REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : MATERIAUX

Etude des propriétés d'un mortier autoplaçant avec un mélange de poudre de verre et de brique pour différentes finesses

---

Présenté par :

YESSERI IMENE

TABTI MANEL

Proposé et Dirigé par :

Mr BENTCHIKOU MOHAMED

Promotion 2020

REMERCIMENT

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à mon encadreur **Mr BENTCHIKOU MOHAMED** pour avoir accepté de nous prendre en charge.

Nous voudrions aussi remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Que tous les membres du jury trouvent ici l'expression de nos profonds Respects pour avoir pris la peine d'examiner notre mémoire.

Nos remerciements vont également à tous ceux et celles qui, de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Je dédie ce travail

A mon père

A ma mère

A mes frères et mes sœurs

A mon fiancé

A tous mes amis

IMENE

Je dédie ce travail

A ma mère

A mes sœurs

A mon fiancé

A tous mes amis

MANEL

ملخص

نناقش في هذا البحث الخصائص الفيزيائية والديمومة للاسمنت المصنع انطلاقا من بقايا الآجر المطحونة و بقايا الزجاج المطحونة و تستعمل هذه الأخيرة كبديل جزئي للكلنكر في الاسمنت المركب الذي يتم إنتاجه من خلال طحن و تجانس الكلنكر مع بقايا الآجر و الزجاج .

نضرا للظروف الراهنة لهذه السنة لتواجد كوفيد 19 لقد عملنا فقط على الجزء المتعلق بالآجر ولم يكن هناك الوقت الكافي لعمل المزيجين الآجر والزجاج

حيث تم تحديد خمس عينات تختلف فيها نسبة الآجر المضافة وهي بالمائة 0.4.8.12.16.20

إن إدخال غبار الآجر في الاسمنت يحسن من أداء و صلابة الملاط المكون من هذا الاسمنت مقارنة مع الاسمنت الشاهد بدون إضافة الآجر.

الكلمات المفتاحية: الملاط , التسوية الـذاتية, نفايات الزجاج و الآجر, الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية, المسامية, الشعيرية.

Résumé

Nous discutons dans ce travail de recherche les caractéristiques physiques et de durabilité des nouveaux ciments fabriqués à base des déchets broyés de brique et de verre. Ces déchets sont utilisés comme une substitution partielle du clinker dans le ciment. Les ciments composés ainsi produits sont obtenus par broyage et homogénéisation du clinker, déchets de brique et du verre.

D'après les conditions que nous avons vécu cette année du Covid 19 on a travaillé juste sur la partie de la brique on n'a pas eu le temps pour faire le mélange brique et verre.

Cinq compositions contenant 0, 4, 8,12, 16 et 20 % de déchets de brique sont préparées et soumises à différents essais de caractérisation.

L'introduction de la poudre de brique dans le ciment à améliorer les performances de durabilité des mortiers formulés à base de ce ciment par rapport au mortier de référence préparé avec 0% d'ajout.

Mots clés : Mortier autoplaçant, Déchets de verre et de brique, Caractéristiques mécaniques et physiques, porosité, capillarité.

Abstract

In this research, we discuss the physical and durability characteristics of new cements prepared with waste crushed brick and glass. This waste is used as a partial substitution of clinker in cement. The composite cements thus produced are obtained by grinding and homogenizing clinker, waste brick and gypsum.

Given the current conditions for this year for the presence of the virus covid 19 we have only worked on the pay part and there was not enough time to make the mixture between brick and glass

Five compositions containing 0, 4, 8 12 16 and 20 % of waste brick and glass are prepared and subjected to various characterization tests.

The introduction of brick powder in cement improved the durability performance of mortars formulated with this cement compared to the reference mortar prepared with 0% addition.

Key words: Self-compacting mortar, waste brick and glass, physical and mechanical characteristics, Porosity, Capillarity.

Nomenclature :

BAP	Béton autouplaçant
MAP	Mortier autouplaçant
RP	L'étalement relatif
D	Diamètre d'étalement
E	Eau
CEMI 42.5R	Ciment portland ordinaire de classe 42.5MPa
PB	Poudre brique
PV	Poudre de verre
TV	Temps vide
BO	Béton ordinaire
ATG	Analyse thermogravimétrique
DRX	Diffractométrie de rayon (x)
E/C	le rapport eau sur ciment
R	Résistance
LCPC	Laboratoire centrale des ponts et chaussées
S/M	Le rapport sable/Mortier
PBR	Poudre de brique recyclé
PVR	Poudre de verre recyclé
RAS	Réaction de la silice
SP	Super- plastifiant
MT	Mortier témoin
MP	Mortier autoplaçant à base de poudre de brique
SPRE	Super-plastifiant haut-réducteur

E/L	Le rapport eau sur liant
G/S	Le rapport gravier sur sable
S/M	Le rapport sable sur mortier
MAPT	Mortier autouplaçant témoin
σ	La contrainte de flexion
M	Moment de flexion
I	Moment d'inertie
V	La distance de la fibre la plus éloignée
SP/C	Le rapport super plastifiant/ciment
P	La porosité
Ab	L'absorption d'eau par immersion
Ma	Masse de l'échantillon imbibé d'eau
Ms	Masse de l'échantillon sec
MF	Module de finesse

SOMMAIRE

Introduction générale…….....1

CHAPITRE Ⅰ : Concept et caractérisations du mortier autoplaçant

1. Introduction.....2

2. Définition de BAP.....2

3. Mortier.....3

3.1. Définition de mortier.....3

3.2. Constituant de MAP…….....3

3.3. Méthodes de formulation.....4

3.3.1. Méthode d'Okamura.....4

3.3.2. Méthode Suédoise.....5

3.3.3. Méthode Française.....5

3.4. Caractérisation de MAP…….....6

3.5. Essais de l'étalement au Mini cône de mortier……..8

3.6. Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel) 8

4. Conclusion.....10

CHAPITRE Ⅱ : Les déchets de Brique et de Verre.

Introduction.....12

1. Définition de déchets.....12

2. Déchets utilises en génie civil.....13

2.1. Laitiers de haut fourneau.....13

2.2. Laitier d'acier.....13

2.3. Marbre.....14

2.4. Céramique.....15

2.5. Boues rouges…….....15

2.6. Béton récupéré.....16

2.7. Verre de récupération…….....16

2.8. Sciure de bois…….....17

2.9. Brique concassée.....…….....18

3. Déchets de brique...…….....18

3.1. Définition de brique…….....19

3.2. Les type de brique ….....19

3.3. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques 20

3.4. Mode de fabrication de brique.....20

3.5. Valorisation des déchets de la brique.....21

3.5.1. Réutilisation…….....21

3.5.2. Recyclage…….....22

3.6. L'utilisation de la brique dans le domaine de génie civil..... 22

3.7. Utilisations des bétons des déchets de brique.....22

3.8. Effet de la brique sur la durabilité du mortier.....24

3.9. La sportivité.....28

3.10. Expansion.....29

4 .Conclusion.....30

5. Déchet de verre.....31

5.1. Définition du verre.....31

5.2. Utilisation de verre dans le domaine de génie civil.....32

5.2.1. Le verre et les routes.....32

5.2.2 .Le verre et les bâtiments.....33

5.3. Définition de poudre de verre.....33

5.4. Valorisation de verre dont le béton…….....34

5.5. Comportement du verre dans un milieu cimentaire.....34

5.6. Réaction pouzzolanique du verre…….....35

5.7. Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes.....36

5.8. L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane…….....36

5.9. Réaction alcali-silice du verre.....36

5.10. Caractéristique du verre dans le béton…….....37

5.10.1 .Comportement à l'état frais du béton…….....37

b-Maniabilité du béton .....….....37

a-Effet du verre broyé sur le temps de prise…….....37

5.10.2. Effet de la poudre de verre sur l'état durci.....38

5.10.3. Effet de la densité de l'addition.....38

5.10.4. Effet de la surface spécifique…….....38

5.10.5 .Effet de la distribution granulaire.....39

5.11 .Action de la poudre de verre sur le comportement mécanique du béton ….....39

5.11.1. Resistance a la compression….....39

5.11.2. Resistance a la flexion….....40

6. Conclusion.....41

CHAPITRE Ⅲ : Matériaux utilisés et Essais réalisés.

1. Introduction.....42

2. Caractéristiques des matériaux.....43

2.1. Sable….....43

2.2. Ciment….....44

2.3. La brique…….....46

2.4. Adjuvant.....46

2.5. L'eau de gâchage.....47

3. Essais.....47

3.1. Essais effectués sur la brique et le verre.....47

3.1.1. Recyclage.....47

3.1.2. Préparation des fines recyclées.....47

3.2. Essai d'équivalent de sable.....48

3.3. Essai de la masse volumique.....49

3.4. Formulation du mortier autoplaçant..... 49

3.5. Formulation du mortier autoplaçant a base de poudre de brique…….....50

3.6. Confection et Cure des éprouvettes…….....52

3.6.1. Malaxage du mortier autoplaçant.....52

3.6.2. Préparation des éprouvettes.....53

3.6.3. Conservation des éprouvettes….....54

3.7. Essai sur mortier durci.....55

3.7.1. Essai de Résistance à la compression.....55

3.7.2. Essai de traction par flexion……..…55

3.7.3. Essai du retrait et gonflement…….....….....56

3.7.4. Essai d'Absorption capillaire.....56

3.7.5. Essai d'Absorption par immersion.....57

3.7.6. Essai de porosité.....57

CHAPITREⅣ : Résultats et interprétations

1.A l'état frais.....59

1.1. L'étalement.....59

1.2. V-Funnel.....60

2. A l'état durci.....61

2.1 .Le retrait.....61

2.2. Gonflement. 63

3.Conclusion.....65

Conclusion générale.....66

Liste des figures

CHAPITRE Ⅰ

Figure Ⅰ.1 : Coulage de BAP dans une dalle très encombrée [Holcim]……..2

Figure Ⅰ.2 : Constituants des mortiers [Bouali] ……...3

Figure Ⅰ.3 : Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Guellil en 2012] ….....7

Figure Ⅰ.4 : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône de pâte…….8

Figure Ⅰ.5 : Étalement au Mini cône de mortier [Benchaa.2014]……...…8

Figure Ⅰ.6 : Essai de l'entonnoir en V [K. KHAYAT]……..……...9

Figure Ⅰ.7 : Déroulement de l'essai d'entonnoir en V [Benchaa.2014] …….9

CHAPITRE Ⅱ

Figure Ⅱ.1 : Laitier de haut fourneau…….....……13

Figure Ⅱ.2 : Laitier d'acier….....14

Figure Ⅱ.3 : Marbre…….....……14

Figure Ⅱ.4 : Céramique.....….....15

Figure Ⅱ.5 : Boue rouge.....….....15

Figure Ⅱ.6 : Béton récupéré.....……..16

Figure Ⅱ.7 : Déchets de verre……...17

Figure Ⅱ .8 : Sciure de bois.....17

Figure Ⅱ.9 : Brique concassé.....…….…….18

Figure Ⅱ.10 : Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des mortiers ……..24

Figure .II. 11 : Image MEB des mortiers témoins à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours.....……..25

Figure .II. 12 : Image MEB des mortiers avec 40 % de poudre de brique à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours.....…….....25

Figure II. 13 : Résultats du coefficient de diffusion des ions chlorures (CEM I, Mortiers PB10 et PB20).....……..……26

Figure II. 14 : Résistance à la compression des mortiers étudiés.....……..27

Figure II. 15 : Résistance à la flexion des mortiers étudiés.....……..……27

Figure Ⅱ.16Sorptivité des mortiers M1B0, M1B10, M1B20, M1B30 et M1B40.....……..28

Figure Ⅱ.17.Expansion et perte de masse des mortiers contenant des déchets de bique B, D, L et P...……...……..29

Figure Ⅱ.18 : Représentation schématique plane d'un réseau vitreux…….....31

Figure Ⅱ.19 : Les routes est les ponts en verre……...……32

Figure Ⅱ.20 : Les bâtiments en verre…….……33

Figure Ⅱ.21 : Poudre de verre……....33

Figure Ⅱ.22 : Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différente.. …….……35

Figure Ⅱ.23 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers avec E/L=0.55 et différents pourcentages en PV.....40

CHAPITRE Ⅲ

Figure III.1.Courbe granulométrique d'oued souf……...…….43

Figure Ⅲ.2 : Le sable utilisé….....44

Figure Ⅲ.3 : Le ciment utilisé ……..44

Figure III.4 : La poudre de brique……..…46

Figure Ⅲ.5: super-plastifiant Midaflow145…….……47

Figure Ⅲ.6 : Différentes étapes de préparation de la poudre de brique et de verre…....48

Figure Ⅲ.7 : Essai d'équivalent de sable……..48

FigureⅢ.8.Séquence de malaxage du mortier autoplaçant……...….53

Figure Ⅲ.9. Malaxeur a mortier ……...53

Figure Ⅲ.10.Eprouvettes confectionnées……..…..54

Figure Ⅲ.11.Conservation des éprouvettes….....54

Figure Ⅲ.12 : Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression du mortier …...55

FigureⅢ.13 : Essai de retrait……....56

Figure Ⅲ.14 : Essai d'absorption par capillarité……...56

CHAPITREⅣ

Figure Ⅳ.1. Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique.....…...59

Figure Ⅳ.2.Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les trois finesses de la poudre de brique……..……...……60

FigureⅣ.3. Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 3300 cm^2 /g…….……...…..…61

FigureⅣ.4. Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 4400 cm^2 /g…….……..…..62

Figure Ⅳ.5. Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 6200 cm^2 /g…….……..…..62

Figure Ⅳ.6. Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 3300 cm^2 /g……..…….63

Figure Ⅳ.7. Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 4400 cm^2 /g…….……..…….64

Figure Ⅳ.8.Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 6200 cm^2 /g……...…….……65

Liste des tableaux

Tableau Ⅲ.1 : Composition chimique et minéralogique di ciment…….....45

Tableau Ⅲ.2: Caractéristique du ciment utilisé……..…45

Tableau Ⅲ.3 : Composition des mortiers avec finesse 1 (F1=3300 cm^2 /g) …….....51

Tableau Ⅲ.4: Composition des mortiers avec finesse 2 (F2=4400 cm^2 /g) …….....51

Tableau Ⅲ.5: Composition des mortiers avec finesse 3 (F3=6200 cm^2 /g) …….....…51

Introduction générale :

L'objectif de ce travail de recherche est la caractérisation physique et l'étude de durabilité des nouveaux ciments composés fabriqués par substitution d'une partie du clinker par les déchets de brique rouge et de verre finement broyés. Ces déchets de l'industrie des produits se trouvent relativement en abondance en Algérie. Ils représentent entre 10 à 15% de la production nationale qui s'élève, en 2016 à plus de 30 millions de tonnes et restent peu ou pas recyclées jusqu'à présent. Ce nouvel ajout (poudre de brique, poudre de verre) n'entre pas dans le champ de la norme en vigueur en Algérie NA 442, mais son utilisation dans l'industrie du ciment présente plusieurs avantages techniques, économiques et environnementaux à savoir :

-Amélioration de la résistance mécanique, l'imperméabilité et la résistance aux attaques chimiques et la résistance à la fissuration d'origine thermique.

-L'ajout est un sous-produit et par conséquent son cout et pratiquement le cout de transport ce qui réduit le prix du ciment et du béton.

-Réduire les émissions du gaz carbonique(CO_2) à effet de serre généré par la fabrication du clinker (la production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique).

