REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Etude des propriétés d'un mortier autoplaçant avec la poudre de brique comme substituant au ciment

---

Présenté par :

M^{elle} Bouldoum Imene

Mr. Ferrah Hicham

Proposé et Dirigé par

DR. Bentchikou Mohamed

M^{elle} Bouleghbar Yasmine

Promotion 2019

Remerciement

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre promoteur Monsieur le Docteur Bentchikou Mohamed pour avoir dirigé ce travail de recherche. On lui exprimant ici un profond respect et une grande gratitude.

Nous voudrons également exprimer nos remerciements à Madame Bouleghbar Yasmine la co-promotrice de notre mémoire pour nous avoir accueillis et aidés à réaliser notre étude expérimentale.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nous souhaitons exprimer nos remerciements à Monsieur l'ingénieur de Hall technologique Aissou Nadhir

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Je souhaite enfin, remercier tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué au bon déroulement de ce travail

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chère mère, celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite

A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui m'a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et me protéger.

Que dieu les garde en bonne santé e leur procure une longue vie

A mes meilleures amies Ines ; Fella ; Nawel

A mes cousines Ahlem ; Kawther et Nahed

Et tout membre de ma grande famille

A tous mes amis sans exception A tous qui mon soutenue dans mes moments pires

A mes camarades de master MDC chacun avec son nom

Et toute la promotion 2019

A tous ceux qui m'aiment

Et tous ceux que j'aime

Bouldoum Imene

Dédicace

Je dédie ce travail à dieu, le tout puissant, le très miséricordieux, de m'avoir donné la vie, la santé, et l'opportunité de mener à terme cette thèse.

A ma mère Ferrah Kheira, comblé de ton amour depuis ma plus tendre enfance, j'ai vu en toi un havre de plénitude, de paix et d'épanouissement. Tu as si gracieusement su m'aider à me relever après chaque obstacle, tu as continué à croire en ma réussite quand je ne croyais plus en ma personne. Tu n'as jamais cessé de me témoigner ta confiance et je te serai à jamais reconnaissant de faire de moi l'homme que je suis aujourd'hui. Tes sacrifices, ton dévouement, et la bonté suprême de ton cœur resteront à jamais gravés dans ma mémoire.

A mon frère Raouf et sa petite famille, merci pour tout le soutien que vous m'avez si bienveillamment accordé.

A mon père Ferrah Ameur, merci de m'avoir appris les valeurs du travail, du courage et de résilience.

A mon cercle de confiance :

Mon bKHa-s droit, merci d'être la paix dans mes tempêtes, je ne saurais jamais te remercier pour tous ce que tu as faits pour moi,

Mes frères de Cœurs, Fouzi, Hamza, Hamid, Moundhir, Riad, Youcef, merci de m'avoir si merveilleusement épaulé durant toutes ses années. Je garderai précieusement tout ce qu'on a vécu ensemble.

Ferrah Hicham

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو دراسة إمكانية استخدام نفايات الطوب الطيني(الاجور)كبديل جزئي للإسمنت في ملاط التسوية الذاتية حيث أن نفايات القرميد مطحون بنعومة مختلفة مثل 4400 و 6200 سم2/ غ لتقييم تأثيرا حجم الجسيمات على سلوك الخرسانة.

أجريت الاختبارات المعملية لتحديد قابلية التشغيل، وخصائص قوة الشد والضغط، والانكماش، وامتصاص الشعيرات، ومسامية الخرسانة ذاتية الغلق مع 0٪ ,4٪ ,8٪ ,12٪ ,16٪و 20٪ و استبدال جزئي للإسمنت بمسحوق الاجور. للإسمنت بمسحوق القرميد

أظهرت النتائج أن استبدال الإسمنت بمسحوق الاجور في الملاط الذاتي يقلل بشكل كبير من قابليته للتشغيل ، وكذلك استبدال 4٪ و8 ٪ من الإسمنت بمسحوق الاجور ينتج مقاومات مماثلة لملاط المرجعي.

كلمات المفاتيح : الملاط، التسوية الذاتية،نفايات الطوب الطيني ،الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية.

Résumé

L’objectif principal de cette étude est d’examiner la possibilité d’utiliser les déchets de brique d’argile en remplacement partiel du ciment dans le mortier autoplçant. Les déchets de briques sont broyés à des finesses différentes de 4400 et 6200 cm^2/g pour évaluer l’effet de la taille des particules sur le comportement de mortier.

Des tests de laboratoire ont été effectués pour déterminer ,l’ouvrabilité, les propriétés de résistance à la traction et à la compression , retrait , absorption capillaire, porosité du mortier autoplaçant avec 0%,4%,8%,12%,16% et 20% de remplacement partiel du ciment par la poudre de brique.

Les résultats montrent que la substitution du ciment par la poudre de brique dans le mortier auto plaçant décroît légèrement son ouvrabilité, ainsi que la substitution de 4% et 8% du ciment par la poudre de brique produisent des résistances comparables au mortier témoin.

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

Abstract

The main objective of this study is to examine the possibility of using clay brick waste as a partial replacement for cement in the self-plying mortar. Brick waste is crushed to different finenesses such as 4400 and 6200 cm2/g to assess the effect of particle size on mortar behavior.

Laboratory tests were carried out to determine, workability, tensile and compressive properties, shrinkage, capillary absorption, self-positioning mortar porosity with 0%, 4%, 8%, 12%, 16% and 20% as partial replacement of cement by brick powder.

The results show that the substitution of cement by brick powder in the self-compacted mortar slightly decreases its workability, as well as the substitution of 4% and 8% of cement by brick powder produce resistances comparable to the control mortar.

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

Introduction générale 1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1 Première partie: Valorisation des déchets 3

1.1.1 Introduction 3

1.1.2 Valorisation des déchets en Algérie 3

1.1.3 Définition du terme déchet 3

1.1.4 Source des déchets 3

1.1.5 Constitution chimique du déchet 4

1.1.6 Classification des déchets 4

1.1.7 Valorisation des déchets dans le domaine de génie civil 5

1.1.8 Les déchets de brique 6

1.1.8.1 Généralité sur la poudre de brique 6

1.1.8.2 Intérêt de l'utilisation des déchets de brique dans la construction 7

1.1.8.3 Effet des déchets de brique sur l'ouvrabilité 7

1.1.8.4 Effets des déchets de brique sur la résistance à la compression 8

1.1.8.5 Effet des déchets de brique sur le retrait 9

1.1.8.6 Effet des déchets de brique sur la porosité 10

1.1.8.7 Effet des déchets de brique sur l'absorption capillaire et la sorptivité 11

1.1.8.8 Effet des déchets de brique sur les diffusions des ions de chlore 12

1.1.8.9 Le déchet de brique (brique broyée) et l'activité pouzzolanique 12

1.1.8.10 Performance des mortiers et bétons à base de DB 12

1.1.9 Conclusion 13

1.2 Deuxième partie: le BAP 15

1.2.1 Définition 15

1.2.2 Constituants de béton auto-plaçant 16

1.2.2.1 Ciment 16

1.2.2.2 Granulats 16

1.2.2.3 Eau 17

1.2.2.4 Les ajouts minéraux 17

1.2.2.5 Les superplastifiants 17

1.2.3 Les propriétés du béton auto-plaçant 17

1.2.3.1 Les essais A l'état frais 18

1.2.3.2 A l'état durci 19

1.2.4 Méthode de formulation 19

1.2.4.1 La Méthode Japonaise 20

1.2.4.2 Méthode Suédoise 21

1.2.4.3 Méthode Française (LCPC) 21

1.3 Troisième partie : le MAP 23

1.3.1 Introduction 23

1.3.2 Etymologie des mortiers 23

1.3.3 Définition 23

1.3.4 Constituants des mortiers 23

1.3.4.1 Le Liant 23

1.3.4.2 Sable 24

1.3.4.2 L'eau de gâchage 24

1.3.4.3 Les additifs 24

1.3.5 Différents types des mortiers 25

1.3.6 Classification des mortiers 26

1.3.6.1 Classification selon leur domaine d'utilisation 26

1.3.6.2 Classification selon la nature du liant 27

1.3.7 Mortier auto plaçant 27

1.3.7.1 Définition 27

1.3.7.2 Application 27

1.3.7.3 Données techniques 27

1.3.8 Les essais de caractérisation d'un mortier 28

1.3.8.1 Ouvrabilité 28

1.3.8.2 Prise 29

1.3.8.3 Résistances mécaniques 30

1.3.8.4 Retraits et gonflements 30

1.3.8.5 Masse volumique apparente 31

1.3.8.6 Masse volumique absolue 31

1.3.8.7 Porosité et compacité 31

Conclusion 32

Chapitre 2 : Matériaux et essais

2.1 Introduction 32

2.2 Matériaux utilisées 32

2.2.1 Le ciment 32

2.2.2 Le sable 34

2.2.3 La brique 35

2.2.4 L'eau de gâchage 36

2.2.5 Le superplastifiant 36

2.3 Formulation du mortier autoplaçant 37

2.4 Formulation du mortier autoplaçant à base de poudre de brique 38

2.5 Confection et Cure des éprouvettes 40

2.5.1 Malaxage du mortier autoplaçant 40

2.5.2 Préparation des éprouvettes 41

2.5.3 Conservation des éprouvettes 42

2.6 Les essais 42

2.6.1 Equipement nécessaire 42

2.6.2 Les essais effectués sur les granulats 44

2.6.2.1 Masses volumiques 44

2.6.2.2 Equivalent de sable 46

2.6.2.3 Analyse granulométriques 48

2.6.2.4 Taux d'absorption du sable 48

2.6.3 Essai sur mortier 49

2.6.3.1 A l'état frais 49

2.6.3.2 A l'état durci 51

Conclusion 60

CHAPITRE 3 : Résultat et interprétation

3. 1 Introduction 61

3.2 A l'état frais 61

3. 2. 1 L'étalement 61

3. 2. 2. V-funnel 62

3. 3 A l'état durci 64

3.3.1 La résistance: 63

3.3.1.1 Compression 63

3.3.1.2 Traction 66

3.3.2 L'absorption capillaire 68

3.3.2.1 Conservation à l'eau 69

3.3.2.2 Conservation à l'air 71

3.3.3. La porosité accessible à l'eau 72

3.3.4 Absorption par immersion 74

3.3.5 Le retrait 75

3.3.6. Gonflement 77

Conclusion 80

Conclusion générale 81

Recommandation 81

LIST DES FIGURES

Figure 1.1 : Fluidité des mortiers à base de différents taux de substitution de sables par les DB..... 8

Figure 1.2 : effet des DB sur la résistance à la compression des mortiers 9

Figure 1.3 : effet des différents taux de substitution de ciment par le MK et DB sur la porosité totale 10

Figure 1.4 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les DB sur la sorptivité ……..11

Figure 1.5 : L'effet de la substitution de ciment par du métakaolin ou des fines de brique sur quelques paramètres de performance et de durabilité des mortiers et bétons..... 13

Figure 1.6 : différence de mise en place entre le BAP et le BO… 15

Figure 1.7: les composants de BO et BAP 16

Figure 1.8 : le mécanisme d'action du SP à base de polycarboxilate..... 17

Figure 1.9: Table à secousses 28

Figure 1.10: Essai au Maniabilimètre LCPC-B..... 29

Figure 1.11 : Appareil de VICAT..... 30

Figure 2.1 : Ciment portland utilisé..... 32

Figure 2.2 : Courbe granulométrique de sable normalisé..... 35

Figure 2.3: Sable de Oued-Souf utilisé..... 35

Figure 2.4 : La poudre de brique utilisée..... 36

Figure 2.5: Le superplastifiant MEDAFLOW 145 utilisé..... 37

Figure 2.6: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant 40

Figure 2.7 : Malaxeur a mortier..... 41

Figure 2.8 : Eprouvettes confectionnées.....41

Figure 2.9 : Conservation des éprouvettes.....42

Figure 2.10 : Equipements nécessaires..... 44

Figure 2.11 : Le cône et le récipient 45

Figure 2.12 : Masse volumique absolue 46

Figure 2.13 : Procédure de mesure de l'équivalant de sable 47

Figure 2.14 : Procédure de taux d'absorption.....49

Figure 2.15 : Essai d'étalement au mini cône..... 50

Figure 2.16 : Essai à l'entonnoir en V pour mortier..... 51

Figure 2.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction 53

Figure 2.18 : Dispositif de rupture à la compression..... 54

Figure 2.19 : Presse hydraulique 54

Figure 2.20 : Comparateur numérique..... 55

Figure 2.21 : Essai d'absorption d'eau par capillarité..... 57

Figure 2.22 : Essai de porosité.....58

Figure 3.1: Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique 61

Figure 3.2: Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique 62

Figure 3.3: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f1 et conservées à l'air en fonction du taux de substitution pour différents âges 63

Figure 3.4: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f1 et conservées dans l'eau en fonction du taux de substitution pour différents âges 64

Figure 3.5: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f2 = 6200 cm²/g et conservées à l'air en fonction du taux de substitution pour différents 65

Figure 3.6 Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f2 et conservées dans l'eau en fonction du taux de substitution pour différents âges 65

Figure 3.7 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec f1= 4400 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées à l'air 66

Figure 3.8 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec la finesse f1 à différents âges pour les éprouvettes conservées dans l'eau ..... .67

Figure 3.9 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec f2= 6200 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées à l'air 67

Figure 3.10 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec la finesse f2= 6200 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées dans l'eau 68

Figure 3.11: Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 1 ère finesse et conservées dans l'eau 69

Figure 3.12: Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 2ème finesse (f2 = 6200 g/cm²) et conservées dans l'eau 70

Figure 3.13 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 1 ère finesse et conservées à l'air 70

Figure 3.14 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 2ème finesse et conservées à l'air ..... .71

Figure 3.15: Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 4400 g/cm² ..... …72

Figure 3.16 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 6200 g/cm² 73

Figure 3.17 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction de PBR pour les deux finesses conservées à l'air …….73

Figure 3.18 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction de PBR pour les deux finesses conservées à l'eau……..73

Figure 3.19 : Variation de l'absorption par immersion de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 4400 g/cm² 74

Figure 3.20 : Variation de l'absorption par immersion de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 6200 g/cm² 75

Figure 3.21 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 4400 g/cm² 76

Figure 3. 22 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 6200 g/cm² 77

Figure 3. 23 : Variation du retrait du composant de mortier 20% de PBR en fonction de l'âge pour les deux finesses……..….78

Figure 3. 24 Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de f1 = 4400 g/cm² ..... …79

Figure 3. 25 : Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de f2 = 6200 g/cm² ..... ….81

Tableaux

Tableau 2.1 : Composition chimique et minéralogique du ciment 33

Tableau 2.2 : Caractéristiques du ciment utilisé 34

Tableau 2.3: Compositions pour finesse 1 (f2=4400cm²/g) 39

Tableau 2.4: Compositions pour finesse 2 (f2=6200cm²/g) 39

Notations et abréviations

BAP	Béton autoplaçant
MAP	Mortier autoplaçant
D	Diamètre d'étalement au mini cône
CPA	Ciment Portland Artificiel
CPJ	Ciment Portland Composée
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
E/C	Rapport eau sur ciment
BO	Béton Ordinaire
CEMI 42.5 R	Ciment portland ordinaire de classe 42.5MPa
R	Résistance
S/M	le rapport Sable/Mortier
PBR	Poudre de brique recyclé
Sp	Super plastifiant
MT	Mortier témoin
MP	Mortier autoplaçant à base de poudre de brique
M	Moment de flexion
I	Moment d'inertie
V	La distance de la fibre la plus éloignée
ΔL	Variation de L par rapport à la longueur originale
$\mathbf{L_0}$	longueur origine
SSB	Surface Spécifique de Blaine
$\mathbf{R_C}$	La résistance à la compression
$\mathbf{R_t}$	La résistance à la traction

d	Le diamètre final de la galette
d0	Le diamètre inférieur du cône
E	Quantité d'eau
TM	Mortier témoin
NA	Norme Algérienne
NE	Norme Européenne
C	la compacité
P	la porosité
W	Teneur en eau
ES	Équivalent de sable à piston
ESV	Équivalent de sable à vue
Mf	Module de finesse

Introduction générale

Introduction générale

La fabrication du ciment est l'un des secteurs industriels les plus pollués au monde. Parvenir à une industrie de ciment plus respectueuse de l'environnement constitue un défi, en particulier pour la réduction de l'émission de CO2 générés par la production de ciment.

L'un des moyens les plus courants est de remplacer partiellement voir totalement le clinker par des additions minérales. En outre, cela aura également un effet major sur la réduction des couts de fabrication des bétons et mortier, étant donné que le cout de ciment représente plus de 45% de cout de matériau en Béton.

Pour améliorer la durabilité des structures en béton, et pour réduire la consommation du ciment, l'incorporation de matériaux cimentaires supplémentaires constitue une bonne alternative. De plus, en raison de leur activité pouzzolanique élevée et de leur effet de remplissage, le recours aux ajouts cimentaires, peut conduire à la production d'un béton plus compact, avec de meilleures caractéristiques mécaniques et une perméabilité réduite.

Les ajouts cimentaires peuvent provenir des matériaux naturels, ou des sous-produits, voir des déchets industriels. Parmi les ajouts les plus répondus dans l'industrie cimentaire, on peut citer les fillers calcaires, la fumée de silice, les cendres volantes, la pouzzolane naturelle, les laitiers granulés de hauts fourneaux, les métakaolins et d'autres encore.

Dans notre étude nous avons choisi d'utiliser les déchets de brique sous forme de poudre en substitution du ciment vu les propriétés pouzzolaniques de la brique, en plus que ces déchets représentent un défi pour le système des gestions des déchets dans le monde entier en raison du faible taux de recyclage par rapport à la quantité produite chaque année.

Le but de notre travail est d'examiner la possibilité d'utiliser les déchets de brique d'argile en remplacement partiel du ciment dans le mortier autoplçant, les déchets de briques sont broyés à des finesses différentes telles que 4400 et 6200 cm^2/g pour évaluer l'effet de la taille des particules sur le comportement de mortier.

Des tests de laboratoire ont été effectués pour déterminer ,l'ouvrabilité, les propriétés de résistance à la traction et à la compression , retrait , absorption capillaire, porosité du mortier autoplaçant avec 0%,4%,8%,12%,16% et 20% de remplacement partiel du ciment par la poudre de brique.

Organisation du mémoire

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

- **Une introduction générale**
- **Le premier chapitre** : Une synthèse bibliographique basée sur les différents types de mortier en particulier sur le mortier auto plaçant et aussi le béton autoplaçant, plus la valorisation des déchets et leurs utilisations dans le domaine de la construction.
- **Le deuxième chapitre :** Est consacré à l'étude expérimentale pour donner une idée et une description sur les matériaux utilisés et les essais réalisés. On explique en détail le plan des expériences à mener, la méthodologie et les caractéristiques des matériaux utilisés.
- **Le troisième chapitre :** Contient les résultats d'ouvrabilité, des essais mécaniques, de la durabilité. (l'absorption capillaire, retrait, porosité…..ect).
- Et enfin **une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives** termine notre mémoire**.**

Chapitre1
SyntheseBibliographique

1.1 Première partie: Valorisation des déchets

1.1.1 Introduction

L'épuisement des gisements naturels et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent d'autres sources d'approvisionnement. Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre la production et la consommation et de protéger l'environnent [1]. Le but principal de cette étude est de mettre en évidence la possibilité d`utiliser les déchets de briques comme substituant au ciment pour la fabrication du mortier auto plaçant.

