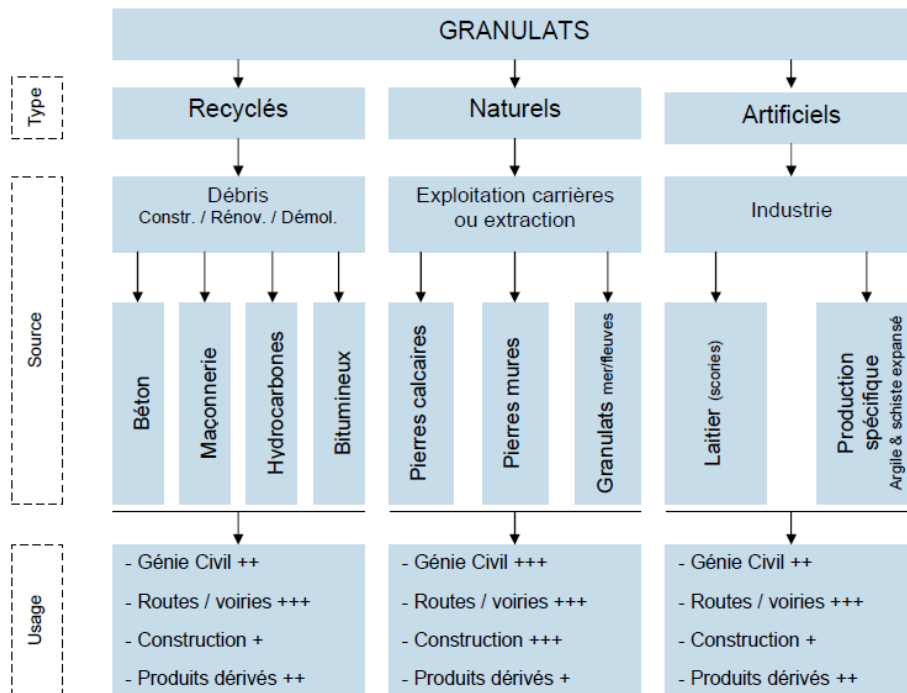
### I.4.1 Généralités sur les granulats recyclés

Ils sont produits par broyage et recyclage de matériaux de démolition comme le béton ou par le recyclage de sous-produits industriels comme les scories de haut fourneau ou



le clinker ou d'autres déchets comme les briques et le verre. Sa qualité particulière et les règles applicables [49].

La figure de synthèse ci-après présente, les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie.



**Figure I.12 :** Les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie[50].

### I.4.2 Granulats recyclés de démolition

La principale particularité des granulats issus du recyclage du béton est l'existence d'une gangue de ciment ancien attachée aux granulats naturels primaires. Elle a une influence importante sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés, car elle détermine, en grande partie, les caractéristiques géométriques (forme, état de surface), physiques (porosité et absorption d'eau). Mécaniques (friabilité, résistance aux chocs et à l'usure) et physico-chimiques de ces granulats (ils ne peuvent pas être considérés comme inertes). Lorsque les granulats recyclés sont issus de produits de démolition, il apparaît une autre particularité : la présence de différents types d'impuretés indésirables minérales : comme le gypse, le verre, les chlorures, les briques ou bien organiques : comme le papier, le bois, les plastiques, etc. Cette présence d'impuretés introduit une hétérogénéité importante des granulats recyclés et pose des problèmes liés

à l'échantillonnage et à la représentativité des résultats lors de leur caractérisation, mais aussi des problèmes liés à la durabilité des bétons incluant ces granulats [51].

Le recyclage de l'asphalte est également courant figure I.13, qui est une couche résistante à l'usure constituée d'un mélange d'asphalte et de granulats. L'asphalte est "traité sur place ou dans des installations spéciales, dites stations de recyclage, puis utilisé pour la construction de nouvelles routes. La réglementation française autorise l'utilisation d'enrobés recyclés à 10 % [52].



**Figure I.13** : Déchets d'enrobés [53].

#### **I.4.3 Déchets de briques**

Selon la façon dont les briques sont fabriquées et traitées, il y aura toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou pas assez cuites. Le gravier brûlé convient à la production de blocs de béton. Le béton contenant ces agrégats à une meilleure perméabilité. Si les briques contiennent des sels solubles, la corrosion et l'altération se produiront dans le béton. Comparé au béton fait de gravier naturel, le béton d'argile cuite a une résistance au feu plus élevée [54].



**Figure I.14 :** Déchets de brique.

#### I.4.3.1 Les constituants de la brique

Le processus de fabrication de briques à partir d'argile implique la préparation de l'argile, le moulage puis le séchage et la combustion des briques. Les briques sont des matériaux de construction généralement disponibles sous forme de blocs rectangulaires.

La plupart des briques prennent diverses teintes rouges; au fur et à mesure que la température augmente, la couleur passe par le rouge foncé, le violet, puis le brun ou le gris à environ 1300 °C [55]. Lors de la cuisson, les minéraux de l'argile donnent de la couleur à la brique car ils absorbent l'oxygène. L'oxyde de fer est l'un des minéraux les plus importants de l'argile pour donner de la couleur [56].

Pour les constituants, il y a six ingrédients principaux de la brique. Le pourcentage général de ces ingrédients dans la brique est indiqué ci-dessous [57]:

**Tableau I.8** : Pourcentage des constituants de la brique [57]

Ingrédients	Pourcentage en brique
Silice (SiO <sub>2</sub> )	55%
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	30%
Oxyde de fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8%
Magnésium (MgO)	5%
Chaux (CaO)	1%
Matière organique	1%

Comme le montre le tableau ci-dessus, la Silice du sable et l'alumine d'argile sont les plus importants ingrédients de la brique d'argile. Lorsqu'il est mélangé avec de l'eau dans des proportions appropriées, il gagne en plasticité. La masse plastique peut être facilement moulée et séchée. Il ne doit pas subir de fissures, de retraites ou de déformations [57].

#### I.4.3.2 Rôles des constituants de la brique

##### ✓ L'alumine

L'alumine est le principal constituant de l'argile. Il agit comme un matériau de cimentation dans la brique brute. Une quantité excessive d'alumine dans l'argile peut provoquer le rétrécissement, la déformation ou la fissuration des briques lors du séchage et de la combustion comme tout autre matériau de cimentation [57].

##### ✓ La silice

Les briques de bonne qualité contiennent 50 à 60% de silice. Il est présent à la fois sous forme libre et combinée. En libérant du sable, il reste mécaniquement mélangé avec de l'argile sous forme combinée, il réagit avec l'alumine pour former des aluminosilicates. La silice empêche les briques brutes de se fissurer, de rétrécir et de se déformer. Plus la proportion de sable est élevée, plus la brique sera de texture galbée et

uniforme. Cependant, un excès de silice détruit la cohésion entre les particules d'argile de brique et rend la brique cassante et faible. La durabilité des briques dépend en grande partie de la proportion appropriée de silice et d'alumine [57].

✓ Oxyde de fer

Les briques contiennent une petite quantité d'oxyde de fer. L'oxyde de fer agit comme un flux comme la chaux et aide ainsi la silice à fusionner à basse température. Il donne une couleur rouge aux briques lors de la combustion. Le fer augmente également la durabilité et l'imperméabilité des briques [57].

✓ La chaux

Les briques doivent contenir une petite quantité de chaux finement en poudre. Il permet à la silice d'une portion requise de fondre à la température du four de 1650 °C et lie les particules de brique ensemble, ce qui donne des briques solides et durables. A environ 1100 °C, la chaux agit comme un catalyseur pour élever la température du four à 1650 °C à laquelle les fusibles de silice. Cette silice légèrement fondue fonctionne comme un matériau de cimentation solide. Un excès de chaux dans la brique d'argile provoquera la vitrification des briques. Cela fait fondre les briques, car plus que la quantité requise de silice fusionnera. Les briques perdent alors leur forme et se défigurent [57].

✓ Magnésium

Une faible poportion de magnésium diminue le retrait et donne une teinte jaune aux briques. Une quantité excessive provoque la décomposition des briques [57].

✓ Matière Organique

La matière organiqu dans les briques rend les briques poreuses, ce qui entraîne une faible densité et une diminution de la résistance [57].

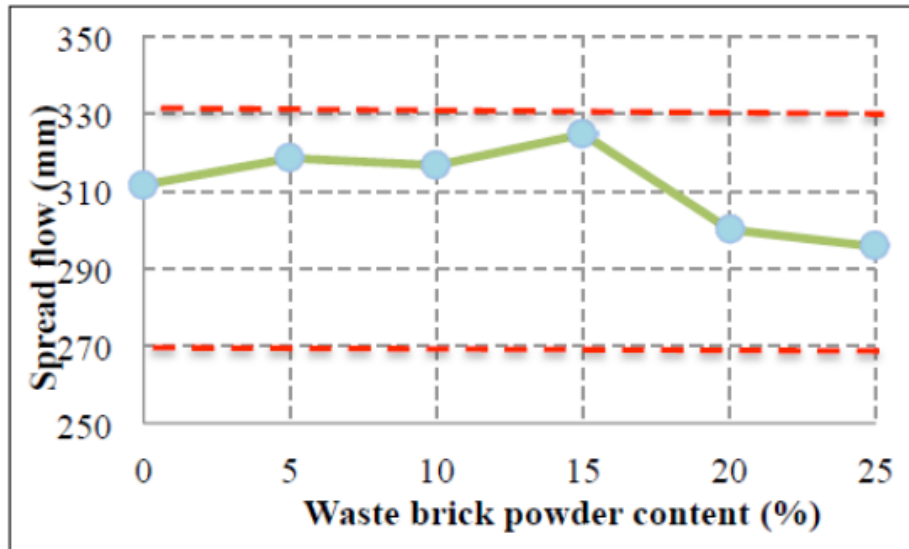
## **I.5 Effet de la substitution du ciment par les fines de brique sur le comportement des mortiers**

### **I.5.1 A l'état frais**

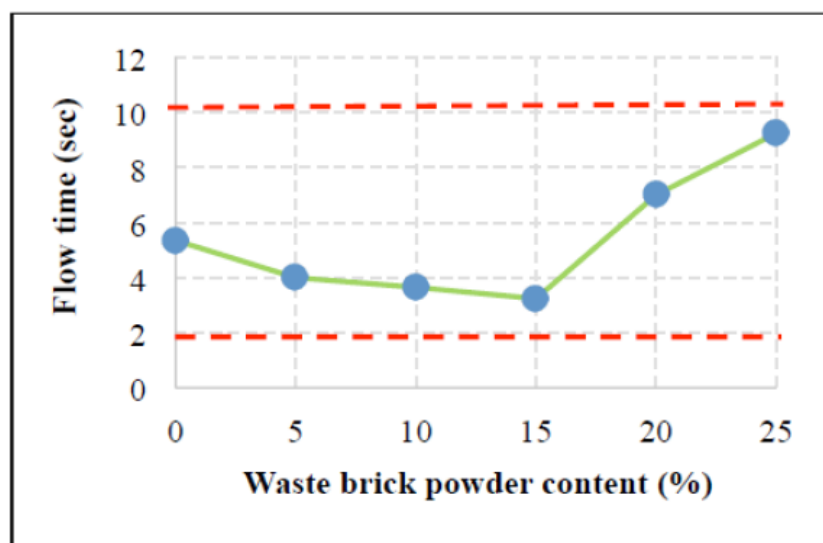
#### **I.5.1.1 Etalement et viscosité**

Selon Si Ahmed et Kenai [58], le remplacement jusqu'à 15% du ciment par de la poudre de brique (PB) a donner des valeurs comparables par rapport au mortier de référence

pour l'essai de l'étalement. A partir d'une substitution de 20%, le diamètre d'étalement a diminué, concernant l'essai d'écoulement c'est l'inverse qui s'est produit. Ils ont remarqué que pour les premiers 15% de substitutions, l'écoulement diminue, mais il y avait une augmentation à partir de 20% de taux de substitution. Tandis que Karatas et al. [59] ont trouvé qu'une substitution de 10% donne le meilleur écoulement. Les résultats sont montrés dans les figures suivantes :

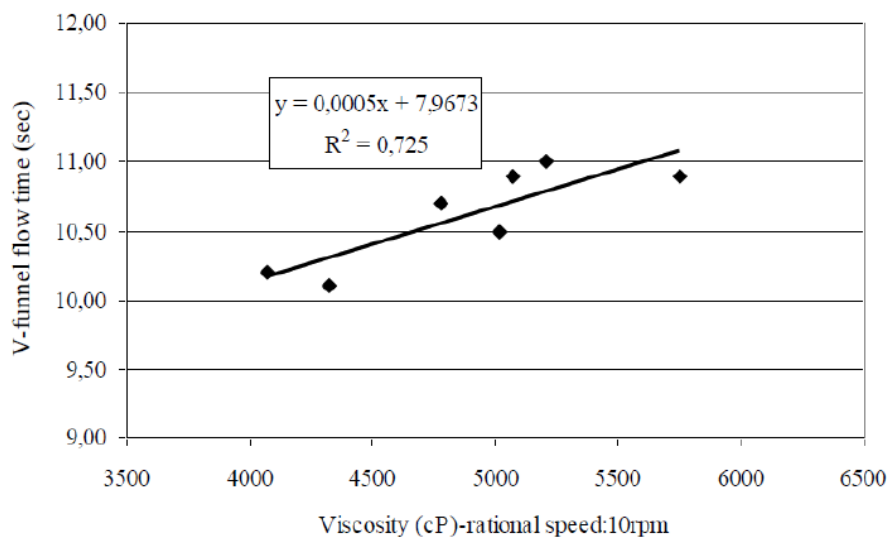


**Figure I.15 :** Influence du taux de substitutions de la poudre de déchets de brique sur l'étalement du MAP [58].



**Figure I.16:** Influence du taux de substitutions de la poudre de déchets de brique sur le temps d'écoulement du MAP [58].

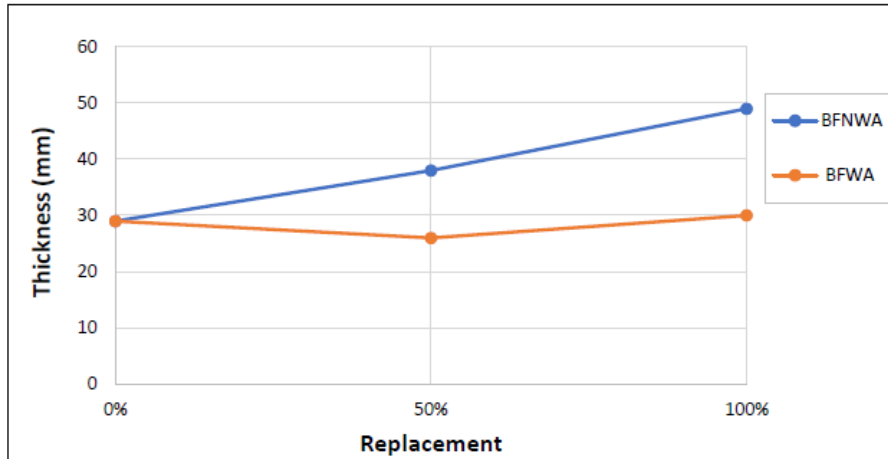
Pour la viscosité, Karatas et al. [59] ont fait une corrélation entre la viscosité et l'essai de l'écoulement en v-funnel comme le montre la figure I.17. Ils ont obtenu une relation linéaire entre la viscosité et le temps d'écoulement de l'entonnoir en V des MAP avec un coefficient de corrélation de 0,725. Cette relation suggère que le mortier devrait avoir un temps d'écoulement en V-funnel élevé avec une augmentation de la viscosité des mélanges de MAP.



**Figure I.17 :** Corrélation entre la viscosité et le v-funnel [59].

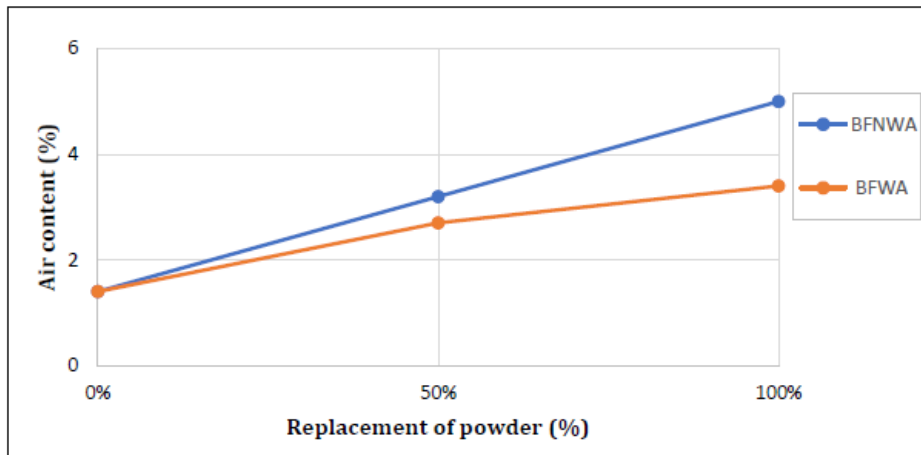
#### I.5.1.2 Densité et air occlus

Tabarelli [60] a trouvé que la valeur de la densité est indirectement liée à l'étalement des mélanges. En effet, plus l'étalement est élevé, moins la densité sera importante. C'est ce qui explique les concentrations plus élevées pour les mélanges avec moins d'eau à l'intérieur. D'autre part, cela justifie la plus faible densité en présence d'eau dans les mélanges.



**Figure I.18 :** Variation de la densité des mélanges [60].

Pour tous les mélanges examinés, Tabarelli [60] a trouvé une augmentation dans la teneur en air. Cette tendance peut être liée à différents aspects. Les distributions granulométriques de poudre de briques, présentant une tendance mono-dispersée, augmentent la possibilité d'avoir plus d'espaces entre les grains qui hébergent l'air.

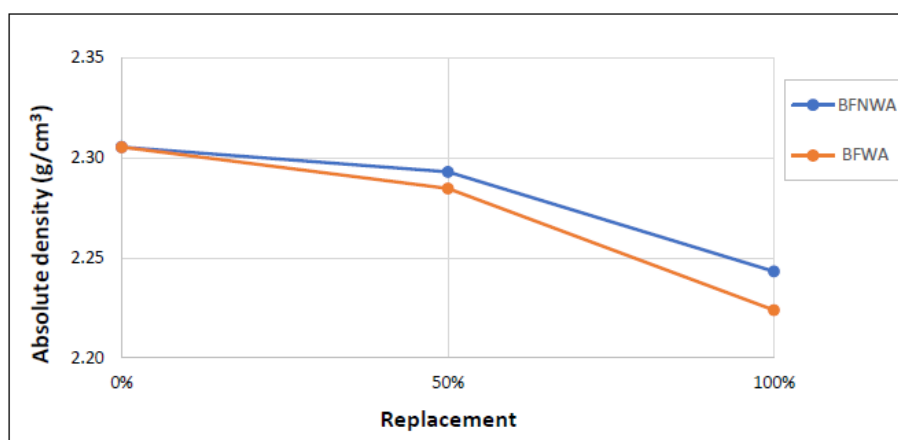


**Figure I.19 :** La variation de la teneur en air [60].

D'après la figure I.20, pour les échantillons des fines de brique avec absorption d'eau (BFWA) de 50% et BFWA de 100%, les densités absolues sont inférieures au mélange de référence. Ce résultat est directement corrélé à la teneur en air déjà vue précédemment. En effet, avec une augmentation de l'air à l'intérieur du mélange, qui a une densité inférieure par rapport au matériau, une diminution de la densité absolue est enregistrée. La quantité d'air augmente avec l'augmentation de la poudre de brique, ce qui entraîne une nouvelle diminution de la densité absolue. Les mélanges des fines de



brique sans absorption d'eau (BFNWA) 50% et BFNWA 100% affichent le même comportement.