Notre travail de recherche vise à étudier les propriétés d'un nouveau matériau à liant formé par du ciment composé obtenu par le broyage et l'homogénéisation du clinker, des déchets de brique et de verre à différent taux de substitution du clinker variant de 0 à 20%.

La démarche suivie consiste dans un premier temps, à caractériser les matières premières utilisées et dans une seconde étape, on cherchera à évaluer, à partir d'un protocole expérimental détaillé, les différentes performances physiques, mécaniques et de durabilité du nouveau liant.

CHAPITRE Ⅰ : Concept et caractérisations du mortier autoplaçant

1. Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous allons essayer de faire une description générale issue de notre recherche bibliographique sur toutes les principales notions à traiter dans notre étude. Nous allons donner une présentation générale sur les propriétés de pâte et mortier autoplaçant. Nous allons surtout basé sur leurs applications dans la construction, les différents types et les principales caractéristiques. Dans ce chapitre nous allons faire aussi une synthèse sur les différents travaux de recherche qui ont été fait sur le thème de notre étude, pour la confection des bon mortiers autoplaçant , où nous allons exposer les principaux résultats obtenus.

2. Définition de BAP :

Les BAP sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité, grâce à leur formulation, homogénéité et stabilité, Il épouse ainsi des formes de coffrage les plus complexes [Rmili] .[1]

En général, les BAP possèdent les mêmes constituants que les bétons ordinaires, à savoir, le ciment, l'eau, le sable et le gravier. À ces quatre constituants viennent s'ajouter les fines et les adjuvants selon la propriété demandée. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.



Figure I.1 : Coulage de BAP dans une dalle très encombrée [Holcim].**[2]**

3. Mortiers :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon [Bouali] [3]

3.1. Définition de mortier :

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. [BOUALI. K]. [3]

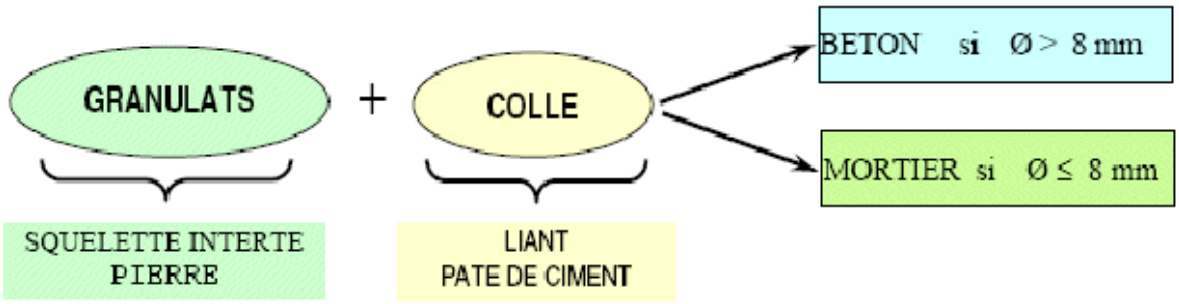


Figure I.2: Constituants des mortiers [Bouali].[3]

3.2. Constituant de MAP :

Le MAP est caractérisé par:

a. Un volume de pâte élevé

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres [AFGC].[4].

b. Une quantité importante de fines

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contient une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire [Yurugi& al.],[5]

voire ternaire [Tangtermsirikul& al.].[6] ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice.

c. Un fort dosage de super-plastifiant

L'introduction de dosage relativement important de super-plastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [de Larrard& al.].[7] peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

d. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal [Sedran]. [8] Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage [Kuroiwa& al.].(9] & [Shindoh& al.].[10].

3.3. Méthodes de formulation :

3.3.1. Méthode d'Okamura :

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [Okamura et al. 1999, 2000 et 2003].[11] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée **« méthode japonaise »**, on doit passer par les étapes suivantes :

a- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité…).

b- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.

c- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.

d- 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 « Rp » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP» qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales [Okamura et al. 1999;Domone et al. 1997].[11]

$$Rp = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1$$

Avec « Rp » l'étalement relatif et « d » le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

3.3.2. Méthode Suédoise: proposée par [Petersson et al, 1996] :

La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995].[6]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Les fines, l'eau et le super-plastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée.

Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat.

3.3.3. Méthode Française :

Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994].[7]:

Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents

constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- les distributions granulaires.
- les proportions du mélange.
- la compacité propre.
- la densité apparente.

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante:

- la proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple).
- le dosage, à saturation, du super-plastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- le besoin en eau de ce mélange (en présence du super-plastifiant) est déterminé.
- les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104 La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/ phase liante sont optimisées.
Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en super-plastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes
.

3.4. Caractérisation de MAP à l'état frais :

3.4.1. Fluidité et déformabilité de MAP :

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids.
Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation

du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers [Khayat& al.].[12].

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte.
Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des super-plastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [Khayat et al. 2004].[12]. En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées

3.4.2 .Étalement au Mini cône de pâte :

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre.
La poudre étant le ciment ou l'addition minérale mesurer l'étalement relatif «équationRp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant [Rmili].[1].

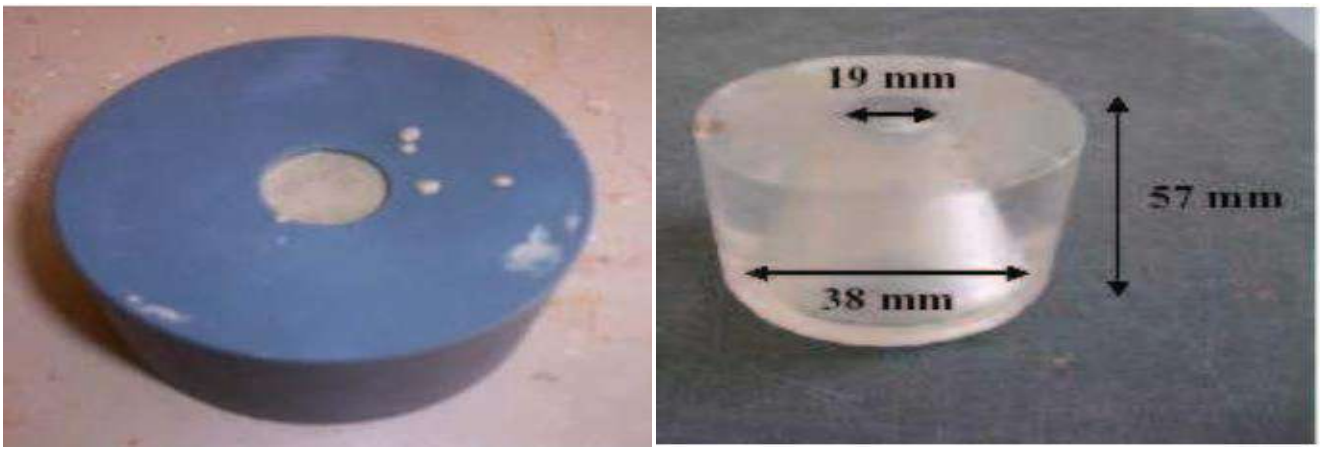


Figure I.3: Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Guellil en 2012].[13].



Figure I.4 : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône de pâte.

3.5. Essais de l'étalement au Mini cône de mortier :

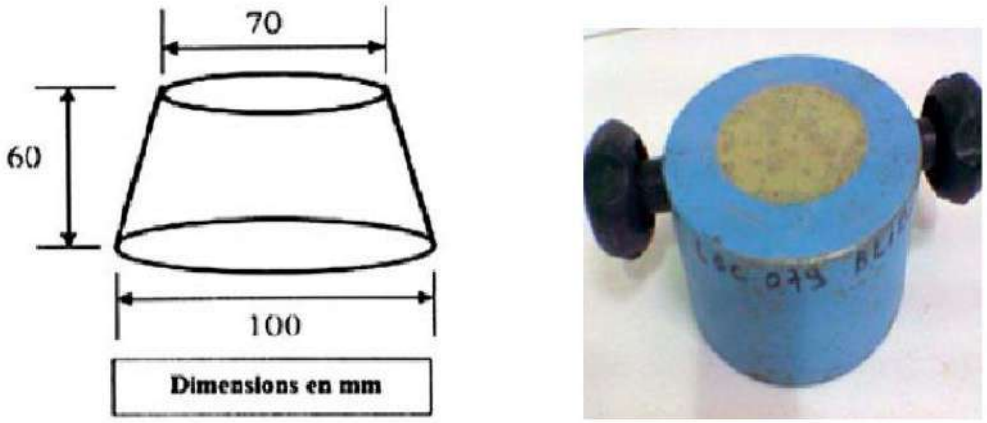


Figure I.5 : Étalement au Mini cône de mortier [Benchaa.2014].[14].

3.6. Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel) :

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP.

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (Tv) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide (Fig. 1.6.). Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer

l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter-granulaire élevé.

L'EFNARC définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) : Tv ≤ 6 secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et 9 ≤ Tv ≤ 25 pour les autres cas [Rmili].[1].

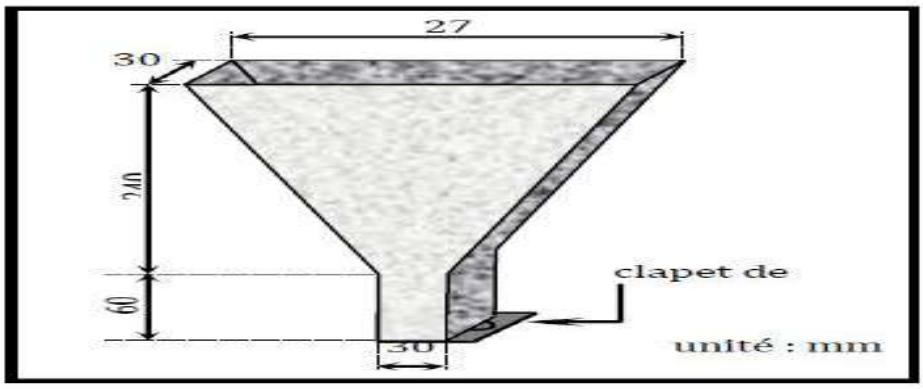


Figure I.6 : Essai de l'entonnoir en V [K. KHAYAT].[14].



Figure I .7: Déroulement de l'essai d'entonnoir en V [Benchaa.2014].[14].

4. Conclusion :

Les MAPs et BAPs, sont des nouvelles générations de béton venant du Japon est apparue ces dernières années. Ce sont des bétons très fluides et se mettent en œuvre sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration, même dans des coffrages complexes et très encombrés, tout en donnant un produit final homogène.

La principale difficulté de fabriquer de tels bétons est que l'on recherche à concilier des propriétés a priori contradictoires ; d'une part, une grande fluidité et déformabilité et, d'autre part, une haute stabilité afin d'obtenir finalement un béton très maniable. Pour satisfaire ces exigences rhéologiques, la formulation des BAP doit renfermer une forte teneur en pâte au détriment de celle des gravillons.

De plus, il est nécessaire d'ajouter, à cette formulation, au moins une addition minérale et un super-plastifiant en proportions bien précises. Ajoutons, enfin, que l'utilisation des agents colloïdaux est éventuelle.

Grâce à leur formulation, les MAP possèdent généralement de bonnes résistances mécaniques et de durabilité, et dépendent bien sûr de la teneur en eau et de la nature du liant. En revanche, il faut prévoir un module élastique plus fiable que pour des BO de même résistance à la compression. À l'opposé, les déformations différées, retrait et fluage sont susceptibles d'être augmentées.

L'optimisation de la formulation des MAP nécessite un réglage minutieux de plusieurs paramètres. En effet, la nature et le dosage d'additions minérales et la concentration en super-plastifiant et en agent colloïdal sont des paramètres clés pouvant avoir une influence significative sur les performances des MAP.

CHAPITRE Ⅱ : Déchets de Brique et de Verre.

Introduction :

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

L'usage de déchet de brique pour la fabrication du béton est jugé à un niveau bas de recyclage, peut-être à cause de manque de recherches dans leur application et utilisation en construction et des routes. Il faut ajouter que la brique à cause de son mauvais comportement en compression et avoir un haut degré d'absorption d'eau ne peut pas être utilisée facilement dans le béton.
Ce genre de déchet est une menace sérieuse pour l'environnement et hygiène des eaux souterraines. De surcroît il a un aspect qui frappe désagréablement a l'œil.
Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, et demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé.

1. Définition des déchets :

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

2. Déchets utilisés en génie civil :

2.1. Laitiers de haut fourneau :

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



Figure II.2: Laitier de haut fourneau

2.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique métastable ;il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.[15]



Figure II.2 : Laitier d'acier

2.3. Marbre :

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

Les déchets du marbre ont été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions.

Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels.



Figure Ⅱ .3.Marbre

2.4. Céramique :

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



Figure Ⅱ.4 : Céramique

2.5. Boues rouges :

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



Figure Ⅱ .5 : Boue rouge

2.6. Béton récupéré :

Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées. [16].



Figure II.6: Béton récupéré

2.7. Verre de récupération :

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année .En général ,la résistance du béton contenant du verre est inférieur à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion .En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance. [17].

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de

métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol.



Figure II.7: Déchet de verre

2.8. Sciure de bois :

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. Ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait. C'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. [16].



Figure II.2:Sciure de bois

2.9. Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulat léger. Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite ». [18].

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel.[16].



Figure II.9 : Brique concassé

3. Déchets de brique :

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquaillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universel de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est insuffisante.

On appelle « briquaillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites) . On appelle « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée. [18]

3.1. Définition de brique :

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

3.2. Types de brique :

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

On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...)
- la brique de terre compressée.
- la brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose).
- la brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilisé une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- la brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression.
- la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- la brique non gélive.
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.

Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives.

- briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs.
- briques plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend.[19].

3.3. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :

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

On trouve dans la pâte argileuse essentiellement des éléments métalliques, sous forme d'oxydes plus ou moins hydratés : - les éléments dits "réfractaires" dont le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (de 800 à 1000°) des fours à briques : il s'agit de la silice (SiO2), et de l'aluminium (AI2O3).

- les éléments "colorants" dont la proportion détermine la couleur basique de la brique (le degré de cuisson étant l'autre facteur déterminant de cette couleur). Ce sont :
  - l'oxyde de fer.
  - l'oxyde de titane
  - l'oxyde de manganèse.

Les "fondants", de deux types :

- les oxydes alcalins : oxydes de sodium et de potassium.
- les oxydes alcalino-terreux : chaux et magnésie.[20]

3.4. Mode de fabrication de brique :

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

- L'extraction de la terre (argile ou limon).
- La préparation de la pâte.
- Le façonnage.
- Le séchage.
- La cuisson [20].

3.5. Valorisation des déchets de la brique :

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchet de briques qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres. D'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

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

3.5.1. Réutilisation :

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

3.5.2. Recyclage :

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

3.6. L'utilisation de la brique dans le domaine de génie civil :

À nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée enmélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation. Par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative.
Des tas de débris de brique gênants dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries :

- Plates formes en béton.
- Chapes en mortier du ciment.
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.
- Réfection de planchers anciens.
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique.
- Remblaiement des fouilles et de site, etc.[18]

3.7. Utilisations des bétons des déchets de brique :

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

- ✓ De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/ m3 , d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg /cm2 , présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.
- ✓ Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg /m3, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg /cm2 , une résistance à la traction de 5 à 10 kg /cm2 , des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur.
- ✓ Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de déchet de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée.
- ✓ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage.
- ✓ Le béton de déchet de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité.
- ✓ Les déchets de brique sont utilisés dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager.