1.1.2 Valorisation des déchets en Algérie

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis à vis de l'environnement. Les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an, soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. [2]

1.1.3 Définition du terme déchet

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [3]

1.1.4 Source des déchets

Les sources des déchets sont très variées et sont classées comme suit [4, 5]:

- Déchets et sous-produits de la fabrication;
- Déchets de la dépollution de l'eau et de l'air;
- Déchets associés à la vie du produit;
- Produits en fin de vie;
- Déchets du traitement des déchets.

La valorisation et le traitement de ces déchets favoriseront la protection de l'environnement ce qui nous permettra de s'inscrire dans une politique de développement durable [6, 7].

1.1.5 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [8].

1.1.6 Classification des déchets

a. En fonction de l'origine des déchets

• Les déchets des collectivités locales ;

• Les déchets des ménages ;

• Les déchets industriels ;

• Les déchets hospitaliers, déchets d'activité de soins ou déchets infectieux ;

• Les déchets agricoles. [9]

b. En fonction de la nature physico-chimique des déchets

Cependant cette première classification ne donne qu'une vision incomplète sur les déchets. Ainsi, un autre classement peut également être fait, mais cette fois selon la nature physicochimique des déchets :

- Les déchets inertes ;
- Les déchets organiques ;
- Les déchets banals ;
- Les déchets toxiques ou dangereux ;
- Les déchets ultimes. [9]

c. En fonction des sources des déchets

i. Ménage

• Ordures ménagères ;

• Déchets encombrants ;

• Déchets spéciaux.

ii. Communes

• Balayures des rues, des marchés ;

• Déchets verts des parcs ;

• Boues de traitement des eaux.

iii. Commerces, services et industrie

• Déchets hospitaliers ;

• Déchets de la production industrielle ;

• Déchets de chantiers ;

• Déchets du secteur énergie et mines ;

• Déchets agricoles. [10]

1.1.7 Valorisation des déchets dans le domaine de génie civil :

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. La récupération et recyclage des déchets a deux impacts très importants, l'impact environnemental qui concerne l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande [11].

Le béton est un matériau qui est souvent perçu comme un lieu potentiel pour les déchets, en raison de sa nature composite et parce qu'il est largement utilisé.

Ce qui signifie que si un déchet peut être utilisé dans le béton, alors certainement de grandes quantités de celui-ci peuvent être recyclées. [12]

Les verres (Tung et al., 2011; Kou et Poon, 2009, Topçu et al, 2008), mais aussi les déchets issus des démolitions briques (Debieb et Kenai, 2008; Khatib, 2005; Poon et Chan, 2006; Khaloo, 1994; Hansen, 1992) et bétons concassés (Gomez, 2002; Tu, 2006; Kou, 2011).

1.1.8 Les déchets de brique

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. [13], mais on peut les utiliser après broyage comme ajout au ciment.

1.1.8.1 Généralité sur la poudre debrique

a. Fabrication de brique

Les briques sont obtenues par cuisson de certaines argiles. La température de cuisson est comprise être 750°C et 1000°C selon le type d'argile et la résistance recherchée.

La cuisson se fait dans un four continu de type four tunnel. Durant la phase de préchauffage, l'humidité des briques est éliminée. A partir d'une température comprise entre 450°C et 600°C se produit le "point de quartz'': il s'agit de la température à laquelle la structure cristalline du quartz est modifiée. A cette étape de la cuisson, les briques sont très sensibles à la formation de fissures.

Enfin, la dernière phase consiste à refroidir les briques. Cette opération doit s'effectuer de façon très contrôlée pour éviter tout risque de fissuration. La fissuration liée aux deux dernières phases donne lieu à 10% à 15% de briques rejetées qui peuvent être recyclées. [14]

b. Les types de brique

On distingue différents types de briques [15]:

- 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), citée par Strabon, Pline et plusieurs autres auteurs anciens

- la brique cuite creuse, inventée au XIXe siècle, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante.
- la brique non gélive,
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc

1.1.8.2 Intérêt de l'utilisation des déchets de brique dans la construction

L'industrie de la brique et de la tuile produit un grand nombre de rejets en raison de ces unités qui peuvent être cassées, déformées, ou sur cuites. Ce matériau est le plus souvent déversé dans les sites autour des briqueteries. Aux années 2000, La Belgique a produit chaque année environ 1000 kg de déchets de démolition et de construction par habitant. Cette masse de gravats se compose de 41% de maçonnerie. [16]

Les déchets de brique peuvent être utilisés dans la matrice cimentaire comme un substituant partiel au ciment ou dans le squelette granulaire comme remplacent partiel des granulats. Dans les deux cas, la surface spécifique Blaine ou le module de finesse doivent être contrôlés avant leur addition dans les différents mélanges. [17]

Bektas et all [18] ont substitué partiellement le sable par des déchets de brique pour la fabrication de mortiers. Le broyage de la brique a été effectué de sorte qu'elle passe à travers un tamis de 4.75 mm. Le module de finesse finale obtenu du sable de rivière et de la brique était respectivement de 3.01 et 3.51.

O'Farrell et all [19] ont utilisé les déchets de brique ayant une surface spécifique de 320 ± 350 kg/m2 comme substitution partielle de ciment à différents taux de substitution,

1.1.8.3 Effet des déchets de brique sur l'ouvrabilité

Les matériaux d'origine argileuse possèdent des capacités d'adsorption, qui dépendent plus au moins d'un certain nombre de paramètres. La figure montre que la tendance de perte de fluidité est presque linéaire pour des taux de remplacement de sable en déchets de brique respectivement de 0%, 10%, 20% et 30%. [17]

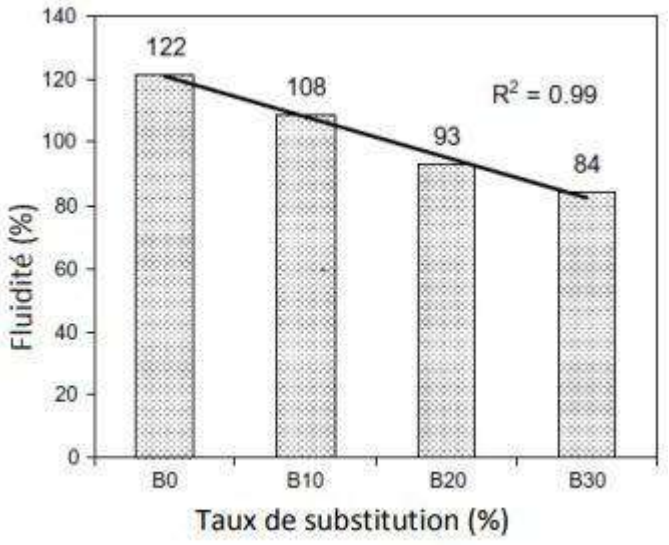


Figure 1.1: Fluidité des mortiers à base de différents taux de substitution de sables par les PBR[18]

Il est évident que la grande capacité d'absorption de la brique en eau diminue significativement la fluidité des mortiers. La brique est un matériau qui contient des pores, dont la porosité peut atteindre 40% en fonction de la matière première et des processus de fabrication. [18]

Debieb et Kenai [16] ont remplacé le sable naturel avec des déchets de brique dans le béton à différents taux de substitution (0%, 25%, 50%, 75% et 100%). Ils ont également trouvé que la consommation en eau augmente avec l'augmentation de la substitution du sable par les déchets de brique pour une ouvrabilité constante.

1.1.8.4 Effets des déchets de brique sur la résistance à la compression :

Bektas et al [18] montrent que les déchets de brique utilisés comme substitution partielle aux granulats jusqu'à 20% ne provoque pas de perte de résistance sur les mortiers (Figure I.3), particulièrement à long terme.

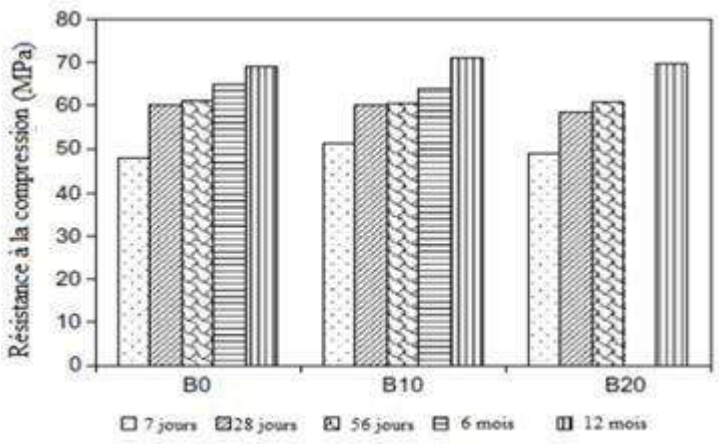


Figure 1.2 effet des DB sur la résistance à la compression des mortiers [18]

Khatib [20] a rapporté que le taux de substitution de 25% des agrégats par la brique produit la même résistance que celle du béton de référence. Le ratio à 28 jours était seulement de 0.84; le gain de résistance entre 28 et 90 jours a été attribué à l'action pouzzolanique fourni par les parties très fines de la brique.

Dans une autre étude, Debieb et Kenai [16] ont observé qu'il y'a une chute de résistance qui varie de 5% à 10% pour un taux de substitution en déchets de brique de 25%. La chute de résistance est de 30% pour une substitution totale de granulats en déchets de brique. Cette diminution de résistance, a été attribuée à l'existence de vieux mortier collé sur les granulats de déchets de brique ainsi qu'à la structure poreuse des granulats de brique qui conduit à une grande consommation en eau, provoquant ainsi la chute de la résistance à la compression.

1.1.8.5 Effet des déchets de brique sur le retrait

Le retrait de dessiccation attire le plus souvent une préoccupation particulière pour le béton fabriqué avec des agrégats recyclés. [17]

Bektas et al. [18] trouvent que le mortier contenant 10% de déchets de brique provoque la plus forte contraction, tandis que le mortier contenant 20% de déchets de brique conduit à la plus faible valeur de retrait. Néanmoins, l'écart entre les différents résultats est relativement faible.

Khatib [20] révèle que plus le taux de substitution en déchets de brique augmente et plus le retrait est réduit. Cela a été expliqué par une création d'un gel pouzzolanique qui imbibe de l'eau.

Les particules de brique peuvent favoriser le durcissement du béton ou du mortier : il maintient l'eau initialement absorbée du mélange dans les pores de la brique pour des périodes plus longues et par conséquent, l'hydratation continue et le retrait de dessiccation sera retardé en raison de la présence d'humidité interne [21]. Le phénomène de retrait mérite une enquête plus approfondie pour nombre de chercheurs.

1.1.8.6 Effet des déchets de brique sur la porosité

Gonçalves et al. [22] ont étudié l'effet de l'argile calcinée (déchets de brique et métakaolin) sur la porosité des mortiers. La brique a été fournie par une entreprise locale au Brésil ainsi que deux types de métakaolin à différents taux de substitution de ciment qui sont : 0%, 10%, 20%, 30% et 40%.

Il a été montré en premier lieu que les différents taux de substitution du ciment par les déchets de brique ne provoquent aucun changement de densité et de compacité des mortiers.

Cela a été expliqué par la similarité des distributions des pores entre les mortiers à base de brique et les mortiers témoins. [17]

La figure I.3 montre que les DB provoquent une augmentation de la porosité totale par rapport aux mortiers témoins. Le DB10 semble donner les meilleurs résultats et la différence par rapport aux mortiers témoins n'est pas importante.

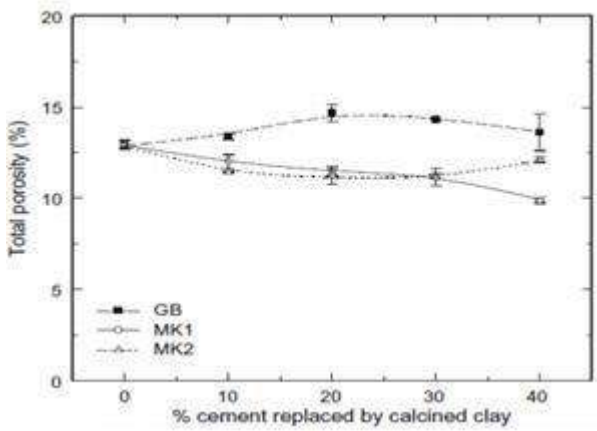


Figure 1.3 : Effet des différents taux de substitution de ciment par le MK et DB sur la porosité totale [22]

1.1.8.7 Effet des déchets de brique sur l'absorption capillaire et la sorptivité

Gonçalves et al. [22] ont testé l'effet des déchets de brique sur l'absorption capillaire (Figure I.4). Il a été constaté que les déchets de brique ont un effet très positif sur la sorptivité, et plus le taux de substitution de ciment par les DB augmente plus la vitesse d'absorption diminue.

Cette réduction de la sorptivité avec l'augmentation du taux de substitution de ciment par les DB a été expliquée par un raffinement du système des pores causé par l'incorporation de la brique. L'incorporation de la brique dans la matrice cimentaire conduit à un raffinement du système des pores, par la réduction du taux des grands pores et l'augmentation de celui des petits pores ce qui empêche donc la pénétration rapide de l'eau et réduit par conséquent la vitesse d'absorption capillaire.

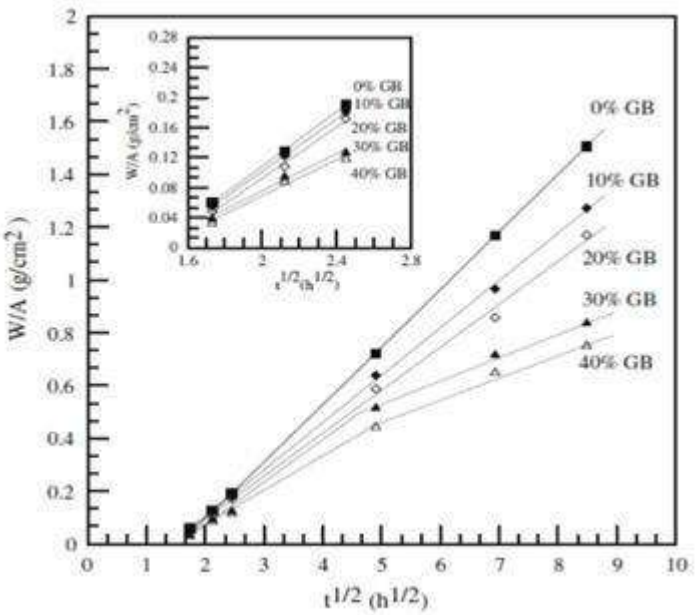


Figure 1.4 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les DB sur la sorptivité [22]

D'autres chercheurs [16, 23, 24] ont utilisé les déchets de brique dans la matrice granulaire et ont trouvé des résultats contraires concernant l'absorption capillaire par rapport à Gonçalves et all [22]. Ceci montre l'effet négatif de substitution des granulats par la brique ou plus le taux de substitution augmente, plus l'absorption capillaire augmente. Cela a été expliqué par les pores qui existent dans les granulats. Nous pouvons conclure que l'utilisation de la brique broyée dans la matrice cimentaire est beaucoup plus bénéfique que son utilisation dans la matrice granulaire concernant l'absorption capillaire. [17]

1.1.8.8 Effet des déchets de brique sur les diffusions des ions de chlore

L'incorporation des déchets de brique a provoqué la réduction de la pénétration des ions de chlore de 1.5 à 6 fois par rapport aux mortiers de référence [22]. Ceci a été expliqué par le raffinement du système des pores causé par l'incorporation des fines de brique

1.1.8.9 Le déchet de brique (brique broyée) et l'activité pouzzolanique

Les pouzzolanes sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes. Les principales pouzzolanes sont : les matériaux volcaniques (cendre, scorie…), les cendres des centrales thermiques, les laitiers des hauts fourneaux, les cendres de balles de riz, la bagasse des cannes à sucre et l'argile calcinée. D'autres minéraux tels que les feldspaths et les zéolites peuvent manifester des propriétés pouzzolaniques. La chaux libérée au cours de l'hydratation des composés du clinker réagit avec le matériau pouzzolanique à l'intérieur d'un mortier pour former des produits qui participent aux résistances mécaniques du mortier. Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers : ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques, au renforcement de l'imperméabilité et de la durabilité du mortier, à la réduction des réactions alcalins agrégats et du retrait du mortier au séchage. Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment. Une possibilité de récupérer des déchets de briques pour les utiliser comme ajout pouzzolanique dans du ciment Portland artificiel serait une solution intéressante. [26]

1.1.8.10 Performance des mortiers et bétons à base de DB

Le tableau dans la figure 1.5, présente l'effet de la substitution de ciment par du métakaolin ou des fines de brique sur quelques paramètres de performance et de durabilité des mortiers et bétons. [17]

Paramètre des mortiers et bétons	Métakaolin	Fines de brique	Référence
Densité et compacité	Augmente	Pas de changement	[4, 8, 10, 15]
Temps de prise	Augmente	Augmente	[33, 58, 59]
Ouvrabilité	Diminue	Diminue	[8, 10, 14, 37, 53-55]
Résistance à la compression	Augmente	Diminue	[37-40 ; 56, 57]
Retrait total	Diminue	Diminue	[42, 52, 60]
Chaleur d'hydratation	Augmente	Diminue	[61, 62]
Porosité	Diminution des macropores et augmentation des micropores	Diminution des macropores et augmentation des micropores	[15, 63]
Absorption d'eau par capillarité	Diminue	Diminue	[15, 54, 63]
Perméabilité	Diminue	Diminue	[15, 54, 63]
Résistance à l'eau de mer	Augmente	Augmente	[16, 49, 64]
Résistance aux sulfates	Augmente	Dépend du type de brique	[50, 65]

Figure 1.5 : L'effet de la substitution de ciment par du métakaolin ou des fines de brique sur quelques paramètres de performance et de durabilité des mortiers et bétons

1.1.9 Conclusion

L'utilisation des ajouts minéraux en tant que déchets, dans la production des ciments Portland pourra résoudre en grande partie le problème d'autosuffisance nationale en ciments, ainsi que celui de la baisse du coût énergétique. En faisant varier les pourcentages d'ajouts, on pourrait obtenir en fonction des domaines d'utilisation, différents types de ciments avec les propriétés physicomécaniques demandées. [25]

L'utilisation des fines de brique comme une addition cimentaire à caractère pouzzolanique peut être aussi une solution avec de multiples intérêts. A savoir :

- le recyclage des déchets industriels,
- la préservation de l'environnement et des ressources naturelles,
- l'amélioration des performances des mortiers et bétons.

Les déchets de brique peuvent être issus des usines de fabrication de briques ou des déchets de maçonnerie et des chantiers de démolition.

Le but principal de notre mémoire est d'étudier l'effet de substitution de ciment par les fines de déchets de brique sur les propriétés d'un mortier auto-plaçant.