**Figure I.20** : La variation de la densité absolue [60].

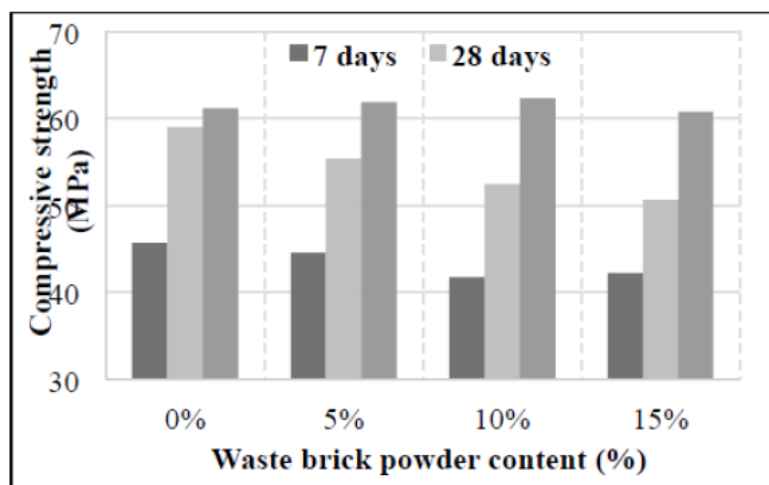
## I.5.2 Comportement à l'état durci

### I.5.2.1 Résistance à la compression

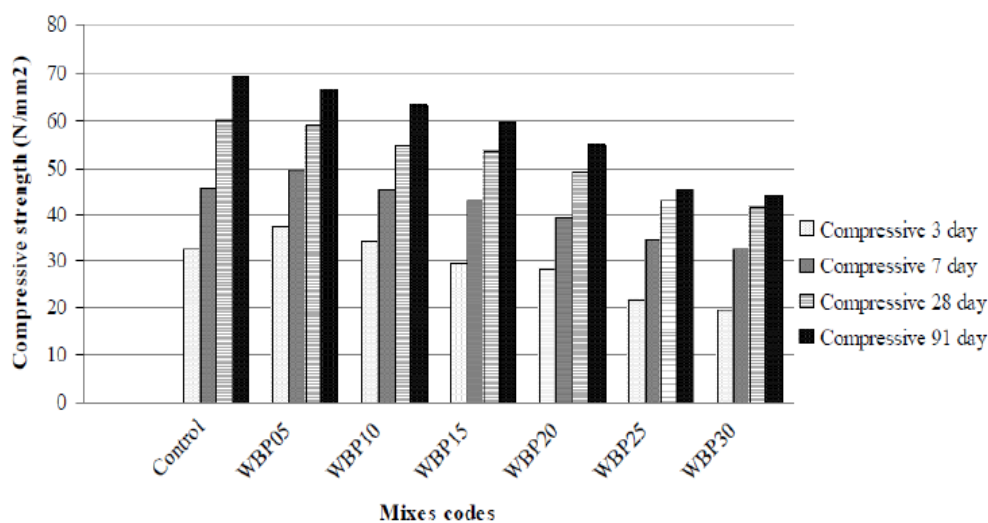
Pour la résistance à la compression, Si Ahmed et Kenai [58] et Karatas et al. [59] ont trouvé que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par les déchets de poudre de brique à des jeunes âges. Par contre, à long terme, une meilleure performance a été obtenue à des taux de substitution de 5% et 10% de ciment par de la poudre de brique.

Selon Si Ahmed et Kenai [58], La diminution de la résistance à la compression à un jeune âge est probablement due à l'effet de dilution. A long terme, l'amélioration de la résistance à la compression est principalement due à l'hydratation continue du ciment et à la réaction entre le calcaire présente dans le ciment de type CEMII avec les aluminates de la poudre de brique, qui produit des mono carbones aluminates. Cette réaction contribue à la réduction de la porosité et améliore le développement de la résistance par la formation de produits plus hydratés. Et pour Karatas et al. [59], la diminution peut être attribuée à des fissures et des trous dans la structure des échantillons contenant de 20 à 30 % de poudre de brique résiduaire. Parce que les déchets de poudre de brique de la région d'Elazig comprennent un rapport de MgO

élevé. Ainsi, la résistance à la compression des mélanges diminuait généralement lorsque le taux de substitutions des mélanges augmentait.



**Figure I.21 :** Influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur la résistance à la compression des MAP [58].

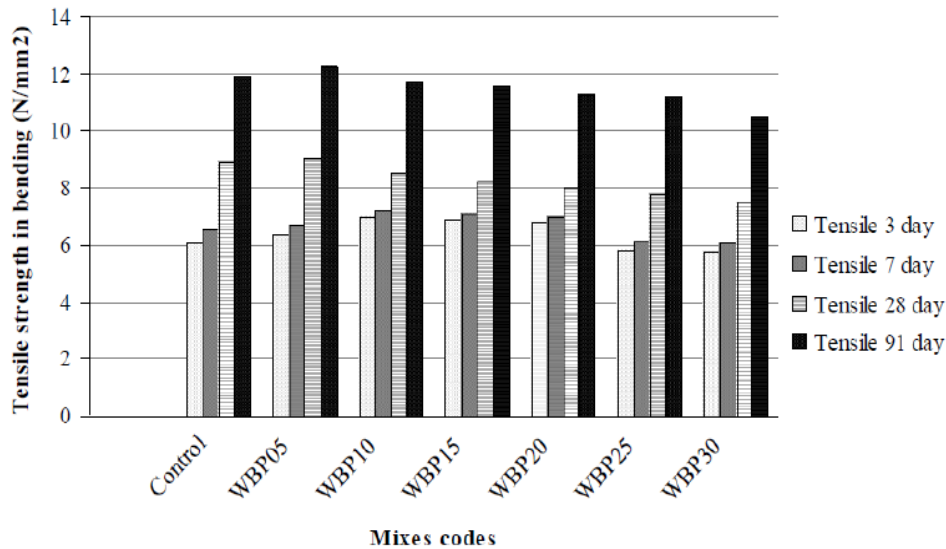


**Figure I.22 :** Résistances à la compression des MAP [59].

#### I.5.2.2 Résistance à la traction par flexion

Pour la résistance à la traction, Karatas et al. [59] ont trouvé que pour le mélange de mortier contenant 5 % de déchets de poudre de brique, la résistance à la traction a été améliorée par rapport au mélange témoin. De plus, les résistances à la traction des

mortiers contenant 10, 15 et 20 % de déchets de poudre de brique ont augmenté pendant 7 jours, puis elles ont diminué. Les résultats sont présentés dans la figure I.23 :



**Figure I.23 :** Résistance à la traction des MAP [59].

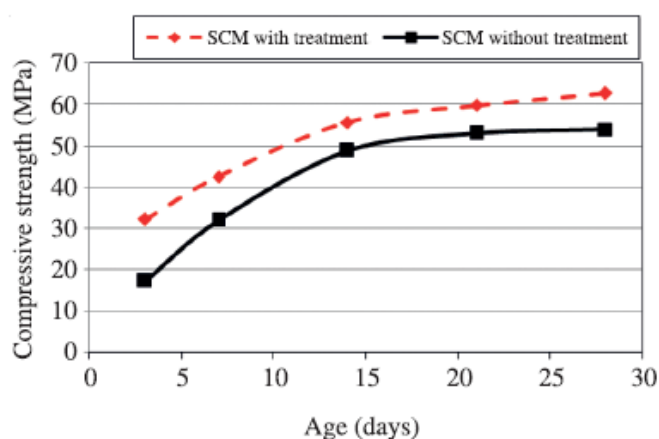
L'analyse des propriétés mécaniques des mortiers par Tabarelli [60] a confirmé l'impact des briques recyclées sur la résistance finale à la compression et à la flexion. Les propriétés mécaniques au bout de 7 jours, avec la substitution partielle du ciment, n'ont présenté aucune corrélation entre la quantité de la poudre de briques et la teneur en eau. Cependant, l'augmentation de la poudre de briques, tant pour les échantillons BFWA que de BFNWA, de 50% à 100% en volume du ciment, a aggravé les propriétés mécaniques. À 28 jours, les échantillons de la BFWA enregistrent une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de la poudre de briques à l'intérieur. Alors que les échantillons de fines de brique sans absorption d'air ont enregistré une augmentation de la résistance de compression avec l'augmentation des taux de poudre de brique.

D'autre part, Safi et al. [61] ont étudié le durcissement thermique sur le développement de la résistance des mortiers autoplaçants en utilisant les déchets de poudre de brique comme un ajout minéral.

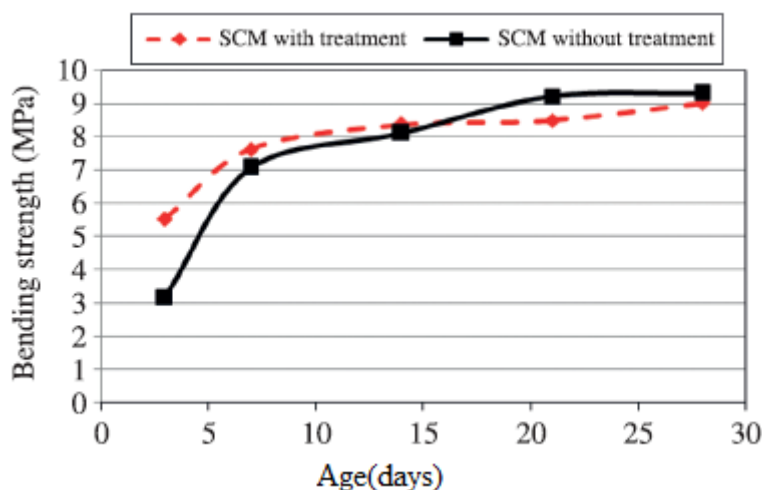
Une augmentation de la résistance à la flexion et à la compression en fonction de l'âge (3, 7, 14, 21 et 28 jours) a été observée pour les MAP (figure I.24, I.25 et I.26). C'est le phénomène d'hydratation du ciment qui provoque l'évolution de la compacité avec

le temps de durcissement. En effet, l'hydratation des composants du ciment  $C_3S$  et  $C_2S$  donne naissance à l'hydrate de silicate de calcium (CSH) qui augmente la résistance. Il est à noter qu'à 28 jours, le mortier de référence présente des valeurs de résistance légèrement inférieures à celles du MAP avec l'ajout de la brique recyclé (figure I.26). Cette différence est due principalement à la propriété pozzolanique des ajouts ayant une structure amorphe ou partiellement qui en présence de  $Ca(OH)_2$  libérée lors de l'hydratation du ciment et de l'eau, donne naissance à de nouveaux produits (CSH et CAH), ayant les mêmes propriétés que celles formées contenant des minéraux de ciment [62].

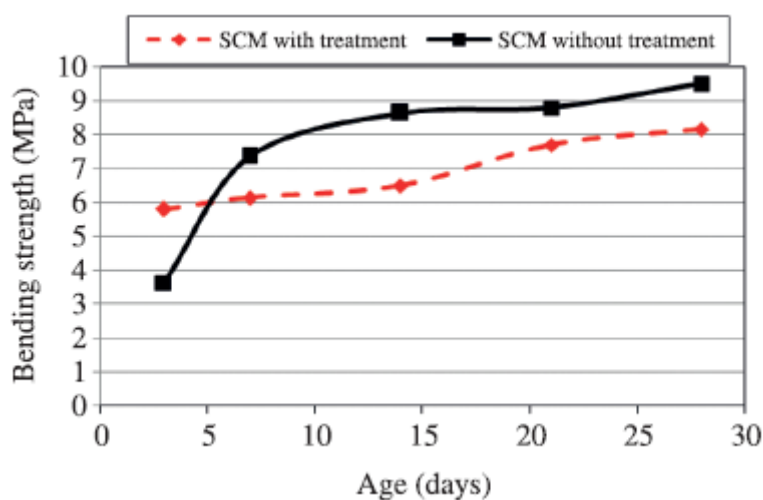
Les résultats montrent que la résistance à la compression à 14 jours de mortiers augmente pour les échantillons conservés à 60 °C par rapport à celle à 20 °C. De plus, les valeurs de la résistance à la compression des mortiers à 14 jours sont proches de celles obtenues sans traitement de durcissement de 28 jours. En effet, un gain de résistance d'environ 20,5% a été obtenu pour le MAP avec l'ajout de déchets de brique recyclés.



**Figure I.24 :** L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour le MAP avec et sans le traitement thermique [61].



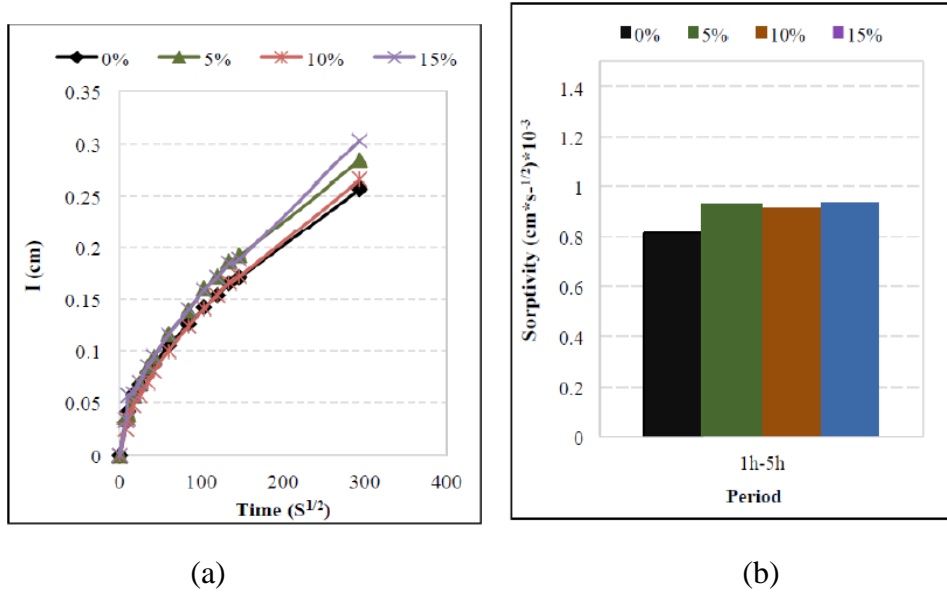
**Figure I.25 :** L'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le MAP témoin avec et sans le traitement thermique [61].



**Figure I.26 :** L'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le MAP avec l'ajout du brique, avec et sans le traitement thermique [61].

### I.5.2.3 Absorption capillaire

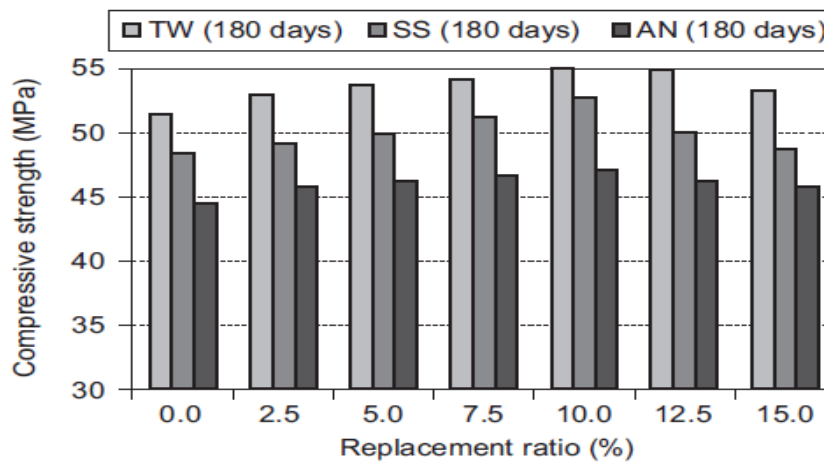
Pour l'absorption d'eau par capillarité et la sorptivité, Si Ahmed et Kenai [58] ont trouvé que les résultats sont comparables, notamment pour 10% de PB. L'incorporation de la poudre de brique recyclé semble à avoir augmenté légèrement la sorptivité. La légère augmentation de l'absorption et de la sorptivité pour les mélanges incorporant de la poudre de déchet de brique est probablement due à l'effet de dilution et à la diminution de la compacité des mélanges (figure I.27).



**Figure I.27 :** Effet du taux de substitution de la poudre de brique sur l’absorption d’eau(a) et la sorptivité(b) [58].

Demir et al. [63] ont étudié la résistance des mortiers avec une substitution du ciment par de la brique recyclée dans des milieux agressives, où les échantillons sont immergé dans trois conditions différents : Polymérisation continu dans de l’eau de robinet saturée en chaux (ER), exposition continue à une solution de sulfate de sodium à 5 % (SS) et exposition continue à une solution de nitrate d’ammonium à 5 % (NA).

La meilleure résistance à la compression a été trouvée dans l’échantillon avec 10% de substitution dans les conditions ER, SS et NA à 180 jours (figure I.28).



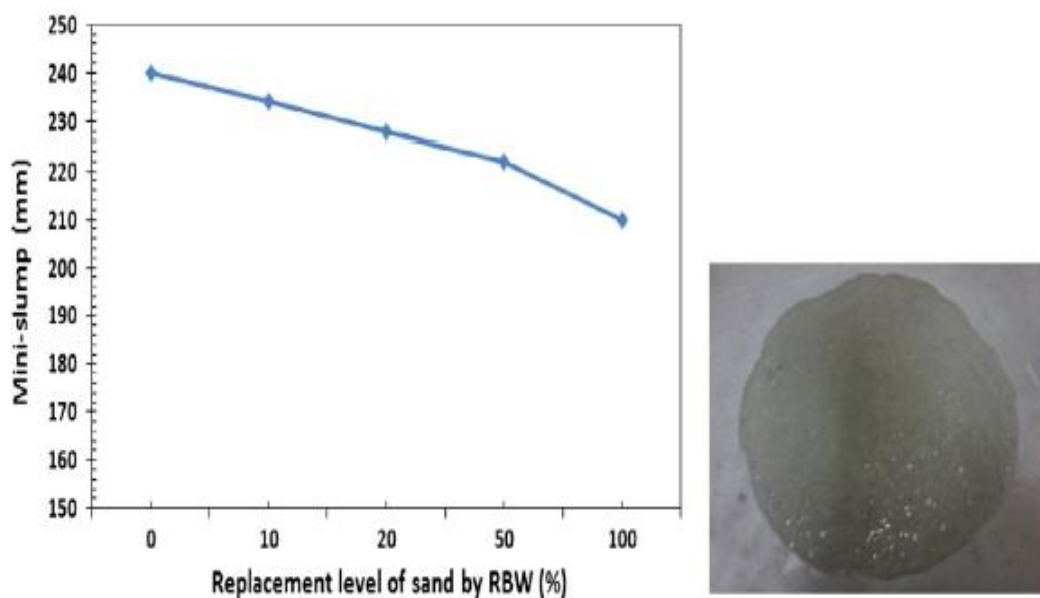
**Figure I.28 :** Résistance à la compression du mortier à base de PB sous des conditions différentes à 180 jours [63].

## I.6 Effet de la substitution du sable naturel par le sable de brique sur le comportement des mortiers

### I.6.1 Comportement à l'état frais

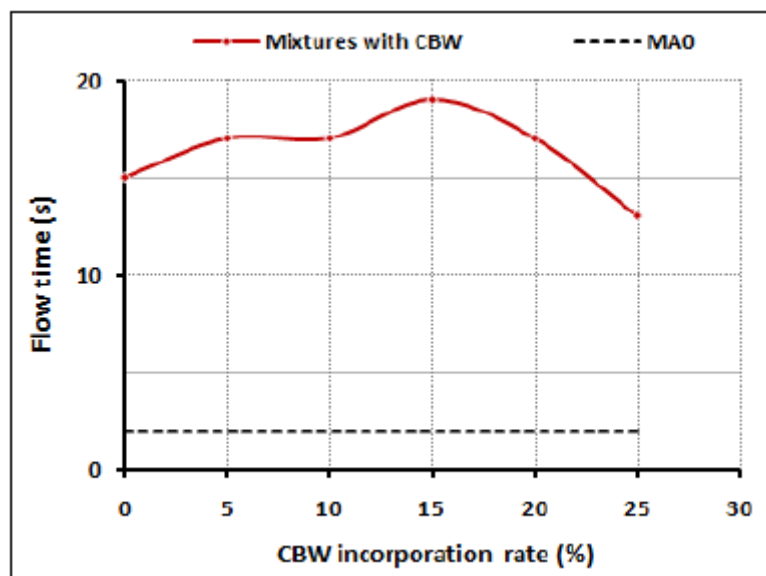
#### I.6.1.1 L'ouvrabilité

Aboutaleb et al. [64] ont testé l'ouvrabilité en utilisant le mini-cône, Selon la figure I.29, tous les mortiers étudiés montrent une fluidité adaptée aux mortiers autoplaçants. Cependant, par rapport au MAP0, une diminution de la fluidité des mortiers a été enregistrée avec substitution de sable par le sable de brique (SB). Ceci peut être expliqué par le SB utilisé qui a une forme différente par rapport au sable naturel.