Le béton à base de briques présente, particulièrement, une bonne résistance au feu Les bétons classiques, confectionnés avec des ciments courants, en général, ne résistent pas à des températures supérieures à 300 °C

Les bétons réfracteurs sont des bétons confectionnés avec du ciment alumineux et qui sont non armés, capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques, et aux chocs thermiques répétés.

Les déchets de brique conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées ,carneaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de four…

3.8. Effet de la poudre de brique sur la durabilité du mortier :

L'effet de l'introduction de la poudre de brique issue des déchets de brique, est étudié par JiahuShao et all, 2019 [21], qui a introduit cette poudre par remplacement partiel de ciment à des pourcentage (0 %, 10 %, 20 %, 30 % et 40 %), les résultats de ses travaux montrent que la résistance à la compression des mortiers contenant la poudre de brique diminue progressivement avec l'augmentation des pourcentage de remplacement au jeune âge, la figure suivante présentent les résultats d'essai mécanique de ses travaux [21].

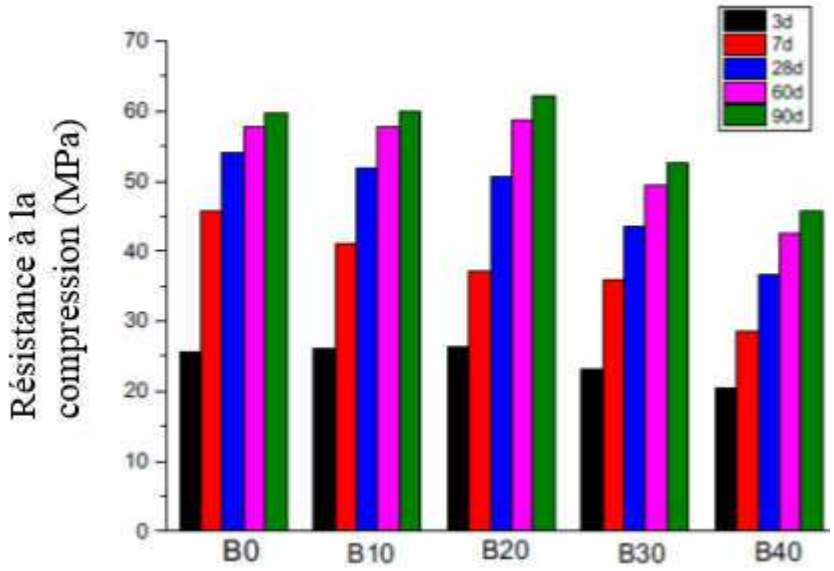


Figure II.10 : Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des mortiers [21]

Dans le même travail de recherche cité, la résistance à la compression des mortiers additionnés par la poudre de brique s'est développée progressivement en fonction de l'âge, et le mortier élaboré avec 20% de poudre de brique a donné une résistance en compression la plus élevée estimée à 62,2 MPa à 90 jours [21].

Les analyses aux DRX ont montré que l'ajout de la poudre de brique, favorise la formation de gel C-S-H dans les pâtes mélangées après 28 jours. Les images au MEB ont également révélé que la microstructure des pâtes mélangées devenait plus compacte à mesure que le temps de durcissement augmentait, les C-S-H ont été produits en raison de la réaction pouzzolanique de

la poudre de brique et que la microstructure des éprouvettes est devenue plus compacte, ce qui a entraîné une augmentation progressive de la résistance à la compression [21].



Figure .II. 11 : Image MEB des mortiers témoins à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [21].

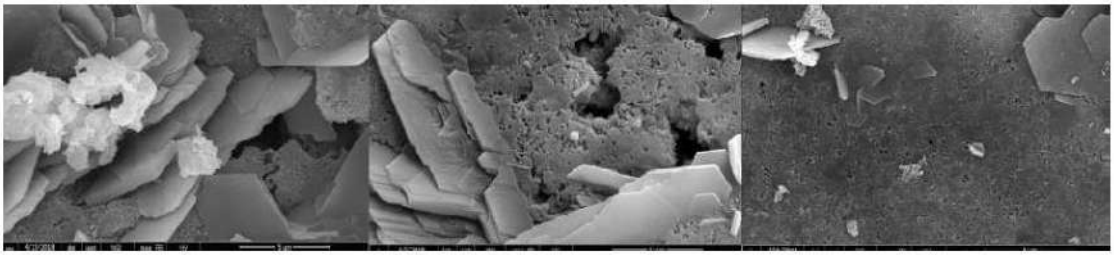


Figure .II. 12 : Image MEB des mortiers avec 40 % de poudre de brique à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [21].

L'effet de l'introduction de la poudre de brique dans les bétons a été étudié par Heidari et all (2013) [22], les résultats des essais de la résistance à la compression du béton avec 20 % de poudre de brique étaient de 39,9 MPa.

La possibilité de valorisation des déchets de brique dans l'industrie du ciment est étudiée par José Marcos Ortéga et all (2018), dont l'objectif de son travail de recherche est d'analyser l'influence à long terme (jusqu'à 400 jours) des déchets de poudre de brique sur la microstructure, la durabilité et les propriétés mécaniques des mortiers incorporer jusqu'à 20% de poudre de brique en remplacement du clinker. Selon les résultats obtenus, les mortiers avec 10% et 20% de poudre de brique, ont montré de bonnes propriétés mécaniques à long terme, même meilleures que celles élaborée avec du ciment Portland ordinaire [23].

Les paramètres étudié afin de mettre en exergue l'effet de la poudre de brique dans les travaux de José Marcos Ortéga et all (2018), est le coefficient de diffusion k des ions chlorures, aux âges (28, 200 et 400 jours) montrent que la diminution du coefficient de diffusion des ions chlorure dans les cas des variantes avec introduction de 10 et 20 % de poudre de brique par comparaison à la variante témoins [26] (figure II.12), ce qui confirme l'effet pouzzolanique de l'introduction de la poudre de brique dans les mortiers, favorisant ainsi la production d'une quantité supplémentaire des C-S-H, qui réduit la porosité des mortiers étudiés.

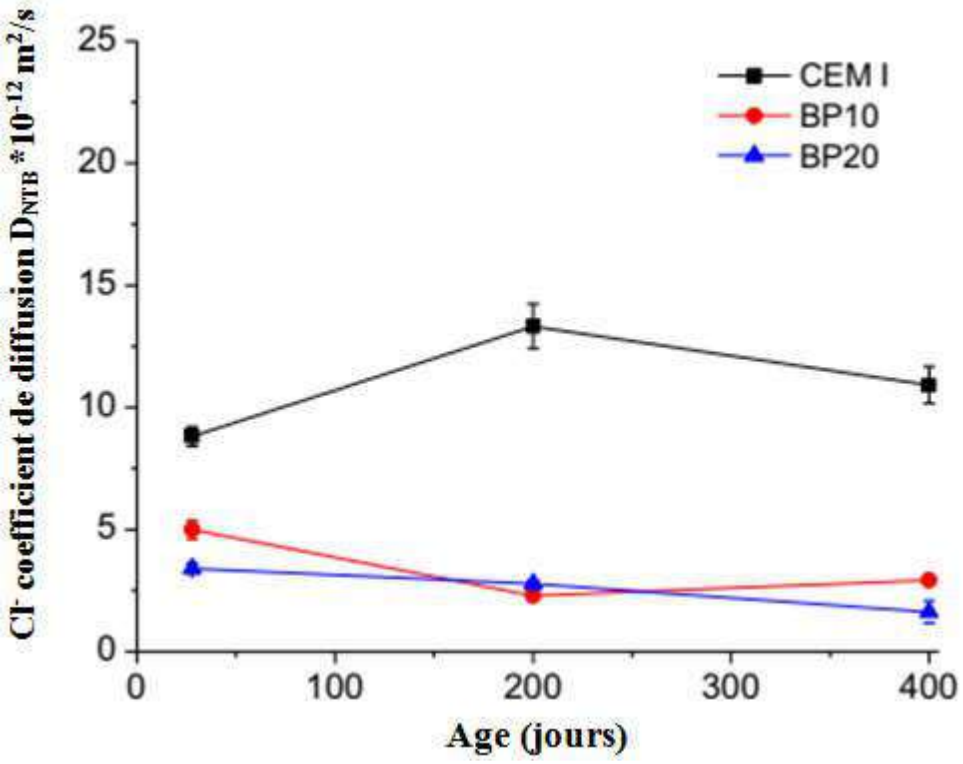


Figure II.13 : Résultats du coefficient de diffusion des ions chlorures (CEM I, Mortiers PB10 et PB20) [23].

Les résultats des résistances à la compression et à la flexion obtenus pour les mortiers étudiés sont représentés sur les figures II.14 et 15.

Les résultats de cette étude confirment une augmentation en fonction de l'âge de durcissement pour tous les mortiers étudiés, bien que le taux de croissance est plus notable dans le cas d'éprouvettes CEM I et BP10 [23].

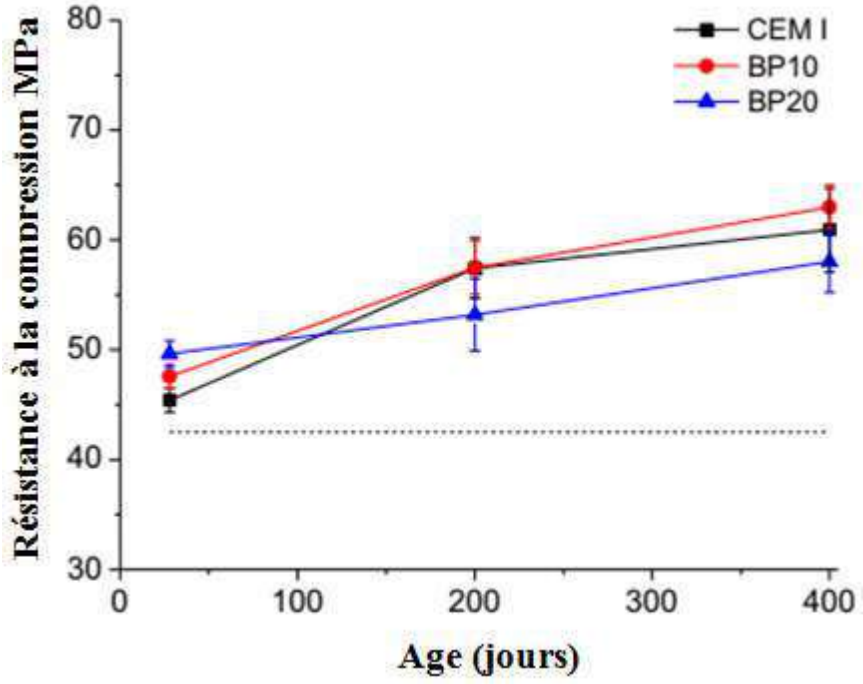


Figure II. 14 : Résistance à la compression des mortiers étudiés [23].

Pour les résistances à la flexion, les auteurs Ortéga et all (2018), notent que ces dernières restent pratiquement constantes sur la période de 400 jours, avec une légère augmentation dans le cas des mortiers à poudre de brique par rapport à ceux de CEM I.

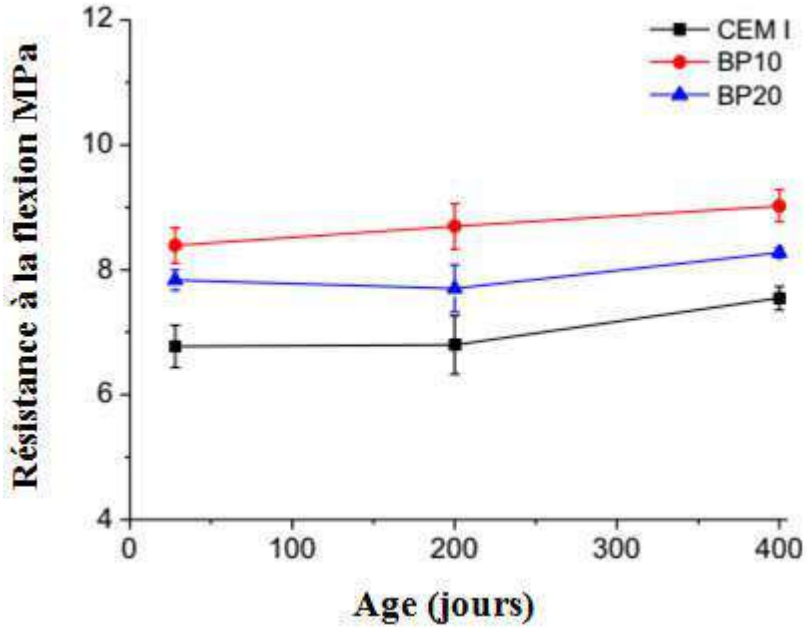


Figure II. **15** : Résistance à la flexion des mortiers étudiés [23].

3.9. La sorptivité :

Tolido et al 2007 ont mesuré la sorptivité de deux séries de mortiers confectionnés avec E/C = 0.4 et E/C =0.5. Chaque série est préparée avec 0, 10, 20, 30 et 40% de substitution du ciment par la brique broyée. Les auteurs utilisent la méthode de l'eau saturée (technique gravimétrique) Les résultats de cette recherche représentés dans la (Figure II.15) pour les mortiers préparés avec E/C=0.4 et la (Figure II.16) pour les mortiers préparés avec E/C=0.5 respectivement, montrent que la sorptivité des deux séries de mortiers diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

Cette diminution selon les mêmes auteurs est due à l'affinage des pores de la structure des mélanges contenant la brique. Cet affinage est produit par un effet filler et un effet pouzzolanique de la brique.

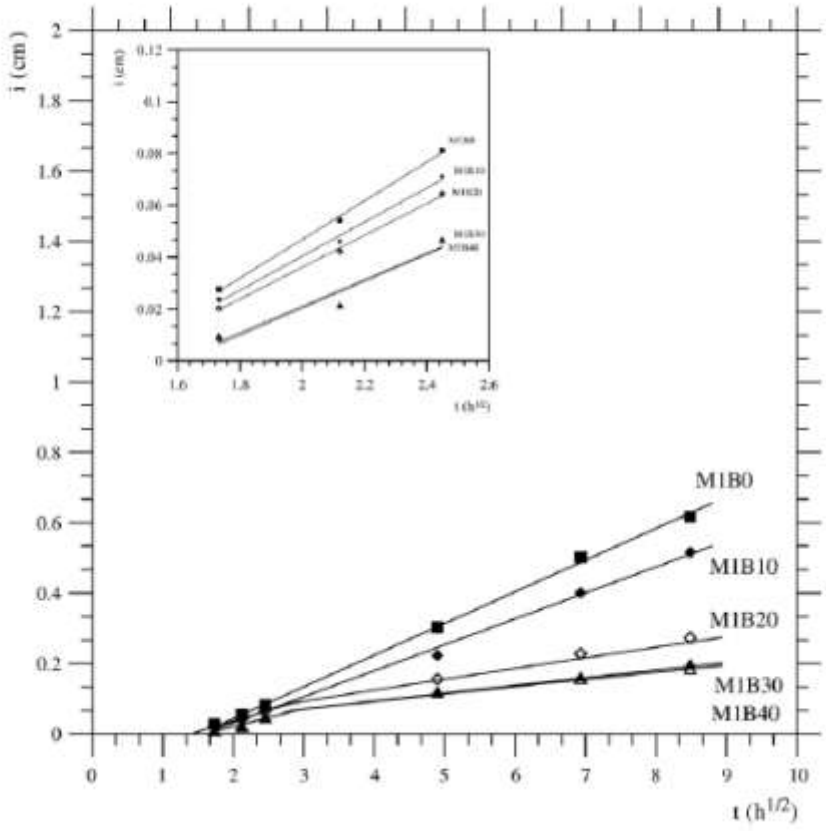


Figure II.16 : Sorptivité des mortiers M1B0, M1B10, M1B20, M1B30 et M1B40.[24]

3.10. Expansion :

O ‘Farrell et al. 2000 ont utilisé quatre séries de mortier contenant 0, 10, 20, 30% de déchet de brique, chaque série est formulée de quatre types de brique B, D, L and P. Les auteurs ont suivi l’expansion et la variation de masse des éprouvettes de forme prismatique (4x4x16) cm3 qui ont été placées sous l’eau potable pendant 28 jourset ensuite dans une eau de mer. Les résultats trouvés par ces auteurs sont représentés dans la (Figure II.17) Les auteurs ont conclu que l’expansion et les pertes de masses des mortiers à base de brique augmentent avec le temps et diminues avec l’augmentation du pourcentage de brique. La présence de la brique jusqu’à 30% dans les mortiers testés réduit considérablement la perte de résistance par rapports au mortier de référence.