1.2 Deuxième partie: le BAP

1.2.1 Définition

Ce sont des bétons très fluides, la caractéristique principale de ces bétons réside dans le fait qu'ils se mettent en place sans vibration. Ils sont très déformables et épousent parfaitement les formes des coffrages les plus complexes .Grâce à leurs bonne uniformité une fois mis en place, ils donnent des structures résistantes et durables. [27]

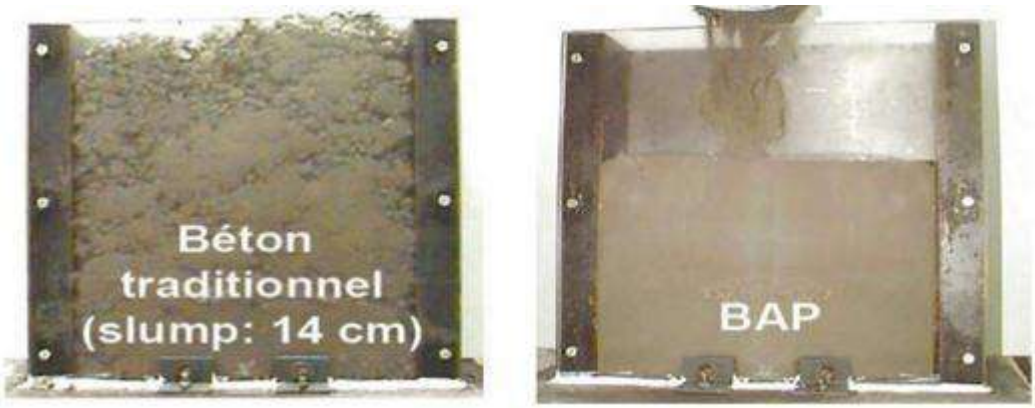


Figure 1.6 : différence de mise en place entre le BAP et le BO [28]

Les propriétés caractéristiques de ce béton sont les suivantes :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation (comme du miel).
- Désaération du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferraillage dense.
- Le dispendieux et fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé. [29]

1.2.2 Constituants de béton auto-plaçant

Un béton est constitué de deux parties principales : les granulats et la pâte (voir figure1.7). Par rapport aux bétons classiques, les BAP ont deux constituants supplémentaires qui doivent être présents dans la composition du béton. [30]

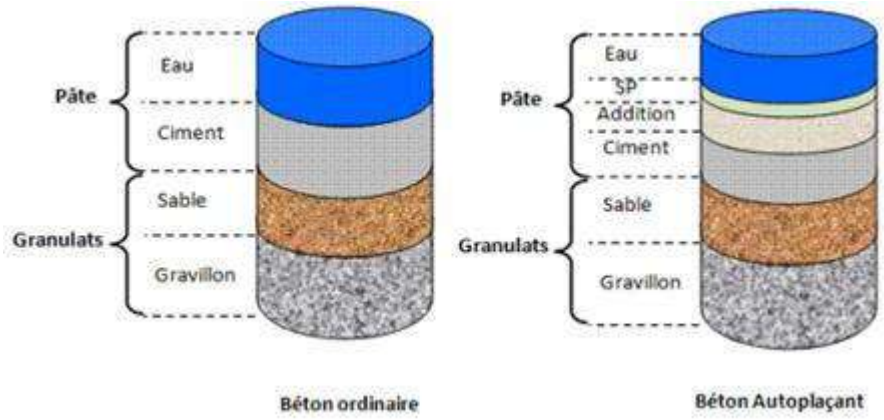


Figure 1.7: les composants de BO et BAP [31]

Les constituants du BAP ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des BAP à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître le rôle que peut jouer chaque constituant ainsi que leur influence sur les propriétés des BAP. Cependant, les constituants d'un BAP, sont les mêmes que celui d'un béton ordinaire et qui sont :

1.2. 2.1 Ciment

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. [32]

1.2.2.2 Granulats

On appelle granulat un ensemble des grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, Ils sont appelés fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions. [33]

1.2.2.3 Eau

Toute eau naturelle potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du béton auto-plaçant. [33]

1.2.2.4 Les ajouts minéraux

Les additions minérales sont connues par leur influence sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci [34]. Les additions minérales améliorent considérablement la fluidité dans certains cas d'addition, elles améliorent aussi la granulométrie du squelette dans le béton en remplissant les vides entre les grains grâce à leurs petites tailles. Toutefois, l'influence des additions minérales sur l'écoulement des BAP à l'état frais dépend principalement du dosage, du type et de la finesse des additions minérales [35-36].

1.2.2.5 Les superplastifiants

Les superplastifiants sont apparus à la fin des années 1970 au Japon et en Allemagne. Ce sont généralement des sels sulfoniques de formaldéhydes, naphtalènes ou mélamines, qui ont la propriété de pouvoir améliorer notablement la fluidité d'une gâchée, et donc de diminuer la quantité d'eau nécessaire à sa mise en œuvre.

Leur arrivée sur le marché a permis le développement des bétons à "hautes performances". Ces superplastifiants assurent une défloculation de la suspension de ciment en solution aqueuse, ce qui améliore caractéristiques rhéologiques du mélange. [37]

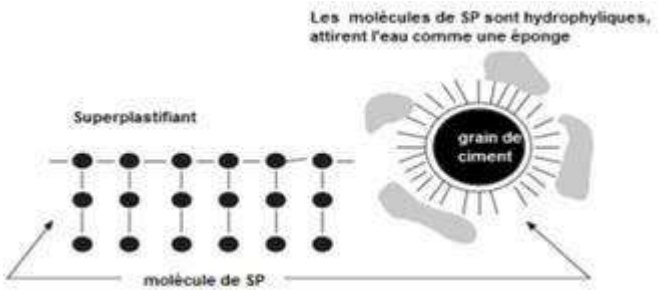


Figure 1.8 : le mécanisme d'action du SP à base de polycarboxilate [37]

1.2.3 Les propriétés du béton auto-plaçant :

1.2.3.1 Les essais A l'état frais :

Les guides Européens pour le BAP, le répartissent à l'état frais en quatre (04) propriétés essentielles suivantes, et propose des essais à réaliser pour chacune d'elles. [38]

a. la Capacité au Remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton auto-plaçant est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son propre poids, et sans sollicitations (vibrations externe ou interne) [38].

La capacité de remplissage est à la fois caractérisée par un degré de remplissage (étalement, Seuil) et par une vitesse de remplissage (t50, temps au V-funnel et viscosité)

b. la Capacité de Passage

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il est nécessaire de considérer, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat.

c. la Résistance à la Ségrégation

La résistance à la ségrégation est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton auto-plaçant. Le BAP peut souffrir de la ségrégation durant la mise en place et après mais avant son durcissement. La ségrégation qui se produit après la mise en place est la plus défavorable surtout pour les longs éléments et même pour les éléments minces comme les dalles, ça peut mener vers des dégradations de surface comme sa fissuration. [39]

d. Rhéologie

En plus de la fluidité, la viscosité du béton constitue un second critère important pour caractériser le comportement du BAP. Elle peut être déduite à partir de la mesure des frottements internes d'un matériau sous l'effet de sollicitations imposées (contraintes de

cisaillement). La viscosité η est d'autant plus faible que ces forces de frottement internes sont petites. Le béton s'écoule et s'étale d'autant plus rapidement que la viscosité est faible. [39]

1.2.3.2 A l'état durci

a. La résistance mécanique

Les résistances mécaniques d'un BAP sont, comme pour la plupart des bétons directement liées à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment, elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances jusqu'à des BAP à hautes performances (80 à 100 Mpa au 28ème jour) [40].

i. La résistance à la compression:

Un béton auto-plaçant avec un rapport E/L similaire, aura généralement une résistance légèrement plus élevée en comparaison à celle du béton ordinaire à cause du manque de vibration donnant une meilleure interface entre les agrégats et la pâte durcie [41].

ii. Résistance à la traction:

Pour une résistance à la compression donnée d'un BAP, la résistance à la traction peut être assumée à être la même que celle d'un béton ordinaire comme le volume de pâte (ciment + fines + eau) n'a aucun effet significatif sur la résistance à la traction [42].

b. Retraits:

Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré [43-44]. Gram et Piiparinen [43], ont observé des retraits plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires

c. Durabilité d'un BAP

La durabilité d'une structure en béton est associée étroitement à sa perméabilité. En pratique, la durabilité dépend du choix des matériaux, de la composition du béton, ainsi que du degré de supervision durant la mise en place, la compaction et la cure du béton. [40]

1.2.4 Méthode de formulation

Les différentes propriétés des bétons auto-plaçants rendent leur formulation relativement compliquée. Même si de nombreuses études ont été effectuées pour comprendre les principes qui régissent le comportement de ces bétons en milieux confinés, aucune

méthodologie pratique de formulation ne semble avoir été établie, permettant à un chercheur ou à un ingénieur de fabriquer un béton auto-plaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis [45].

La formulation de la composition se fait sur la base des méthodes acquises ces dernières années. Parmi ces dernières en peut citer les suivantes:

1.2.4.1 La Méthode Japonaise [32]

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

1. Dosage des gravillons: Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m^3 de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

2. Dosage du sable: Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

3. Dosage du liant : La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m3). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

4. Dosage de l'eau et du super plastifiant: Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

1.2.4.2 Méthode Suédoise

Proposée par [Petersson et al, 1996]. La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. 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 superplastifiant 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. [46]

1.2.4.3 Méthode Française (LCPC)

Proposée par [De Larrard et al, 1994] : 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 superplastifiant 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 superplastifiant) est déterminé
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effets 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 auto-plaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant 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 auto-plaçant sont atteintes [47].

1.3 Troisième partie : le MAP

1.3.1 Introduction

Les mortiers sont présents dans tous les secteurs du BTP. En France, leur utilisation n'a fait qu'augmenter depuis 1970 pour arriver à une production proche de 4 millions de tonnes en 2011.

De plus, la complexité des mortiers entraîne une augmentation constante des mortiers pré formulés, dits « industriels » ou « prêts à l'emploi », face aux mortiers réalisés sur chantier.

L'emploi d'adjuvants permet d'obtenir diverses propriétés à l'état frais ou durci, selon l'application finale et les performances souhaitées. Néanmoins, la formulation des mortiers étant fondée fortement sur l'empirisme, l'emploi et le dosage des adjuvants sont souvent mal maîtrisés. [48]

1.3.2 Etymologie des mortiers

Le latin mortarium, désigne d'abord l'auge du maçon, puis son contenu. Cette distinction nous est restée puisque le terme mortier désigne le récipient et son contenu. Le Mortellier désigne le fabricant d'auges de pierre qu'on appelle mortiers et ensuite celui qui brise certaines pierres dures pour en faire du ciment. [49]

1.3.3 Définition

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, différentes selon les réalisations et l'adjuvant. [50]

1.3.4 Constituants des mortiers

1.3.4.1 Le Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, ce dernièr est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [51].

Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...)
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes. [50]

1.3.4.2 Sable

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs. [52]

1.3.4.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [53]

1.3.4.4 Les additifs

a. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment) [50]. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

- Les superplastifiants (haut réducteurs d'eau).
- Les entraîneurs d'air.
- Les modificateurs de prise (retardateurs ou accélérateurs).
- Les hydrofuges. [50]

b. Les additions minérales

Le béton requiert souvent pour l'amélioration de ses propriétés rhéologiques, l'addition de particules fines inertes ou réactives, qui régulent aussi la quantité de ciment dans la formulation et réduisent ainsi la chaleur d'hydratation cause d'un fort retrait [54].

Ce sont des produits de dimension granulaire inférieure à 80µm, obtenus par broyage fin, récupération des déchets des centrales thermiques ou pulvérisation de certaines roches (calcaire, silice, etc.) [54].

L'utilisation des ajouts minéraux a des avantages : techniques ; économiques et écologiques.

1.3.5 Différents types des mortiers

- **Les mortiers de ciment**

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement .De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m3 de sable. [55]

- **Les mortiers de chaux**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment surtout lorsque la chaux est calcique. [55]

- **Les mortiers bâtards**

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [55]

- **Mortier réfractaire**

Il est fabriqué avec du ciment fondu qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [55]

- **Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [55]

- **Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation. [55]

1.3.6 Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suit: [56]

1.3.6.1 Classification selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.

- Mortier de réparation pour pierres.

1.3.6.2 Classification selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

- Mortier de ciment portland.
- Mortier de chaux.
- Mortiers bâtards.
- Mortier à base de ciment de maçonnerie.

1.3.7 Mortier auto plaçant

1.3.7.1 Définition

Les mortiers autoplaçants sont considérés comme des solutions innovantes et de pointe des produits pour la réhabilitation et la réparation de bâtiments en béton armé.

Les mortiers autoplaçants apportent des avantages à l'application de l'espace étroit. C'est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure.

Ce dernier est de très grande fluidité, il est composé de ciment ; d'eau ; de sable et d'adjuvant spécialisés, il peut être pompé pour la mise en place.

1.3.7.2 Application

Le MAP est habituellement utilisé pour remplir des conduites ; des tunnels ; des réservoirs souterrains ; des espaces vide ou des chambre désaffectées ; il s'écoulera facilement s'il ya des ouvertures ou des pentes.

Le mortier autoplaçant peut être injecté pendant 2 heures sur des distances allant jusqu'à 100 mètres (maximum 3 heures.

1.3.7.3 Données techniques

Voici quelques données sur ce produit :

- La résistance à la compression à 28 jours visé est de 35 MPa ou plus ;
- La résistance à la compression à 7 jours est > 2 MPa ;
- Il est très fluide (à titre indicatif son étalement est environ 700 mm) ;
- Le MAP est pompable ; stable et fluide [57].

1.3.8 Les essais de caractérisation d'un mortier

Les caractéristiques principales des mortiers sont : [58].

- Ouvrabilité.
- Prise.
- Résistances mécaniques.
- Retraits et gonflements,

1.3.8.1 Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

a. Table à secousses

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:[59]

$$E\% = 100\ \frac{(Dr - Di)}{Di}$$

D_r = diametre final

Di = diametre initial

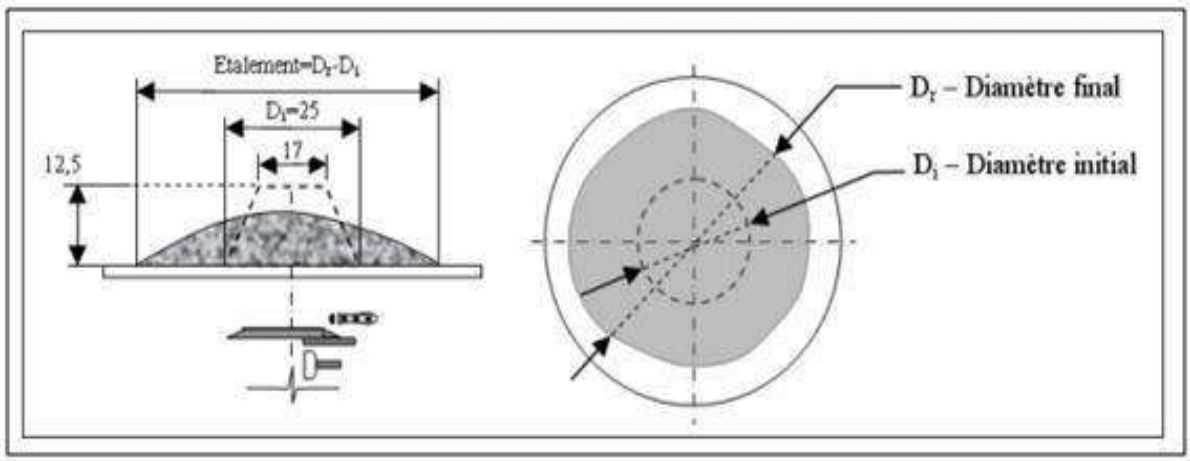


Figure 1.9: Table à secousses

b. Maniabilimètre du LCPC-B

Dans cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule (figure 1.10). Le mortier est d'autant fluide que le temps d'écoulement est court.

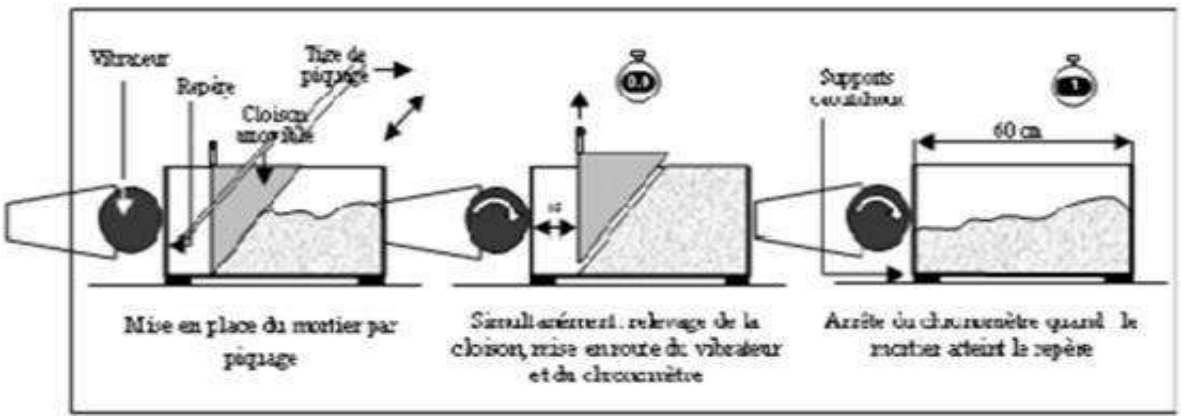


Figure 1.10: Essai au Maniabilimètre LCPC-B

c. Le cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibrateur [60].

1.3.8.2 Prise

Le temps de prises est mesuré habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur [59].

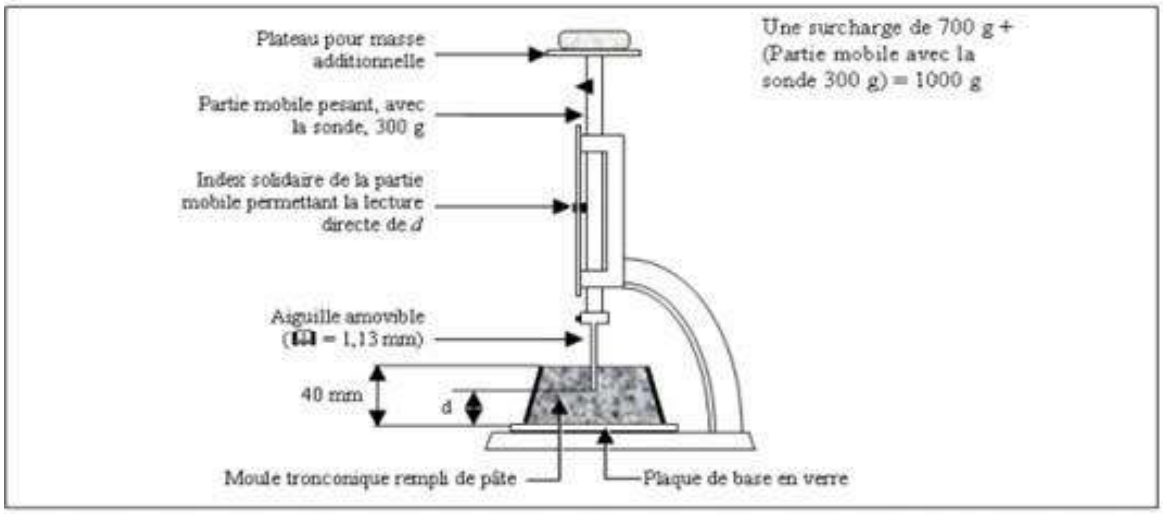


Figure 1.11 : Appareil de VICAT

1.3.8.3 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs: [61-62]

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

1.3.8.4 Retrait et gonflement

a. Le Retrait

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative.

b. Le gonflement

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C.

1.3.8.5 Masse volumique apparente

C’est la masse d’un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires), elle est exprimée en (g/cm3, kg/m3 ou t/m3).

1.3.8.6 Masse volumique absolue

C'est la masse d’un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (g/cm3, kg/m3 ou t/m3).

1.3.8.7 Porosité et compacité

a. La porosité

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total. [58]

$$P = \frac{volume\ des\ vides}{volume\ total}$$

b. La compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total. [58]

$$C = \frac{volume\ des\ pleins}{volume\ des\ pleins}$$

Chapitre 2
Matériaux et essais

2.1 Introduction

Ce chapitre décrit en détail tous les essais expérimentaux faits en laboratoire et les matériaux utilisés au cours de la présente recherche. Des essais expérimentaux sont effectués afin d'étudier les propriétés physiques, mécaniques et de durabilité du mortier.