**Figure I.29 :** L'ouvrabilité des MAP [64].

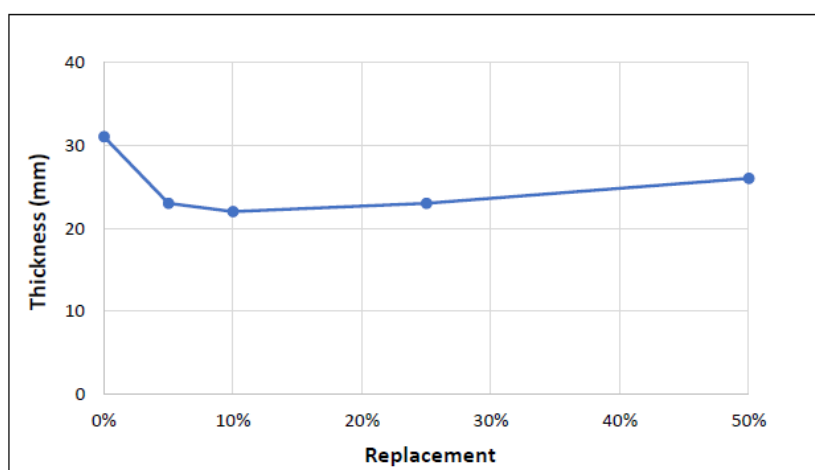
Ghrieb et Abadou [65] ont remarqué que l'incorporation de 15% de SB a une influence positive sur l'ouvrabilité. Cette amélioration de l'ouvrabilité peut être liée au SB qui remplit les vides et libère l'eau piégée qui améliore par conséquent la consistance des mélanges de mortier (figure I.30).



**Figure I.30:** Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution [65].

#### I.6.1.2 La densité et l'air occlus

Tabarelli [60] a trouvé qu'en augmentant le taux de substitution à 10%, la densité diminue. Par contre, pour une élévation du taux jusqu'à 25% et 50%, la densité commence à augmenter en raison de la diminution de l'étalement produit par le test d'affaissement (figure I.31).



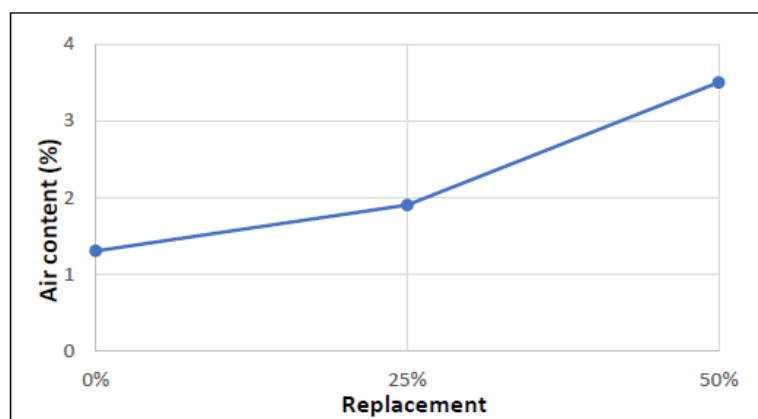
**Figure I.31 :** Variation de la densité pour les différents taux de substitutions [60].

D'après Tabarelli [60], la présence du sable de brique conduit à l'augmentation de la teneur en air à l'intérieur du mortier. Ce comportement peut être lié à deux aspects différents. Tout d'abord, la pâte de ciment pourrait présenter une certaine inefficacité



dans l'attachement aux grains de brique générant les espaces remplis par l'air. En second lieu, la porosité plus élevée du sable de brique, peut contenir encore un peu d'air, même après la phase de pré-saturation, ce qui augmente la teneur en air finale.

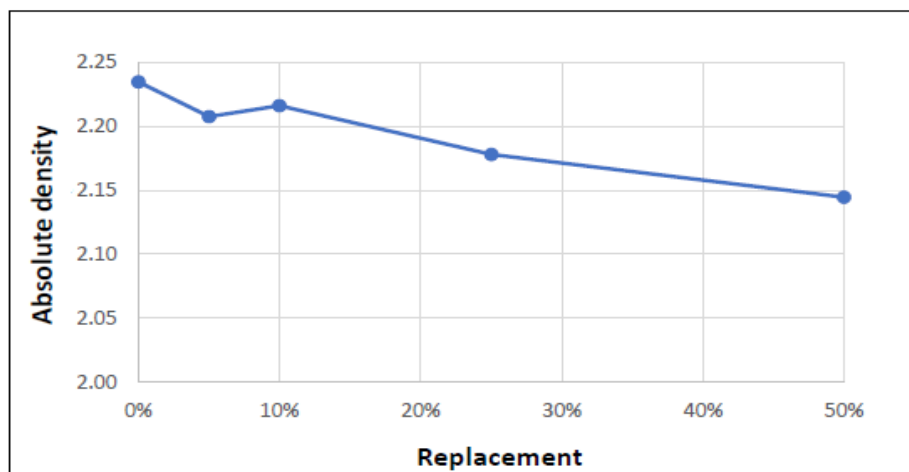
La figure I.32 expose la tendance de la teneur en air avec l'augmentation du sable de brique.



**Figure I.32 :** Variation de la teneur en air pour les différents taux de substitutions [60].

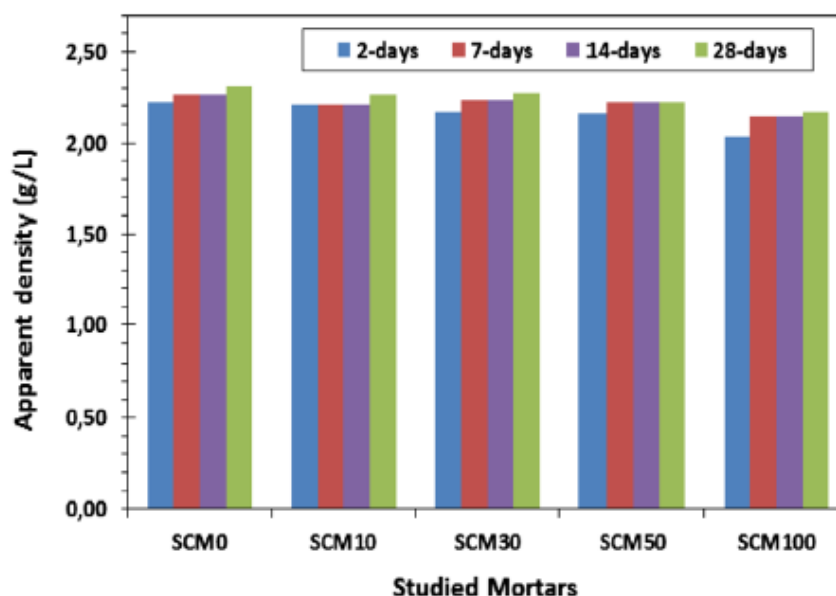
Selon Tabarelli [60], l'évolution de la teneur en air est également justifiée par la variation volumétrique de la masse. Le graphe indique une diminution graduelle de la densité finale du mortier avec l'augmentation de la fraction de sable de brique à l'intérieur de la composition.

Ce comportement est lié à la fois à la distribution de la taille des particules et à la porosité du matériau. En effet, en raison de la plus grande partie des particules plus grossières, le sable de brique ne peut pas garantir une bonne compacité dans le mortier, conduisant à la diminution de la densité absolue. Tandis que, la porosité plus élevée de la brique conduit à l'augmentation des vides remplis par l'air, qui, en raison de la densité plus faible, diminuent encore la densité absolue (figure I.33).



**Figure I.33 :** Variation de la masse volumique pour les différents taux de substitutions [60].

La figure I.34 montre l'évolution de la densité apparente en fonction de la substitution du sable par le SB à différents âges de durcissement 3, 7, 14 et 28 jours. Il est à noter que tous les mortiers étudiés ont la même densité apparente, peu importe le temps de durcissement. La substitution du sable par la brique réfractaire n'a pas un grand effet sur la densité en vrac du mortier parce que le sable et le SB ont une masse presque identique.



**Figure I.34 :** La masse volumique des MAP [64].

Tandis que pour Habeta et Kaddour [41], ils ont trouvé que 10% de taux de substitution donne une meilleure masse volumique pour les mortiers (figure I.35).

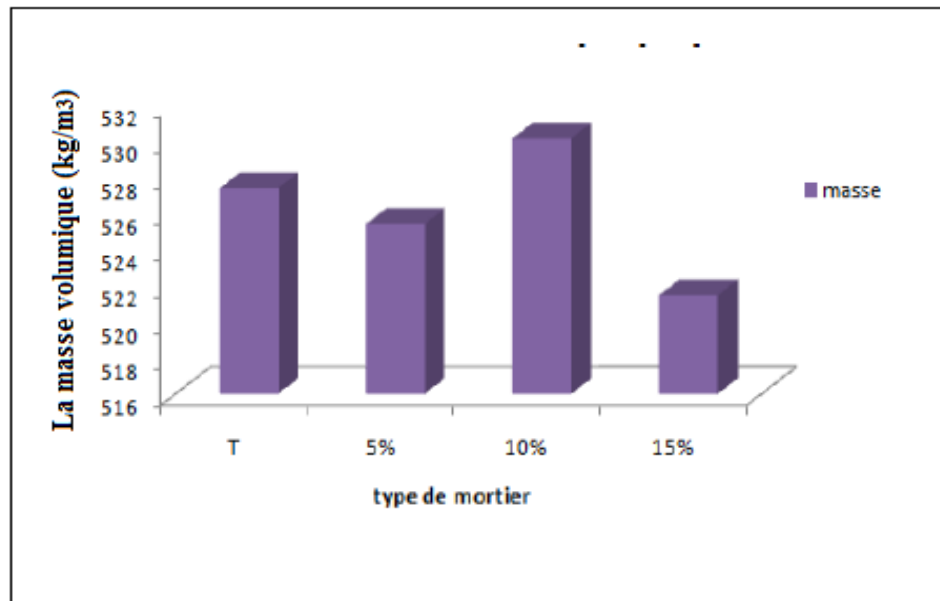
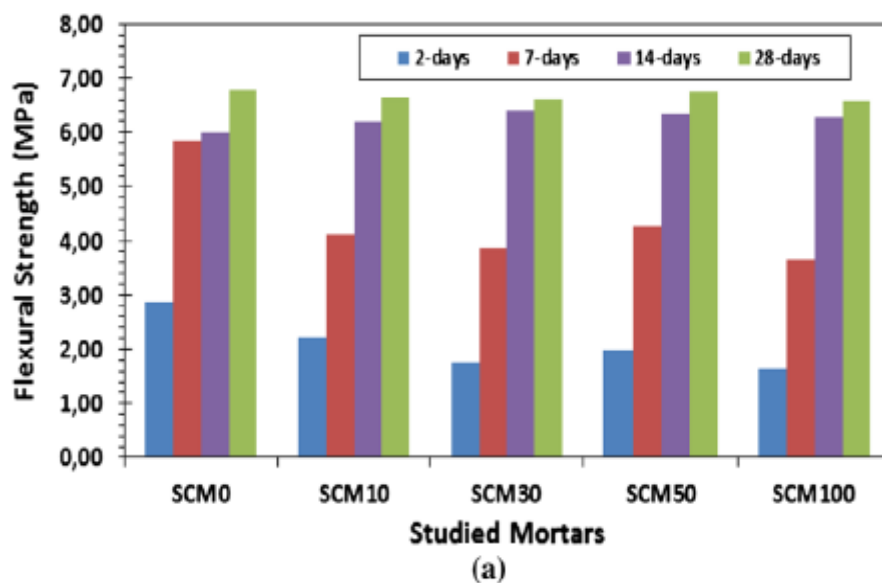


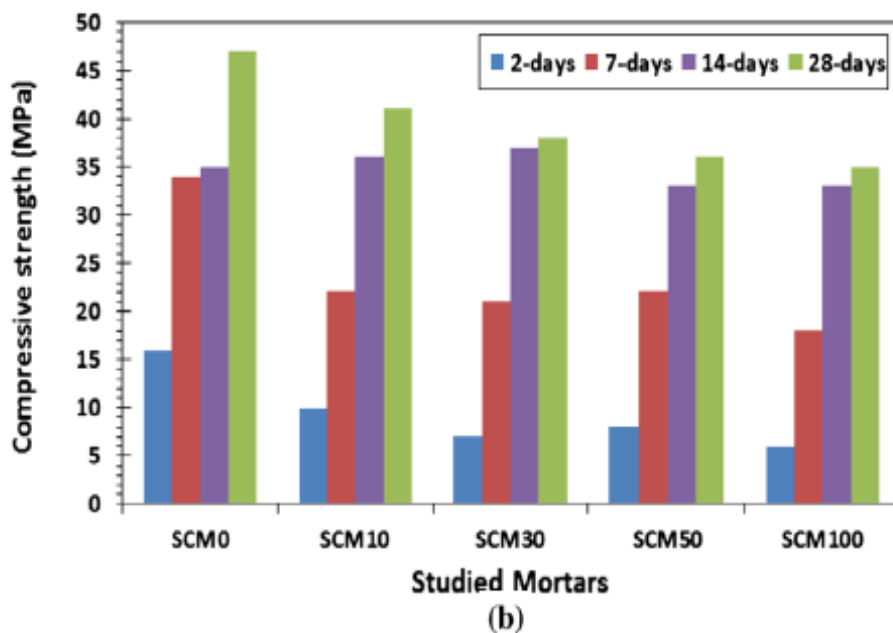
Figure I.35 : Masse volumique des mortiers à base de sable de brique [41].

### I.6.2 Comportement à l'état durci

#### I.6.2.1 Résistance à la compression

D'après Aboutaleb et al. [64], la résistance mécanique augmente en fonction de l'âge pour tous les mortiers. Cela peut s'expliquer par les produits d'hydratations du ciment. Les résultats sont montrés dans la figure I.36 :



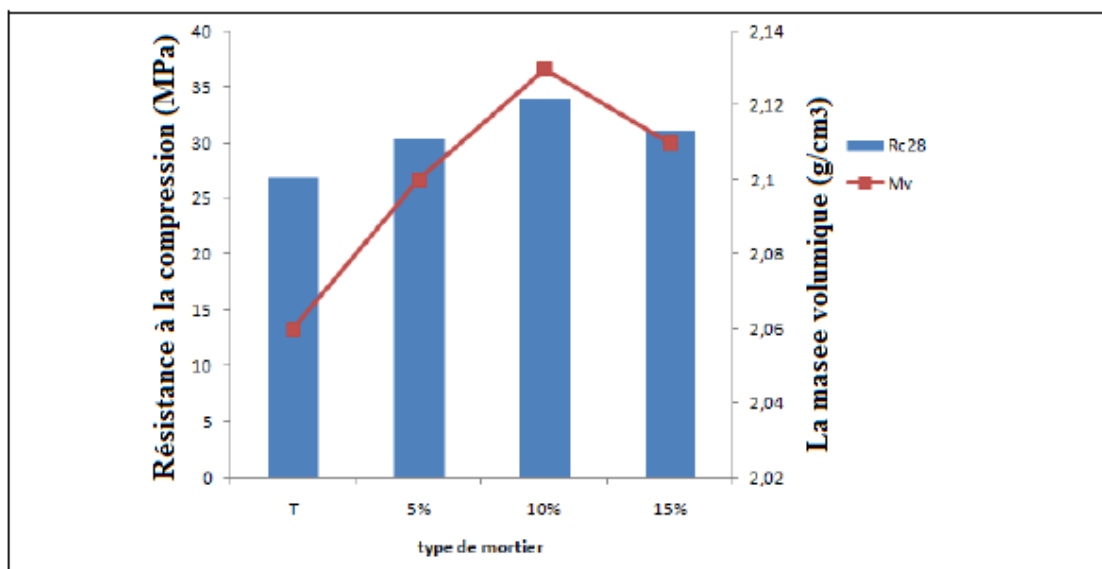


**Figure I.36 :** Résistance à la flexion (a) et à la compression (b) des MAP [64].

D'autre part, Bektas et al [66] et Bourmatte [49] ont trouvé qu'un taux de substitution de 20% et 25% de sable de déchets de brique donne un mortier dont les résistances sont presque similaires à celles du mortier conventionnel.

La variation du taux de substitution en sable de déchets de brique est retrouvée comme étant un paramètre très influant sur les caractéristiques des mortiers à l'état durci, les résistances sont inversement proportionnelles aux taux de substitution.

Habeta et Kaddour [41] par contre, elles ont trouvé qu'une substitution de 10% de déchets de brique donne une meilleure résistance par rapport au mortier témoin (figure I.37).



**Figure I. 37 :** Convergence entre La résistance à la compression et la masse volumique [41].

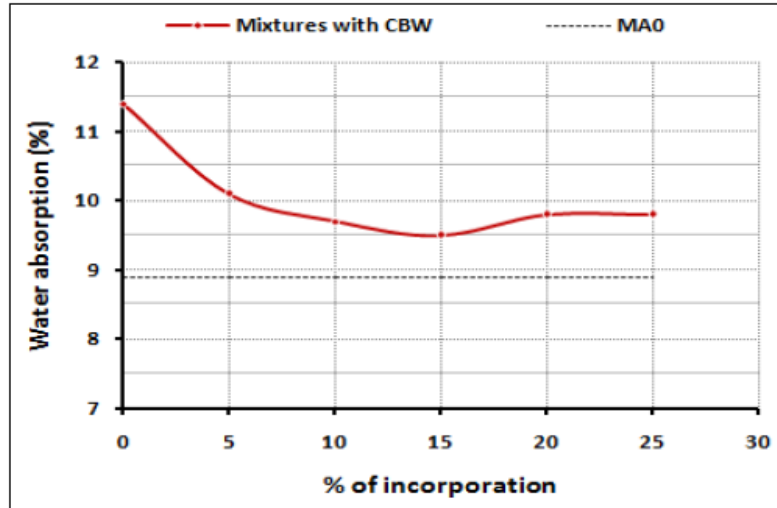
Pour Tabarelli [60], l'utilisation d'un taux de substitution de 50% à augmenter la résistance à la compression comme il est montré dans le tableau I.9 :

**Tableau I.9 :** La résistance à la compression à 14 et 28 jours [60]

Echantillon	Résistance à la compression à 14 jours (MPa)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)
BS-0	32.2	32.8
BS-25	32.6	31.6
BS-50	36	41

### I.6.2.2 Absorption capillaire

Les résultats de l'absorption d'eau des mortiers sont montrés dans la figure I.38. Ghrieb et Abadou [65] ont observé que l'absorption diminue à une valeur minimale de 15% de taux de substitution. Cette diminution est principalement due à l'effet de remplissage du SB.