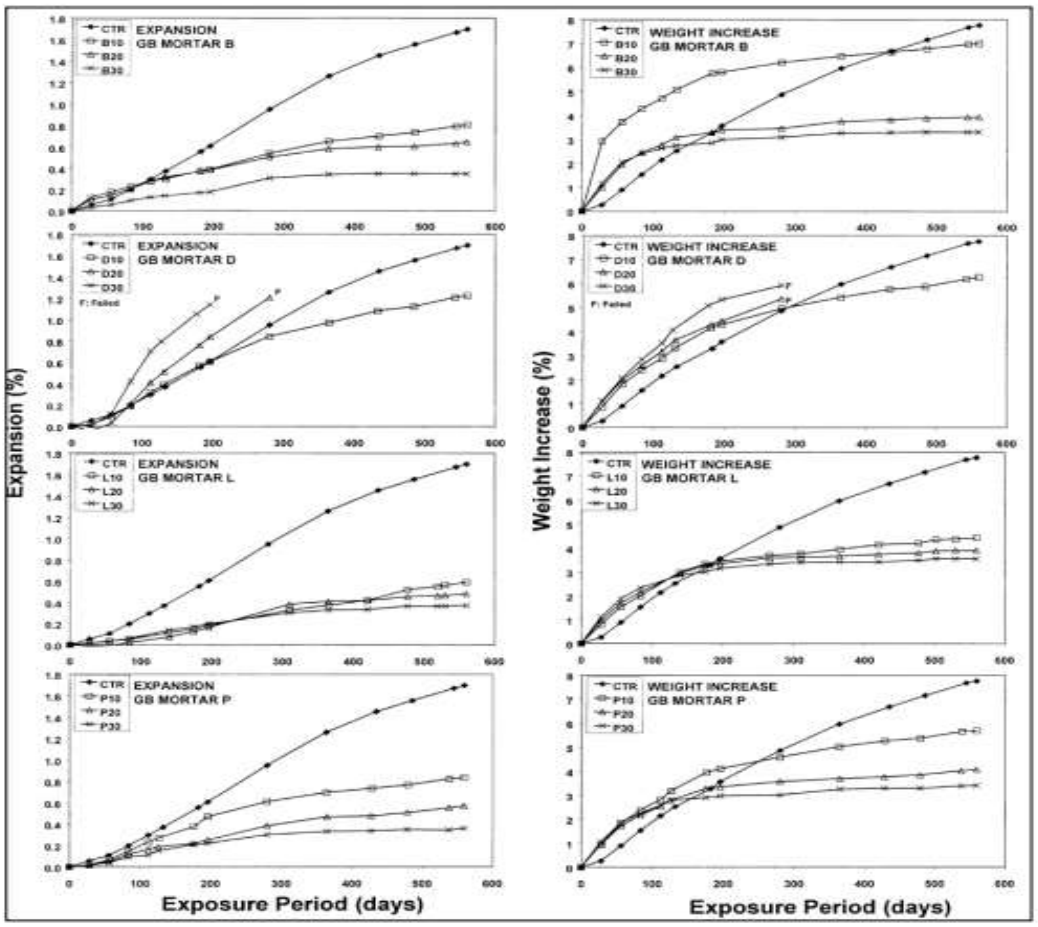


Figure II.17 : Expansion et perte de masse des mortiers contenant des déchets de bique B, D, L et P [25]

4. Conclusion :

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

La valorisation des déchets de brique, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil.

Les déchets de brique, peuvent être utilisés pour la fabrication du béton, par conséquent, pour être une solution de la réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

En général, les déchets de la brique produisent des bétons d'une résistance acceptable, et peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité.

Cependant, afin de valoriser ce type de déchets, d'apporter des améliorations aux caractéristiques des granulats à base de ces déchets et de connaître les performances extrêmes des bétons à base de ces granulats, des recommandations seront également données pour mieux apprécier et approfondir cette étude.

5. Déchets de verre.

5.1. Définition du verre :

Il n'existe pas une, mais plusieurs définitions du verre. Ainsi, on peut le définir différemment suivant que l'on considère:

-Les objets que l'on peut fabriquer à partir de cette matière (aspect fonctionnel) : par analogie avec le verre utilisé pour boire ou le verre à vitre. Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.

-Que ce matériau à une structure particulière (aspect structural) le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnancement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.

-Que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel) le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu .[26]

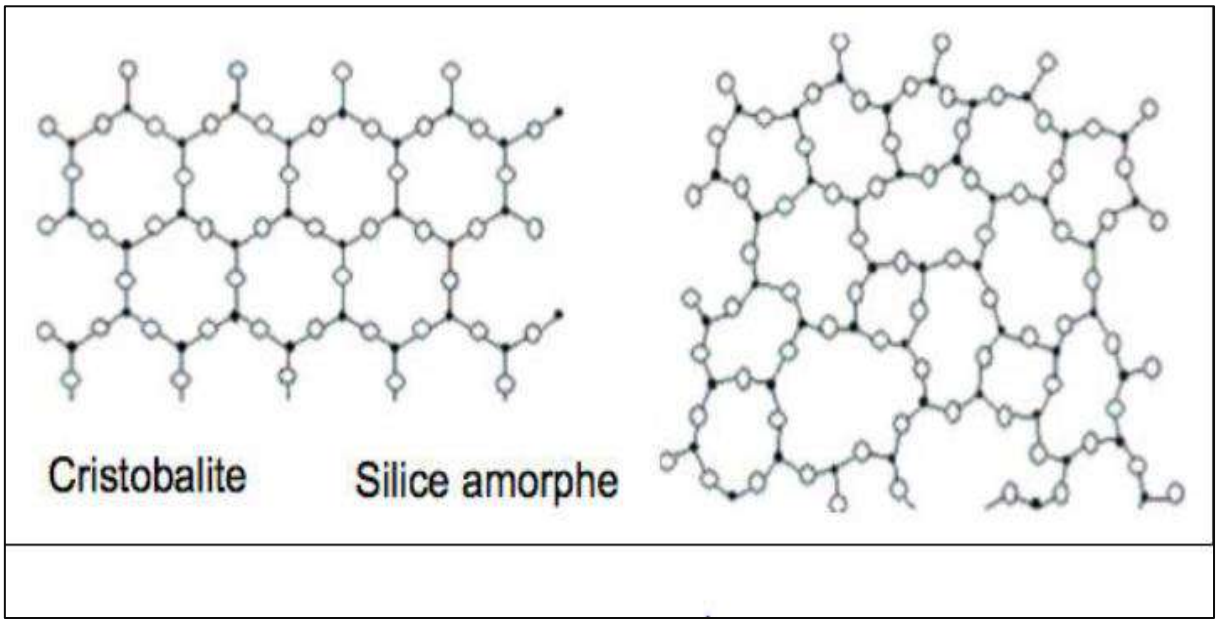


Figure II.18: Représentation schématique plane d'un réseau vitreux. [26]

5.2. Utilisation de verre dans le domaine de génie civil :

5.2.1. Le verre et les routes :

(Glasphait): Peut-être utiliser de déchets de verre dans les routes au lieu de gravier ou de petits cailloux de mélange de quelques pourcentages, et ce type d'industrie fut un grand sucées en Amérique et avéré très réussie à conserver la température, comme sa propriété, et est la résistance au glissement sur la route.

(Read repairmateriel): est un mélange de verre et de l'huile usée, le ciment et l'utilisation de cet article est utilisé pour bricoler sur la route ou pour remplir les trous et les ébauches de forage et au-dessus de la route.





Figure II.19: Les routes et les ponts en verre.

5.2.2. Le verre et les bâtiments :

(Terrezzo): est un mélange de particules de verre, de marbre et de ciment portland gris ou de couleur blanche est utilisé pour les planchers et les murs.

(Brique et tuiles en verre moussé): est un mélange de verre avec un matériau en caoutchouc à faible densité et en ajoutant des substances chimiques qui ont la capacité de résister à la température et de la résistance, est considéré comme un matériau insonorisant.



Figure II. 20 : les bâtiments en verre

5.3. Définition de poudre de verre :

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré. Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de chaud en vertu de ses propriétés pouzzolaniques.



Figure II.21:Poudre de verre

5.4. Valorisation de verre dans le béton :

Le verre est un matériau a plusieurs vies et peut être recycle plusieurs fois. Cependant, il est nécessaire que le verre provenant de la collecte sélective soit préalablement sépare en fonction de la couleur pour être transforme en calcin pour de nouveau être utilise dans la fabrication d'emballages en verre. La plupart du temps, le verre récolte est un produit mixte et sa réutilisation peut devenir difficile. Dans ce cas-ci, il est employé pour d'autres applications (abrasif routier, laine de verre, filtrations municipales...) ou stocke en décharge.

Des travaux ont montre que l'utilisation du verre dans les bétons semble être une piste prometteuse pour un recyclage massif:

-En subissant un léger concassage, le verre peut être utilise comme granulats dans le béton. Ce traitement a l'avantage de présenter un faible cout mais peut entrainer une réaction néfaste pour la structure. Qualifiée de "cancer des bétons", la réaction alcali-silice (RAS) est le résultat de la réaction de la silice amorphe d'un granulat avec les ions hydroxyles et alcalins présents dans la solution interstitielle du béton. Cette réaction donne naissance à un gel gonflant provoquant la fissuration du béton et dans certains cas sa destruction.

-Un broyage prononce laisse envisager une utilisation en tant que liant. Dans ce cas-ci, la silice du verre réagit avec la chaux produite par la réaction du ciment, créant des composes dotes de propriétés liantes: c'est la réaction pouzzolanique. En considérant la pathologie qu'entrainent les granulats de verre, il est vraisemblable que la valorisation du verre ne soit possible qu'à travers un broyage accentue. Cependant, le cout qu'engendre une telle opération peut freiner cette voie de valorisation. Pour freiner la RAS, des études ont propose la combinaison du verre a des pouzzolanes tels que: les fumées de silice, les cendres volante soule met kaolin. Il est vrai que ces pouzzolanes ont montre leur efficacité mais elles restent souvent couteuses et ne sont pas toujours disponibles localement.[27]

5.5. Comportement du verre dans un milieu cimentaire :

Le verre incorporé dans les bétons peut manifester plusieurs types de comportement, essentiellement en fonction de sa granularité : une granularité grossière tend à provoquer un phénomène d'alcali-réaction générateur de désordres, alors qu'un verre fin développe une action bénéfique identifiable à une réaction pouzzolanique. [28]

5.6. Réaction pouzzolanique du verre :

L'activité pouzzolanique du verre peut être évaluée par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux notamment par ; l'essai Chapelle, ATG et DRX.

La Figure (II.22) rassemble les résultats de quelques travaux effectués entre les années 2000 et 2008 qui traitent de l'activité pouzzolanique du verre. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec ajout de verre à la résistance du mélange témoin.[29]

Il a été difficile, voire impossible, de rassembler tous les travaux élaborés dans les mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

1. La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique : plus les grains de verre sont fins, meilleure et son activité pouzzolanique.

2. La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente.

3. L'activité é pouzzolanique varie d'un verre à un autre, selon leur couleurs, le verre brun est le verre qui possède la plus faible activité, par contre le verre vert et le verre blanc présentent une activité pouzzolanique considérable.[29]

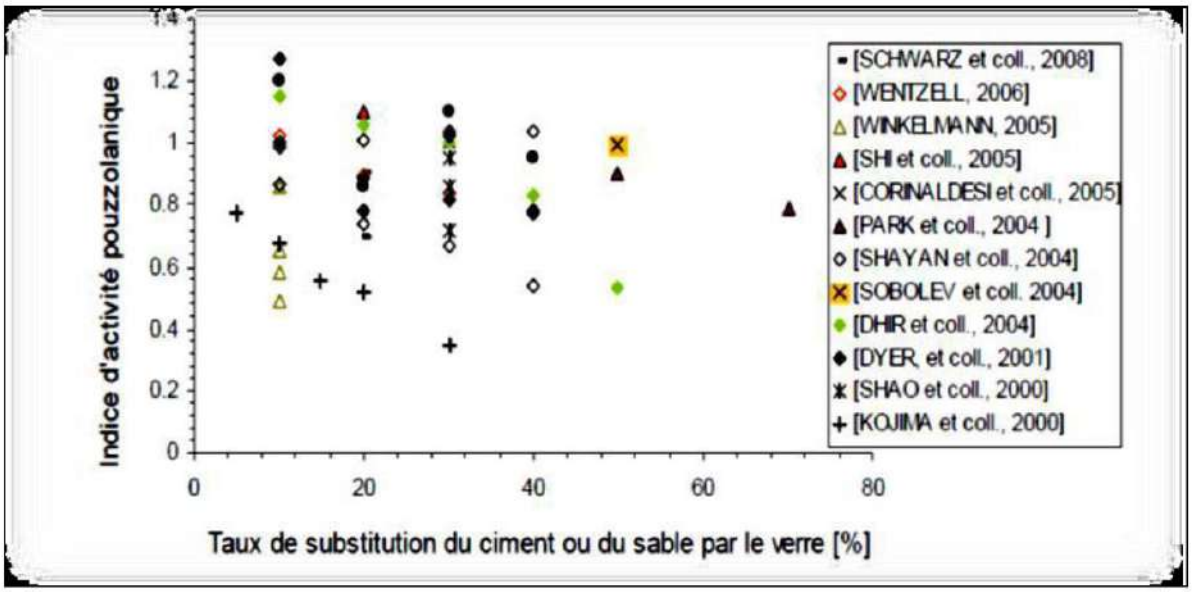


Figure II.22: Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes.[29]

5.7. Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes :

La cinétique de la réaction du verre est plus rapide que celle des cendres volantes qui ne réagissent qu'après une à plusieurs semaines, lorsque la concentration des alcalins dans la solution interstitielle est devenue suffisante : en effet, dans le cas du verre, celui apporte lui-même les alcalins nécessaire au déclenchement de la réaction. Parexemple, une substitution de 30% du ciment dans les bétons affiche une meilleure résistance en compression que ceux confectionnés avec de la cendre volante.