2.2 Matériaux utilisées

2.2.1 Le 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 Biskria (figure 2.1) 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 2.1 et 2.2 :



Figure 2.1 : Ciment portland utilisé

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 2.1 : Composition chimique et minéralogique du ciment

Caracteristiques		Type de ciment	Norme
		Biskria	
Finesse (cm²/g)		3300	NF EN 196-6 [64]
Masse volumique absolue (g/cm³)		3.12	
Masse volumique apparente (g/cm³)		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]

Tableau 2.2 : Caractéristiques du ciment utilisé

2.2.2 Le sable

Le sable utilisé est un sable de dune qui provient de la région de Oued-Souf. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (figure 2.3). Il est séché pendant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son données ci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.2.

Caractéristiques du sable :

- Masse volumique absolue : 2 .63 g/cm^3.

- Equivalent de sable : 83.33 %

- Module de finesse MF : 2.5

- Taux d'absorption : 0.7 %

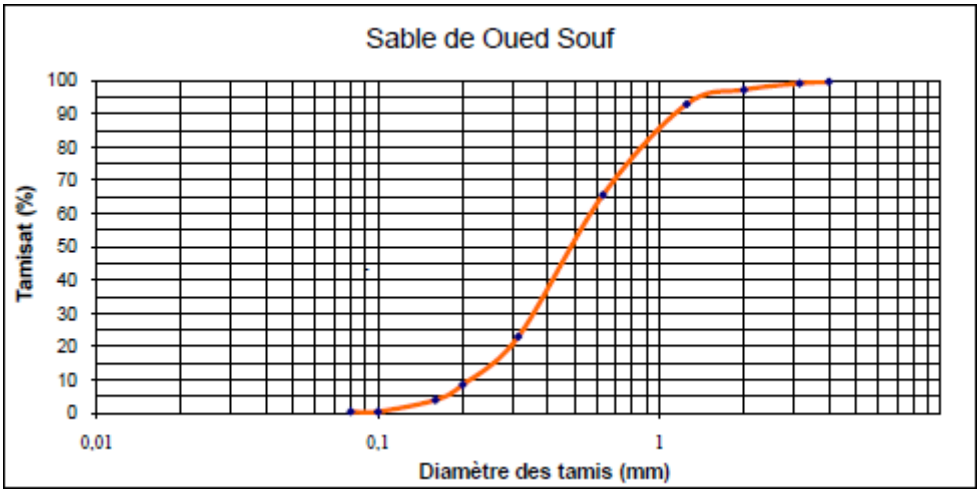


Figure 2.2 : Courbe granulométrique du sable de Oued-Souf



Figure 2.3: Sable de Oued-Souf utilisé.

2.2.3 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 2.4 : La poudre de brique (PBR) utilisée

2.2.4 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

2.2.5 Le super plastifiant (Annexe A)

Afin d'assurer une ouvrabilité satisfaisante avec réduction d'eau de gâchage, on a employé un adjuvant Super plastifiant – Haut réducteur d'eau fabriqué par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 145» [68] (figure2.5), formulé à base de polymères de synthèse combinés et ne présente pas d'effet retardataire. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,3 à 2 % du poids de ciment et ses caractéristiques sont :

- Forme :…… Liquide;
- Couleur :…….. Brai clair;
- Extrait sec :…….. 30 ±1.5%;
- Densité : ……... 1,065 ± 0.015;
- PH :…… 5 – 6;
- Teneur en chlorure :…….. < 1g/l.

Il est à noter que pour la confection des mortiers autoplaçants, plusieurs gâché ont été préparées en utilisant le MEDAFLOW 30 qui n'a pas données résultats.



Figure 2.5: Le superplastifiant MEDAFLOW 145 utilisé.

2.3 Formulation du mortier autoplaçant (ANNEXE B)

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 modifications apportées 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 [69], 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.

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI [70]. Le rapport S/M a été fixé à 0,5. En ce qui concerne l'optimisation du dosage en super plastifiant avec deux rapport 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 1 à 1.6 % avec un rapport E/C de 0.38 à l'état

frais. Nous suivrons ensuite l'évolution des résistances mécaniques à l'état durci des différents mortiers autoplaçant fabriqués.

2.4 Formulation du mortier autoplaçant a 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 (12) mélanges ont été préparés en remplaçant une partie de ciment avec l'une des deux (02) finesses employées à savoir: brique de finesse 1 (f1=4400cm²/g) et finesse 2 (f2=6200cm²/g) avec des taux de substitution de ciment de 4,8,12,16 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 et f2)

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

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

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

-MAP20% : mortier autoplaçant avec 20% de brique. (f1 et f2)

N	V (l)	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	713.36	0.0	1315	0.38	0.5	190.8	81.9	1.6	11.41	29,8	4,48
2	1	96	4	682.71	28.45	1315	0.38	0.5	190.2	81.5	1.6	11.38	29,7	5,15
3	1	92	8	652.86	56.77	1315	0.38	0.5	189.5	81.2	1.6	11.35	29,5	6,52
4	1	82	12	622.52	84.89	1315	0.38	0.5	188.9	81	1.6	11.32	29,4	7,01
5	1	84	16	606.17	115.45	1315	0.38	0.5	192.8	82.6	1.6	11.55	29,4	7,53
6	1	80	20	561.90	140.48	1315	0.38	0.5	187.9	80.5	1.6	11.24	29,1	8,24

Tableau 2.3: Compositions des mortiers avec finesse 1 (f1=4400cm²/g)

N	V (l)	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	713.36	0.0	1315	0.38	0.5	190.8	81.9	1.6	11.41	29,8	4,48
2	1	96	4	682.71	28.45	1315	0.38	0.5	190.2	81.5	1.6	11.38	29,6	5,42
3	1	92	8	652.86	56.77	1315	0.38	0.5	189.5	81.2	1.6	11.35	29,5	6,73
4	1	82	12	622.52	84.89	1315	0.38	0.5	188.9	81	1.6	11.32	29,4	7,53
5	1	84	16	606.17	115.45	1315	0.38	0.5	192.8	82.6	1.6	11.55	29,2	8,15
6	1	80	20	561.90	140.48	1315	0.38	0.5	187.9	80.5	1.6	11.24	29	8,24

Tableau 2.4: Compositions des mortiers avec finesse 2 (f2=6200cm²/g)

2.5 Confection et Cure des éprouvettes

2.5.1 Malaxage du mortier autoplaçant

Pour le mélange, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité (figure 2.7). 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 al. [71] ont rapporté qu'une durée de malaxage de 5 min 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 30 secondes;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 70% Eau);
- Ajouter pendant 1 minute le reste de l'eau de gâchage (w2 = 70% Eau) mélangé avec le super plastifiant;
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.

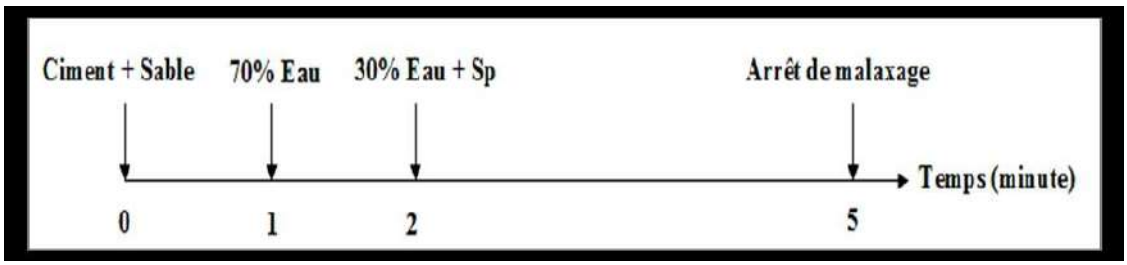


Figure 2.6: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant



Figure 2.7 : Malaxeur a mortier

2.5.2 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. Les éprouvettes confectionnées sont au nombre total de 648 éprouvettes (figure 2.8).

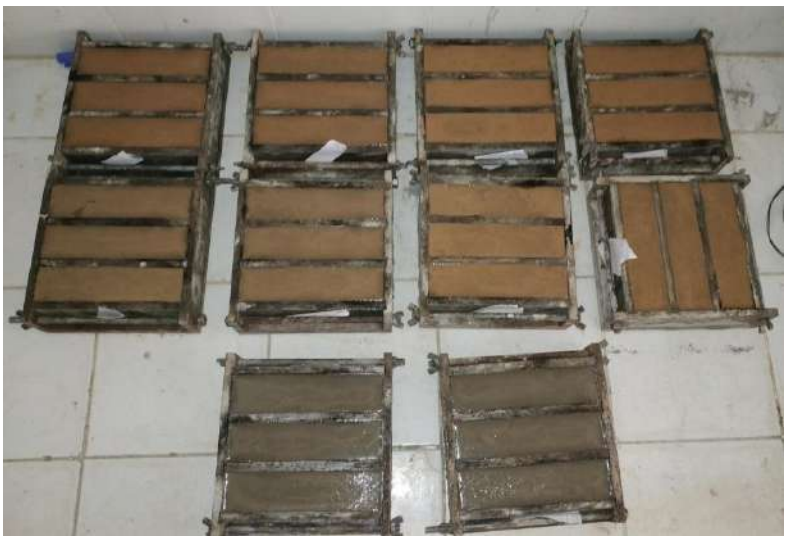


Figure 2.8 : Eprouvettes confectionnées

2.5.3 Conservation des éprouvettes

Après la confection, les éprouvettes ont été conservées soit dans un bac remplit d'eau à une 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 2.9).



Figure 2.9: Conservation des éprouvettes

2.6 Les essais

2.6.1 Equipement nécessaire

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1 [72] et est illustré dans les figures qui suivent.

- Une salle tempérée à 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 % ;
- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 20 ± 2°C et à une humidité relative supérieure à 100% ;
- Un concasseur ;
- Un broyeur ;
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox ;
- Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (4cm x 4cm x 16cm);

- Une table à chocs pour le serrage des éprouvettes, permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm ± 0,3mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60s;
- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités;
- Tamiseuse électrique;
- Les tamis de différentes mailles en inox;
- Cône de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du sable;
- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées;
- Spatules flexibles en acier inox;
- Pinceaux.



Etuve



Moule



Tamiseuse



Balance



Broyeur a disque



Los Angeles



Vicat



Bac à eau

Figure 2.10 : Equipements nécessaires utilisés

2.6.2 Les essais effectués sur les granulats

2.6.2.1 Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents sables utilisés ont été déterminées selon la norme EN 1097-5[73].

a. Masse volumique apparente

Cet essai consiste à remplir le récipient de volume 1L par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique l'équation suivante, on obtient la masse volumique apparente ( ) (figure 2.11):

$$ϱapp = M/1 \quad (kg/m^3)$$

Avec 1 : volume du récipient (m³)



Figure2.11 : Le cône et le récipient

b. Masse volumique absolue

Les étapes à suivre sont :

•Déterminer avec précision la masse du ballon rempli d'eau.

•Déterminer avec précision la masse d'un échantillon de matériau sec.

•Introduire la totalité du matériau dans le ballon remplir d'eau. Vérifier qu'il n'y a aucune bulle d'air.

•Peser alors avec précision le ballon, soit :

La masse volumique absolue est alors :

$$\rho_{abs} = \frac{m_2}{(m_1+m_2)-m_3}$$

À la fin, on peut tirer les indices suivants :

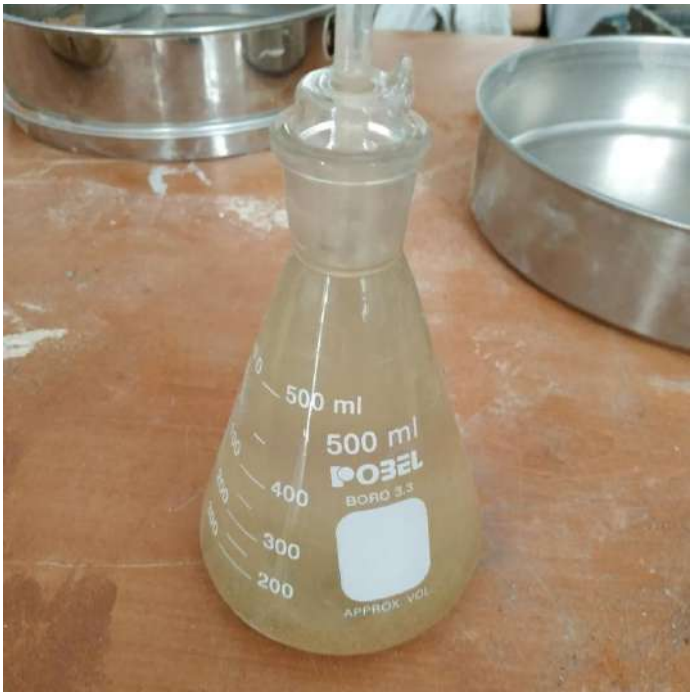


Figure 2.12 : Masse volumique absolue

2.6.2.2 Equivalent de sable

Selon la norme NF P 18-598 [74], la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit :

- On remplit les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait.
- On verse la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air.
- On bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine).
- On lave et on remplit les éprouvettes avec le tube plongeur.
- On rince le bouchon au-dessus de l'éprouvette.
- On fait descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette.

- On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure.
- On fait sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisse reposer 20mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10sec) car la hauteur du floculant dépend fortement de celui-ci.
- Puis on Mesure à vue les hauteurs h1 et h2 La mesure de h2n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes. Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston.
- On fait descendre le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appuis sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. On Mesure alors h2'. Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm.



Figure 2.13 : Procédure de mesure de l'équivalant de sable

On Calcule pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision au décimale et on retient les moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

$$ES = 100.(h2'/h1)$$
$$ESV = 100.(h2/h1)$$

2.6.2.3 Analyse granulométriques

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme NA 2607 [75], où le sable passant à travers une série de maille décroissante, dont on pèse le refus de chaque tamis.

On utilise une quantité de 1000 g de sable.

On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

- ✓ Le coefficient d'uniformité Cu ;
- ✓ Le coefficient de courbure Cc ;
- ✓ Le module de finesse Mf.

2.6.2.4 Taux d'absorption du sable

Le coefficient d'absorption d'eau d'un granulat est le rapport de l'augmentation de sa masse provoquée au bout de 24 heures par une imbibition partielle par rapport à sa masse sèche. Les deux normes algériennes NA 255 et NA 451 indiquent respectivement les modes opératoires pour la détermination de ce coefficient pour le sable. Ce coefficient mesure le volume des pores accessibles à l'eau, ce qui signifie que plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif. En général, la différence entre les granulats est illustrée par le fait que les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. En revanche, les granulats artificiels légers, poreux ont une absorption d'eau importante. Ainsi, ces granulats vont absorber une certaine quantité d'eau pendant le malaxage, ce qui va être traduit par une perte d'affaissement. Ceci peut occasionner des difficultés de mise en place si l'on n'en pas tenu compte.



Figure 2.14 : Procédure de détermination du taux d'absorption

2.6.3 Essai sur mortier

2.6.3.1 A l'état frais

a. Essai d'étalement au Mini-Cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenu.

i. Matériel nécessaire

• Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de côté ;

• Mini Cône disposant d'un empattement à sa partie basse afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur ;

• Mètre ou règle de 90cm.

ii. Mode opératoire

• Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon) ;

• Placer et centrer le mini cône sur la plaque ;

• Remplir le mini cône en déversant de manière continue, jusqu'à ce que ça atteigne l'arase supérieure du cône;

• Soulever le mini cône verticalement à l'aide des deux poignées ;

•Une fois que le mortier s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.

•Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de mortier (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).



Figure 2.15 : Essai d'étalement au mini cône

b. Essai à l'entonnoir en V (V– Funnel)

Cet essai permet d'estimer le temps de vidange du mortier sous son propre poids. Le temps mesuré indique la fluidité et la capacité du mortier a passé dans des orifices qui sont petits(Capacité de passage / blocage).



Figure 2.16 : Essai à l'entonnoir en V pour mortier

2.6.3.2 A l'état durci

a. Essai de traction par flexion

Selon la norme EN 196-1 [76] c'est 1'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure2.17), une éprouvette prismatique de côté b et de longueur 1. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4× 16cm), à 7, 14, 28 jours.

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

$$\sigma t = (M/I)\ v$$

M: Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

$$M = FfL / 4$$

I : Moment d'inertie de la section transversale :

$$I = b4/12$$

V: La distance de la fibre la plus éloignée :

$$v = b/2$$

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

$$\sigma t = (1.5FfL)/ b^3$$

$$ft28 = 0.9\ Ft.L / b^3$$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément sur la (Figure 2.17).

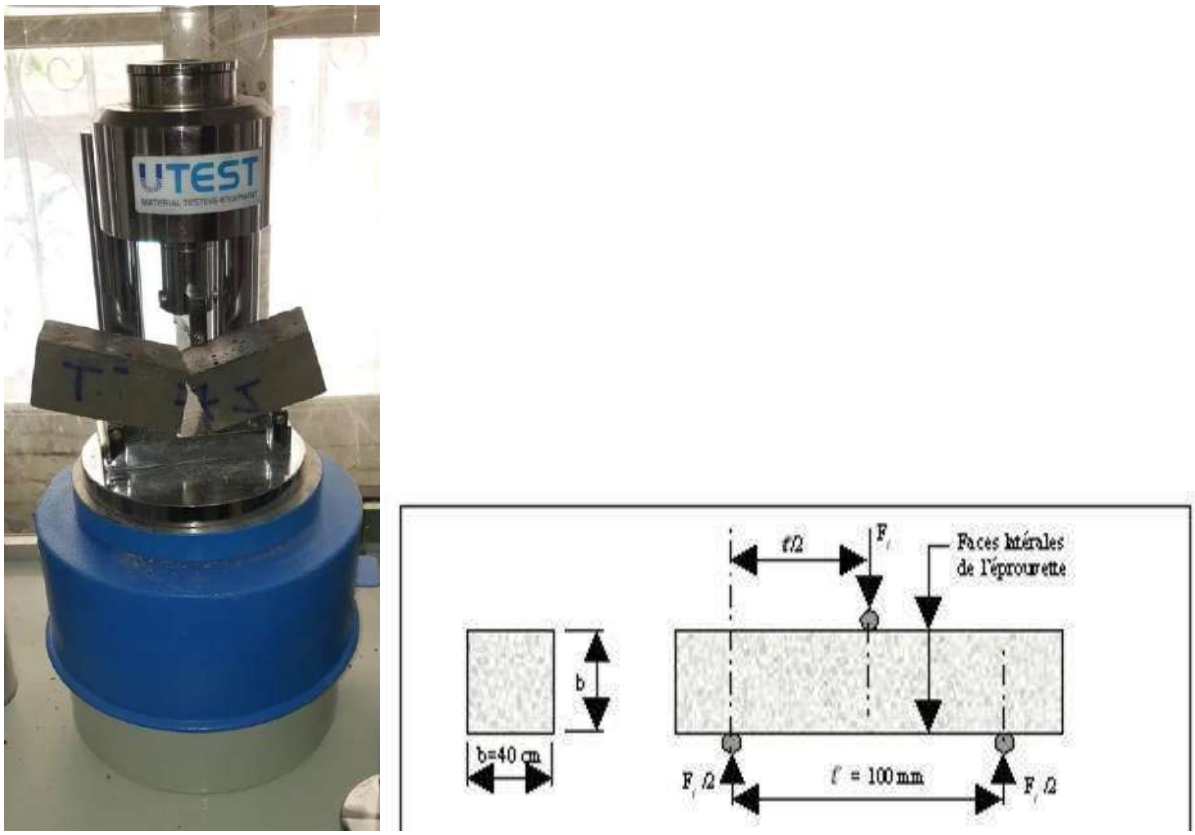


Figure 2.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

b. Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme EN 196-1 [77] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16) cm, à 3, 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme NF P 18-412 . Pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante, la résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

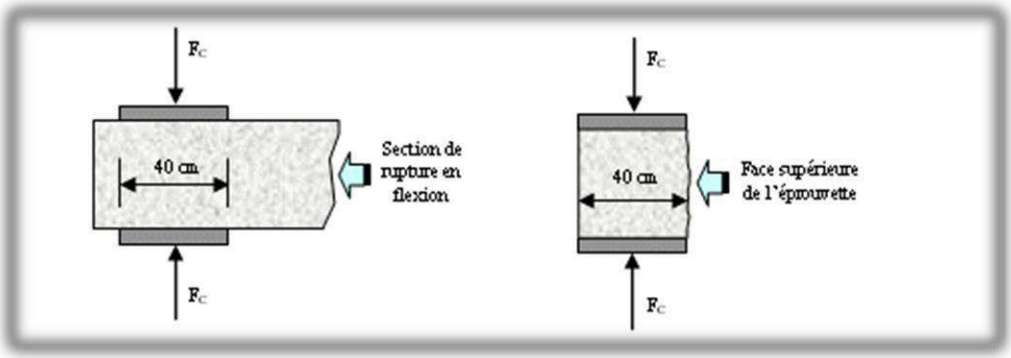


Figure 2.18 : Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes des éprouvettes obtenues après la rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiqué sur la figure (2.19). La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$Rc = Fc/b^2$$



Figure 2.19 : Presse hydraulique

c. Essai de retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) conformément à la forme NF P 18-404 [78], ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24h, placées dans un réfractomètre munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'à 5 semaines). La conservation des éprouvettes est faite à l'air du laboratoire comme citée avant.