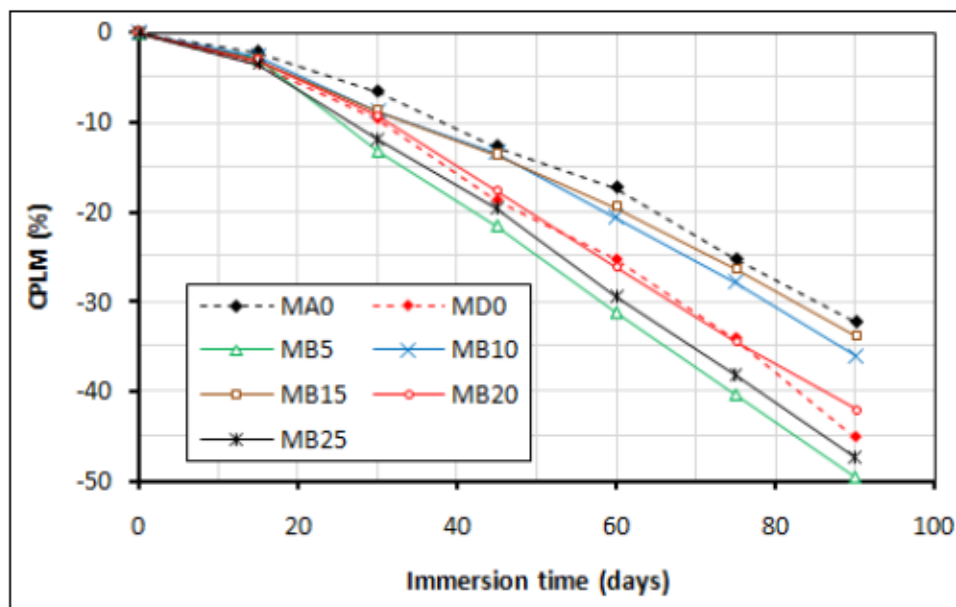


**Figure I.38 :** Effet du SB sur l'absorption d'eau des mortiers [65].

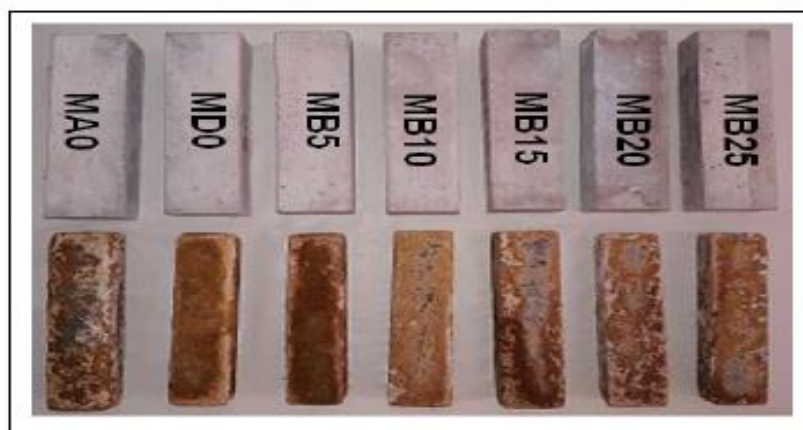
#### I.6.2.3 Milieux agressives

La figure I.39 représente la perte de masse des échantillons exposés à l'acide sulfurique jusqu'à 90 jours. A partir de ces résultats, on peut observer que la masse diminue progressivement avec l'augmentation du temps d'exposition pour tous les mortiers étudiés. Cette détérioration de la structure du mortier est principalement causée par la réaction entre l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  présent dans le ciment et l'acide sulfurique, qui peut induire une contrainte de traction, entraînant la fissuration et l'entartrage du mortier [67].

En ce qui concerne l'effet de l'incorporation du SB, comme illustré sur la figure I.39, l'amélioration de la résistance à l'attaque de l'acide sulfurique n'est possible que pour des taux de substitution de 10% et 15%. Ces gains ne sont pas suffisants pour atteindre les résultats obtenus par le mortier témoin. Après 90 jours d'immersion dans une solution d'acide sulfurique, la correction de sable de dune (SD) avec 15% de SB contribue à réduire de 25% la détérioration de la structure du mortier. Visuellement, la figure I.40 reflète la détérioration des échantillons de mortier dans l'environnement de sulfate, en particulier pour le mortier à 5% de SB.



**Figure I.39** : Perte de masse d'échantillons de mortier réalisés avec SB due à l'immersion dans une solution d'acide sulfurique [65].



**Figure I.40** : La détérioration des échantillons de mortier dans l'environnement de sulfate [65].

### **I.7 Récapitulation des résultats sur l'effet des fines et sable recyclés de brique sur le comportement des mortiers**

Pour bien comprendre, nous avons résumé dans deux tableaux les effets du brique en poudre et en sable sur les mortiers ordinaires et autoplaçants. Le tableau I.10 représente une récapitulation des résultats de recherches sur l'effet des fines de brique sur les mortiers ordinaires et autoplaçants.

**Tableau I.10 :** Récapitulation des résultats de recherches sur l’effet des fines de brique sur les mortiers ordinaires et autoplaçants

Type de substitution	Auteur	Taux de substitution	Ouvrabilité	Densité	Résistance mécanique	Abs par capillarité	Rc aux milieux agressives
Substitution du ciment par la brique	Si Ahmed et Kenai [58]	5%		--			--
		10%					
		15%			--	--	
		20%			--	--	
	Karatas et al. [59]	5%		--		--	--
		10%					
		15%					
		20%					
	Tabarelli [60]	BFNWA50%	--			--	--
		BFNWA100%					
	Demir et al. [63]	2,5%	--	--	--	--	--
		5%					
7,5%							
10%							
12,5%							

**Tableau I.11 :** Récapitulation des résultats de recherches sur l’effet du sable de brique sur les mortiers ordinaires et autoplaçants

Type de substitution	Auteur	Taux de substitution	Ouvrabilité	Masse volumique	Résistance mécanique	Abs par capillarité	Perte de masse aux milieux agressives	
Substitution du sable par la brique	Aboutaleb et al [64]	10%				--	--	
		20%						
		50%						
		100%						
	Bektas et al [66]	10%	--	--	--		--	--
		20%						
	Habeta et keddour [41]	5%	--	--			--	--
		10%						
		15%						
	Ghrieb et Abadou [65]	5%	--		--	--		
		10%						
		15%						
20%								
25%								



## I.8 Conclusion

L'utilisation des mortiers et bétons autoplaçants facilite le remplissage des moules surtout dans les zones fortement ferrailler et élimine les problèmes liés aux vibrations.

Le recyclage minimise la pollution et protège l'environnement. Les études faites sur la substitution du ciment ou bien du sable par les déchets de brique dans le mortier ont montré que les résultats peuvent être comparables par rapport au mortier témoin si le taux de substitution est contrôlé. Cela contribue aussi à la diminution de l'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Le mortier fabriqué avec du sable provenant de déchets de brique, présente généralement de moyennes qualités de maniabilité, les résistances mécaniques varient selon les taux de substitution sachant que les sables à base de déchets de brique sont plus absorbants et plus denses que les sables ordinaires. Les résistances mécaniques diminuent avec l'augmentation du taux de substitution.

La substitution du ciment par les fines de déchets de brique peut améliorer la performance des bétons et mortiers en raison de leur réaction pouzzolanique.

## II.1 Introduction

Ce chapitre présente la partie de l'étude expérimentale qui est consacrée à l'élaboration et la caractérisation des échantillons utilisés pour la formulation du mortier, ainsi que les essais et les techniques expérimentales à l'état frais et durci.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité au niveau locale.

## II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés

Dans le cadre de cette étude, nous avons confectionné les MAP en se basant sur les matériaux locaux suivants :

### II.2.1 Ciment

Le type de ciment utilisé dans notre travail de recherche est un ciment de type CEM II/B 42,5 N provenant de la cimenterie de Lafarge M'SILA (Figure II.1).



**Figure II.1 :** Ciment de type CEM II/B 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 chimiques (%)									
CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Perte au feu
67,59	4,59	2,85	1,68	0,67	0,15	0,15	16,60	0,22	7,87
Composition minéralogiques (%)									
C <sub>3</sub> S			C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF		
67,85			2,29		7,33		8,67		

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

Classe vraie (MPa)	$\rho_{Abs}$ (g/m <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/m <sup>3</sup> )	La finesse (cm <sup>2</sup> /g)	Début de prise (heure, minute)	Fin de prise (heure, minute)
43	2900	1089	4155	1h5min	4h25min

### II.2.2 Sable

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

- ✓ Sable de Baghlia

C'est un sable grossier, roulé, de forme arrondie et 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 :** Caractéristique physiques de sable de Baghlia

$\rho$ abs ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	$\rho_{\text{app}}$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	ESV (%)	ESP (%)	Module de finesse
2680	1690	81	80	3,19

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

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	Cl	Perte au feu
47,57	6,80	5,60	20,70	1,40	0,04	0,80	0,45	0,001	16,64

✓ Sable de Bougezoul

Est un sable fin de classe granulaire (0/2,5) mm, provenant de la wilaya de Médéa (figure II.3). Les caractéristiques principales du sable utilisé sont présentées dans le tableau II.5 et leur composition chimique dans le tableau II.6.



**Figure II.3 :** Sable de Boughezoul.

**Tableau II.5 :** Caractéristiques physiques de sable de Boughezoul

$\rho_{abs}$ (g/m <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/m <sup>3</sup> )	ESV (%)	ESP (%)	MF
2600	1511	72	70	1,67

**Tableau II.6 :** Composition chimique de sable de Boughezoul (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Perte au feux
96,06	1,82	1,63	0,33	0,01	0,34	0,05	0	0,42	0

NB : Afin d'obtenir un sable ayant un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8, nous avons mélangé les deux sables S/Baghliia, S/Boughezoul figure II.4 pour obtenir un mélange de module de finesse (MF=2.2).



**Figure II.4 :** Sable corrigé.

Nous avons pu avoir notre composition en pourcentage en calculant les fractions de la manière suivante :

Soit :

Mf1 = 3,67 Module de finesse du sable grossier de Baghlia.

Mf2 = 1,7 Module de finesse du sable fin de Boughezoul.

Mf = 2,20 Le module de finesse souhaité.

On trouve les fractions suivantes :

$$\bullet \quad G1 = \frac{MF - MF2}{MF1 - MF2} \quad \text{II.1}$$

$$\bullet \quad G2 = \frac{MF1 - MF}{MF1 - MF2} \quad \text{II.2}$$

Avec :

G1 : Pourcentage de sable grossier (Baghlia) = 35%

G2 : Pourcentage de sable de sable fin (Boughezoul) = 65%

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

$\rho$ abs (g/m <sup>3</sup> )	$\rho$ app (g/m <sup>3</sup> )	C abs (%)	MF
2628	1574	1,5	2,22

La courbe granulométrique des deux sables (S/Baghlia, S/Boughezoul) et celle du sable corrigé sont représentées dans la figure II.5.

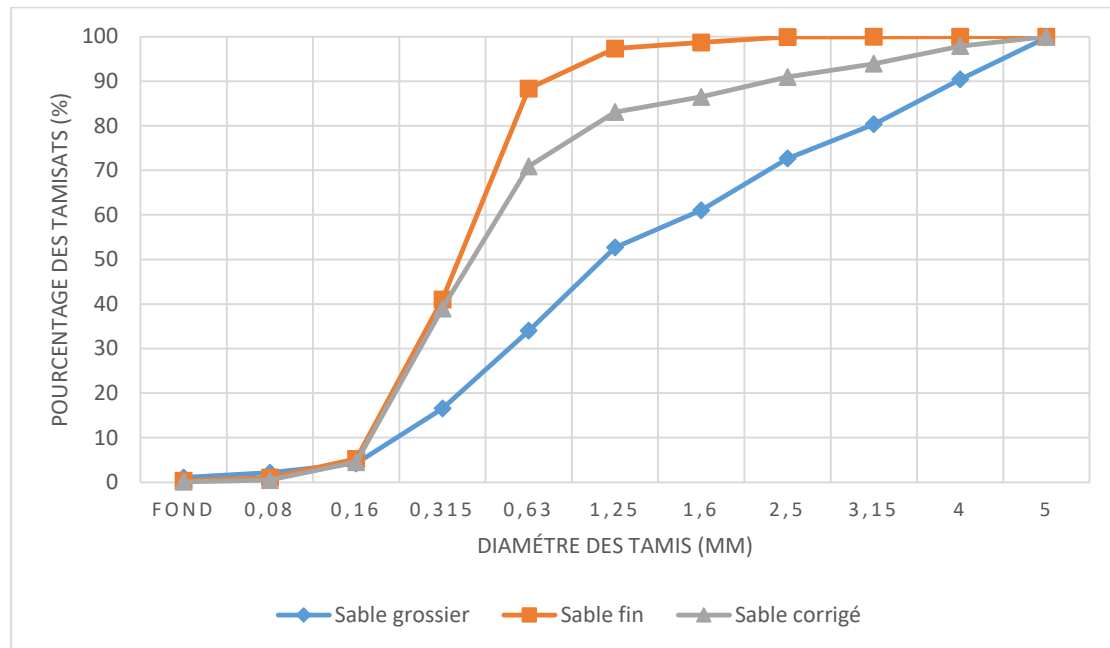


Figure II.5 : Courbe granulométrique des 3 sables.

### II.2.3 Sable de 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) (figure II.6).

Les déchets de brique ont fait l'objet d'un concassage pour les transformer en sable. Les caractéristiques physiques de brique utilisé sont présentées dans le tableau II.8 et leurs compositions chimiques dans le tableau II.9.



**Figure II.6 :** Déchets de brique utilisée avant et après concassage.

**Tableau II.8 :** Caractéristiques physiques de déchets de brique utilisés

$\rho$ abs (g/m <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/m <sup>3</sup> )	Module de finesse (MF)
2198	1189	3,84

**Tableau II.9 :** Compositions 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	Perte au feu
58,85	14,50	6,69	9,24	3,90	0,11	2,43	0,6	0,014	3,69

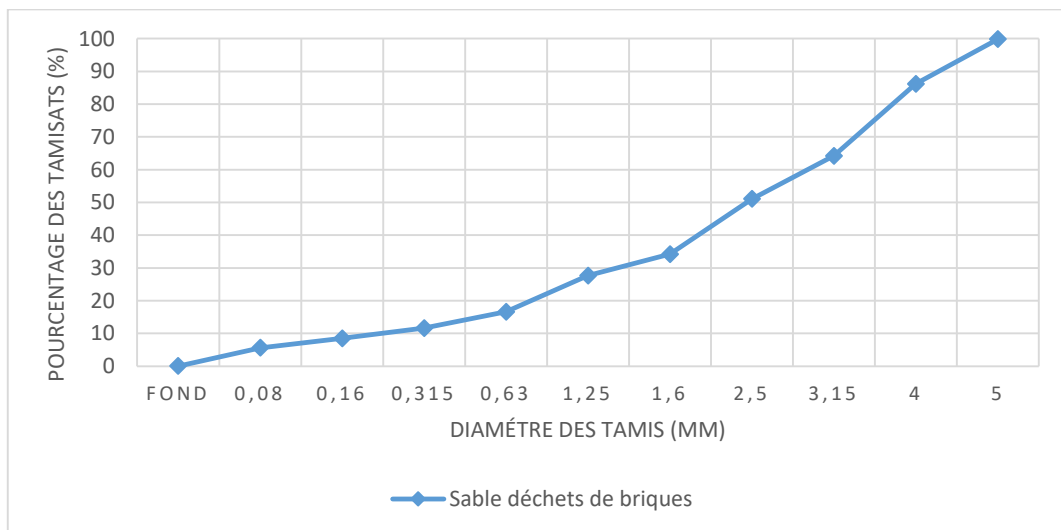
Afin d'obtenir du sable de brique comme indiqué sur la figure II.7, des déchets de brique récupérés au laboratoire ont été concassés avec deux méthodes différentes. La première consiste à faire passer le brique préalablement concassé et réduit en granulats de 3 à 4 cm de diamètre maximum à l'aide d'un marteau dans un concasseur à mâchoires, l'obtention du sable de déchets de brique a été réalisé par le concassage et un léger broyage des déchets de brique. Un concasseur à mâchoires et un broyeur ont été utilisé pour cette opération. Le sable de déchets de briques obtenu est ensuite passé au tamis de 5mm afin d'obtenir un sable de classe 0/5.





**Figure II.7 :** Processus de concassage du déchets de briques .

La courbe granulométrique de déchets de briques broyés est représentées dans la figure II.8.



**Figure II.8 :** Courbe granulométrique des déchets de brique concassé à l'aide de la machine Los Angeles.

La figure II.9 regroupe les deux courbes granulométriques pour déchets de brique et le sable corrigé.

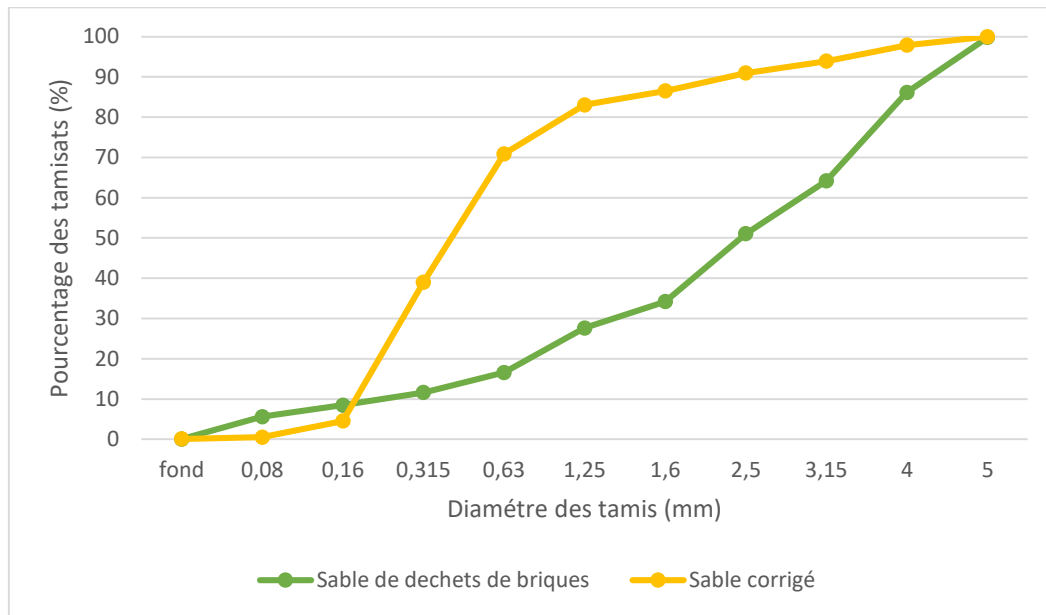


Figure II.9 : Courbes granulométriques du sable corrigé et des déchets de brique.

### II.2.4 L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est l'eau du robinet du laboratoire.

### II.2.5 Le super-plastifiant

Nous avons utilisé un type des adjuvants super plastifiants qui appelé MEDAFLOW 30 fabriqués par la société Granites à Oued Smar-BP 85-16270 Alger figure II.10.



Figure II.10 : Le super-plastifiant (SP) utilisé.

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly-carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Et permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité, ses caractéristiques sont représentées dans le tableau II.10.

**Tableau II.10 :** Caractéristique du « MEDAFLOW 30 »

Aspect	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec	dosage
Liquide	Brun clair	6-6,5	1,81±0,01	≤1 g/l	30 %	0,5% à 2% en Masse de poudre

## II.3 Essais réalisés

### II.3.1 Formulation

La formulaion est basée sur la méthode d'Okamura dont l'objectif est d'optimisé le dosage en super-plastifiant afin d'obtenir un MAP homogènes et stable sans ressuage et sans ségrégation qui aura les propriétés souhaitées avec une substitution de 0, 10, 20, 30, 40 et 50% dusable par le sable de 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.