Ces auteurs ont montré qu'à trois jours de cure, la résistance des mortiers comportant 20% de verre en remplacement de ciment est 70% plus importante que celle de mortiers confectionnés avec de la cendre volante Cela pourrait s'expliquer notamment par les alcalins qui sont disponibles plus rapidement et en plus grand nombre dans le cas du verre qu'ils ne le sont dans celui de la cendre volante. [28]

5.8. L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane :

Concernant ce point, plusieurs études en laboratoire ont été conduites. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane notamment la fumée de silice, la cendre volante ou même le méta-kaolin en remplacement d'une fraction du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. Ainsi l'utilisation du verre serait plus intéressante que son emploi individuel. [29]

5.9. Réaction alcali-silice du verre :

Le remplacement partiel du granulat naturel ou du ciment par le verre dans les bétons, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau en prenant certain précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité. La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entrainent l'endommagement des bétons. La réaction alcali-silice du verre dépend de différents paramètres, la bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs .[29]

5.10. Caractéristique du verre dans le béton :

Le comportement des ajouts cimentaires dans le béton est différent par rapport à celui du ciment Portland tout seul. L'incorporation de l'ajout minéral par remplacement de ciment a des effets sur la cinétique d'hydratation, de durcissement et de durabilité. Une description des déférentes phases du processus d'hydratation du ciment Portland est nécessaire pour introduire la réaction pouzzolanique de la poudre de verre dans le béton.

5.10.1. Comportement à l'état frais du béton :

a. Maniabilité du béton :

Le pourcentage utilisé et la finesse du matériau ont une très grande influence sur le comportement du béton frais. Il convient de choisir le pourcentage adéquat d'un cas à l'autre.

Les travaux montrent une diminution de 18 % de l'affaissement dans un béton binaire contenant 30 % de la poudre de verre dont la finesse est élevée (diamètre inférieure à 38µm). [37]

Autres études confirment l'effet négatif de la finesse et de pourcentage de remplacement de ciment par une poudre de verre très fine sur la maniabilité du béton Contrairement aux études précédentes, indiquent que l'ajout de la poudre de verre dans des bétons de faible rapport E/L améliore l'ouvrabilité.

b. Effet du verre broyé sur le temps de prise :

La prise de béton est gouvernée par la réaction d'hydratation et la longueur de la période dormante. Selon l'activité pouzzolanique de l'ajout cimentaire, le temps de prise peut être prolongé, comme il peut être raccourci.

Des études montrent que le temps de la prise initiale d'un mortier de 30 % de poudre de verre en substitution de ciment augmente la durée de la prise initiale.

5.10.2. Effet de la poudre de verre à l'état durci :

La résistance en compression d'un béton dépend de la qualité du calcium hydraté (C-S-H) développé. L'ajout d'un matériau cimentaire en remplacement partiel de ciment réagira avec la portlandite , ce qui résultera en la formation d'un nouveau C-S-H qui comblera ainsi plus de vide, ce qui diminue la porosité et améliore la résistance en compression.

La substitution de 30 % de ciment par une poudre dont le diamètre maximum des particules est de 38 µm (finesse de 800m²/kg) a donné lieu à une activité pouzzolanique aussi la substitution de 20 % de ciment par la poudre de verre à une activité pouzzolanique après 7 jours. L'amélioration de la résistance en compression à différent pourcentage est alors en fonction de la finesse de la poudre de verre. [37]

5.10. 3.Effet de l'addition sur la densité:

Lorsque le ciment Portland est remplacé par une addition minérale de poids spécifique inférieure, il résulte un grand volume de pâte qui nécessite plus d'eau de gâchage pour recouvrir tous les grains. [ZEROUB ; 2017]] .30] dans ses travaux utilise un béton de référence avec une masse volumique de 2300 kg/m3, on observe une augmentation de celle du béton avec poudre de verre à 2440 kg/m3, cela est dû à l'effet de remplissage de la poudre du verre de surface spécifique Blaine élevée (800 m2 /kg), ceci induit un compactage du béton d'où une densité accrue.

Similaires observations ont été aussi révélées par [A. SAAND et al].[31] où cette addition peut être utilisée comme agent de viscosité pour les coulis de ciment.

5.10.4. Effet de la surface spécifique :

L'addition des ajouts minéraux au ciment Portland peut produire plusieurs modifications au sein du squelette solide du mélange. La petite taille des particules de verre comble les vides interstitiels et augmente la densité de la matière. Par conséquent, l'eau attrapée dans les pores granulaires est libérée ce qui augmente la compacité de la pâte, améliore l`ouvrabilité et diminue la demande en eau. Plusieurs recherches montrent que l'augmentation de la surface spécifique de la PV joue le rôle d'un lubrifiant grâce à sa forme très sphérique ainsi que leur surface parfaitement lisse. En plus, la forme sphérique réduit le nombre de points de contact

entre les particules du mélange [NGUYEN;2015].[32]Ceci nous conduit à donner à la PV un rôle de super plastifiant.

5.10.5. Effet de la distribution granulaire :

L'incorporation des additions minérales entraîne une modification de la distribution granulaire, l'apparition de nouveaux sites de nucléation et une nouvelle activité des surfaces des grains ce qui amène à améliorer l'ouvrabilité du béton. [N. TAMANA et al.].[33]dans ses recherches a conclu que la PV montre de meilleures propriétés pouzzolaniques en raison de la distribution granulométrique fine .

5.11. Action de la poudre de verre sur le comportement mécanique du béton :

5.11.1. Resistance à la compression :

La résistance en compression est une donnée importante pour la conception d'un matériau cimentaire. Les autres propriétés mécaniques, comme la résistance à la traction et à l'effort tranchant, le module d'Young, la relation résistance – déformation, sont reliées diversement à la résistance en compression. Les résultats sur la résistance à la compression sont également employés pour qualifier et quantifier l'efficacité des additions minérales remplacées du ciment dans un système cimentaires.

Le rôle des additions minérales dans un système cimentaire dans un premier temps est d'améliorer la résistance à la compression grâce à leur finesse et leur réaction pouzzolanique.

L'étude effectuée par Zidol [Zidol, 2009].[34], sur des bétons formulés avec un dosage en liant de 400 kg/m3 et un rapport E/L de 0,40 , indique qu'entre 56 et 90 jours, les résistances des bétons avec poudre de verre sont supérieures à celles obtenues avec le béton témoin (sans PV). En effet, les résultats montrent qu'entre 28 et 90 jours, l'incorporation de 20 et 30 % de PV confèrent au béton un taux de développement en résistances à la compression de 12 et 18 % respectivement, alors que pour le témoin, ce même taux est de 9% seulement.

D'autres chercheurs comme [Xu et al. 2006]. [35] ont étudié la performance de la poudre de verre comme un matériau pouzzolanique dans le béton. Les bétons étudiés par ces chercheurs, avec un dosage de 380 kg/m3, sont formulés pour atteindre une résistance à la compression de 40 MPa à 28 jours, dont le remplacement partiel du ciment était de 10, 20 et 30 % de la

poudre de verre. Alors, pour le béton avec 20 % de PV, la résistance visée à 28 jours est atteinte. Cependant avec 30 % de PV, ce n'est qu'à partir de 90 jours que la résistance a pu atteindre 45 MPa.

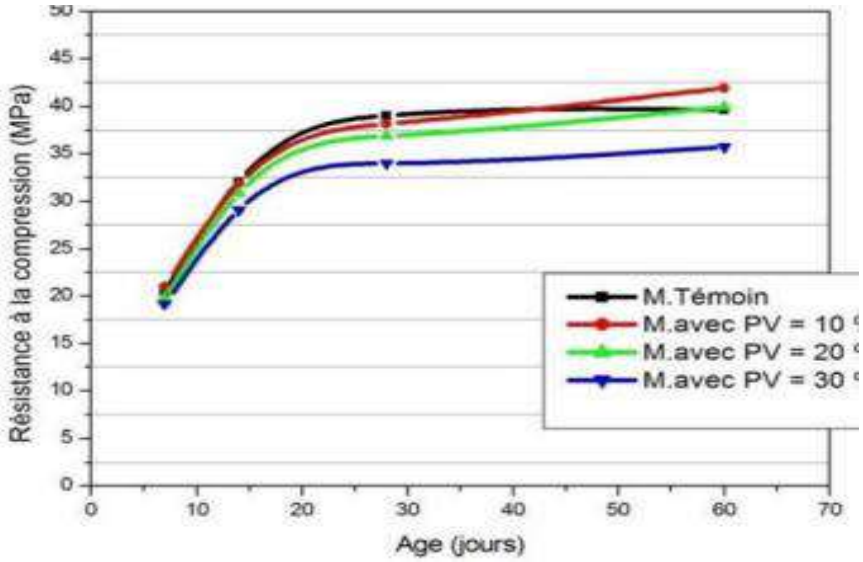


Figure II.23: Evolution de la résistance à la compression des mortiers avec E/L=0.55 et différents pourcentages en PV**.**

La figure ci-dessus (**Figure II.23**) montre l'influence de dosage en poudre de verre sur l'évolution de la résistance en compression en fonction de l'âge du mortier étudié par MEZA Cela concerne l'incorporation de la poudre de verre avec une finesse de mouture égale à 3310 cm2/g. Il a été démontré que la résistance en compression des mortiers étudiés, avec un rapport E/C de 0.55 et avec une incorporation de10, 20 et 30 %de poudre de verre, est inférieure de celle du béton témoin entre 1 et 28 jours. Mais, au-delà de 28 jours, l'évolution de la résistance en compression du mortier avec de 10 % de PV devient plus importante que celle du mortier témoin. Quant aux environs de 60 jours, même le mortier avec 20 % de PV atteint une résistance supérieure à celle du mortier témoin.

5.11.2. Resistance à la flexion :

Il est connu que les matériaux cimentaires sont plus résistants en compression qu'en traction.

Pour un béton ordinaire sans ferraillage, la résistance en traction directe est de l'ordre de 8-12% de celle en compression, la résistance en traction sous flexion est de 5 à 7 fois la racine

carrée de la résistance à la compression [Kosmatka, 2008].[36] Elle est donc considérée comme négligeable pour qualifier un comportement mécanique d'un matériau cimentaire.

Cependant, ils doivent parfois satisfaire à une résistance minimale en traction. Par exemple la capacité de distribution des charges transversales des chaussées en béton sans renforcement dépend particulièrement de leurs résistances en flexion. Par ailleurs plusieurs chercheurs ont démontré qu'il existe une corrélation entre la résistance à la compression et à la flexion. A l'exemple de [MEZA et al. 2018].[36] qui ont observé une progression des courbes de la résistance à la compression similaires à celles de la résistance à la flexion.

6. Conclusion :

Le verre est un matériau nouvellement introduit dans les matériaux à matrice cimentaire. Peu de travaux sont conduits sur ce matériau malgré les multiples avantages qu'il présente notamment économique, écologique et technique, c'est un matériau riche en silice et en sodium. Son utilisation dans une matrice cimentaire entraine deux réactions à effet contraire : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère, et la réaction pouzzolanique qui est bénéfique, qui peut être broyé et utilisés comme granulat ou sous forme de poudre avec substitution du ciment pour la fabrication des bétons et ciment.

A l'issue de notre revue, force est de reconnaitre que l'incorporation de la poudre de verre dans les bétons et les mortiers permet d'améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques de ces derniers. Mais aussi elle garantit la conservation de la matière première et une protection de l'environnement. Dans ce qui suit, nous allons étudier l'influence de l'incorporation de la poudre de verre et de brique dans des mortiers ordinaires, comme substitution partielle du ciment, sur les propriétés physiques et le comportement mécanique des mortiers.

Chapitre Ⅲ : Matériaux utilisés et Essais réalisés.

1. Introduction :

Cette étude expérimentale pour objet d'étudier le mortier autoplaçant, avec une présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges étudiés et la méthodologie adoptée lors de ce travail.

Notre recherche a pour but d'étudié l'éventualité d'utiliser les déchets de brique et de verre comme un remplacement d'un pourcentage du ciment dans le mortier, avec des taux de substitutions de (4,8 ;12 ;16, et 20%) et d'analyser les comportements de ces mélanges a l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un mortier de granulats ordinaires désigné dans cette étude sous l'appellation du mortier témoin.

On a présenté d'une part l'identification des matériaux utilisés dans ce travail, aussi bien les matériaux ordinaires (sable, ciment, eau, adjuvant super-plastifiant …), que ceux recyclés (brique et verre), et d'autre part une série d'essais a été entreprise pour déterminer les caractéristiques des granulats (essais d'identification), on peut citez :

-Essai de la masse volumique.

-Essai d'équivalent de sable.

-Essai de la résistance à la compression.

-Essai de la résistance à la traction par flexion.

-Essai de retrait.

-Essai de gonflement.

-Essai d'absorption par immersion.

-Essai d'absorption capillaire.

-Essai de la porosité.

2. Caractéristiques des matériaux :

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

2.1. Sable :

Le sable utilisé est un sable de dune qui provient de la région d'Oued-Souf. Il estpropre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (figureⅢ.2).Il est séchépendant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son donnéesci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure Ⅲ.1.

Caractéristiques du sable :

- Masse volumique absolue : 2 .63 g/cm3

- Equivalent de sable : 83.33 %

- Module de finesse MF : 2.5

- Taux d'absorption : 0.7 %

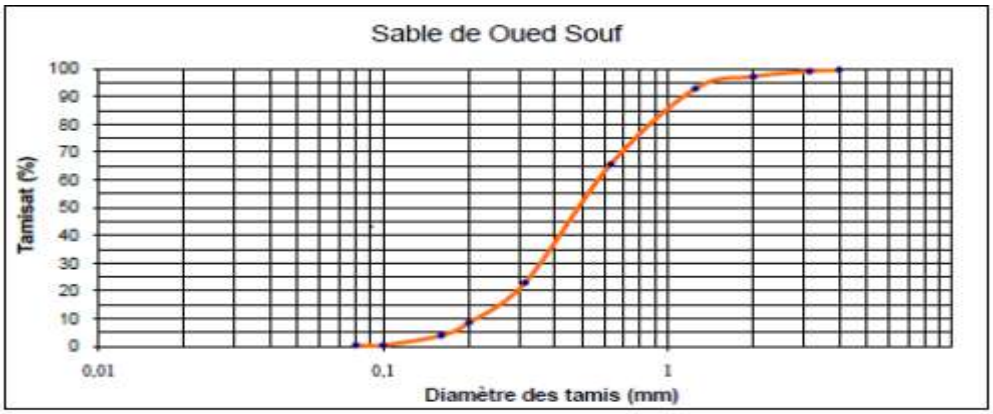


Figure III.1: Courbe granulométrique d'oued souf



Figure III.2: Le sable utilisé.

2.2. Ciment :

Le ciment utilisé est de type CEM I 42,5 R sans aucune addition (95 % clinker avec 5 % de gypse), produit par le groupe industriel des ciments de SPA Biskra (figure Ⅲ.3) situé à la wilaya de Biskra (Algérie) et conforme à la norme NF EN 197-1[63] dont le clinker est produit et broyé conjointement avec le gypse par le groupe SPA. Ce ciment est utilisé pour la formulation des mortiers en fixant une fois le rapport E/L (eau/liant) à 0,38.

L'analyse chimique et physico-mécanique du ciment donnée par le fournisseur est présentée dans le tableau Ⅲ .1 et Ⅲ.2:



FigureⅢ .3: Le ciment utilisé.