Figure 2.20 : Comparateur numérique

i. Mesure des variations de longueur

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03 mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il ya lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots,.. etc.). Et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque série de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations) même métal que l'appareil.

ii. Mesure des variations de masse

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1 g chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait.

iii. Expression des résultats

Pour chaque éprouvette on calcule les rapports suivants :

- ΔL : variation de longueur par rapport à la longueur d'origine ;
- L : la longueur de base, prise égale à 160mm ;
- ΔM : variation de masse par rapport à la masse au moment du démoulage
- M : masse de l'éprouvette au moment du démoulage

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

iv. Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, la comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L=160mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$l = L + dl(t)$$

Soit la longueur de l'éprouvette au temps choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera :

$$\Delta l(t)=l(t)-l(t0)=dl(t)-dl(t0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression :

$$\varepsilon(t)= (\Delta l(t))/L= (dl(t)-dl(t0))/L$$

Δl(t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule.

Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air. Δl(t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette, lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau ou le froid, Δl(t) peut être positif : il y a alors gonflement.

d. Essai d'absorption par capillarité

Conformément à la norme NBN NE 13057 [79]. Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse (m_0) 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 (m_1). La différence de poids entre m_1 et m_0 et le poids de l'eau absorbée (m_1-m_0).



Figure 2.21 : Essai d'absorption d'eau par capillarité.

e. Essai de porosité

La porosité se définie par le rapport du volume des vides au volume total. Elle est le contraire de la compacité,

La perméabilité (l'inverse de l'étanchéité), représente la propriété qu'a le mortier de se laisser traverser par les liquides. Il ne faut surtout pas confondre la porosité et la perméabilité malgré que ces 2 propriétés soient liées dans une certaine mesure. Effectivement, les mortiers confectionnés avec du sable très fin sont très poreux, mais cependant peu perméables.

i. Appareillage

- Etuve ventilée, réglable à 105 ±5° ;
- Balance permettant d'effectuer les pesées à 0.02% de masse de l'éprouvette ;
- Cloche à vide transparente reposant d'une façon étanche sur une surface plane munie à sa partie supérieure d'ouvertures permettant le passage de tuyauteries de désaération et d'apport d'eau réglable ou caisson à vide muni en plus d'un indicateur d'eau .Le fond de la cloche à vide ou du caisson à vide est garni d'appuis intercalaires stables tels que l'éprouvette repose sur des génératrices ou sur des points;
- Peau de chamois;
- Support non absorbant.



Figure (2.22) : Essai de porosité

ii. Exécution de l'essai

Détermination de la masse de l'éprouvette sèche :

- Sécher l'éprouvette dans une étuve ventilée à 105+5°C jusqu'à masse constante. Considérer que la masse constante est atteinte lorsque deux pesées effectuées à 24h d'intervalle, accusent une différence de masse inférieure à 0.1% de la masse de l'éprouvette.
- Après refroidissement de l'éprouvette à l'abri de l'humidité dans un local à la température de20±2 °C, déterminer sa masse sèche mi à 0,02% près.

Détermination de la masse de l'éprouvette humide :

- Effectuer l'essai dans un local à la température de 20 ± 2 °C;
- Disposer l'éprouvette sur les appuis dans la cloche ou le caisson à vide, en la posant debout sur sa plus petite face et veiller à ce que l'eau ait libre accès sur toutes ses faces;
- Après avoir vérifié la valeur de la pression atmosphérique, réaliser un vide tel que la pression résiduelle soit égale à 2,7 kpa (≈20 mm Hg);
- Maintenir cet état de vide pendant 2 ½ h. Ensuite, tout en maintenant ce vide, envoyer de l'eau dans la cloche ou le caisson en réglant le débit de telle manière que le niveau de l'eau monte régulièrement dans l'appareil, à raison de 5cm/h, et ce jusqu'à immersion complète de l'éprouvette;
- Pour les éprouvettes de plus de 15 cm de hauteur, il est admis de régler le débit de l'eau, afin que l'immersion complète soit réalisée en 3h;
- Rétablir ensuite la pression atmosphérique dans l'enceinte;
- Laisser l'éprouvette immergée pendant encore 24h;
- A la sortie de l'eau, poser l'éprouvette sur le support non absorbant et essuyer l'eau superficielle au moyen d'un linge humide. L'égouttage est limité à une durée de 60+5s.
- Déterminer la masse humide de de l'éprouvette en conservant sur le plateau de la balance l'eau qui continuerait à s'en écouler. Cette masse est exprimée à 0,02% près.

iii. Expression des résultats

L'absorption d'eau sous vide Ev, exprimée en % de la masse sèche et avec 2 décimales est donnée par la formule:

$$Ev = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$

Dans laquelle:

$m1$=masse de l'éprouvette avant l'essai d'absorption d'eau sous vide.

$m2$ =masse de l'éprouvette après l'essai d'absorption d'eau sous vide.

e. Essai d'absorption par immersion

L'absorption par immersion consiste à mettre les éprouvettes dans l'étuve et de les peser jusqu'à poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant une durée de 24h c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau.

2.7 Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiants).

Le nombre d'essais qui a été effectué dans le cadre de cette thèse était important, Pour déterminer leurs caractéristiques rhéologiques (essais d'étalement au mini cône, d'écoulement a l'entonnoir (V-Funnel)). Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, absorption d'eau, retrait et gonflement). Pour reconnaitre l'effet de la PBR sur le mortier autoplaçant que ce soit à l'état frais ou durci.

Dans le chapitre suivant, On va exposer les résultats obtenus par les différents essais sur le mortier et ainsi suivis par l'interprétation et la comparaison avec ceux qu'on a obtenus par la littérature.

Chapitre3
Résultats et interprétations

3.1 Introduction

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

3.2 A l'état frais

3. 2. 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 deux finesses f1 = 4400 cm^2/g et f2 = 6200 cm^2/g.

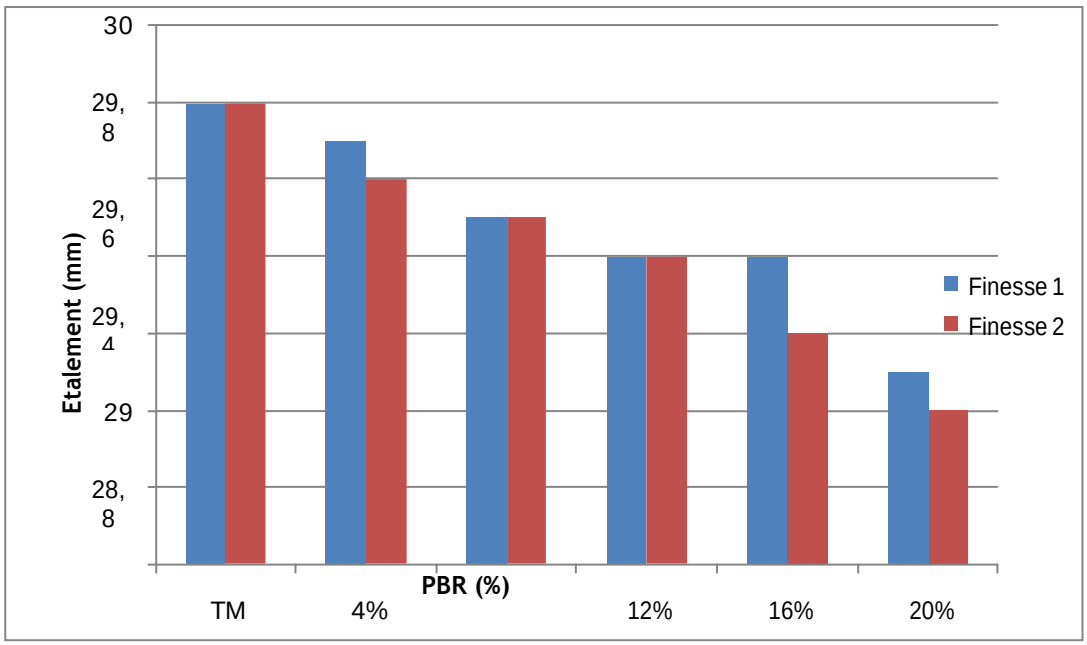


Figure 3. 1: Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique

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

3. 2. 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 3.2.

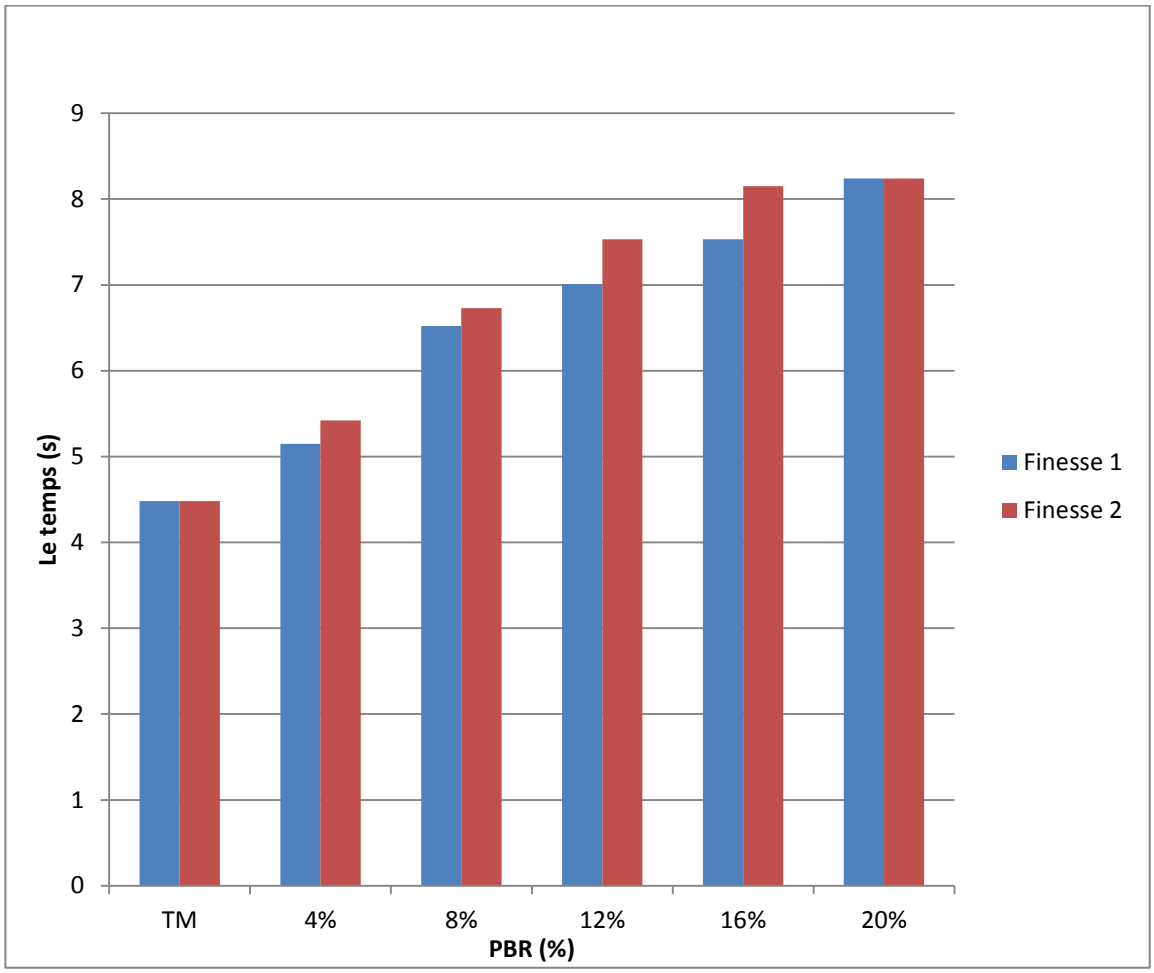


Figure 3.2: Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de brique

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, le mortier met plus de temps aussi à s'écouler.

3. 3 A l'état durci

3.3.1 La résistance

Pour cette étude expérimentale nous avons choisis de mesurer la résistance à 28 jours car c'est une résistance caractéristique pour les mortiers et la comparer avec les deux autres âges (14 jours et 7 jours) sur 6 types de mortiers élaborés (un mortier témoin sans déchets et 5 autres avec différents taux de substitution).

L'essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16cm), et les résultats obtenus sont la moyenne des trois mesures.

3.3.1.1 Compression

L'influence de déchets de brique sur la résistance à la compression pour les deux milieux de cure (à l'air et dans l'eau) est montrée sur les figures (Figure 3.3, 3.4, 3.5 et 3.6) respectivement pour la 1ère et la 2eme finesse.

a. Finesse 1

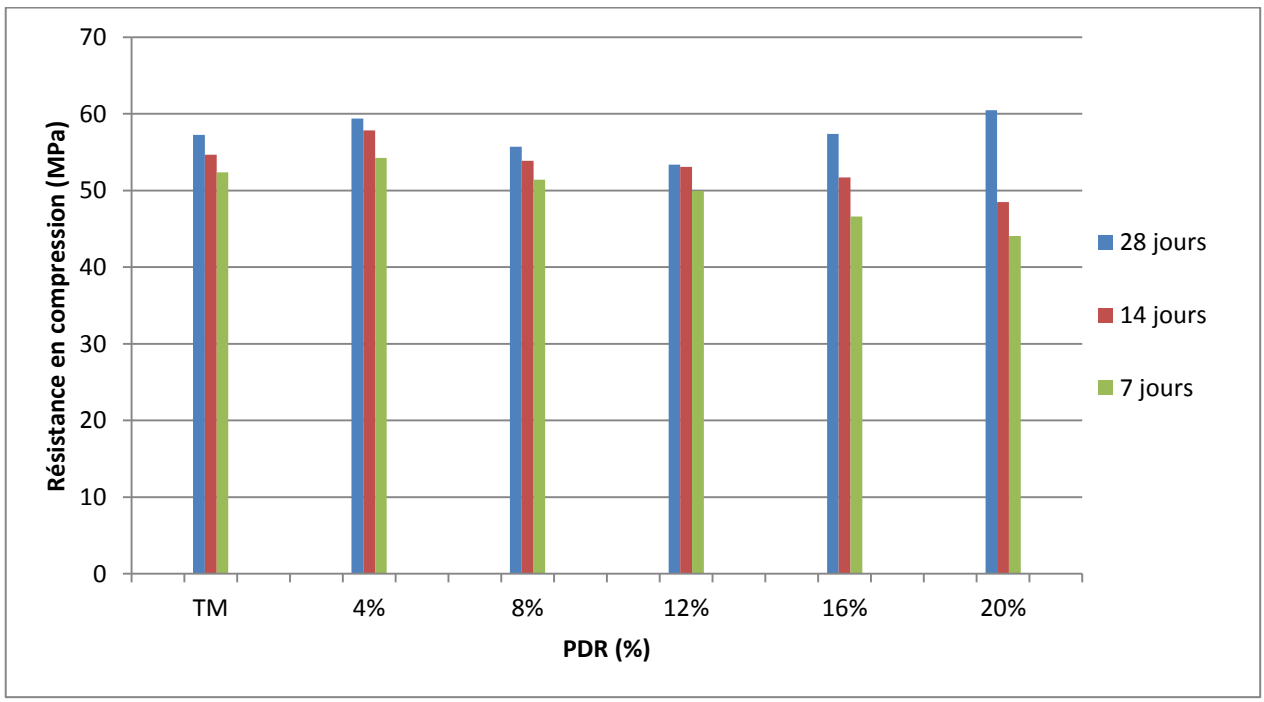


Figure 3.3: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f1 et conservées à l'air en fonction du taux de substitution pour différents âges

La résistance en compression augmente avec l'âge est un résultat évident pour toutes les compositions et aussi connu pour tous les matériaux cimentaires.

Dans l'eau ces composites développent une résistance meilleure que si elles étaient conservées dans l'air, résultat aussi connu pour tous les matériaux cimentaires à liant hydraulique.