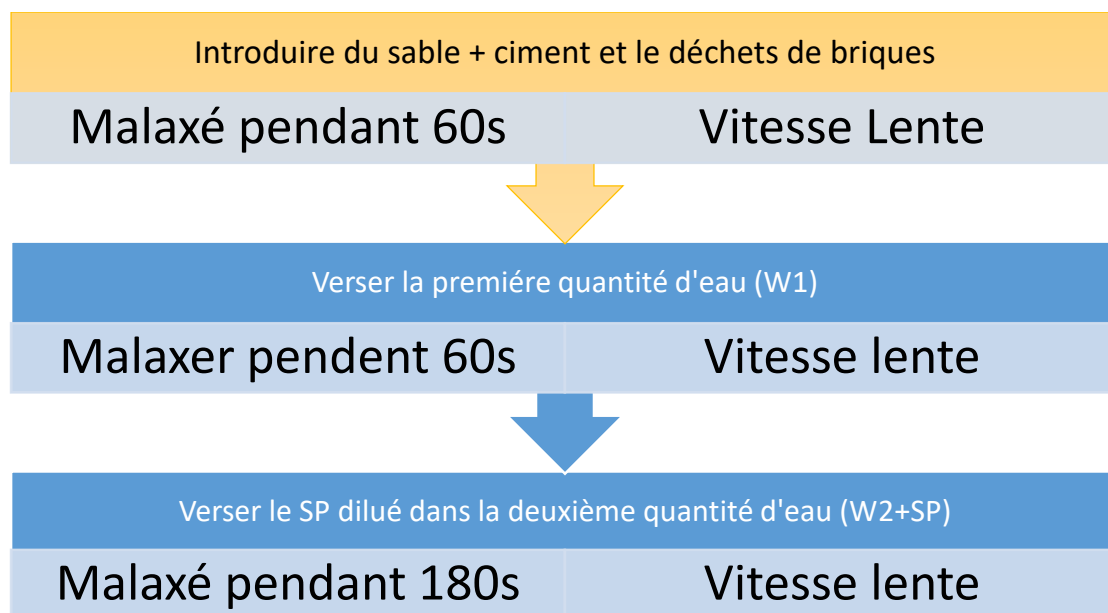
Le dosage en super-plastifiant est fixé à 1,15% après l'avoir optimisé par des essais d'ouvrabilités à l'état frais avec une variation de pourcentage de 0,8% à 1,2%. Afin d'obtenir un mortier autoplaçant, l'étalement au mini cône doit être compris entre 270 mm et 330 mm et le temps d'écoulement en V-Funnel entre 2 et 10 secondes.

Nous avons déterminé les quantités des constituants du mortier ciment, déchet de brique, sable, eau et super-plastifiant à l'aide d'une feuille de calcul Excel donnée dans l'Annexe. Le malaxage a été réalisé à l'aide d'un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité (Figure II.11).



**Figure II.11** : Malaxeur à mortier.

La séquence de malaxage est donnée dans la figure suivant :



**Figure II.12** : Séquence de malaxage du MAP.

### II.3.2 Essais sur MAP à l'état frais

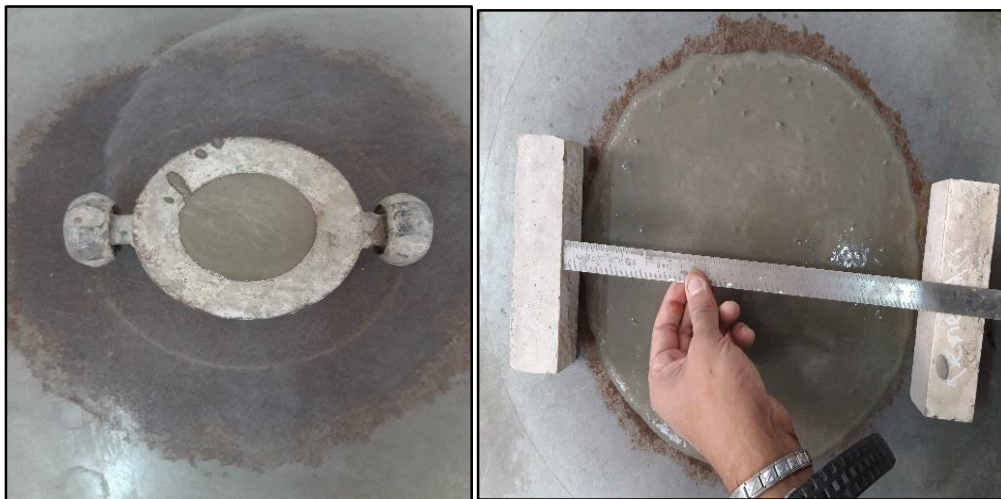
#### II.3.2.1 Essai d'étalement au mini cône

Cet essai consiste à mesurer l'étalement en remplissant le mini cône posé sur une surface en acier lisse. Afin d'avoir cette mesure, on soulève le moule et on laisse le

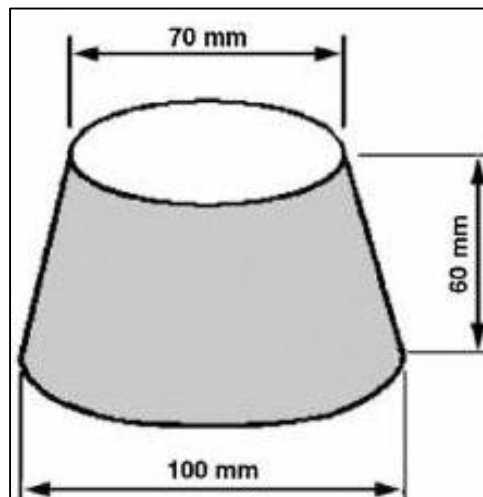
mortier s'écoule jusqu'à ce qu'il arrête en formant une galette. Celle-ci doit avoir un diamètre compris entre 270mm et 330mm pour un mortier autoplaçant adéquat.

Le diamètre ( $D$  Moyen) de la galette doit être mesuré suivant les deux directions comme indiqué sur la figure II.14 par la formule suivante :

$$D = \frac{D1+D2}{2} \quad \text{II.3}$$



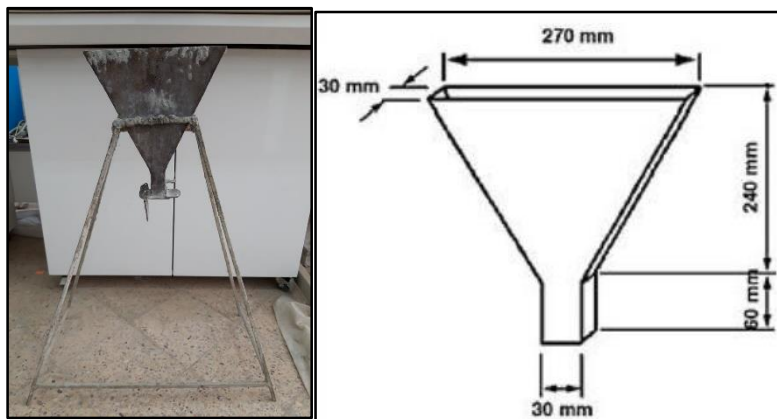
**Figure II.13 :** Etallement au mini cône.



**Figure II.14 :** Les dimensions du mini cône.

## II.3.2.2 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

L'essai de l'entonnoir en V (V-Funnel) consiste à remplir l'entonnoir de 1 Litre de mortier et mesurer le temps d'écoulement entre l'instant de l'ouverture de l'orifice 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 2 et 10 secondes pour un mortier autoplaçant. La figure II.15 montre le dispositif de l'essai à l'entonnoir en V.



**Figure II.15 :** Dispositif de l'essai V-Funnel.

## II.3.2.3 Confection et conservation des éprouvettes

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes en mortiers sont de forme prismatique  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  de dimensions pour tous les essais à l'état durci comme indiqué dans la figure II.16.



**Figure II.16 :** Moule prismatique à mortiers.

Après la préparation des mortiers, des moules métalliques à trois alvéoles préalablement huilés seront remplis par deux couches pour assurer l'homogénéité du mélange. Les éprouvettes doivent être couvertes par un film plastique et stockés dans les conditions ambiantes du laboratoire. Après 24 heures, les échantillons devront être démoulés et conditionnés dans des bacs remplis d'eau saturée en chaux à une température de  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pour assurer une cure normalisée jusqu'à la date d'essai.



**Figure II.17 :** Conservation des éprouvettes.

### II.3.3 Essais sur MAP à l'état durci

#### II.3.3.1 Résistance à la flexion

La mesure de la résistance à la flexion  $R_f$  est effectuée sur des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16\text{ cm}^3$ . Les essais sont faits suivant la norme NF EN 196-1 [14]. Les résultats obtenus sont la moyenne des valeurs de trois éprouvettes. La contrainte est calculée selon la formule ci-dessous :

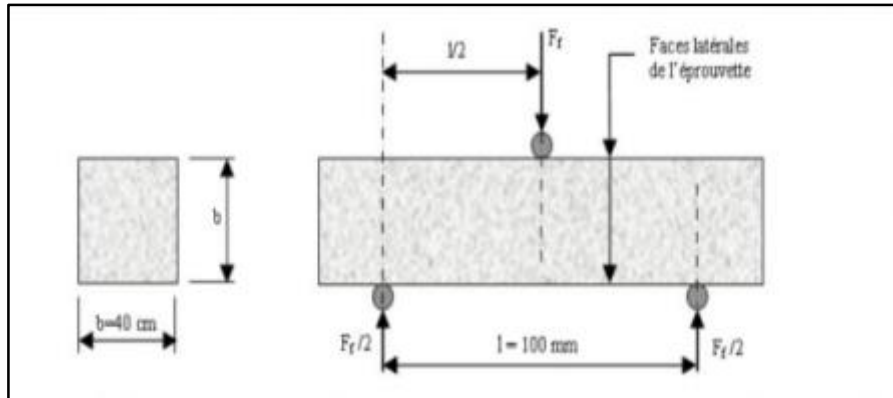
$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{b^3} \quad \text{II.4}$$

Avec :

$F_f$  : la force appliquée sur l'éprouvette (N).

$l$  : la distance entre appuis (100mm).

$b$  : la largeur de l'éprouvette (40mm).



**Figure II.18** : Essai de résistance à la flexion.

### II.3.3.2 Résistance à la compression

La résistance à la compression des mortiers est exécutée sur les demi-prismes issus de la rupture en flexion des trois éprouvettes de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  en trois points. Les demi prismes sont centrés entre les deux surfaces de l'appareil et testés en compression sur les faces latérales du moulage comme l'illustre la figure II.19. Les essais sont effectués conformément à la norme NF EN 196-1 [14]. La contrainte de rupture est calculée comme suivant :

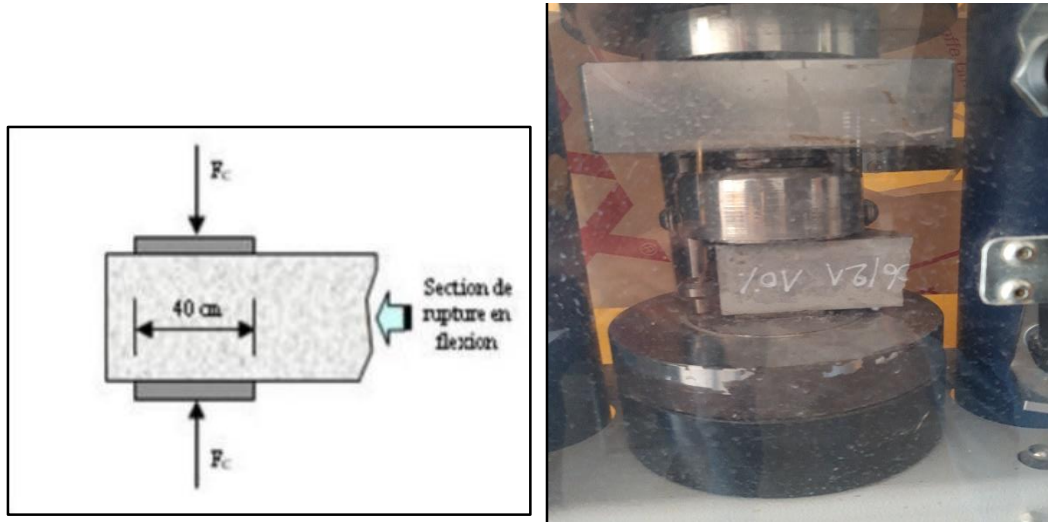


$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad \text{II.5}$$

Avec :

$F_c$  : la force appliqué sur la demi prisme (N).

$b$  : la largeur de l'éprouvette (40 mm).



**Figure II.19** : Essai de compression.

### II.3.4 Essais sur les indicateurs de durabilité des MAP

#### II.3.4.1 Absorption capillaire

Les essais d'absorption 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.

L'essai est réalisé selon les recommandations d'ASTM[68] sur des éprouvettes de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ . Le résultat est la moyenne de la mesure sur deux éprouvettes testées pour chaque composition. A la fin de la cure 97 jours, l'essai été fait après 97 jours de cure humide, les éprouvettes sont séchées dans une étuve ventilée à  $80 \pm 2^\circ \text{C}$  jusqu'à poids constant.

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.

Le coefficient d'absorption capillaire est déterminé par l'équation suivante selon la Norme C1585- 11[68] :

$$I = \frac{m_t}{a \times d} \quad \text{II.6}$$

Avec :

I : Coefficient d'absorption capillaire (mm) ;

$m_t$  : La différence de masse de l'éprouvette à une échéance donnée (g) ;

a : Section de l'éprouvette (mm<sup>2</sup>) ;

d : Densité de l'eau (g/mm<sup>3</sup>).

Le coefficient de sportivité (S) du béton peut être déterminé de l'expression suivante :

$$S = \frac{Q/A}{\sqrt{t}} \quad \text{II.7}$$

Avec :

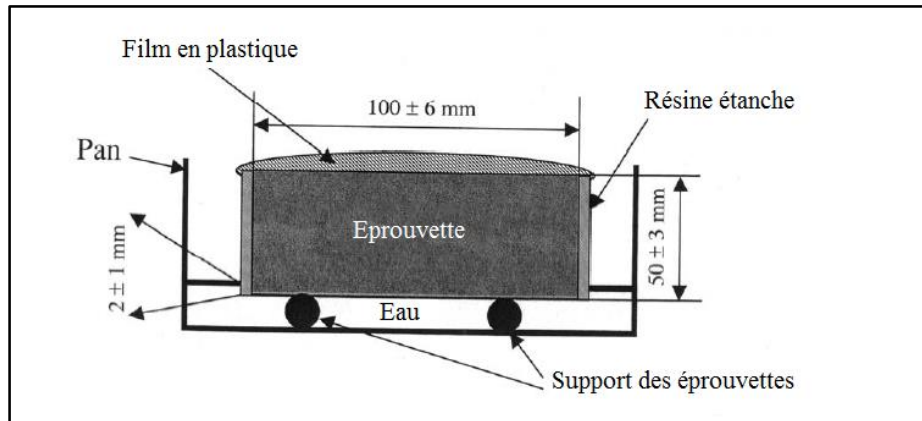
A : surface du spécimen en contact avec l'eau en cm<sup>2</sup>,

Q : le volume d'eau absorbé en cm<sup>3</sup>,

t : temps écoulé en (s),

S : coefficient de sorptivité du spécimen en cm/s<sup>1/2</sup>.

On trace Q/A en fonction de  $\sqrt{t}$ , puis on trace la régression linéaire entre Q/A et  $\sqrt{t}$ , puis on calcule les deux pentes des deux lignes droites qui donnent le coefficient de sorptivité (s) des grands pores et des petits pores.



**Figure II.20 :** Essai d'absorption capillaire.

#### II.3.4.2 La porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau est effectuée selon la norme NF P-18-459 [69]. 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.

L'essai consiste à faire sécher les éprouvettes à une température de  $80 \pm 2$  °C jusqu'à masse constante. On détermine la masse sèche d'échantillon  $M_{sec}$  à l'aide d'une balance de précision de 0.1g, ensuite on place les éprouvettes dans une enceinte

fermée dessiccateur sous une pression constante, Après 3 heures on introduit l'eau dégazée progressivement jusqu'à ce que les éprouvettes soient recouverts d'environ 2 cm. Après 4 heures on arrête la pompe à vide, et on maintient les éprouvettes en saturation pendant  $18 \pm 2$ h. Ensuite on fait sortir les éprouvettes du 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  $\varepsilon$  (%) est donnée par la relation suivante :

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times 100 \quad \text{II.8}$$

Avec :

$\varepsilon$  : Porosité accessible à l'eau en (%),

$M_{\text{eau}}$  : la masse du spécimen immergé dans l'eau,

$M_{\text{air}}$  : la masse du spécimen pesé dans l'air,

$M_{\text{sec}}$  : la masse du spécimen sec.

La masse volumique apparente est définie par l'expression suivante :

$$\rho_d = \frac{M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times \rho_{\text{eau}} \quad \text{II.9}$$

Avec :

$\rho_d$  : Masse volumique apparente en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),

$\rho_{\text{eau}}$  : Masse volumique de l'eau =  $1 \text{g}/\text{cm}^3$ ,

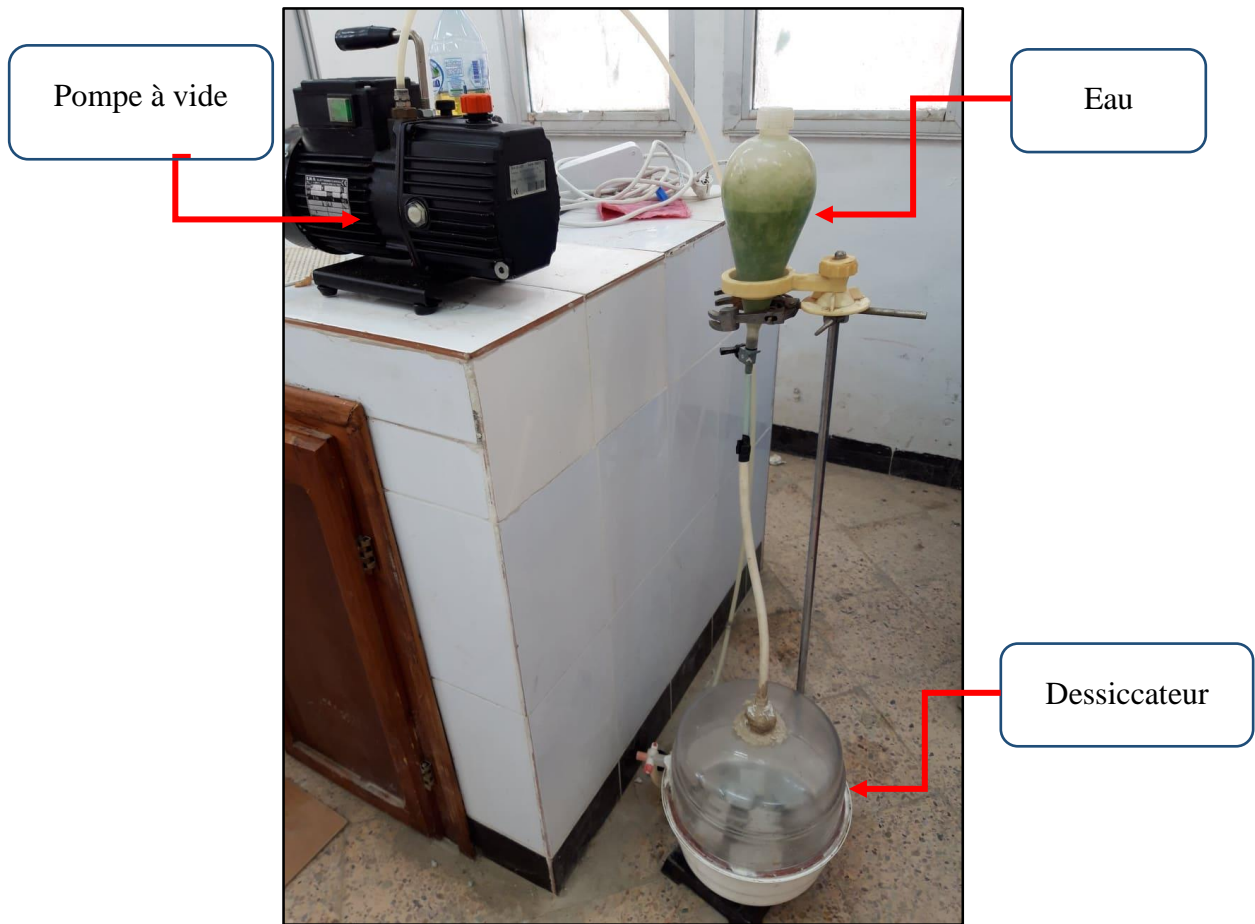


Figure II.21 : Essai de porosité accessible à l'eau.