Tableau Ⅲ .1 : Composition chimique et minéralogique du ciment

Composition chimique	
Eléments	Teneur(%)
SiO_2	20.83
AL_2O_3	4.15
Fe_2O_3	5.58
CaO	62.19
MgO	1.42
K_2O	2.30
Na_2O	0.38
TiO_2	0.028
LOI	2.04
Composition minéralogique	
C3S	59.07
C2S	15.47
C3A	1.51
C4AF	16.96

Tableau Ⅲ .2 : Caractéristiques du ciment utilisé

Caracteristiques		Type de ciment	Norme
		Biskria	
Finesse (cm^2/g)		3300	NF EN 196-6 [64]
Masse volumique absolue (g/cm^3)		3.12	
Masse volumique apparente (g/cm^3)		1.01	NF EN 459-2 [65]
Consistance normale (%)		12.5	
Temps de prise	Début	2h36m	NF EN 196-3 [66]
	Fin	4h13m	
Classe de résistance (MPA)		42.5	NF EN 196-1 [67]

2.3. La brique:

La poudre de brique est obtenue par concassage et broyage des déchets de brique.

Les déchets de brique sont nettoyés et mis dans une étuve à 105°C pour les sécher afin d'éliminer l'humidité avant de les broyer. Le broyage est effectué en deux étapes, grossier au moyen d'un broyeur à boulets de capacité nominale de 20 kg du laboratoire de génie civil de l'université de Blida, après terminé par l'utilisation d'un broyeur a disque au niveau du Hall de technologie de l'université de Médéa pour obtenir les finesses désirées.



Figure III.4: La poudre de brique (PBR) utilisée**.**

2.4. Adjuvant :

Les adjuvants permettent d'obtenir une grande fluidité et une parfaite homogénéité qui sont nécessaires à l'obtention d'un MAP.

L'adjuvant qui sera utilisé est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylases modifies type MEDAFLOW 145, de masse volumique 1065 kg/m3, de pH = 5 - 6, de teneur en chlore < 1 g/L et l'extrait sec = 30 ± 1.5 (%.).Dosage d'utilisation recommandé varie de 0.3 à 2 % du poids du liant.



Figure III.5:Super-plastifiant Midaflow145.

2.5. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour les mélanges de mortiers est une eau potable, exempte d'impuretés, maintenue à une température constante, issue du robinet de laboratoire de génie civil au centre universitaire de Médéa.

3. Essais :

3.1. Essais effectués sur la brique et le verre :

3.1.1. Recyclage :

Le recyclage de brique et de verre consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse.

3.1.2. Préparation des fines recyclées :

La préparation des classes granulaires a été effectuée à l'aide d'un concasseur, un broyeur et un tamis (80µ).




a.Los-Angles.




b. Poudre de brique. **c. Poudre de verre.**

Figure Ⅲ.6 : Différentes étapes de préparation de la poudre de brique et de verre.

3.2. Essai d'équivalent de sable :

Evaluer la nocivité des fines contenues dans le sable. Le principe de l'essai consiste à faire floculer les fines contenues dans le sable au moyen d'une solution la vante appropriée.



Figure Ⅲ .7 : Essai d'Equivalent de sable.

3.3. Essai de la masse volumique :

La masse volumique apparente d'un granulat est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides compris « volume apparent ».

Elle est utile à connaître pour le dosage volumétrique des granulats. Elle varie en fonction de la teneur en eau, notamment pour le sable qui foisonne.

Pour les granulats naturels courants, la masse volumique apparente varie de 1300 à 1600 *kg m*3 suivant la nature minéralogique et la teneur en eau.

Par contre, pour les granulats minéraux légers en terre cuite et autres matériaux légers concassés, elle varie de 900 à 1000 *kg m*3 pour les gravillons des classes (**5/15**) à (**10/20**) et de 1100 à 1300 pour les sables de classe (**0/5**).

La masse volumique réelle d'un granulat est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume, vides inter-granulaires exclus « volume réel.

La masse volumique absolue d'un granulat est le rapport de sa masse sèche par le volume de matière solide sans aucun vide contenu dans les grains « volume absolu ».

Elle varie assez peu pour la plupart des granulats naturels courants : en moyenne 2450 à 2650 *kg m*3. Sa détermination est nécessaire pour le dosage pondéral des granulats.

3.4. Formulation du mortier autoplaçant :

Notre travail est focalisé sur l'étude de l'influence du dosage en super plastifiant et le rapport E/C sur la formulation d'un mortier autoplaçant (MAP). Afin de déterminer les quantités des matériaux: sable, ciment, eau et adjuvant. La méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA nous a servi de base, avec quelques modification sa portées au niveau de la détermination de la teneur en sable dans le mortier (S/M), le rapport eau/ciment (E/C) ainsi que le rapport super plastifiant/ciment (SP/C) et ceci dans le but de S'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier à l'état frais. BOUKENDAKDJI, dans ses travaux de recherche a ajusté le rapport S/M (S/M=0.5) et SP/C de manière à avoir un diamètre d'étalement de la galette du mortier compris entre 270 et 330 mm et un temps d'écoulement à l'entonnoir en V compris entre 2 et 10 s.

Le rapport S/M a été fixé à 0,5. En ce qui concerne l'optimisation du dosage en super plastifiant avec deux rapports E/C différents, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette et le temps d'écoulement du mortier au V- funnel en fonction de la variation de la teneur en super plastifiant de 0,5 à 0,9 % avec un rapport E/C de 0.4 à l'état frais. Nous suivrons en suite l'évolution des résistances mécaniques à l'état durci des différents mortiers autoplaçant fabriqués.

3.5. Formulation du mortier autoplaçant à base de poudre de brique :

Notre travail a pour finalité l'étude de l'influence de type d'addition sur les caractéristiques D'un mortier autoplaçants. A cet égard, on a opté pour la substitution partielle du ciment du MAP de référence par l'une des deux finesses de la poudre de brique préparée.

Dans ce travail expérimental, douze (16) mélanges ont été préparés en remplaçant une partie de ciment avec l'une des trois (03) finesses employées à savoir: brique de finesse 1 (f1=3300cm2/g) et finesse 2 (f2=4400cm2/g) et finesse 3 (f3=6200cm2/g)avec des taux de substitution de ciment de4, 8, 12,16 et 20%. Les différents mélanges préparés avec la nomenclature sont donnés ci-après:

-MAPT : mortier autoplaçant témoin avec 0% de brique ;

-MAP4% : mortier autoplaçant avec 4% de brique ;(f1, f2, f3)

-MAP8% : mortier autoplaçant avec 8% de brique ; (f1, f2 f3)

-MAP12% : mortier autoplaçant avec 12% de brique ; (f1, f2, f3)

-MAP16% : mortier autoplaçant avec 16% de brique ; (f1, f2, f3)

-MAP20% : mortier autoplaçant avec 20% de brique ; (f1, f2, f3)

Tableau de formulation : (PB)

Tableau Ⅲ.3 : Composition des mortiers avec finesse 1 (F1=3300 cm^2 /g) :

N	V	Ciment (%)	PB(%)	Ciment (g)	PB (g)	Sable(g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q (cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	96	4	664,11	27,67	1315	0,4	0,5	197,7	84,7	0,9	6,23	29,4	5,15
3	1	92	8	635,01	55,22	1315	0,4	0,5	197	84,4	0,9	6,21	29,2	6,52
4	1	88	12	605,47	82,56	1315	0,4	0,5	196,4	84,2	0,9	6,19	28,8	7,01
5	1	84	16	575,57	109,53	1315	0,4	0,5	196	84	0,9	6,17	28,5	7,53
6	1	80	20	546,62	136,66	1315	0,4	0,5	195,4	83,7	0,9	6,15	28,3	8,24

Tableau Ⅲ .4: Composition des mortiers avec finesse 2 (F2=4400 cm^2 /g) :

N	V	Ciment (%)	PB (%)	Ciment (g)	PB (g)	Sable (g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q (cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	96	4	664,11	27,67	1315	0,4	0,5	197,7	84,7	0,9	6,23	29,3	5,42
3	1	92	8	635,01	55,22	1315	0,4	0,5	197	84,4	0,9	6,21	29,1	6,73
4	1	88	12	605,47	82,56	1315	0,4	0,5	196,4	84,2	0,9	6,19	28,6	7,53
5	1	84	16	575,57	109,53	1315	0,4	0,5	196	84	0,9	6,17	28,4	8,15
6	1	80	20	546,62	136,66	1315	0,4	0,5	195,4	83,7	0,9	6,15	28,2	8,24

Tableau Ⅲ .5: Composition des mortiers avec finesse 3 (F3=6200 cm^2 /g)

N	V	Ciment (%)	PB (%)	Ciment (g)	PB (g)	Sable (g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q (cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	96	4	664,11	27,67	1315	0,4	0,5	197,7	84,7	0,9	6,23	29,2	5,5
3	1	92	8	635,01	55,22	1315	0,4	0,5	197	84,4	0,9	6,21	29	6,8
4	1	88	12	605,47	82,56	1315	0,4	0,5	196,4	84,2	0,9	6,19	28,5	7,76
5	1	84	16	575,57	109,53	1315	0,4	0,5	196	84	0,9	6,17	28,2	8,23
6	1	80	20	546,62	136,66	1315	0,4	0,5	195,4	83,7	0,9	6,15	28	8,4

PB : la poudre de brique

E/C : le rapport eau sur ciment

S/M : le rapport sable sur mortier

E1 : la première quantité d'eau

E2 : la deuxième quantité d'eau

SP : super plastifiant

Q : le diamètre de l'étalement du mini cône

T : le temps

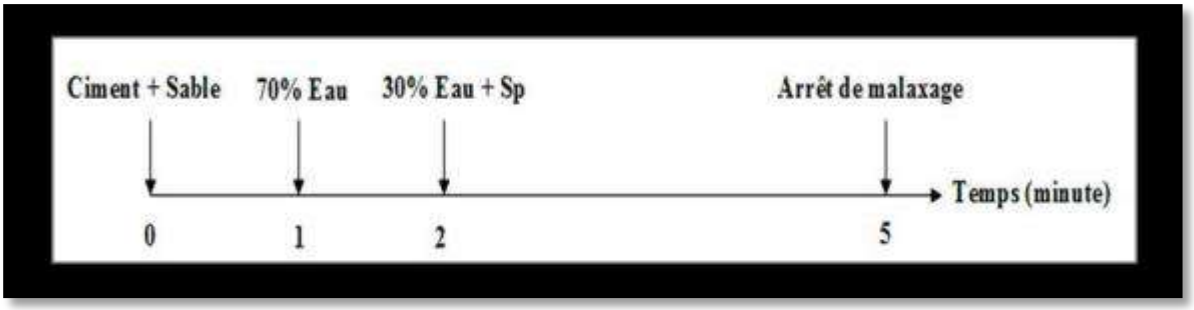
3.6. Confection et Cure des éprouvettes :

3.6.1. Malaxage du mortier autoplaçant :

Pour le mélange, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité. En ce qui concerne la durée de malaxage, le MAP a une durée de malaxage plus longue que le mortier ordinaire, ce qui a pour effet d'assurer une meilleure dispersion des particules de la poudre par le super plastifiant. Certains auteurs ont proposé des durées de malaxage variantes entre 3 et 4 min. Pedersen et alont rapporté qu'une durée de malaxage de 5min est préférée.

Apres avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP (voir exemple de calcul dans l'annexe B), on procède à un malaxage suivant la séquence présentée à la figure 2.6 et résumée comme suit :

- Malaxer à sec le ciment, sable et addition afin d'homogénéiser le mélange pendant 30secondes;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 70% Eau);
- Ajouter pendant 1 minute le reste de l'eau de gâchage (w2 = 30% Eau) mélangé avec le super plastifiant;
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.



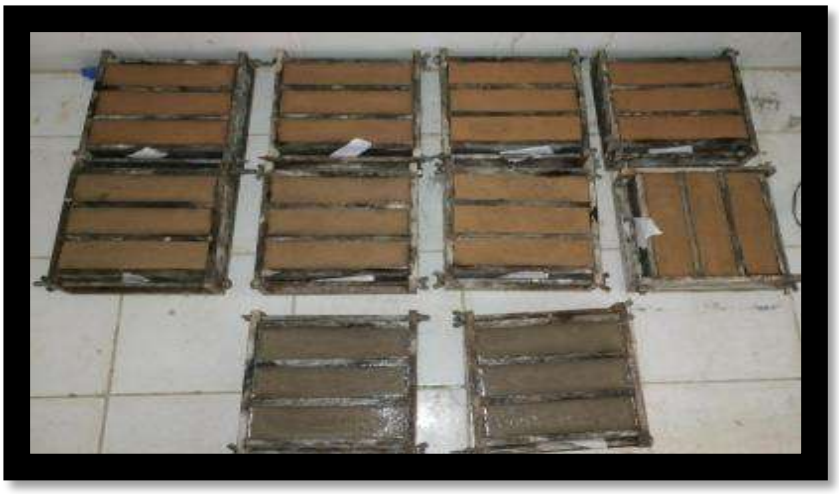
FigureⅢ.8 : Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.



FigureⅢ.9 : Malaxeur a mortier.

3.6.2. Préparation des éprouvettes :

Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique (4x4x16cm) destinés aux différents essais programmés à l'état durci.



FigureⅢ .10: Eprouvettes confectionnées.

3.6.3. Conservation des éprouvettes :

Après la confection, les éprouvettes ont été conservées soit dans un bac remplit d'eau àune température de 20 ± 2C°, ou bien a l'air du laboratoire d'une température ambiante de 20°C ± 2°C, jusqu'au moment des essais (figure Ⅲ.11).



Figure Ⅲ.11 : Conservation des éprouvettes.

3.7. Essai sur mortier durci :

3.7.1. Essai de Résistance à la compression :

C'est une méthode pour caractériser le comportement d'un matériau soumis à une charge d'écrasement. L'éprouvette est comprimée, puis la résistance à la compression est enregistrée. Un schéma représentant le principe de l'essai d'écrasement pour un échantillon du mortier est illustré ci-dessous sur la **Figure Ⅲ.12.**

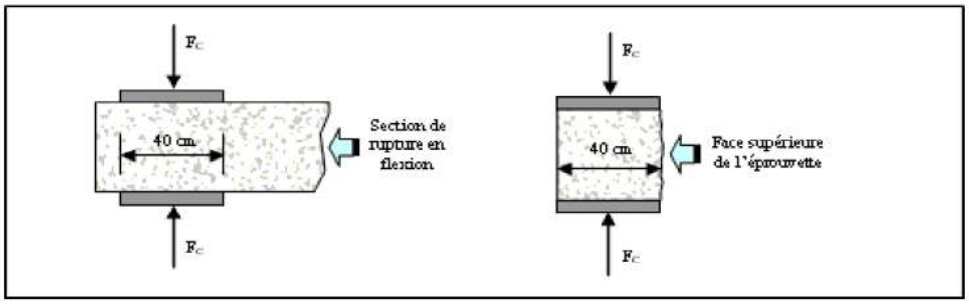


Figure Ⅲ.12: Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression du mortier.

3.7.2. Essai de traction par flexion :

Selon la norme [EN 196-1] c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Fig II.4), une éprouvette prismatique de côté b et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 28 et jours et 90 jours

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante **:**

$\sigma = \frac{M}{I} v$

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $M = \frac{F_f L}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale**:** $\boldsymbol{I = \frac{a^4}{4}}$

3.7.3. Essai du retrait et gonflement :

Le retrait est un facteur très important dans la pratique, car il entraîne souvent l'apparition de fissures qui peuvent nuire à la durabilité du béton. La présence des éléments fins engendre des modifications dans le squelette solide vis-à-vis de la déformation (retrait) du mortier. Cet essai consistera à mesurer le retrait et le gonflement sur des différents mortiers à base de sable de carrière. Les mesures et les observations sont faites au cours de cet essai portent sur la mesure du retrait et du gonflement des mortiers sur prismes 4x4x16 cm3 sur une période de 28 jours.