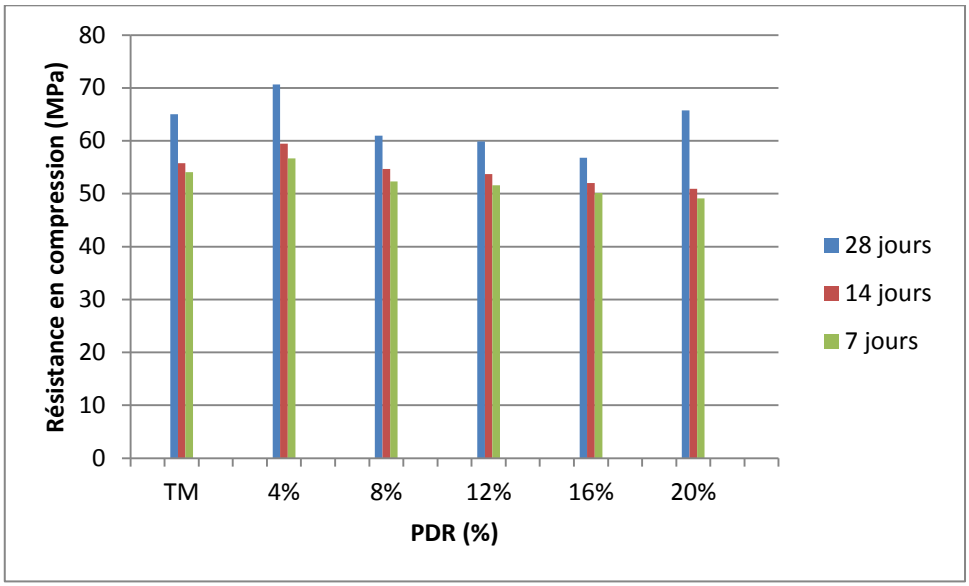


Figure 3.4: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f1 et conservées dans l'eau en fonction du taux de substitution pour différents âges

On constate aussi qu'à 28 jours de cure et comparativement au témoin, il y a une amélioration de la résistance pour les taux de substitution de 4 et 20% :

b. Finesse 2

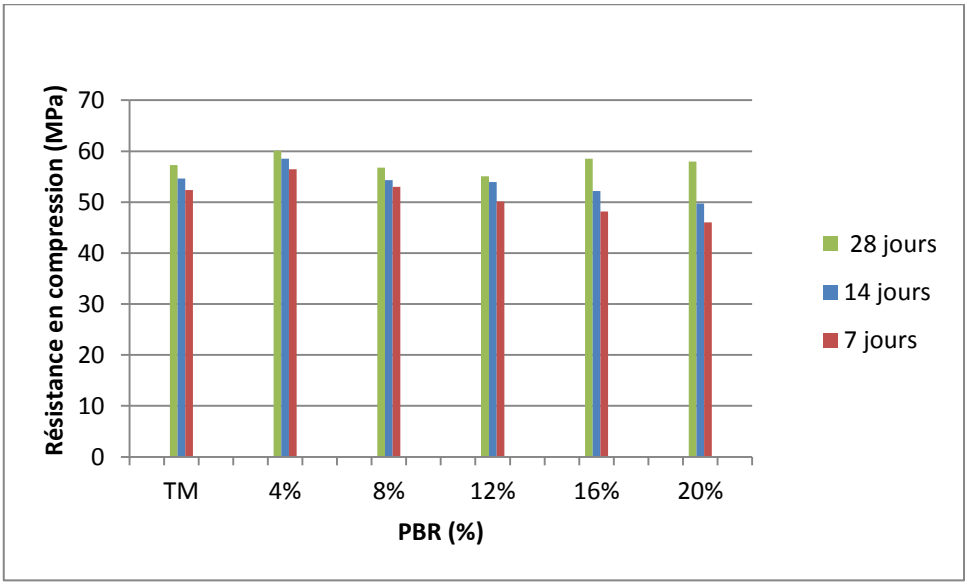


Figure 3.5: Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f2 = 6200 cm²/g et conservées à l'air en fonction du taux de substitution pour différents

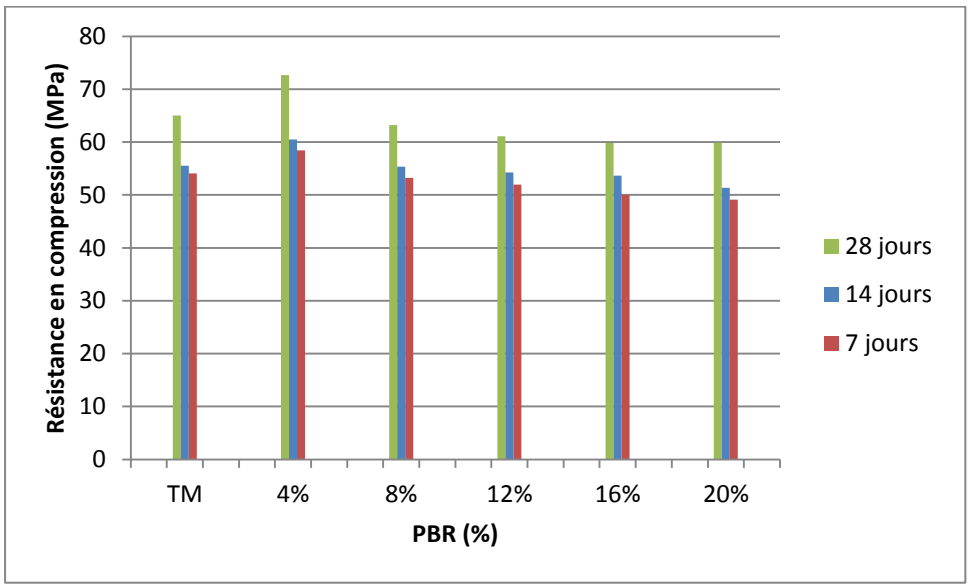


Figure 3.6 Résistance à la compression des éprouvettes préparées avec la poudre de finesse f2 et conservées dans l'eau en fonction du taux de substitution pour différents âges

Ces résultats sont comparable à ceux d'autre chercheurs qui ont travaillé sur les différents types de mortier et de béton à base de pouzzolane et qui ont remarqués une chute de la résistance mécanique à partir de 10 à 15% d'ajout de pouzzolane parmi eux BENKADDOUR et al. **[79]** ils ont trouvé que la résistance en compression diminue considérablement avec l'augmentation du pourcentage de la pouzzolane naturelle.

3.3.1.2 Traction

Les résultats de cet essai sont regroupés et présentés dans un histogramme (Figure 3.7, 3.8, 3.9 et Figure 3.10) :

a. Finesse 1

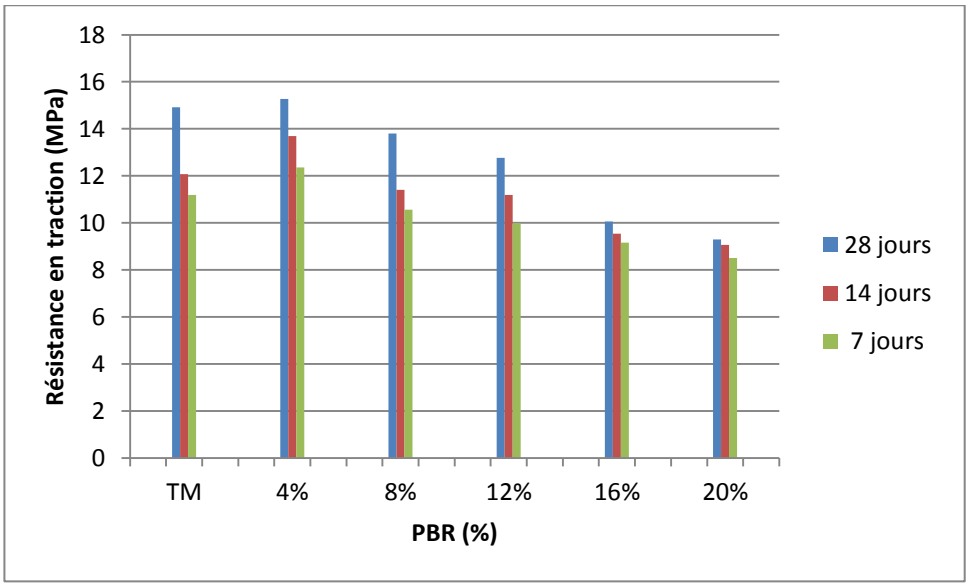


Figure 3.7 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec f1= 4400 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées à l'air

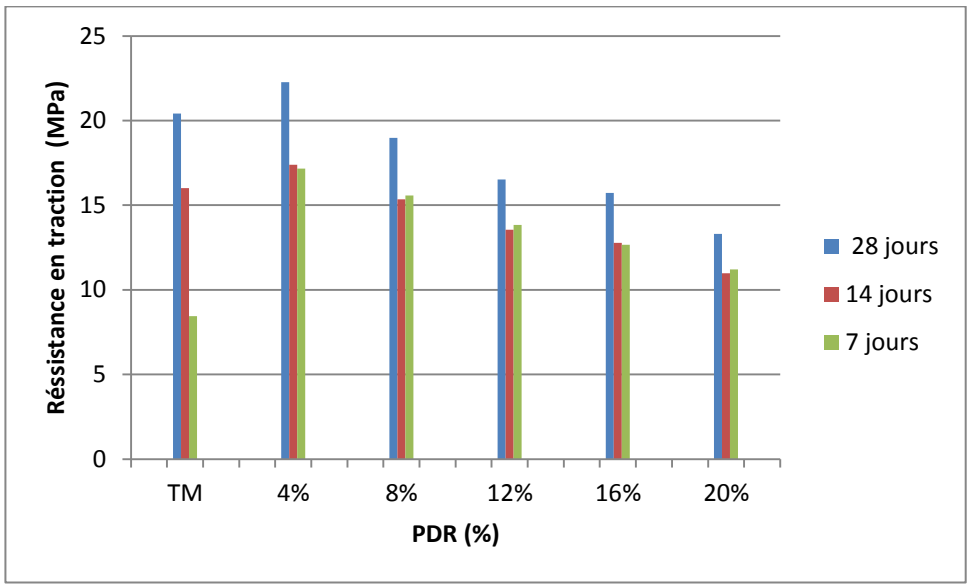


Figure 3.8 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec la finesse f1 à différents âges pour les éprouvettes conservées dans l'eau

La comparaison entre la résistance en traction par flexion du MAP témoin avec un MAP à base du PBR à l'état durci est représentée sur les figures 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8 respectivement pour les éprouvette préparées avec la 1ère finesse conservées à l'air et dans l'eau et celles avec la 2ème finesse conservées à l'air et dans l'eau; où on peut voir que :

b. Finesse 2

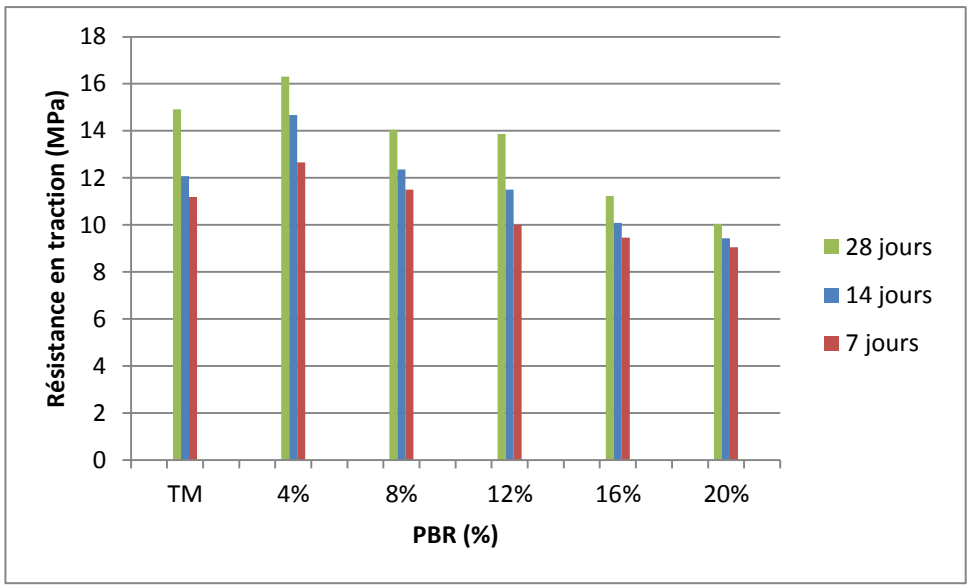


Figure 3.9 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec f2= 6200 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées à l'air

La résistance des éprouvettes conservées à l'eau est plus élevée par rapport à celles qui sont conservées à l'air libre.

Les résistances à la traction par flexion des éprouvettes à base du PBR diminuent respectivement entre MAP 8%, 12% ; 16% et 20 % pour les 3 âges.

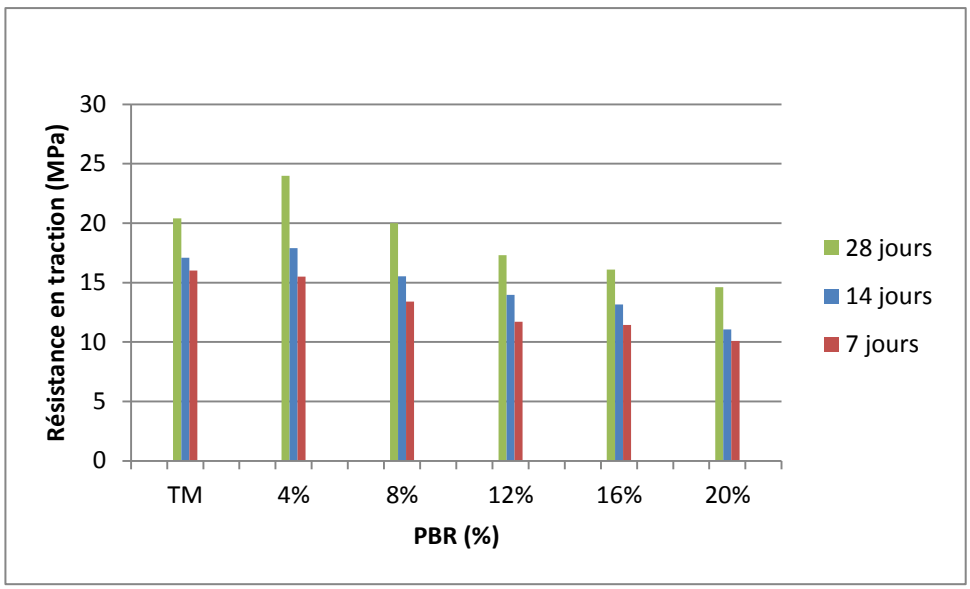


Figure 3.10 : Résistance à la traction en fonction du taux de substitution de PBR avec la finesse F2= 6200 cm²/g à différents âges pour les éprouvettes conservées dans l'eau.

En général et à tout âge, la substitution des déchets de briques diminue la résistance en traction sauf à 4% où elle est supérieure à celle du témoin.

3.3.2 L'absorption capillaire

Les essais de l'absorption par capillarité ont été effectués à une température ambiante par l'utilisation des éprouvettes prismatiques (4x4x16).

L'absorption capillaire pour les différents composites en fonction de la racine carrée du temps est illustrée dans les figures 3.11, 3.12, 3.13 et 3.14 respectivement pour les éprouvettes avec la 1ére et la 2ème finesse, conservées dans l'eau et celles conservées à l'air.

3.3.2.1 Conservation à l'eau

a. Finesse 1

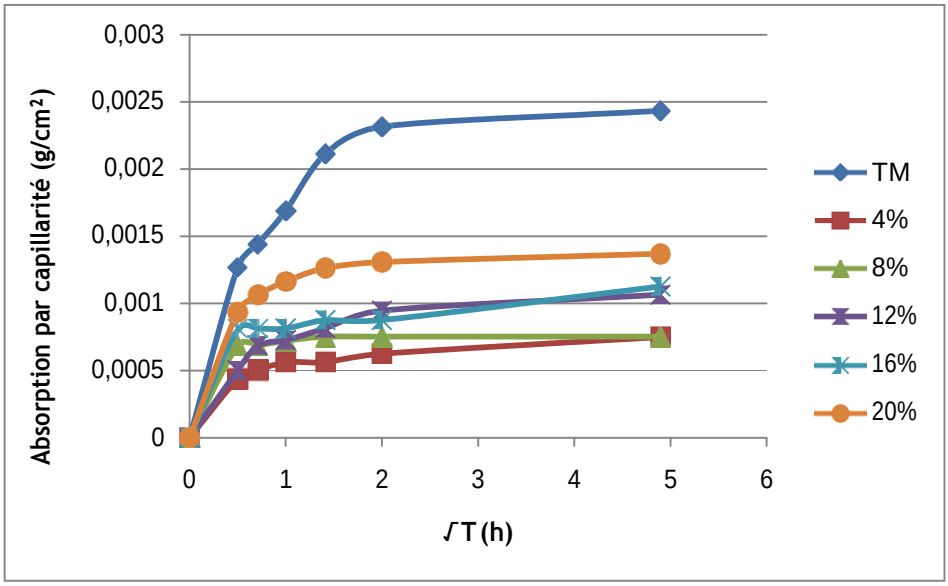


Figure 3.11: Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 1 ère finesse et conservées dans l'eau

b. Finesse 2

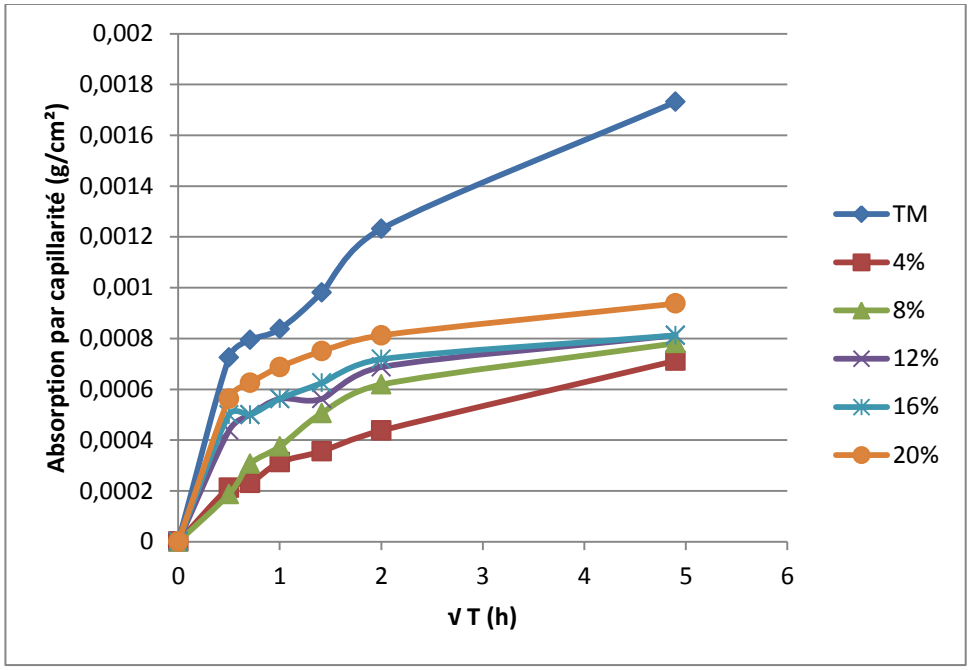


Figure 3.12: Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 2ème finesse (f2 = 6200 g/cm²) et conservées dans l'eau