#### II.4 Organigrammes des essais

Les figures suivantes représentent les organigrammes de l'ensemble du protocole expérimental de ce mémoire.

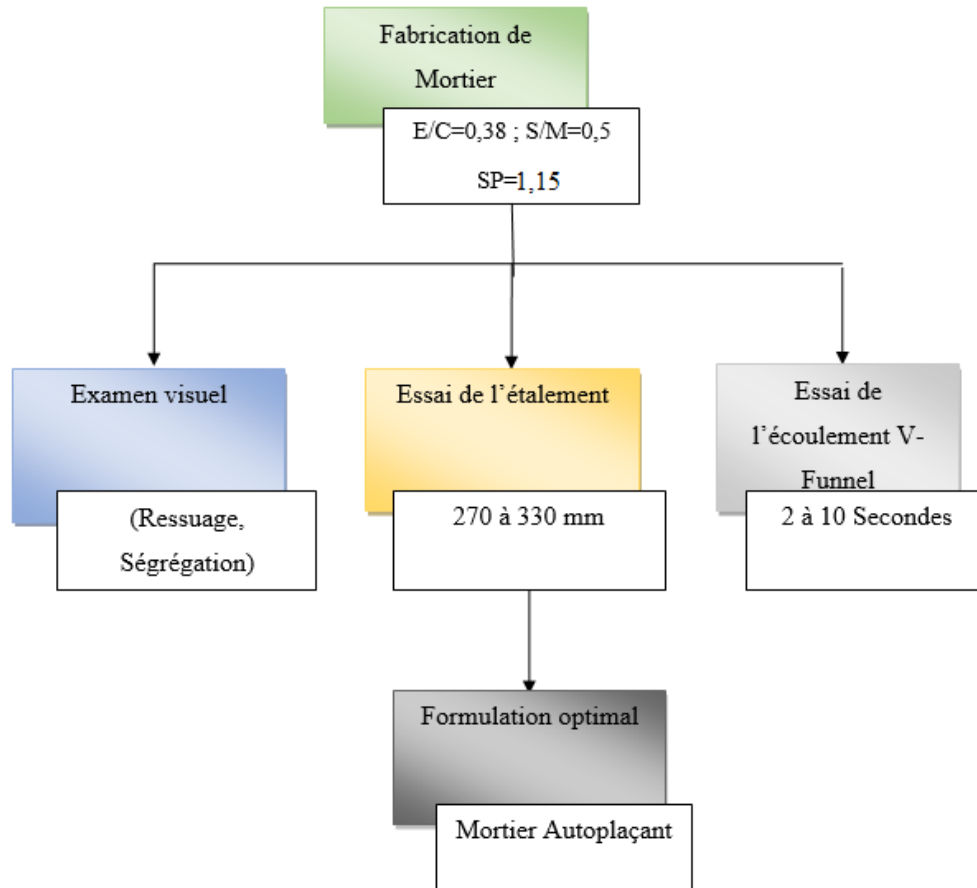


Figure II.22 : Organigramme du procédé de formulation des MAP.

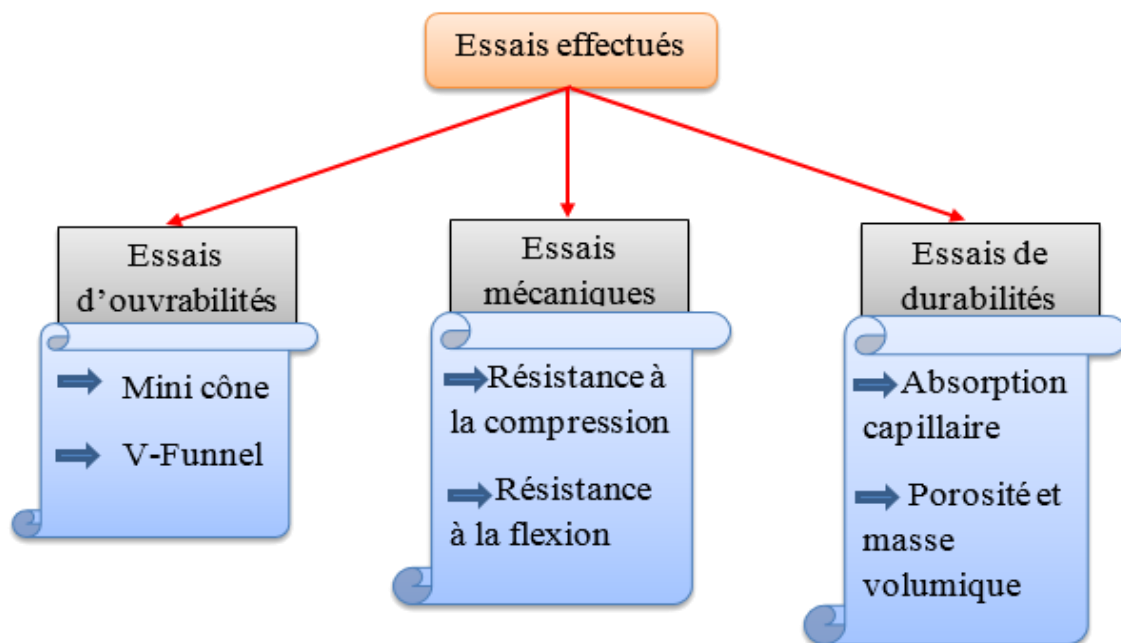


Figure II.23 : Les essais réalisés.

## **II.5 Conclusion**

Dans ce chapitre on a étudié les caractéristiques des différents matériaux sable, ciment, adjuvant, ainsi que la méthode de formulation de MAP et sa résistance à l'état frais et durci.

### III.1 Introduction

Dans ce Chapitre, les différents résultats des essais sur l'effet de sable de déchets de brique sur le comportement des MAP à l'état frais et durci sont présentés.

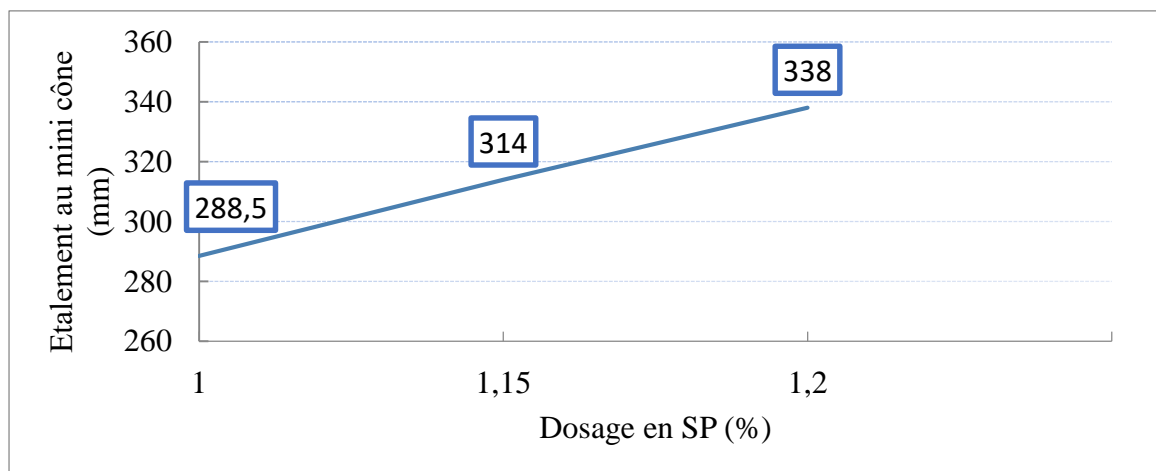
### III.2 Optimisation du dosage en superplastifiant

Les superplastifiants jouent un rôle fondamental dans l'amélioration des propriétés rhéologiques du mortier. L'optimisation de dosage en superplastifiant s'effectue en évaluant la fluidité et stabilité des mortiers en comparant différents dosages, afin d'obtenir une fluidité maximale et une meilleure stabilité du mortier tout en assurant une bonne ouvrabilité.

L'objectif de l'optimisation du dosage de SP est d'obtenir un MAP qui est caractérisé par deux essais à l'état frais à savoir l'étalement au mini cône et l'écoulement en V-Funnel.

#### III.2.1 Effet du superplastifiant sur l'étalement au mini cône

La sensibilité des MAP vis-à-vis du SP et la température ambiante a conduit à la nécessité de refaire les essais plusieurs fois avant de valider le dosage optimum. Les résultats de l'essai d'étalement au mini cône sur mortier sont illustrés sur la figure III.1 et présentés dans le tableau III.1.



**Figure III.1 :** Etalement au mini cône en fonction du dosage en SP.



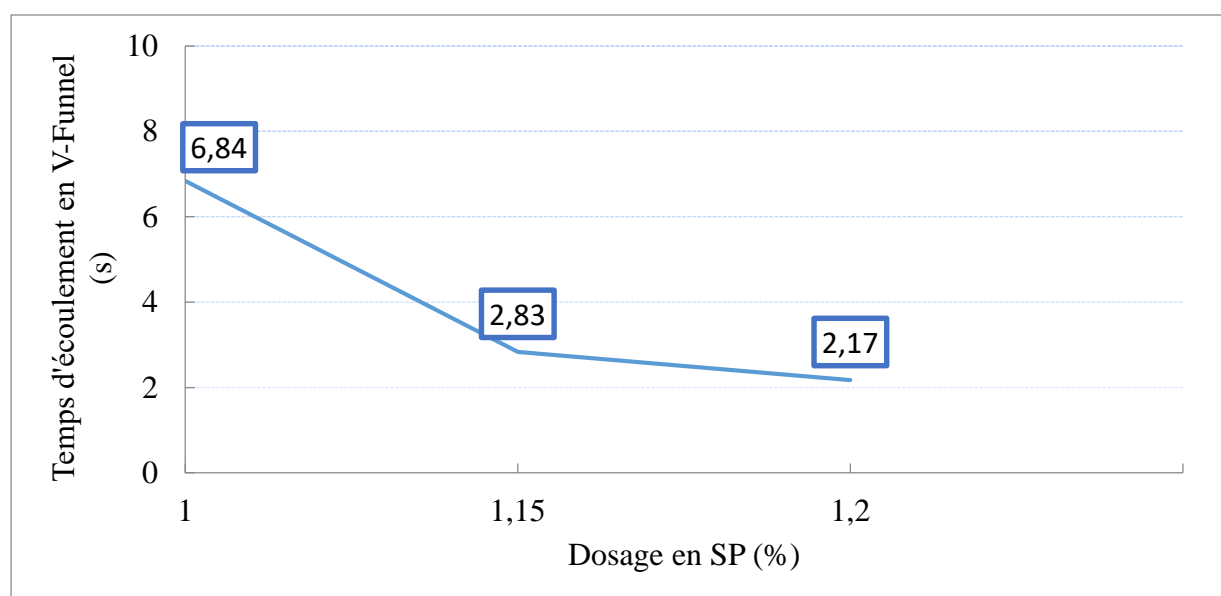
**Tableau III.1** : Valeurs d'étalement au mini cône en fonction du dosage en SP

Dosage en SP (%)	1	1,15	1,2
Etalement (mm)	288,15	314	338

La figure III.1 représente les résultats de l'étalement effectué sur le mortier, en faisant varier le dosage en superplastifiant. Ces résultats montrent que les dosages de 1% et 1,15% produisent un MAP avec un étalement compris entre 270 et 330 mm.

### III.2.2 Effet du superplastifiant sur l'écoulement en V-Funnel

Ce dispositif permet en effet à remplir l'entonnoir de 1 litre de mortier et mesurer le temps d'écoulement entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir, plus la fluidité du mortier est importante et plus le temps d'écoulement est réduit. Les résultats due à l'effet de dosage en superplastifiant sur le temps d'écoulement sont illustrés sur la figure III.2 et présentés dans le tableau III.2.

**Figure III.2** : Temps d'écoulement en V-Funnel en fonction du dosage en SP.

**Tableau III.2** : Valeur de temps d'écoulement en fonction du dosage en SP

Dosage en SP(%)	1	1,15	1,2
Temps d'écoulement (s)	6,84	2,83	2,17

On observe que le temps d'écoulement diminue avec l'augmentation du dosage en SP. Ces résultats montrent que toutes les valeurs sont dans l'intervalle du MAP. En combinant l'essai d'étalement au mini cône et l'essai d'écoulement en V-Funnel on peut conclure que l'obtention d'un MAP est possible avec 1% et 1,15% de SP.

D'après la revue bibliographique, la substitution de sable de déchets de brique conduit à une perte d'ouvrabilité à cet effet le choix final du dosage en SP porte sur le 1,15%.

### III.3 Effet du sable de déchets de brique sur les MAP à l'état frais

Après avoir déterminé le dosage optimal en SP pour le MAP on passe alors à l'étude de l'influence de sable de déchets de brique sur l'ouvrabilité. Notre formulation adoptée est caractérisée par les paramètres suivants :  $S/M=0,5$ ,  $E/L=0,38$  et  $Le_{SP}=1,15\%$ . Six compositions ont été élaborées en substituant une partie de sable par le même Taux de sable de déchets de brique (DB) à savoir : 0% (B0), 10% (B10), 20% (B20), 30% (B30), 40% (B40) et 50% (B50).

La composition des différents MAP est regroupée dans le tableau III.3.

**Tableau III.3 :** Composition des différents MAP par un Volume de 1,8 litre

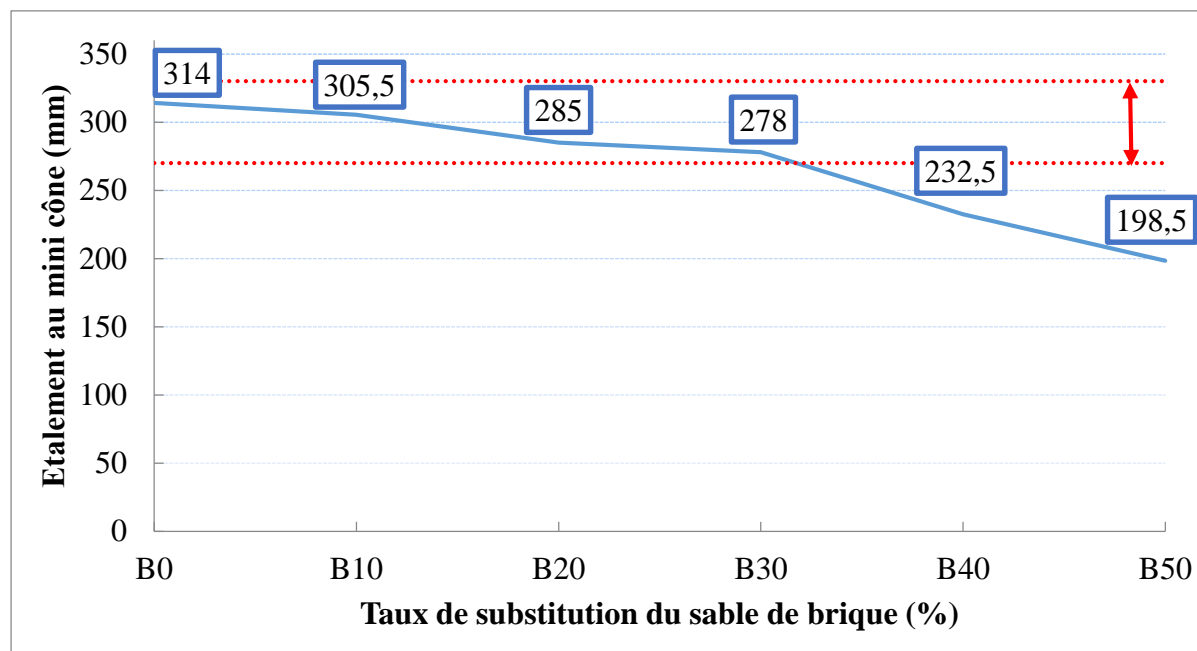
Constituants	B0	B10	B20	B30
Ciment (g)	1242	1242	1242	1242
DB (g)	0	194,87	389,75	584,62
Sable (g)	2330	2135,13	1940,25	1745,38
Eau (g)	497	497	497	497
SP (g)	14	14	14	14

### III.3.1 Effet du sable de déchets de brique sur l'étalement au mini cône

Les résultats obtenus de l'essai de mini cône sont regroupés dans le tableau III.4. La figure III.3 présente la variation de l'étalement des différents mortiers en fonction des taux de substitution de sable par le sable de déchets de brique.

**Tableau III.4 :** Valeur de l'étalement au mini cône des différents MAP

Mortier	B0	B10	B20	B30	B40	B50
Etalement (mm)	314	305,5	285	278	232,5	198,5



**Figure III.3 :** Etalement au mini cône en fonction du taux de substitution du sable de brique

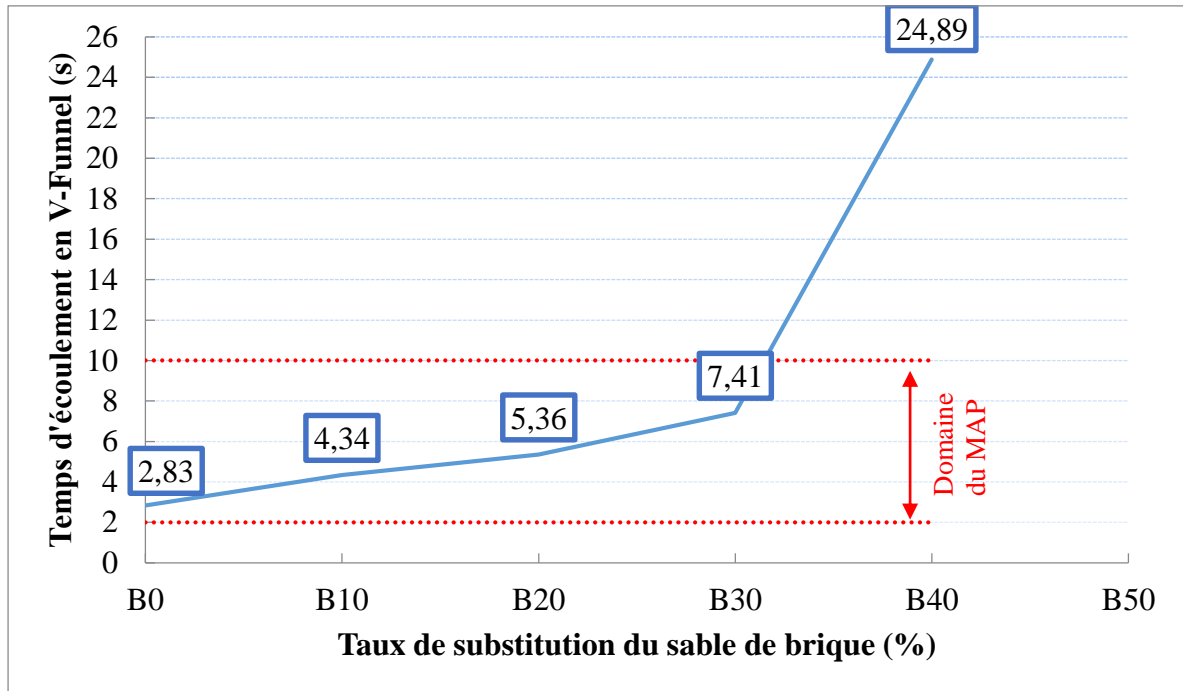
On remarque que les diamètres d'étalement des galettes des mortiers diminuent parallèlement de l'augmentation du taux de substitution du sable de brique. Les mortiers B0, B10, B20 et B30 sont dans l'intervalle des MAP de 270 à 330 mm, Par contre Pour le B40 et B50 ils sont inférieurs à 270 mm Donc on est plus dans l'intervalle Du MAP.