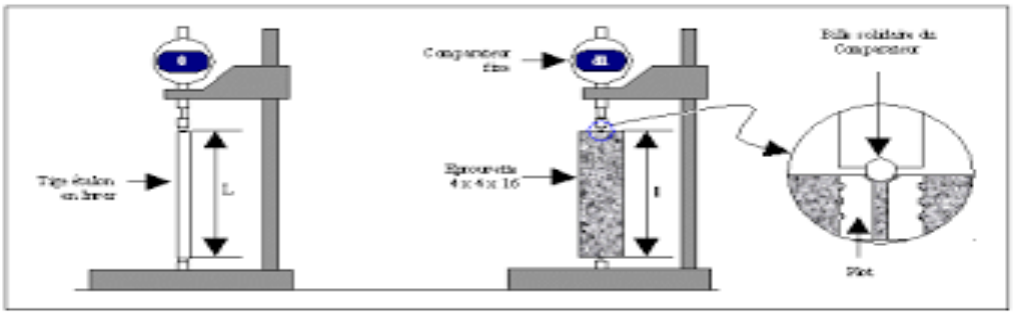


Figure Ⅲ.13 : Essai de retrait.

3.7.4. Essai d'Absorption capillaire :

Conformément à la norme NBN NE 13057. Dans cet essai, on prend un morceau D'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse (m0) au début. Après on l'introduit dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) et pendant chaque intervalle de temps (12min, 30min, 1h, 2h, 4h, 24h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse (m1). La différence de poids entre m1 et m0 et le poids de l'eau absorbée (m1-m0).



FigureⅢ .14 : Essai d'absorption d'eau par capillarité.

3.7.5. Essai d'Absorption par immersion :

L'absorption d'eau par immersion d'un mortier est déterminée selon la prescription de la norme NBN B15-215 1989**.**

Cet essai a été effectué afin d'avoir une idée sur la porosité interne du matériau, en déterminant la masse d'eau que peut absorber les éprouvettes après immersion totale durant une période donnée.

Rappelons que l'essai consiste à un charge des éprouvettes (4×4×16) cm 3 du mortier jusqu'à masse sèche constante dans une étuve ventilée dont la température est maintenue à150°C.

Ensuite l'émersion totale des éprouvettes dans un bac à eau à 20±2°C durant un minimum de 48h et jusqu'à saturation du matériau. Avant la pesée l'éprouvette est essuyée avec une éponge humide de manière à la débarrasser de son eau superficielle. La masse est considéré constante lorsque deux pesées successives à 24h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0.1%. Une fois la masse saturée obtenue et la masse à sec préalablement connue, nous avons déterminé la masse d'eau absorbée.

L'absorption d'eau par immersion Ab est exprimée en % de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100$$

Ma : masse de l'échantillon imbibé d'eau.

Ms : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

Les résultats obtenus sur 3 éprouvettes de chaque type de mortier sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de 3 valeurs mesurées.

3.7.6. Essai de porosité :

La porosité accessible a été mesurée par pesée hydrostatique, suivant la norme NF EN18- 459 . Les mesure ont été effectuées après conservation des éprouvettes (4x4x16) cm3 dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours. Cette mesure simple, praticable sur une large variété de pattes de ciment, mortiers ou bétons, est considérée comme un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de la qualité du matériau. Elle est calculée grâce à la déférence de masse entre un échantillon à l'état saturé.

Cette méthode (pesée hydrostatique) présenté dans la Figure étant certainement la plus simple parmi toutes celles permettant d'accéder aux déférents indicateurs de durabilité, les spécifications proposées sont préférentiellement basées sur la porosité à l'eau. L'essai comprend les étapes suivantes **:**

1. Pesée hydrostatique :

Cette pesée s'effectue en immergeant complètement l'éprouvette à l'aide d'une balance hydrostatique (précession 0.01g) pour obtenir M eau de l'éprouvette immergée dans l'eau.

2. Pesée à l'air :

Après la pesée à l'eau, il faut essuyer rapidement superficiellement l'éprouvette avec un chiffon sec sans toutefois retirer l'eau des pores. Ensuit peser immédiatement l'éprouvette à 'air à 0.01 g prés. On obtient de cette manière, la masse Mair de l'éprouvette imbibée. Pour mieux caractériser un mortier, l'essai est réalisé sur 3 échantillons.

3. Pesée à sec :

S'effectue par étuvage de l'échantillon à une température de 105 ±5°C jusqu'à stabilisation de la masse, c'est-à-dire lorsque deux pesées consécutives espacées de 24 heures ne déférent pas de plus de 0.05%. La masse ainsi déterminer est la masse de l'éprouvette sèche M sec on utilise la formule suivante pour calculer la porosité accessible à l'eau P :

$$P = \frac{(Mair - Msec)}{(Mair - Meau)}$$

CHAPITRE Ⅳ : Résultats et interprétations

Les résultats de tous les essais sont regroupées dans le présent chapitre et sont divisés en deux parties :

1.A l'état frais :

1.1. L'étalement :

Représenté sur la figure 3.1. l'étalement décroit en fonction du pourcentage de substitution du ciment par de la poudre de brique recyclé (PBR) pour les trois finesses F1=3300 cm^2 /g ,

F2 =4400 cm^2 /g et F3=6200 cm^2 /g .

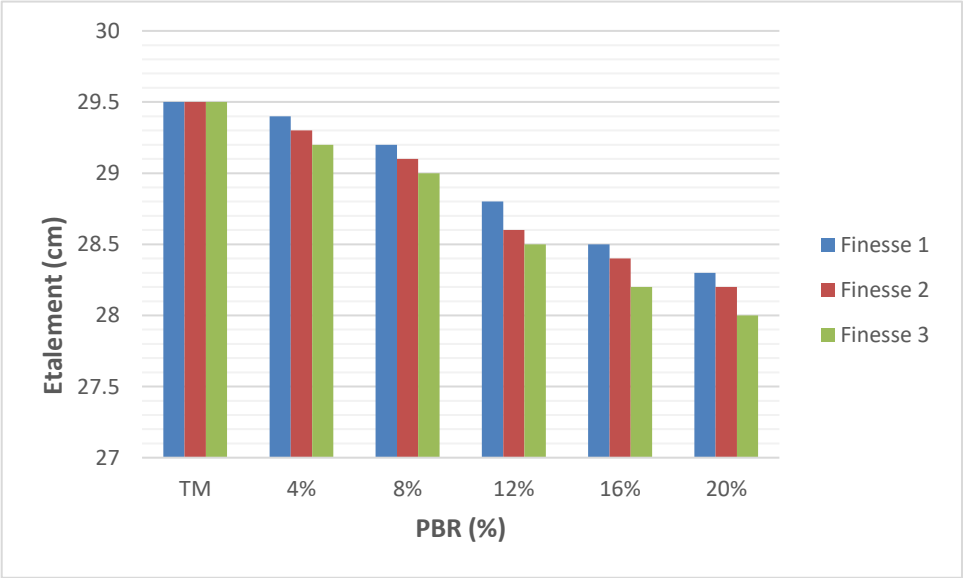


Figure Ⅳ.1 : Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique.

En général, pour une poudre plus fine, le mortier s'étale moins que s'il était préparé à base de poudre grossière.

1.2. V-Funnel :

La capacité de remplissage évaluée à l'aide de l'essai V-Funnel des mortiers à différents taux de substitution du ciment par de la poudre de brique et pour les deux finesses est représentée sur la figure Ⅳ.2.

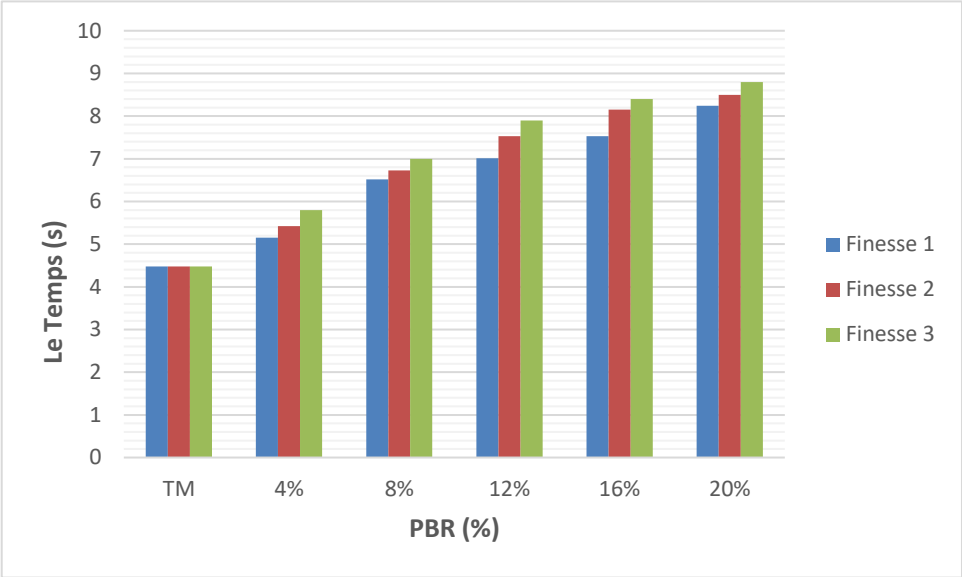


Figure Ⅳ .2 : Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les trois finesses de la poudre de brique.

Il est clairement montré qu'avec l'augmentation du pourcentage de la poudre, le mortier met plus de temps pour s'écouler qui est en accord avec le résultat de l'étalement. Sur ce même graphique, il est montré qu'en augmentant la finesse de la poudre, met plus de temps aussi à s'écouler.

2. A l'état durci :

2.1 .Le retrait :

a. Finesse 1 :

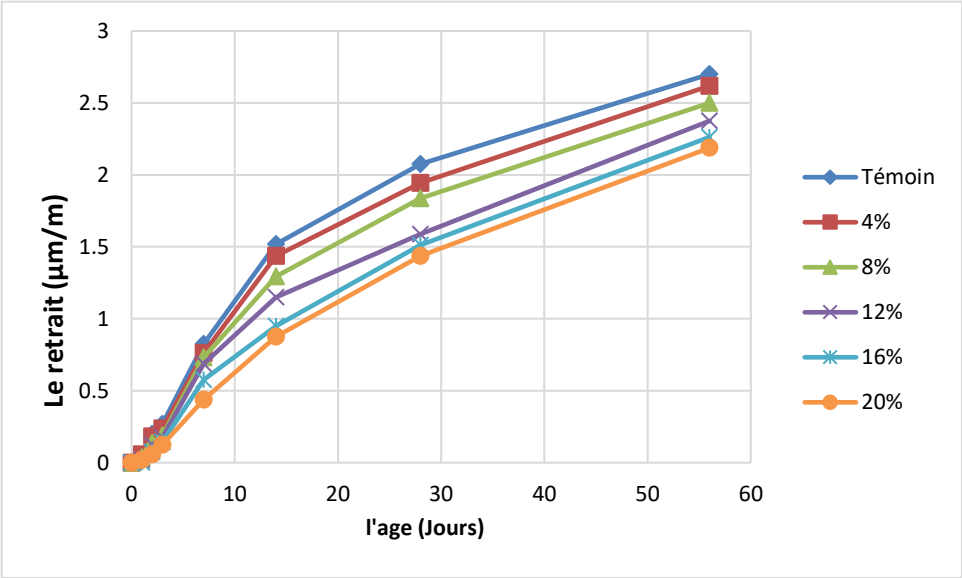


Figure Ⅳ.3 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 3300 cm^2 /g.

Le retrait augmente dans le temps et diminué avec l'introduction progressive des déchets de brique.

Bien que le retrait augmente avec l'âge, pour toutes les compositions, il reste toujours inférieur à celui du témoin, donc la poudre de brique a un effet bénéfique sur la variation dimensionnelle du matériau.

b. Finesse 2 :

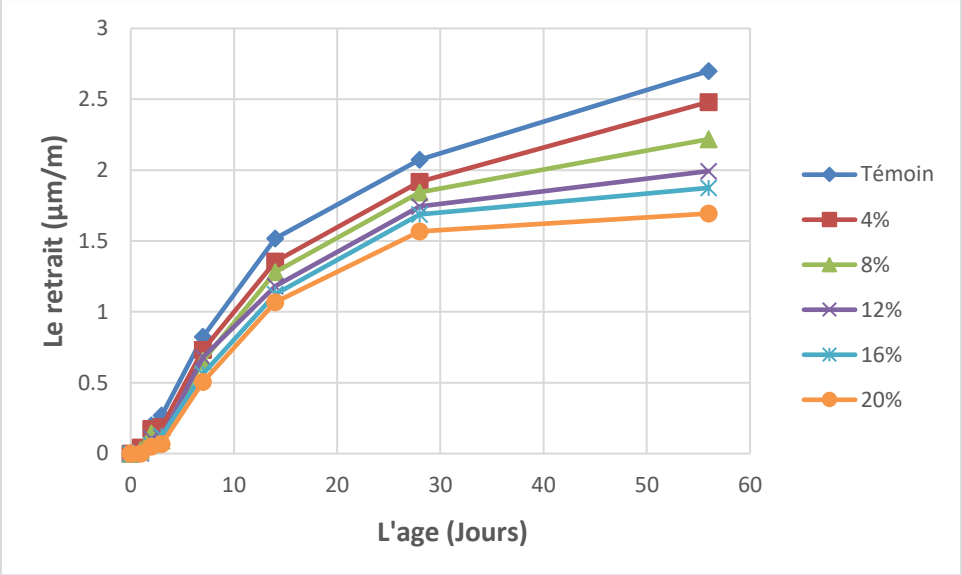


Figure Ⅳ.4 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 4400 cm^2 /g.

c. Finesse 3 :

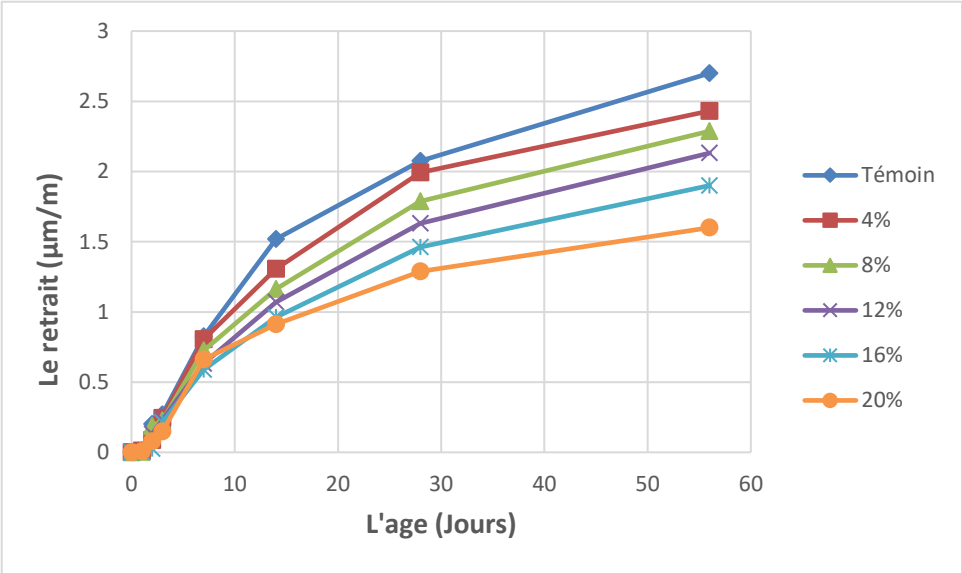


Figure Ⅳ .5 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 6200 cm^2 /g.