3.3.2.2 Conservation à l'air

a. Finesse 1

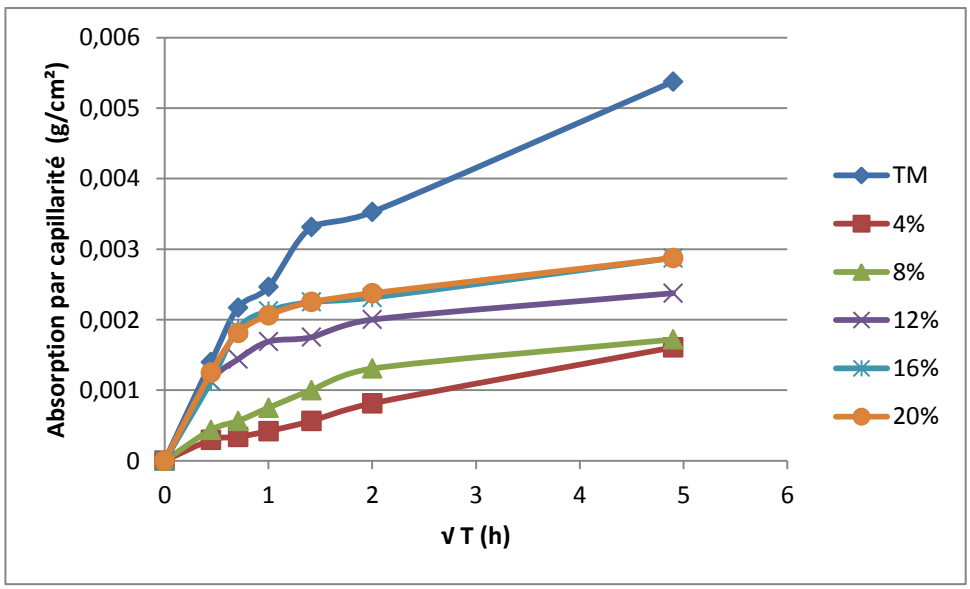


Figure 3.13 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 1 ère finesse et conservées à l'air

b. Finesse 2

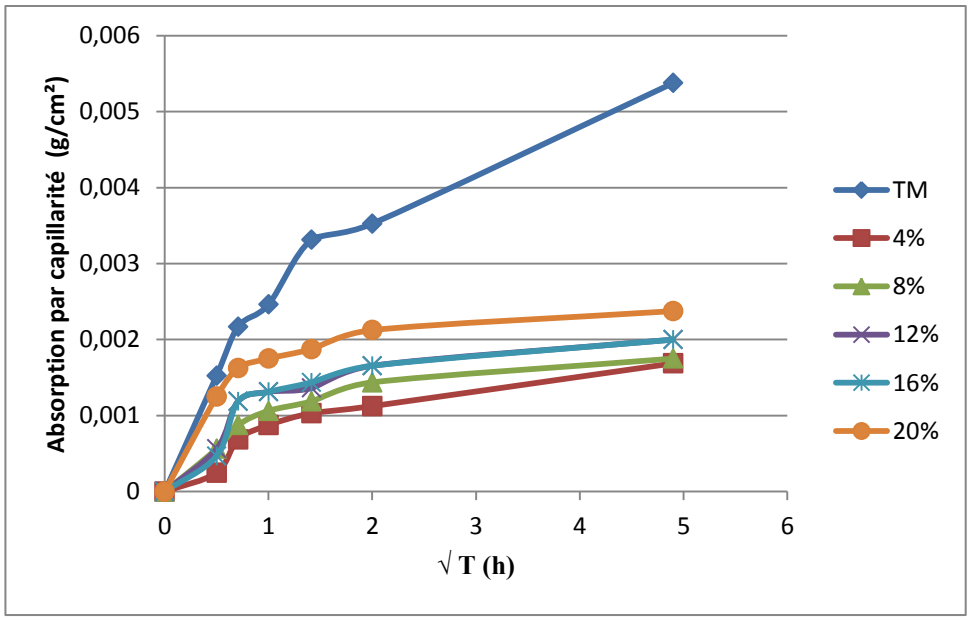


Figure 3.14 : Effet des différents taux de substitution de ciment par les PBR sur l'Absorption capillaire pour les éprouvettes faites avec la 2ème finesse et conservées à l'air

Les résultats du test de l'absorption capillaire montrent que pour les deux finesses :

- La Masse d'eau absorbée évolue dans le temps pour tous les mortiers.
- La substitution du ciment par les PBR a un effet positif en réduisant l'absorption d'eau par capillarité et cela quelque soit le taux de substitution. cela pourra s'expliquer par le fait que les mortiers deviennent plus compacts suite au remplissage des micropores par la poudre de brique de finesse plus grande que celle du ciment substitué.
- la poudre finement broyée donne moins d'absorption capillaire et cela pour toutes les compositions.
- Par rapport au témoin sans PBR, la cinétique d'absorption de tout les composites est la même sauf que les pentes sont moins accentuées en allant des forts vers les faibles pourcentages de substitution.

3.3.3. La porosité accessible à l'eau

Le résultat de l'essai de porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure et des finesses est représenté respectivement sur les figures 3. 15 et 3.16.

a. Finesse 1

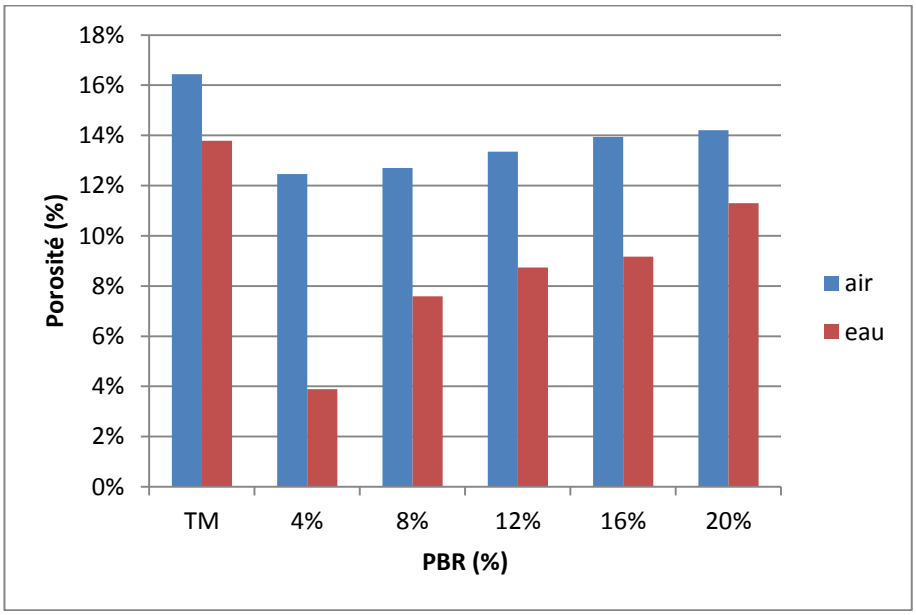


Figure 3.15: Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 4400 g/cm²

b. Finesse 2

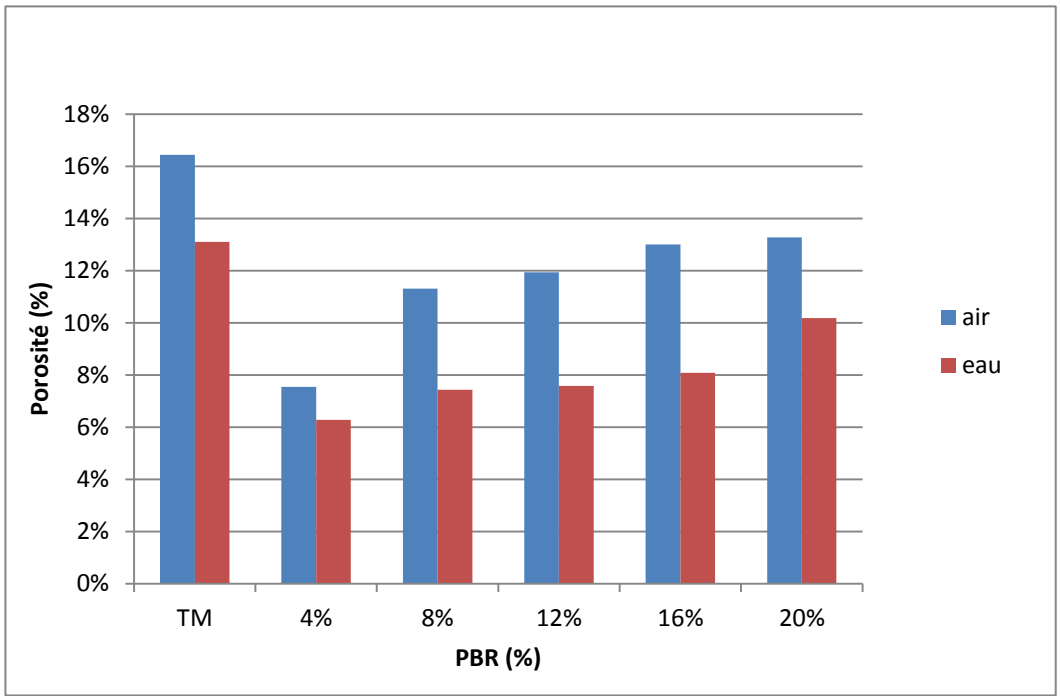


Figure 3.16 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 6200 g/cm²

L'illustration graphique des résultats représentés par les figures 3. 15 et 3. 16 montre que pour toutes les compositions avec PBR la porosité est inferieur par rapport au témoin quelque soit le milieu de conservation. Il est aussi à remarquer que les éprouvettes conservées dans l'eau sont moins poreux que celles conservées à l'air.

Cet essai vient confirmer les résultats de l'essai d'absorption capillaire où on observait l'absorption capillaire la plus faible pour le composite à 4 % de PBR indiquant moins de pores susceptible d'être rempli d'eau.

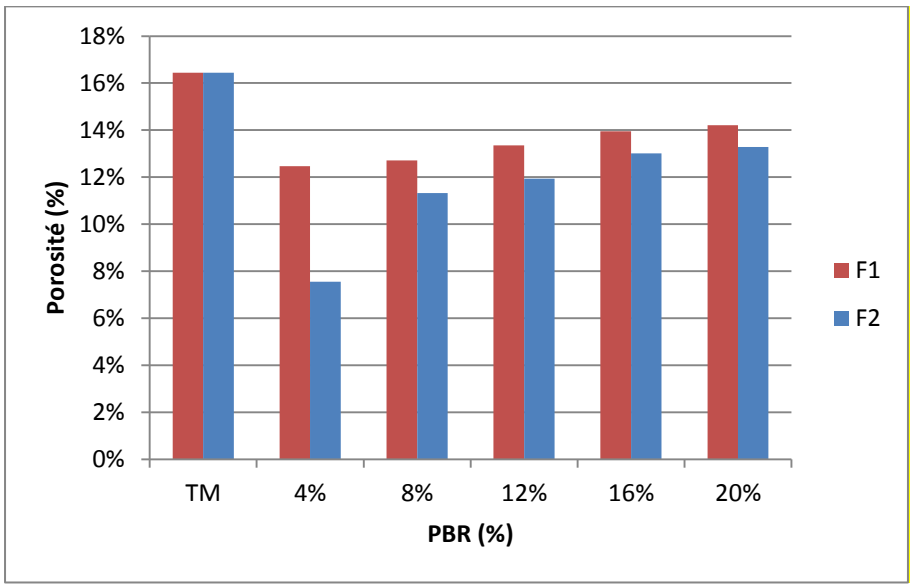


Figure 3.17 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction de PBR pour les deux finesses conservées à l'air

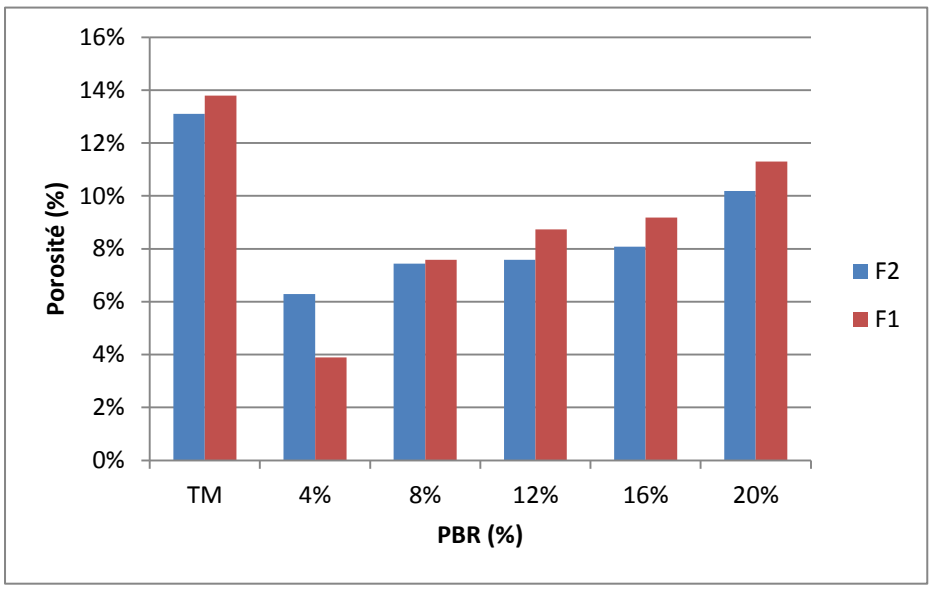


Figure 3.18 : Variation de la Porosité accessible à l'eau de toutes les compositions de mortier en fonction de PBR pour les deux finesses conservées à l'eau

La poudre finement broyée f2 induit moins de porosité et cela pour toutes les compositions.

3.3.4 Absorption par immersion

Le résultat de l'absorption par immersion des éprouvettes fabriquées avec les deux finesses de déchets de brique est représentée sur les figures 3.17 et 3.18 respectivement pour la finesse 1 et 2.

a. Finesse 1

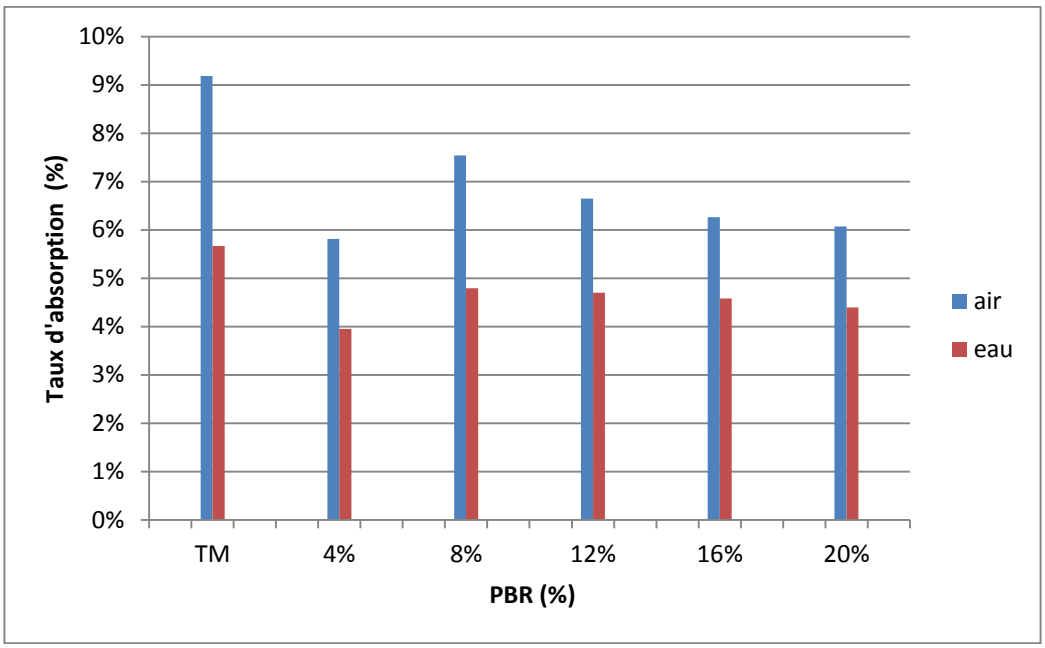


Figure 3.19 : Variation de l'absorption par immersion de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 4400 g/cm²

b. Finesse 2

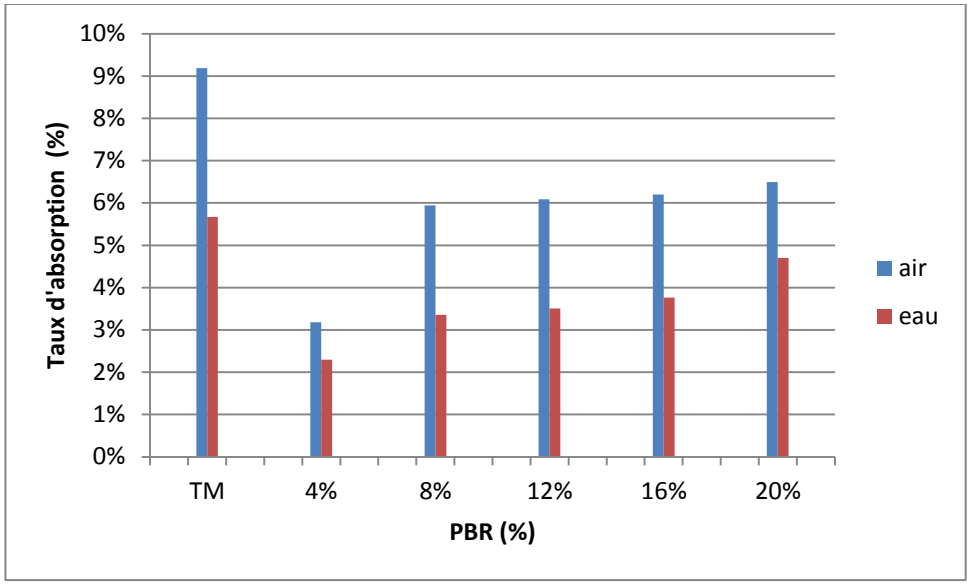


Figure 3.20 : Variation de l'absorption par immersion de toutes les compositions de mortier en fonction du milieu de cure pour la finesse de 6200 g/cm²

L'analyse des résultats obtenus montre que :

- L'ajout du différent pourcentage en déchet de brique a mené à une diminution d'absorption d'eau par rapport au MAP témoin aussi bien à l'air que dans l'eau
- le composite avec 4% de PBR est toujours le matériau qui absorbe le moins et donc représente l'optimum pour cette propriété.
- L'absorption des éprouvettes conservées à l'air est la plus élevée par rapport à celles qui sont conservées à l'eau, chose qui est valable pour tous les matériaux cimentaires
- entre les deux finesses testées, f2 donne meilleur résultat en matière d'absorption par immersion.