### III.3.2 Effet du sable de déchets de brique sur l'écoulement en V-Funnel

Les résultats de la variation du temps d'écoulement de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) en fonction du pourcentage de déchets de brique sont indiqués sur le tableau III.5 et la figure III.4.

**Tableau III.5 :** Valeur de l'écoulement en V-Funnel des différents MAP

Mortier	B0	B10	B20	B30	B40	B50
Temps d'écoulement (s)	2,83	4,34	5,36	7,41	24,89	Blocage



**Figure III.4 :** Le temps d'écoulement en V-Funnel en fonction du taux de substitution du sable de brique.

Ces résultats indiquent que le temps d'écoulement qu'on a mesuré augmente parallèlement à l'augmentation du taux de substitution du sable de brique. Le temps d'écoulement du B0 jusqu'à B30 reste toujours inférieur à la limite supérieure qui est de 10 secondes, et le temps d'écoulement pour le B40 et B50 dépasse la limite de plus de 2 secondes, On peut conclure que les mortiers B0, B10, B20 et B30 sont des MAP, par contre avec 40% et 50% de substitution de sable par le sable de déchets de brique on obtient un mélange qui est ferme avec un temps d'écoulement très élevée et qui dépasse l'intervalle d'un MAP. La réduction de l'ouvrabilité est due à la capacité de l'absorption d'eau élevée de la brique en raison de sa porosité élevée. La même tendance a été observée par nombreux chercheurs [64,65].

Le tableau III.6 regroupe les résultats des essais de formulation des MAP.

**Tableau III.6 :** Regroupement des résultats obtenus par l'essai d'étalement et d'écoulement

Mortier	Limite inférieur	B0	B10	B20	B30	B40	B50	Limite supérieur
Etalement (mm)	270	314	305,5	285	278	232,5	198,5	330
Temps d'écoulement (s)	02	2,83	4,34	5,36	7,41	24.89	Blocage	10
Observation		MAP	MAP	MAP	MAP	Ce n'est pas un MAP	Ce n'est pas un MAP	

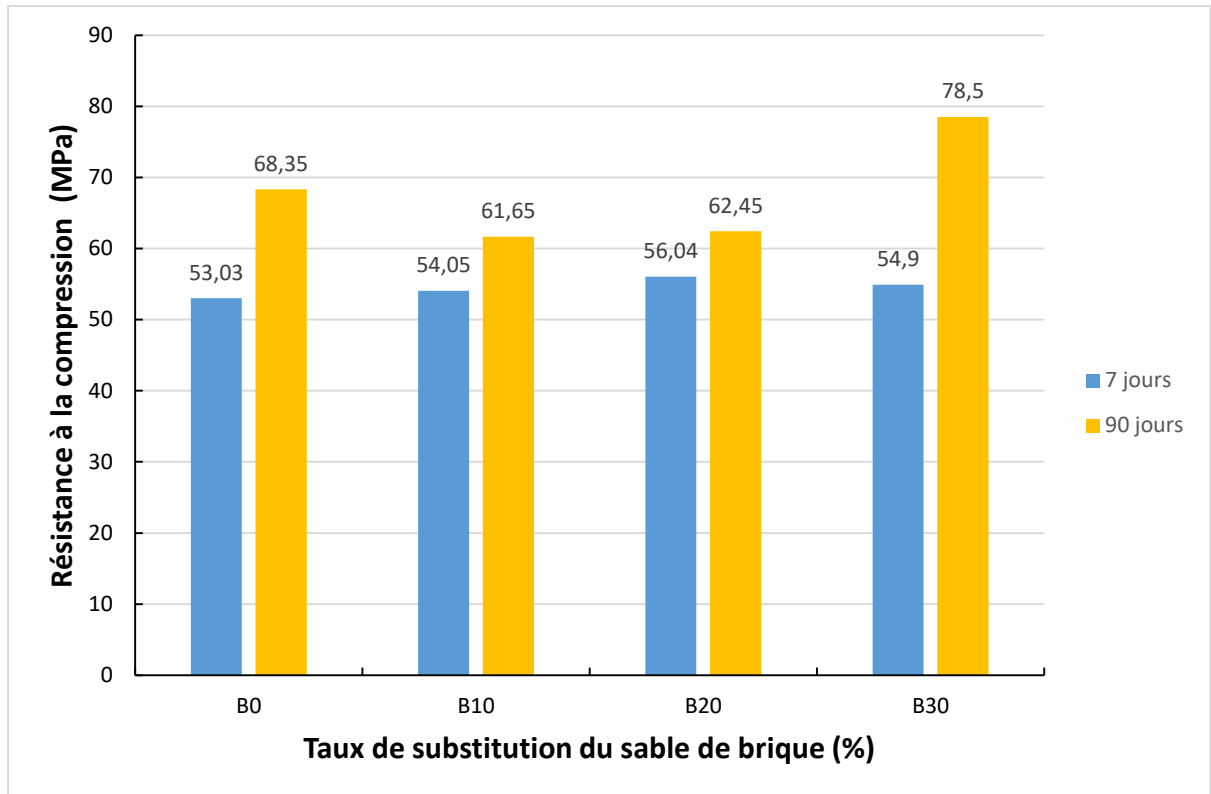
### III.4 Effet de sable de déchets de brique sur les MAP à l'état durci

#### III.4.1 Effet de sable de déchets de brique sur la résistance à la compression

Les résultats obtenus de l'essai de la résistance à la compression sont regroupés dans le tableau III.7. La figure III.5 présente la résistance à la compression des différents mortiers en fonction des taux de substitution de sable par le sable de déchets de brique.

**Tableau III.7 :** Résistance à la compression des MAP

Age	Résistance (MPa)			
	B0	B10	B20	B30
7 jours	53.57	56.01	55.67	55.7
	52.49	52.09	56.41	54.08
	<b>Rmoy= 53.03</b>	<b>Rmoy= 54.05</b>	<b>Rmoy= 56.04</b>	<b>Rmoy= 54.9</b>
90 jours	67.5	65.8	63.6	79.7
	69.2	57.5	61.3	77.3
	<b>Rmoy= 68.35</b>	<b>Rmoy= 61.65</b>	<b>Rmoy= 62.45</b>	<b>Rmoy= 78.5</b>



**Figure III.5 :** L'évolution de la résistance à la compression à 7 et 90 jours.

Après 7 jours de cure humide, les résultats montrent une légère augmentation de la résistance à la compression des MAP à base de sable de déchets de brique par rapport au MAP de référence. Tandis que à 90 jours, la résistance à diminuer pour les mélanges de B10 et B20, alors qu'une augmentation d'environ 5% a été enregistré pour le B30 par rapport au mortier témoin.

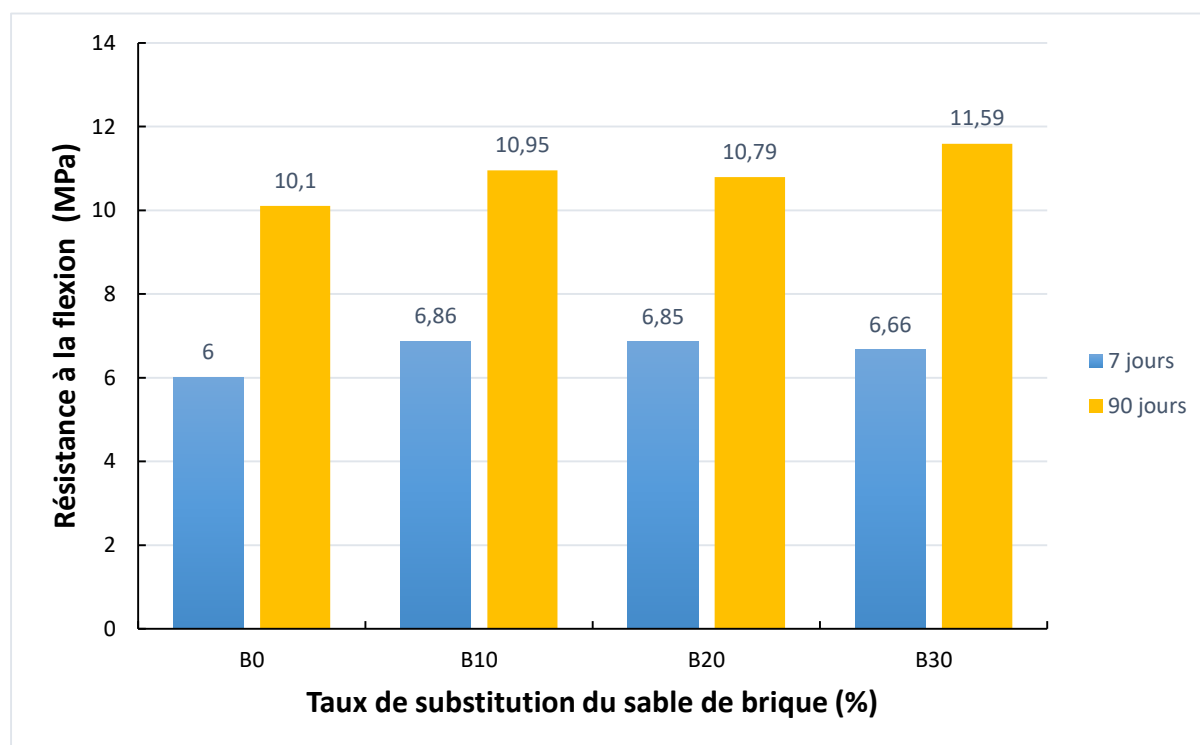
Ces résultats montrent que l'incorporation des déchets de brique jusqu'à 30% dans le sable naturel ne semble pas provoquer de perte de résistance à court et à long terme. Au contraire les résultats sont ou comparables ou légèrement supérieur pour les mélanges à base de brique. La même tendance a été observé par d'autres chercheurs [66],[41]. Cela est peut-être dû à l'amélioration de la distribution granulaire apportée par les déchets de brique.

### III.4.2 Effet de sable de déchets de brique sur la résistance à la flexion

Les résultats obtenus de l'essai de la résistance à la flexion sont regroupés dans le tableau III.8. La figure III.6 présente la résistance à la flexion des différents mortiers en fonction des taux de substitution de sable par le sable de déchets de brique.

**Tableau III.8 : Résistance à la flexion des MAP**

Age	Résistance (MPa)			
	B0	B10	B20	B30
7 jours	5.99	6.96	6.6	6.46
	6.02	6.77	7.1	6.87
	<b>Rmoy= 6.00</b>	<b>Rmoy= 6.86</b>	<b>Rmoy= 6.85</b>	<b>Rmoy= 6.66</b>
90 jours	10.49	11.35	10.6	11.1
	9.66	10.55	10.99	12.08
	<b>Rmoy= 10.1</b>	<b>Rmoy= 10.95</b>	<b>Rmoy= 10.79</b>	<b>Rmoy= 11.59</b>



**Figure III.6 : L'évolution de la résistance à la flexion à 7 et 90 jours.**



Ces résultats montrent que la résistance à la flexion après 7 et 90 jours de cure humide a augmenté pour les MAP à base de déchets de brique par rapport au MAP de référence.

Cette augmentation de résistance peut être attribuée à la structure rugueuse et anguleuse des fines et granulats de déchets de brique conduisant ainsi à une meilleure adhérence du sable dans la matrice cimentaire provoquant ainsi l'amélioration de la résistance vis-à-vis des contraintes de flexion pour les mélanges à base de déchets de brique.

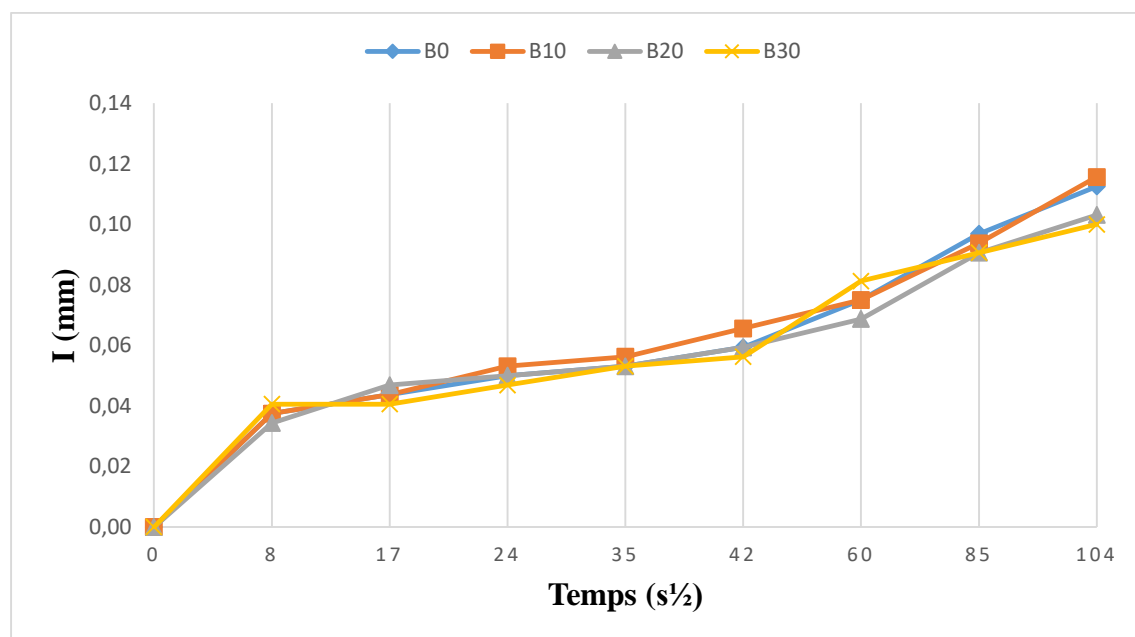
### III.5 Effet de sable de déchets de brique sur la durabilité des MAP

#### III.5.1 Effet de sable de déchets de brique sur l'absorption d'eau par capillarité

Les résultats des différents MAP sont présentés dans le tableau III.9 et la figure III.7.

**Tableau III.9 :** Les valeurs moyennes d'absorption d'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide

Temps		B0		B10		B20		B30	
T (min)	T (s <sup>1/2</sup> )	M (g)	I (mm)	M (g)	I (mm)	M (g)	I (mm)	M (g)	I (mm)
<b>0</b>	<b>0</b>	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
<b>1</b>	<b>8</b>	0.06	0.04	0.06	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04
<b>5</b>	<b>17</b>	0.07	0.04	0.07	0.04	0.07	0.05	0.06	0.04
<b>10</b>	<b>24</b>	0.08	0.05	0.09	0.05	0.08	0.05	0.07	0.05
<b>20</b>	<b>35</b>	0.08	0.05	0.09	0.06	0.08	0.05	0.09	0.05
<b>30</b>	<b>42</b>	0.10	0.06	0.11	0.07	0.09	0.06	0.09	0.06
<b>60</b>	<b>60</b>	0.12	0.08	0.12	0.08	0.11	0.07	0.13	0.08
<b>120</b>	<b>85</b>	0.16	0.10	0.15	0.09	0.14	0.09	0.14	0.09
<b>180</b>	<b>104</b>	0.18	0.11	0.19	0.12	0.17	0.10	0.16	0.10



**Figure III.7 :** Effet de sable de déchets de brique sur l'absorption d'eau par capillarité après 97 jours de cure humide.

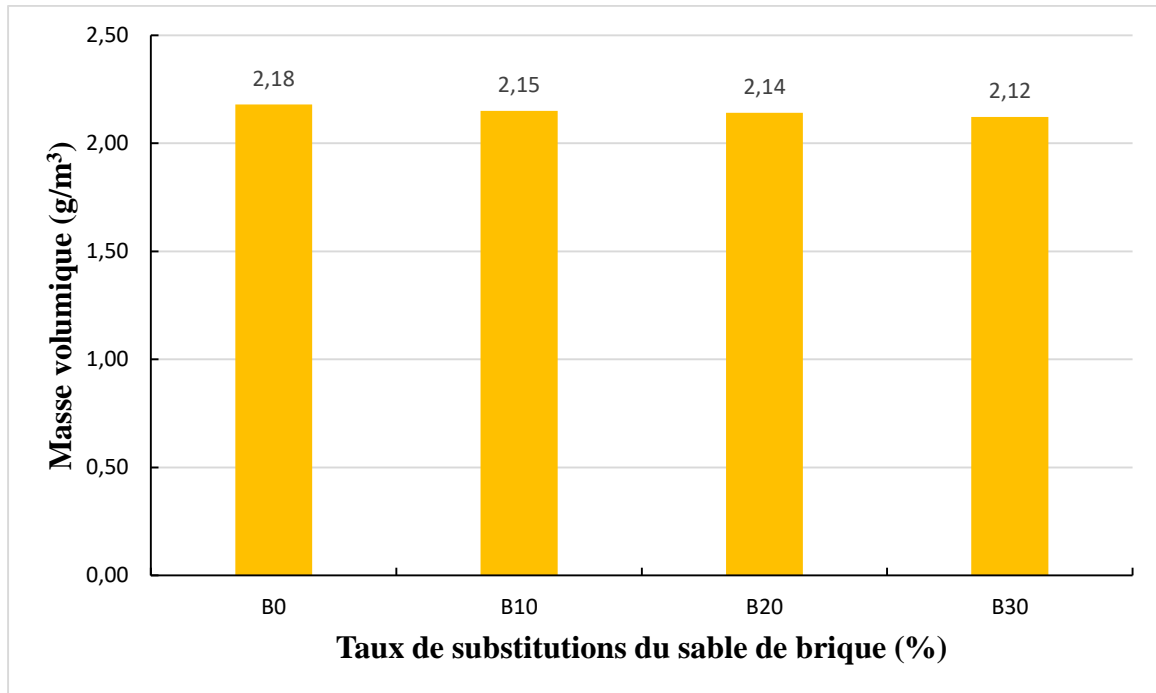
Ces résultats montrent que les comportements de l'ensemble des mélanges à base de déchets brique sont comparables par rapport au mortier de référence vis-à-vis de l'absorption capillaire. L'amélioration du fuseau granulaire apporté par les granulats de brique semble avoir compensé la porosité et l'absorption des granulats de brique.

### III.5.2 Effet de sable de déchets de brique sur la porosité accessible à l'eau

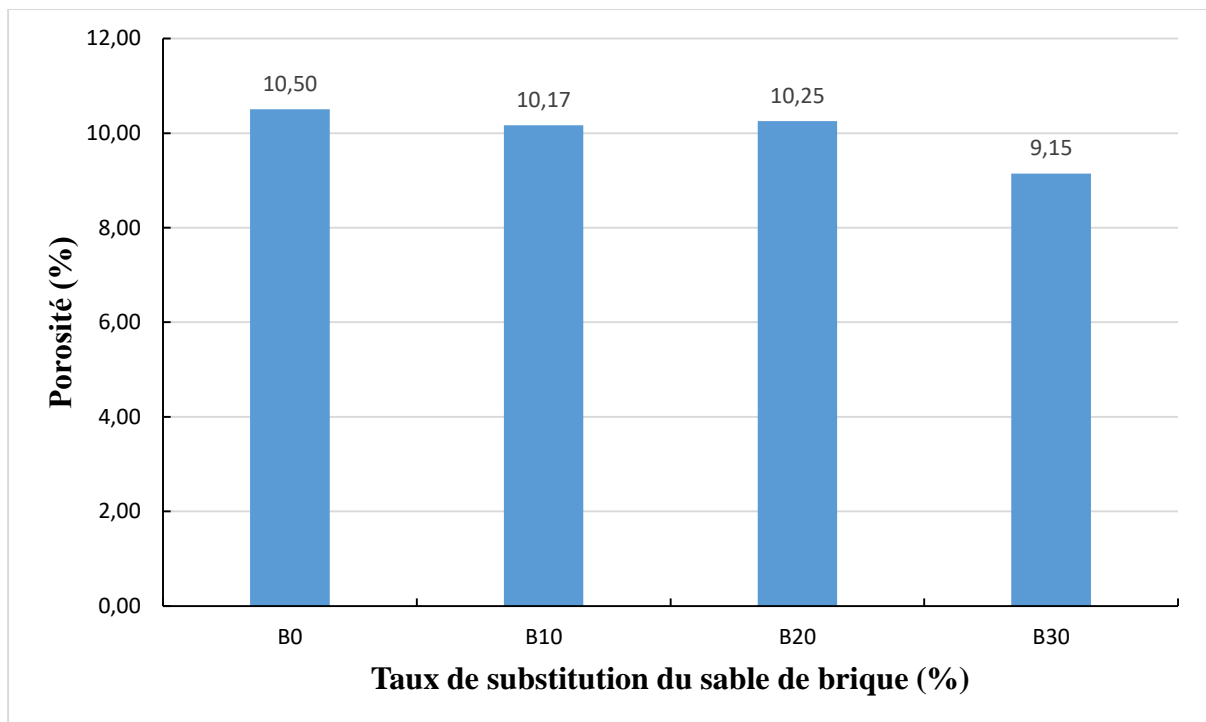
Les résultats des essais de masse volumique et de porosité accessible à l'eau après 97 jours de cure humide sont regroupés dans le tableau III.10 et les figures III.8 et III.9.