En comparant les trois finesses, il est constaté que les matériaux fabriqués avec la finesse 3 procure moins de retrait que ceux fabriqués avec les finesses 2 et 3.

2.2. Gonflement :

Le gonflement des éprouvettes de mortier contenant 0%,4%,12%,16% et 20% de fines de déchets de brique est présenté sur les figures 3.5 ,3.6 et 3.7 respectivement pour les finesses 1 ,2 et 3.

A. Finesse 1 :

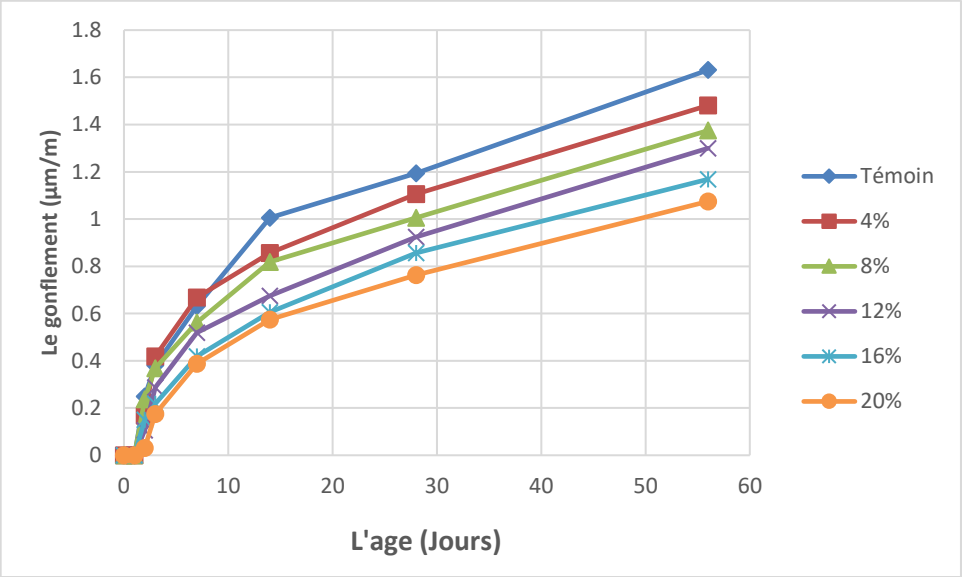


Figure Ⅳ.6 : Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 3300 cm^2 /g.

Le gonflement augmente dans le temps et diminue avec l'introduction progressive des déchets de brique.

Pour toutes les compositions, le gonflement reste toujours inférieur à celui du témoin, donc la poudre de brique à un effet bénéfique sur le gonflement du matériau.

B. Finesse 2 :

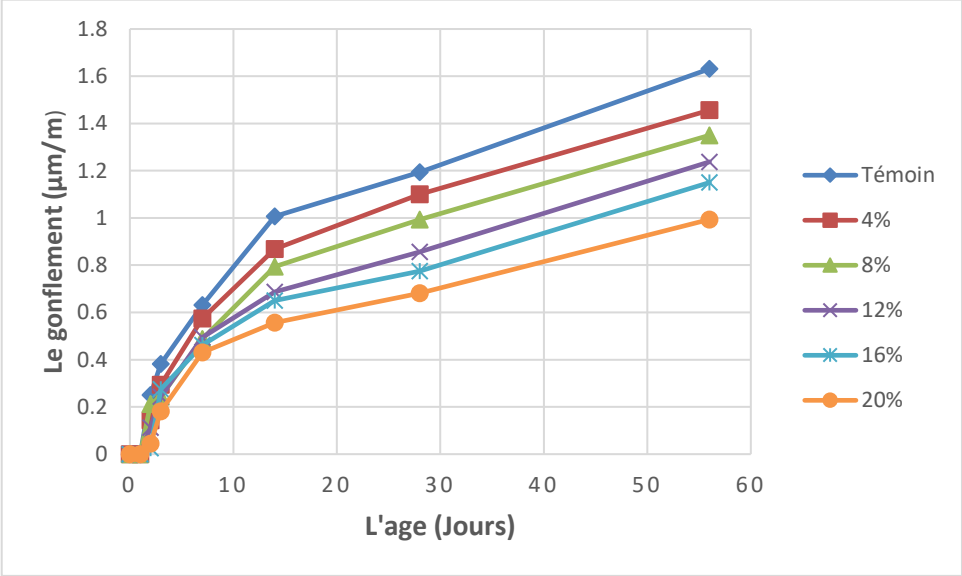


Figure Ⅳ .7 : Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 4400 cm^2 /g.

Le gonflement du matériau fabriqué avec la finesse 2 est meilleur que celui avec la finesse 1.

c. Finesse 3 :

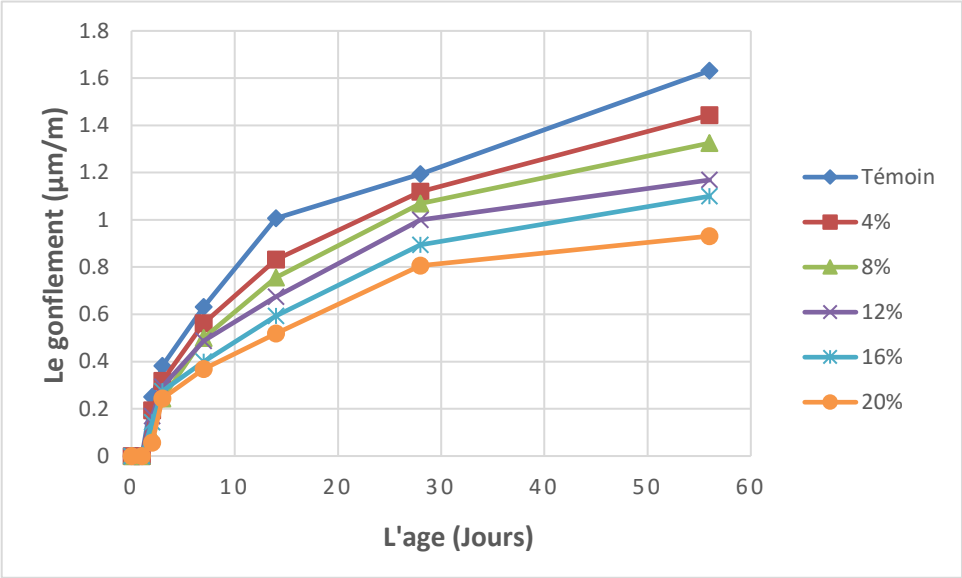


Figure Ⅳ.8 : Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse 6200 cm^2 /g.

On observe que le matériau fabriqué avec la finesse 3 est meilleur que celui avec les deux autres finesses.

3. Conclusion :

Des résultats trouvés il ressort que :

L'utilisation des déchets de briques en tant que substituant au ciment n'améliore pas les propriétés rhéologiques du composite par rapport au MAP témoin en parlant de l'état frais.
Le mortier avec poudre de brique a un retrait et gonflement réduit comparativement au témoin sans charge

Conclusion générale :

Les déchets industriels augmentent en raison du développement technologique et l'augmentation de la population. Nous avons donc pensé à l'exploitation dans une autre Région pour les réduire, on a choisi les déchets de brique et de verre sous forme de poudre et en partie pour les remplacer par du ciment.

L'objectif principal de cette étude été la valorisation de déchets de brique et de verre sous forme de poudre fine comme substitution au ciment et d'analyser son effet sur les propriétés physiques, mécaniques et la durabilité du mortier autoplaçant.

D'après les conditions qu'on a vécu cette année on n'a pas peu travaillé la partie de verre donc on a travaillé juste sur la partie de la brique.

Les pourcentages de substitution du ciment par les fines de déchets de brique sont : 0%, 4%, 8%, 12% et 20%. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

Pour la brique :

- La poudre de brique (PBR) influe négativement sur l'ouvrabilité du MAP en fonction de l'augmentation du taux de substituions et de la finesse.
- Le mortier avec poudre de brique a un retrait et gonflement réduit comparativement au témoin sans charge

Avec un sable de dune le mortier fabriqué participe à sa valorisation vu qu'il a été utilisé seul ; d'où un autre avantage de ce nouveau matériau élaboré

Combiné au sable, la poudre recyclée dans le mortier élaboré participe à la réduction de la consommation du ciment et donc entraine une réduction du cout de construction des ouvrages.

Références Bibliographiques:

[1] R'MILI : Étude de formulation et de comportement des bétons autoplaçant : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.

[2] HOLCIM : Le béton autoplaçant. Recommandation étudiée par la société HOLCIM. Suisse. 26 Novembre 2004.

[3] BOUALI : Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires mémoire de magister. Université M'HAMED BOUGARA .BOUMERDE, 2014.

[4] ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL AFGC 2008 : Groupe de Travail - Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants. Documents scientifiques et techniques. Janvier 2008.

[5] YURUGI, SAKATA, IWAI & SAKAI 1993 : Mix proportion for highly workable concrete. Conference concrete. September 1993.

[6]TANGTERMSIRIKUL, SAKAMOTO, SHINDOH & MATSUOKA 1991: Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taiseitechnicalresearch report. N° 24, p 369-376. Décembre 1991.

[7] LARRARD, BOSC, CATHERINE & DE FLORENNE 1996 : La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. N° 202, p 61-69. Mars-Avril 1996.

[8] SEDRAN « Rhéologie et rhéomètrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », thèse de doctorat, école nationale des ponts et chaussées, Paris, France, Mars.

[9] KUROIWA, MATSUOKA, HAYAKAWA [10]et SHINDOH 1993: Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American concrete institute.(High performance concrete in severe environments). Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.

[10] SHINDOH, MATSUOKA, TANGTERMSIRIKUL et SAKAMOTO 1992: Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete. Transactions of japan concrete institute. p 71-78. 1992.

[11] OKAMURA 1999: “Self-compacting concrete, development, present use and future”, In proceedings of the first international RILEM Symposium of se lf-compacting concrete, RILEM 1999.

[11] OKAMURA 2000: OKAMURA, OZAWA, and OUCHI, “Self-compacting concrete” structural concrete. March 2000.

[11] OKAMURA 2003: “Self-compacting concrete”, Journal of Advanced concrete technology. April 2003.

[12] KHAYAT, GHEZAL & HADRICHE 1999: Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete. RILEM materials and structures.1999.

[12] KHAYAT, ASSAD, DACZKO 2004. “Comparison of field-oriented test methods to assess dynamic stability of self-consolidated concrete”, ACI Materials Journal. March –April 2004.p 168-176.

[13] GUELLIL: Formulation des bétons autoplaçant par la méthode de la pate en excès et soutenu le 2012.

[14] BENCHAA: Properties of self-compacting mortar made with various types of sand 2012.

[15] BOUSSAOUI: « Valorisation des sous-produits caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ».
Master en génie civil option : Structures et Matériaux .Constantine : Université Mentouri 2010-2011.

[16] ARTICLE : Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, juin 1981.

[17] LOUVIGNY « Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée ».Thèse de doctorat, université Montpellier 2001.

[18] BARKAT : « valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ».
Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil Ouargla : Université KASDI MERBAH ,05/11/2006.

[19] http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29:

- PHILIPPE ARAGASS, Brique et architecture dans l'Espagne médiévale, madrid, bibliothèque de la casa de velazquez, 2003.
- DANIEL BADUEl, Briqueteries et tuileries disparues du val-d'oise, saint-martin-du-tertre, office de tourisme., 2002,p 298.
- SANDRINE BANESSY et JEAN-JACQUES Germain, La brique. L'or rouge du midi toulousain, toulouse, tourisme médias éditions, 2004, p96.
- JAMES , CAMPBELL et WILL PRYCE, L'art et l'histoire de la brique. Bâtiments privés et publics du monde entier, Paris, 2004.
- PIERRE CHABAT, La brique et la terre cuite, Paris, 1886.
- THOMAS et HARRY, medieval brick architecture in flanders and northern Europe, 2008.
- KORNMANN et CTTB, Matériaux de construction en terre cuite, fabrication et propriétés, Paris, 2007, p 275.
- MORISOT, Tableaux détaillés des prix de tous les ouvrages du bâtiment.
- ADREW BRICKWORK : Architecture and design, 2000, p224.
- MARTIN SAUVAGE, La brique et sa mise en œuvre en mésopotamie. Des origines à l'époque achéménide, Paris, 1998, p 482.

[20] ARTICLE : manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, p 92.juin 2006

[21] JIAHUSHAOET, 2019 « Study on the pozzolanic reaction of clay brick powder in blended cement pastes », Construction and building material, p 209-215.

[22] HEIDARI, Effects of waste bricks powder of gachsaran company as a pozzolanic material in concrete, Asian J. Civ. Eng. p755–763.2013.

[23] JOSE MARCOSORTEGA 2018 « Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars », construction and building materials p691–702.2018.

[24] TOLIDO.GONCALVES, Americano, Fairborn EM R. Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in brazil, cement and concrete research.2007.

[25] O'FARRELL, WILD, SABIR, Resistance to chemical attack of ground brick. PC mortar Part II. Synthetic seawater. Cement and concrete research. p757-765.2000.

[26] BEN OUELHA -Mémoire de fin d'études valorisation des déchets de verre comme sable dans la confection des bétons. Université MOUHAMED BOUDAIF-M'SILA.2005.

[27] IDIR.TAGNIT-HAMOU Peut-on valoriser massivement le verre dans les bétons ? Etude des propriétés des bétons de verre, rapport. Centre d'études techniques université de Toulouse France. Décembre 2010.

[28] KOJIMA, TAKAGI et HARUTA. Expanding characteristics of mortar in glass powder produced from waste bottles, 11th international conference on alkali aggregate reaction. 2000.

[29] SCHOLZE. Le verre, nature, structure et propriétés ; institut du verre, Paris 1980.

[30] ZEROUB, 2017. CHAID, KENAI, ZEROUB, & JAUBERTHIE,2015 : Microstructure and permeability of concrete with glass powder addition conserved in the sulphatic environment. European journal of environmental and civil engineering, p219-237.

[31] SAAND, ABDULLAH, MANTHARKEERIO, KHOSO et BANGWAR, 2017. Utilization of waste glass as partial replacement of fine aggregate in concrete. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35674.85440

[32] NGUYEN 2015. Étude de la microstructure des liants ettringitiques influence sur les propriétés macroscopiques : Résistance et variation dimensionnelle. L'institut national des sciences appliquées de Lyon.

[33] TAMANA.2016., NORSUZAILINA, TULADHAR, DELSYE, &YAKUB 2016. Pozzolanic properties of glass powder in cement paste. Journal of Civil engineering, science and technology, p79–80. Consulté sur sciencedirect.com

[34] ZIDOL, 2009 « Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires. Université de Sherbrooke ».

[35] XU 2006 et SHAYAN. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. Cement and concrete research.

[36] KOSMATKA 2008, KERKHOFF, & PANARESE 2008. Design and control of concrete mixtures. Consulté sur : https://www.researchgate.net/profile/Steven_Kosmatka/publication/284663491_Design_and_Control_of_Concrete_Mixtures/links/5655d8f908aefe619b1c5f2b/Design-and-Control-of-Concrete-Mixtures.pdf

[37] MOHAMED BOUTEBEN YASMINE: Effet de l'incorporation et du dosage des fibres métallique sur les caractéristiques du BHP à base de Poudre de verre. Mémoire de fin d'étude de master.2015.