**Tableau III.10 :** Les valeurs moyennes de la masse volumique ainsi que la porosité accessible à l'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide

MAP	Msec	Meau	Mair	$\varphi$ (%)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>B0</b>	290.205	171.04	304.19	10.50	2.18
<b>B10</b>	269.615	156.98	282.36	10.17	2.15
<b>B20</b>	272.965	158.54	286.04	10.25	2.14
<b>B30</b>	277.22	158.55	289.165	9.15	2.12



**Figure III.8 :** Evolution de la masse volumique des différents MAP après 97 jours de cure humide.



**Figure III.9 :** Evolution de la porosité accessible à l'eau des différents MAP après 97 jours de cure humide.

Ces résultats montrent une légère diminution dans la masse volumique apparente et la porosité accessible à l'eau avec l'augmentation des taux de substitution du sable de déchets de brique à long terme.

Cela démontre que la compacité des mélanges à base de déchets de brique a été légèrement améliorée par rapport au mortier de référence. Cela peut expliquer aussi les résultats positifs obtenus précédemment.

### **III.6 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté les résultats des travaux expérimentaux de l'effet du sable de brique sur les MAP formulés de point de vue :

- Caractérisation du MAP.
- Caractéristiques à l'état frais en mini cône et en v-funnel.
- Caractéristiques à l'état durci en flexion et en compression.
- Durabilité des MAP en absorption capillaire, en porosité et en masse volumique apparente.

En se basant sur nos résultats de 7 jours, le MAP à base de sable de déchets de brique présente des performances comparables avec un gain léger par rapport à un MAP ordinaire.

L'étude de la faisabilité de l'utilisation du sable de déchets de brique dans les MAP a été réalisée en faisant varier le taux de substitution de 0%, 10%, 20% et 30%.

Un MAP à base de sable déchets de brique de 10% présente les meilleures performances (légèrement inférieur par rapport au MAP ordinaire à l'état frais) : bonne ouvrabilité et une résistance considérable.

La résistance mécanique du MAP à base de sable de déchets de brique à l'âge de 7 jours a augmenté et les meilleurs résultats ont été donnés par un taux de substitution de 20%.

Pour la résistance à 90 jours, les meilleurs résultats ont été donnés par un taux de substitution de 30%.

En ce qui concerne la durabilité, une légère diminution a été remarquée en augmentant le taux de substitution du sable de déchets de brique pour l'absorption capillaire, la porosité et la masse volumique.

## **Conclusion générale**

Notre étude expérimentale a été élaborée pour formuler des MAP à base sable recyclés de déchets de brique et analyser leur effet sur les propriétés physiques, mécaniques et durabilité sur les MAP. Les taux de substitution du sable naturel par du sable de déchets de brique sont : 0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Il est possible d'obtenir un MAP jusqu'à 30% maximum de substitution de sable naturel par du sable recyclé de déchets de brique.
- ✓ La substitution du sable naturel par le sable recyclé de brique provoque une perte d'ouvrabilité.
- ✓ La substitution du sable naturel par du sable recyclé de brique jusqu'à un taux de 30% donne des résultats de résistance à la compression comparable aux mortiers de référence. Une légère amélioration de la résistance à la compression a été observé à long terme.
- ✓ La résistance à la flexion a été améliorée pour l'ensemble des mélanges contenant les déchets de brique à court et à long terme.
- ✓ Les paramètres de durabilité d'absorption capillaire et de porosité ouverte et après plus de 90 jours de cure humide, les résultats sont comparables pour l'ensemble des mélanges par rapport aux mortiers de référence. Les déchets de brique ne semblent pas être perturbés ces paramètres de durabilité des MAP.

### **Recommandations**

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire a été limité malheureusement par le temps, à cet effet nous recommandons de le poursuivre par les travaux de recherches suivants :

- ✓ Effet du sable recyclé de brique sur les performances des BAP
- ✓ Effet de gravier recyclé de brique sur les performances des BAP
- ✓ L'effet de la finesse de déchets de brique sur les performances des MAP.

## Références

- [1] A. Attanasio e A. Largo, "Valorization of construction and demolition wastes: RE4 building solutions", vol. Vol. 4, apr. 2018.”
- [2] “Waste statistics - Statistics Explained". [On line]. Available at: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics). [Consulted: 16- mag-2018].”
- [3] M. del Río Merino, P. Izquierdo, e I. Salto-Weis, "Sustainable construction: Construction and demolition waste reconsidered", Waste Manag. Res. J. Int. Solid Wastes Public Clean. Assoc. ISWA, vol. 28, pagg. 118–29, set. 2009.
- [4] M. Lawrence e web-support@bath.ac.uk, "Reducing the environmental impact of construction by using renewable materials", J. Renew. Mater., vol. 3, pagg. 163–174, ago. 2015.
- [5] K. Yahiaoui, M. Sadki,"Propriétés de mortier autoplaçant à base de différents types de sables" Mémoire de Master 2, Faculté des sciences et de la technologie, Université de Djelfa, p. 70, 2017.
- [6] K. Bouali," Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires", Mémoire de Magister, Faculté des science de l'ingénieur, Université de Boumerdes 2014.
- [7] Berrahail I, Kherici S." Influence de l'effet du vieillissement sur l'écoulement et le compotement mécanique des BAP ", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Annaba 2020.
- [8] G. Abdallah, Gherzouli A, Rahali L." Etude des caractéristiques rhéologique et mécanique d'un mortier Auto-plaçant a base de fillers calcaire", Mémoire de Master 2, Faculté de technologie, Universite de M'sila 2019.
- [9] Myttenaere, Olivier et Beeldens, Anne." Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements en béton", 2009, p 03 .

- [10] Boudana E, Ben Fettacha M. " Compacité des bétons Autoplaçants aux différents Types de sables ", Thèse de Doctorat, Faculte des sciences et de la technologie, Universite de Djelfa 2016.
- [11] O.Meneses, "Le sable concassé – une solution au déficit global de sable ? - Metso Outotec," 2021. .
- [12] M.Venuat, "La pratique des ciments-mortiers et bétons. Tome 1: Caractéristiques des liants et des bétons, mise en oeuvre des coulis et mortiers," Collect. Monit, 1989.
- [13] Belhocine A, Nagoudi N." Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux ", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences appliquées, Université de Ouargla 2014.
- [14] J. Baron, Les bétons-bases et données pour leur formulation. 1996.
- [15] Afnor, Nf P15-301, "Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité", 1994.
- [16] Afnor, Nf EN 197-1 "Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants," 2012.
- [17] G. Dreux and J. Festa, "Nouveau guide du béton et de ses constituants, 8ème édition, Edition Eyrolles." Paris, 1998.
- [18] Afnor, Nf En 196-1," Méthode d'essais des ciments. Partie 1 Détermination des résistances mécaniques", 2006.
- [19] C. Lemaitre, " Mise en œuvre et emploi des matériaux de construction". Editions Eyrolles, 2012.
- [20] H. Fares, A. Noumowe, S. Remond, "Self-consolidating concrete subjected to high temperature: mechanical and physicochemical properties. Cement and Concrete Research", 2009, vol. 39, no 12, pp. 1230-1238. Université de Cergy Pontoise, 2009, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.08.001.
- [21] Bitar Z. " Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux ( calcaire ) sur le comportement mécanique ", Mémoire de Master 2, Faculté de technologie, Universite de M'sila 2016.



- [22] Abdelaziz B." Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons ", Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Constantine 2017.
- [23] Mohamed M." Etude de l'influence de la nature et les dimensions des fibre sur les propriétés rhéologique et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP)". Mémoire de Master 2, Université de M'sila 2015.
- [24] Yankwa D, Noel J." effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments géopolymères à base de scories volcaniques ", Thèse de Doctorat. Université de Yaoundé 2013.
- [25] S. I. A. Norme, "215: Liants minéraux," Société suisse des ingénieurs des Archit. Zurich, 1989.
- [26] D. Boukhelal," Adjuvants chimiques" Cours. Université Yahia Fares de médéa.
- [27] AFGC," Recommandations pour l'emploi des bétons Auto-plaçants". Association Française de Génie Civil," pp. 64, 2008.
- [28] M. Yurugi, N. Sakata, M. Iwai, and G. Sakai, "Mix proportion for highly workable concrete," Proc. Concr., pp. 579–589, 2000.
- [29] S. Tangtermsirikul, J. Sakamoto, T. Shindoh, and Y. Matsuoka, "Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and the role of a new type of viscosity agent," Reports Tech. Res. Inst., vol. 24, pp. 369–376, 1991.
- [30] F. de Larrard, F. Bosc, C. Catherine, and F. Deflorenne, "La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances," Bull. des Lab. des ponts chaussées, vol. 202, pp. 61–69, 1996.
- [31] T. Sedran, "Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants," Thèse de Doctorat, L'Ecole Nationale. Des Ponts et Chaussées, 1999.
- [32] Y. M. S. Kuroiwa M. Hayakawa, and T. Shindoh, "Application of Super workable concrete to construction of a 20-Story Building," ACI Symp. Publ., vol. 140, doi: 10.14359/3909.

- [33] T. Shindoh, Y. Matsuoka, S. Tangtermsirikul, and J. Sakamoto, "Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete," *Trans. Japan Concr. Inst.*, vol. 14, pp. 71–78, 1992.
- [34] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete. Development, present use and future," in *Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 1999, pp. 3–14.
- [35] H. Okamura, K. Ozawa, and M. Ouchi, "Self-compacting concrete," *Struct. Concr.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–17, 2000.
- [36] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete," *J. Adv. Concr. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–15, 2003.
- [37] K. H. Khayat, J. Assaad, and J. Daczko, "Comparison of field-oriented test methods to assess dynamic stability of self-consolidating concrete," *Mater. J.*, vol. 101, no. 2, pp. 168–176, 2004.
- [38] Z. Hamadache, "Formulation et performances d'un béton autoplaçant incorporant des granulats en caoutchouc" *Mémoire de master*. Université de Blida 1. 2016.
- [39] B. Benabed, E.-H. Kadri, L. Azzouz, and S. Kenai, "Properties of self-compacting mortar made with various types of sand," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 10, pp. 1167–1173, 2012, doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007.
- [40] A. R'mili, "Étude de formulation et de comportement des bétons auto-plaçants: Incorporation du sable de concassage et du sable du désert". Noor Publishing, 2016.
- [41] F. Habeta, I. Kaddour, "L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers", *Mémoire de Master 2*, Faculté des sciences et de la technologie, Université de M'SILA, 2019.
- [42] S. Kadid, Z. Boucetha, "Influence des milieux de conservation sur la durabilité des mortiers autoplaçants", *Mémoire de Master 2*, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Boumerdes, 2017.

- [43] R. Jin and Q. Chen, "Investigation of concrete recycling in the U.S. Construction Industry," *Procedia Eng.*, vol. 118, pp. 894–901, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.528.
- [44] National Concrete Pavement Technology Center, "Recycling concrete pavement materials : A Practitioner's Reference Guide," 2018.
- [45] National Waste Agency, "Caractérisation des déchets ménagers et assimilés", vol. 213, no. 0, 2019.
- [46] AND, "Rapport Sur La Gestion Des Dma Dans La Wilaya D'Alger," *Minist. L'Environnement Des Energies Renouvelables*, 2017.
- [47] *Revue de Presse Speciale, "Catastrophes naturelles"*, 2019," pp. 92–95, doi: 10.3917/ifri.demon.2011.01.0092.
- [48] CNES - Conseil National Economique et Social, "L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : Inquiétudes actuelles et futures," p. 112, 2003, [Online]. Available: <http://www.cnes.dz/cnes/wp-content/uploads/Rapport-sur-l'urbanisation-et-les-risques-naturels-et-industriels-en-Algérie.pdf>.
- [49] N. Bourmatte, "Granulats Recycles De Substitution Pour Betons Hydrauliques", Thèse de Doctorat, Faculté des sciences et de la Technologie, Université de Constantine, 2017.
- [50] Rapport Technique-Bâtiments exemplaires, " L'utilisation de granulats issus du recyclage", *Igarss*, no. 1, p. 24, 2014.
- [51] R. Hadjieva-Zaharieva, "Durabilité des bétons à base de granulats recyclés", Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 1998.
- [52] V. Bastone, A. Rey, " Guide d'utilisation des déchets recyclés pour le BTP à la Réunion", Rapport final, 2012.
- [53] J. Hulttinen, "How recycled concrete and asphalt are changing the game", <https://www.mogroup.com/insights/blog/aggregates/how-recycled-concrete-and-asphalt-are-changing-the-game/>, May .
- [54] S. Saadani and H. Houari, "Comportement des bétons à base de granulats recyclés." Université Mentouri Constantine, 2014.

- [55] Brick - Wikipedia.” <https://en.wikipedia.org/wiki/Brick>”.
- [56] What Determines the Colour of a Brick? / Vandersanden,  
<https://www.vandersanden.com/en-uk/what-determines-colour-brick>.
- [57] Composition of Bricks - Function of Ingredients - Civil Engineering.”  
<https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/132-brick-composition-ingredients-with-functions>”.
- [58] M. Si-Ahmed and S. Kenai, “Behavior of Self-compacting Mortars Based on Waste Brick Powder,” *Curr. Mater. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 39–44, 2020,  
doi: 10.2174/2666145413666200219091459.
- [59] M. Karatas, K. Turk, M. Acikgenc, and Z. C. Ulucan, “Effect of elazig region waste brick powder on strength and viscosity properties of self compacting mortar,” *Program*, no. September, pp. 27–30, 2010.
- [60] E. Tabarelli, “The recycling of crushed waste bricks in the self-compacting mortar”, *Mémoire de Master 2, Faculté des sciences appliquées, Université de Liège* 2018.
- [61] B. Safi, Y. Ghernouti, B. Rabehi, and D. Aboutaleb, “Effect of the heat curing on strength development of self-compacting mortars containing calcined silt of dams and ground brick waste,” *Mater. Res.*, vol. 16, no. 5, pp. 1058–1064, 2013,  
doi: 10.1590/S1516-14392013005000094.
- [62] H. W. Reinhardt and M. Stegmaier, “Influence of heat curing on the pore structure and compressive strength of self-compacting concrete (SCC),” *Cem. Concr. Res.*, vol.36, no.5, pp. 879–885, 2006,  
doi: 10.1016/j.cemconres.2005.12.004.
- [63] I. Demir, H. Yaprak, and O. Simsek, “Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions,” *Ceram. - Silikaty*, vol. 55, no. 3, pp. 268–275, 2011.
- [64] D. Aboutaleb, B. Safi, K. Chahour, and A. Belaid, “Use of refractory bricks as sand replacement in self-compacting mortar,” *Cogent Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1080/23311916.2017.1360235.
- [65] A. Ghrieb and Y. Abadou, “Use of crushed clay brick waste as dune sand

- granular corrector in mortar manufacturing,” *J. Mater. Eng. Struct.*, vol. 6, no. 3, pp. 397–408, 2019.
- [66] F. Bektas, K. Wang, and H. Ceylan, “Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1909–1914, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.006.
- [67] V. Sata, A. Sathonsaowaphak, and P. Chindapasirt, “Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack”, vol. 34, no. 5, pp. 700–708, 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.01.010.
- [68] ASTM C1585-11, “Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes”, ASTM International, West Conshohocken, PA , [www.astm.org](http://www.astm.org), vol. 41, pp. 1–6, 2013. <https://doi.org/10.1520/C1585-11.2>.
- [69] NF P 18-459, “Béton - Essai pour béton durci - Essai de porosité et de masse volumique,” 2010.

## Feuille de calcul utilisé :

Essais sur M+A1:K38ortier						Entrer data dans cellules en rouge	
						Valeurs calculées dans cellules en noir	
Référence du mélange	Essai 1	CEM I 42,5 ( LAFARGE)			Date : 23 juin 2021		
		substitué par la Pouzzolane naturel Algérien à X%					
volume de mortier (litres)	1.8						
sable/mortier par volume	0.5						
E/P par vol.	1.0489	poudre vol (%)	24.40	Eau volume (%)	25.60		
E/P par poids	0.3800						
composition Poudre(vol %)							
ciment portland	100						
pouzzolane	0						
superplast - MEDAFLOW30	1.15	% (Sp/P)					
humidité sable							
		humidité (%)	absorption (%)	correction (%)			
poids humide (gms)	300	0.0	1.5	-1.5			
poids sec (gms)	300						
Materiaux/Type		vol	densité	contenance d'eau		poid mélange	
		litres	kg/m <sup>3</sup>	kg	%	kg	kg
ciment	0.439	2760					1.212
Laitier	0.000	2500					0.000
Eau	0.461	1000	0.461			0.486	W1 0.341
			total				W2 0.146
							0.486
superplast - MEDAFLOW30		1075	0.014	70	0.010	0.014	
Sable	0.900	2628	2.365	-1.5	-0.035	2.330	
Total	1.800					4.042	
		E/P par poids =	0.3800				

## FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

**MATINE**  
Ciment pour béton exigeant  
CEM II/B 42,5 N NA 442



**MATINE** est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO<sup>2</sup>) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup>) et le fer (Fe<sup>2</sup>O<sup>3</sup>). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro-cristaux de silicates de calcium hydratés.

**MATINE** présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94.

### Domaine d'utilisation :

**MATINE** est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .etc.) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de dessalement, .etc.) ;
- Secteur industriel.

#### Algerian Cement Company (SPA)

Hammarz Dala, M'sila (ACC)  
Tel: +213.35.50.78.20  
Fax: +213.35.56.70.30

#### Direction générale

33, Rue des Pins Hydr. Alger  
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65  
Fax: +213 (0) 21 48 16 71

#### Ciment Blanc Algérie (SPA)

Usine Oggaz (CIBA)  
BP 67, 29350, Mascara  
Tél / Fax : +213 (0) 45 94 88 98



# MEDAFLOW 30

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

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

## Description

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

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

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

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

## Domaines D'application

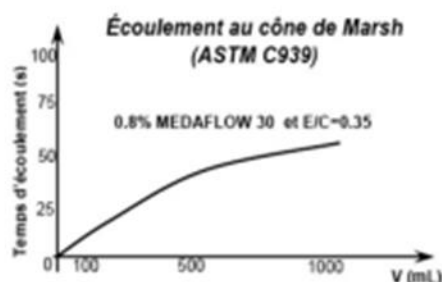
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages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

## Propriétés

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

Sur béton frais :

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



## Sur béton durci :

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

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1,4%)	39.2	54.7	62.2

## Caractéristique

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

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



Granitex  
قرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

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

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





# **Introduction Générale**

**Chapitre I**  
**Revue Bibliographique**

# **Chapitre II**

## **Matériaux et Essais**

# **Chapitre III**

## **Résultats et Discussions**

# **Conclusion Générale et Recommandations**

## **Références**

# **Annexes**