3.3.5 Le retrait

Le retrait total des éprouvettes de mortier contenant 0%, 4%, 12%, 16% et 20 % de fines de déchets de brique est donné dans les figures 3. 19 et 3.20 :

a. Finesse 1

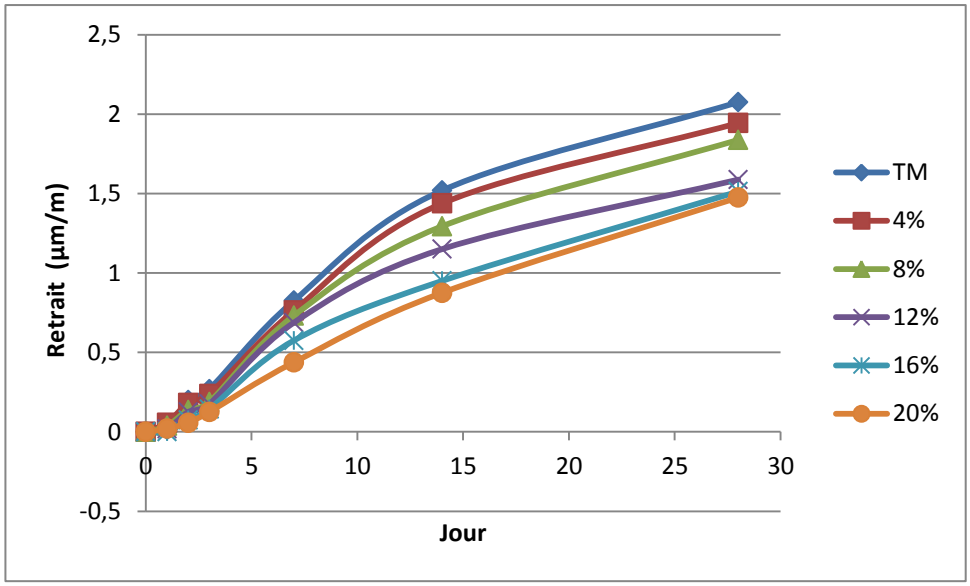


Figure 3.21 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 4400 g/cm²

Le retrait augmente dans le temps et démunie 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

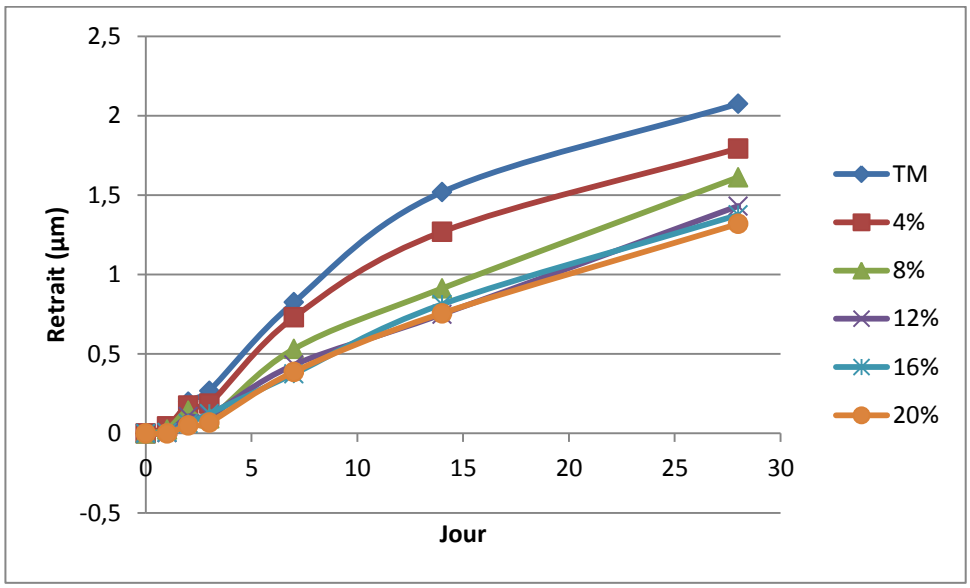


Figure 3. 22 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 6200 g/cm²

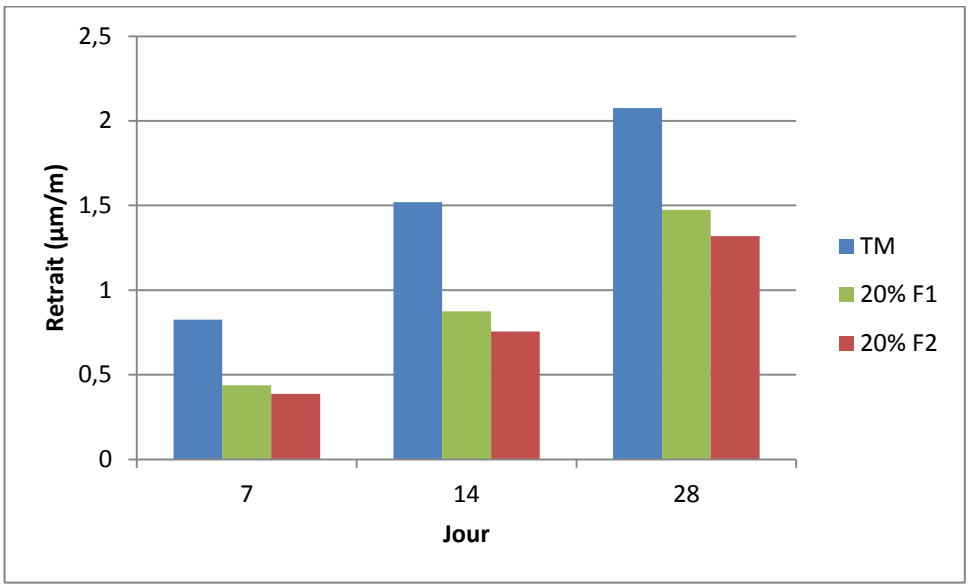


Figure 3. 23 : Variation du retrait du composant de mortier 20% de PBR en fonction de l'âge pour les deux finesses

En comparant les deux finesses, il est constaté que les matériaux fabriqués avec la finesse 2 procure moins de retrait que ceux fabriqués avec la finesse 1 des déchets de briques.

3.3.6. 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. 21 et 3. 22 respectivement pour la finesse 1 et 2.

a. Finesse1

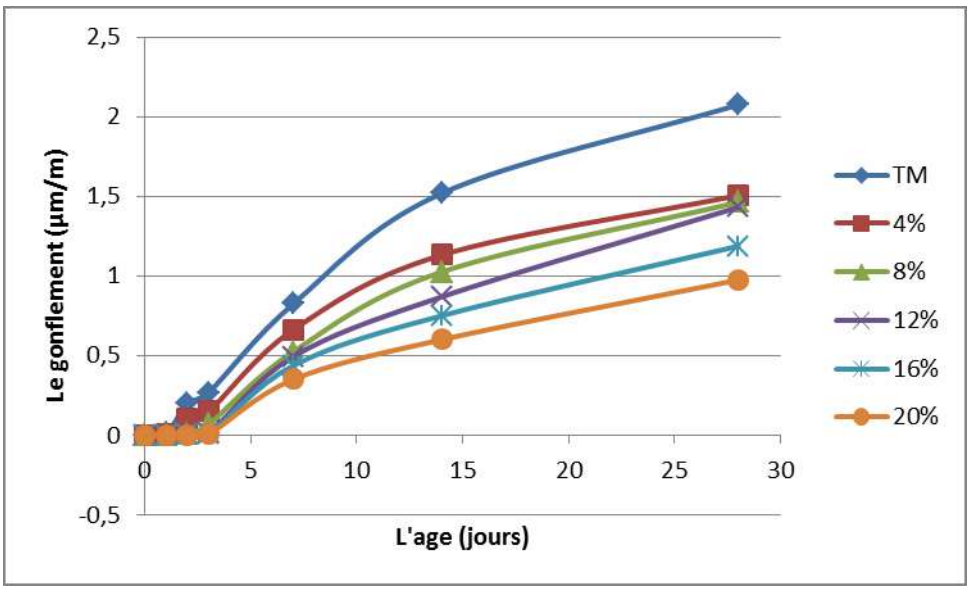


Figure 3. 24 Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de f1 = 4400 g/cm²

Le gonflement augmente dans le temps et démunie 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.

a. Finesse 2

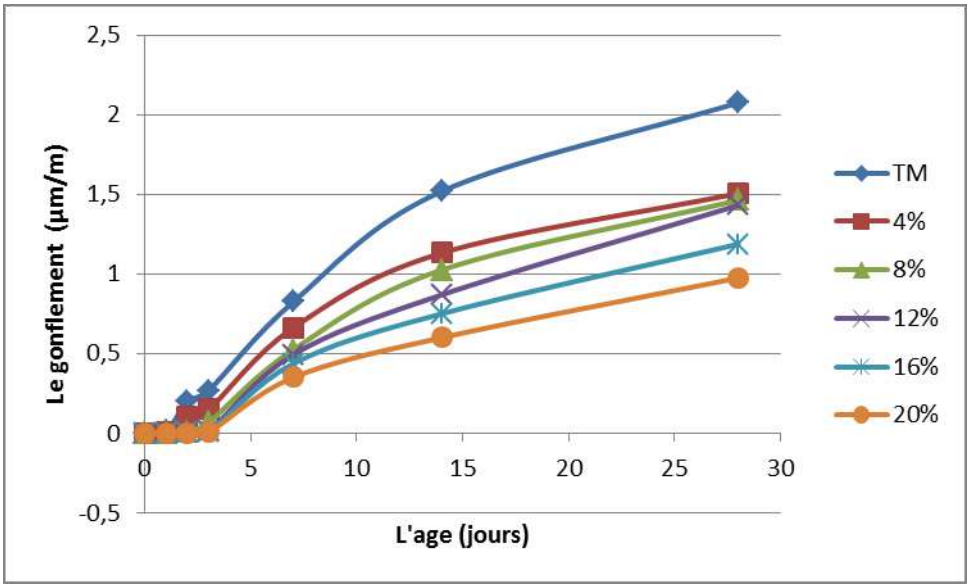


Figure 3. 25 : Variation du gonflement de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de f2 = 6200 g/cm²

Le gonflement du matériau fabriqué avec la finesse 2 est meilleur que celui avec la finesse 1, confirmant ainsi les résultats des essais précédents de transfert de masse dans la matière qui a une relation directe avec la porosité du matériau.

3.4 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.

En revanche, à l'état durci les résultats sont prometteurs car il y a en général une augmentation des résistances par rapport au témoin et aussi en fonction de l'âge.

Les différents essais relatif à l'évaluation de la porosité des composites ont révélés l'apport positif de la substitution du ciment par de la brique en donnant un matériau plus compact, ce qui a influencé les variations dimensionnelles avec moins de retrait et moins de gonflement.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif principal de cette étude été la valorisation de déchets de brique 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.

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 :

- 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.
- La résistance des éprouvettes conservées à l'eau est plus élevée par rapport à celles qui sont conservées à l'air libre
- On constate aussi qu'à 28 jours de cure et comparativement au témoin, il y a amélioration de la résistance pour les taux de substitution de 4 et 20%.
- L'ajout du différent pourcentage en déchet de brique a mené à une diminution d'absorption d'eau par rapport au MAP témoin aussi bien à l'air que dans l'eau
- entre les deux finesses testées, f2 donne meilleur résultat en matière d'absorption par immersion.
- la poudre finement broyée f2 induit moins de porosité et cela pour toutes les compositions.

- L'ajout de la PBR diminue le taux d'absorption par capillarité et le gonflement à l'eau et le retrait à l'air libre.

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 affaire dans l'économie dans la construction des ouvrages.

Recommandation :

L'étude expérimentale mérite d'être poursuivie par d'autres travaux de recherche que l'on pourrait formaliser ainsi :

- Etudier l'effet de la conservation des mortiers contenant le déchet de brique dans différents environnements de cure simulant les environnements des différentes régions de notre pays (climat chaud et sec, …) de même que l'effet de la durée de cure ;
- Etude de la faisabilité économique de l'utilisation des ciments à base de déchets de brique dans les cimenteries algériennes

- Etude rhéologique approfondit des mortiers auto-plaçants à base de fines de brique recyclées
- Etude de la durabilité des mortiers autoplaçants à base de fines de brique recyclées.

Références :

[1] Introduction de sable de déchet de marbre dans le béton hydraulique Houria Hebhoub, Mouloud Belachia, Université de Skikda BP 26, Elhadaik, Skikda, Algérie, 2010

[2] Bouali khaled, Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d‟ajouts de déchets de briques réfractaires, Thése de Magister Université M‟HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2014

[3] Khemissi Redouane,Caractérisation et choix d‟une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d‟Oran,thèse de Magister. Université d‟Oran 2013-2014.

[4] L. Pliskin, „La Fabrication du Ciment‟, Ed. Eyrolles, 213 p., Paris, 1993.

[5] A. Navarro, „Approche Systémique des Déchets‟, Techniques de l‟Ingénieur, Traité Environnement, G 2000–8.

[6] J.P. Charles, S. Duchemin et M.C. Gillet-Artaud, „Pour un Développement Durable: Le Photovoltaïque, Développement et Recherche 2003‟, Revue des Energies Renouvelables, ICPWE, pp. 1 – 6, 2003.

[7] Document, Notre Avenir à Tous‟, Rapport de la Commission Mondiale sur l‟Environnement et le Développement (Commission Brundtland), les Editions du Fleuve, 1989. Traduction Française, our common future‟, 1987.

[8] : SPERANDIO K, identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales» thèse de doctorat, l‟institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[9] Moletta R, Le traitement des déchets, Editions TEC&DOC. P685. 2009.

[10] JORADP N°66, du 16 décembre 1984. Décret n° 84 – 378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoiement, d‟enlèvement et du traitement des déchets solides Urbains. P15.

[11] Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Departement génie civil, Université Houari Boumediene Algies ; 2007

[12] SERIFOU MAMERY, Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation thése de DOCTORAT DE L‟UNIVERSITE FELIX HOUPHOUET BOIGNY ET DE L‟UNIVERSITE BORDEAUX 1, 2013

[13] Barkat, A. , Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton , Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah de Ouargla, 2013

[14] Navrátilová E. and Rovnaníková P., “Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars”, Construction and Building Materials, 2016, Vol. 120, pp. 530–539.

[15] Ajroun Redouane, Effet, de l‟incorporation de briques réfractaires dans le ciment portland, Mémoire de fin d‟études pour l‟obtention du Diplôme de licence UNIVERSITE Dr MOULAY TAHAR – SAIDA, 2014

[16] Debieb F. and Kenai S., The use of coarse and fine crushed brick as aggregate in concrete, Construction and Building Materials, 2008, Vol. 22, N° 5, pp.886-93, 2008

[17] SI-AHMED Mohammed ; FORMULATION ET COMPORTEMENT D‟UN BETON FLUIDE A BASE DE GRANULATS RECYCLES DE BRIQUE » thèse de doctorat UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1, 2018

[18] Bektas F., Wang K., Ceylan H., Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability, Construction and Building Materials, 2009, Vol. 23, pp.1909-1914.

[19] O'Farrell M., Wild S., Sabir B.B., Resistance to chemical attack of ground brick ±PC mortar. Part II. Synthetic seawater, Division of Built Environment, School of Technology, University of Glamorgan, Pontypridd, Mid Glamorgan CF37 1DL, UK, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 757-765, , 2000

[20] Khatib J.M., Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, Cement and Concrete Research, 2005, Vol. 35, N° 4, pp. 763-9.

[21] Hansen I.C., “Recycling of demolished concrete and masonry. RILEM Report of Technical Committee 37-DRC (demolition and recycling of concrete)”, RILEM Report 6. London, UK: E&FN Spon; 1992.

[22] Gonçalves J.P., Tavares L.M., Toledo Filho R.D., Fairbairn E.M.R., “Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin or ground brick” Construction and Building Materials, 2009, Vol. 23, pp. 1971-1979.

[23] Kibriya T. and Speare P.R.S., “The use of crushed brick coarse aggregate in concrete”, Proceedings of the international conference, Dundee; 1996, pp. 495-503.

[24] Levy S.M. and Helene P., “Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development”, Cement and Concrete Research, 2004, Vol. 34, N° 11, pp. 1975-1980.

[25] BELHOCINE AIDA et NAGOUDI NADJAt, Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux, master genie civil 2014 Université KASDI Merbah – Ouargla

[26] African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 5, No. 1, pp. 92 – 100. ACTIVITE POUZZOLANIQUE DES DECHETS DE BRIQUES ET TUILES CUITES, Chinje melo, U. et Billong, N

[27] Guide d‟utilisation du béton en site maritime Benoit THAUVIN & Michel MENGUY (centre d‟étude techniques maritimes et fluvial) année

[28] OKAMURA.H.OZAWA, compacting concrete journal of advanced concrete technology, 1994

[29] YAMMINE JOUMANA., rhéologie des bétons fluides à hautes performances relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, l‟Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262 p, 2007.

[30] SLIMANI Abderezzak « Science et technologie des bétons », mémoire d‟ingénieure 2007 lieu

[31] BENKECHKACHE Ghofrane «Etude de comportement diffère des bétons autoplaçant Influence des paramètres de composition et de chargement», thèse de mentouri Constantine, magister novembre 2007

[32] KHAYAT, K.H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete, ACI Materials Journal, 96, 346–353, (1999).

[33]- Hanaa Fares, «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée», Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,

[34]- « R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.

[35] SHEN Jie., comportement mecanique des materiaux et des structures precontraintes en betons autoplaçants (BAP). Thèse de doctorat de l‟Université de Reims champagne-ardenne-France, (2009)

[36] NEHDI M., MINDESS S., AÏTCIN P.-C., "Rheology of high-performance concrete: Effect of ultrafine " Cement and Concrete Research, 28(5), pp 687-697, (1998).

[37] YAHIA A., TANIMURA M., SHIMOYAMA Y.,Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, Cement and concrete Research, 35(3), pp 532-539, 2005

[38] ACI, ‟Processes, Self-Compacting Concrete, Advanced Concrete Technology III, 203.9/3, 2003

[39]- « R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.

[40] Boukendakdji, O, Etude de l‟influence des paramètres de formulation sur les propriétés d‟un béton auto plaçant : Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat de L'Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010

[41] T. Noguchi, S.G Oh, F. Tomosawa, Rheological approch to passing ability between reinforcing bars of self-compacting concrete, Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, suede, pp. 59-70, 1999.

[42] Klug Y. and Holschemacher K. “Comparison of the hardened properties of Self Compacting and Normal Vibrated Concrete” 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik,Iceland, pp. 596-605, 2003.

[43] Efnarc « The European guidelines for self compacting concrete » The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. www.efnarc.org, 2005

[44] Gram H.E. and Piiparinen P. Properties of SCC – Especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance, Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, , pp. 211-225. 1999

[45] Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l‟Ecole centrale de Nantes, 213 pages. 2004 [20] J. Trägardh,, Microstructural features and related properties of self-compacting concrete», Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 175-186, 13-15 September 1999.

[46] Philippe Turcry de l‟université de Nantes, Retrait et Fissuration des Bétons autoplaçants influence de la Formulation. Thèse de doctorat lieu et année

[47] Didier LOOTENS l‟Université Pierre et Marie Curie, Ciments et suspensions concentrées modèles. Écoulement, encombrement et floculation. Thèse de Doctorat

[48] Thomas Point. Influence des hydroxypylguars sur les propriétés du mortier de ciment à l‟état frais 27 juin 2014. Disponible sur : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00936958/document, 1999

[49] KHELAIFA Hamad et TAGBA Maléki ,Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d’adjuvant résineux, mémoire de masterà l’Université de Guelma, 2015

[50] BOUALI Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d‟ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M‟HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014.

[51] WILLIAM.D, CALLISTER.JR, Science et génie des matériaux, modolu Editeur, 2001

[52] Kerrouzi Ismail et Soufari Abdel Wahab, mémoire de licence, université des sciences et de la technologie d’Oran Mohamed Boudiaf U.S.T.O.M.B.

[53] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN,Granulat, sols, ciment et béton Edition CASTEILLA-PARIS-2004.

[54] YAMMINE JOUMANA., rhéologie des bétons fluides à hautes performances relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, l’Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262 p, 2007.

[55] GC1712 « Durabilité ET réparation du béton » département génie civil, université de Sherbrooke _ canada, avril 2009

[56]SYLVER .P, Science des matériaux »université pierre de Marie curie 2005,2006

[57] https://www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/2017/10/Mortier-autoplacant.pdf

[58] Arezki Tagni Hamou ,Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons, chapitre 8

[59] J.BARON, J.P.OLLIVIER ,LES BETONS , bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, 1999.

[60]. NFP18-597, Normes AFNOR: Granulats-Détermination de la propreté dessables – Equivalant de sable à 10% defines, 1990

[61] CHERAITY.NAFAZ.,Eléments de matériaux de construction et essais, Direction de la publication universitaire de Guelma,2007

[62] Neville A., Geon M, Propriétés des bétons, traduit par CRIB Centre de Recherche Inter universitaire sur le Béton, SHERBOOKE-Laval-éditions Eyrolles. 2000

[63] NF EN 197-1: décrit les ciments courants, ainsi que leur composition, leurs spécifications et leurs critères de conformité. Journal Officiel de l‟Union Européenne, 2012

[64] NF EN 196-6, Methods of testing cement-Part 6, 2010.

[65] NF EN 459-2 EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE EUROPÄISCHE NORM. September 2010

[66] NF EN 196-3, AFNOR, Méthodes d‟essais des ciments: Partie 3: détermination du temps de prise et de la stabilité. 2009

[67] NF EN 196-1, AFNOR, Méthodes d‟essais des ciments: Partie 1: détermination des résistances mécaniques. 2006

[68] MEDAFLOW 145 Conforme à la norme AN 934-2 : TABB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

[69] Boukendakdji, O, Etude de l‟influence des paramètres de formulation sur les propriétés d‟un béton auto plaçant : Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat de l‟Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010

[70] PEDERSEN B., SMEPLASS S. The relationship between the rheological properties of SCC and the corresponding matrix phase, Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Island, pp106-16. 2003

[71] EN 196-1, méthodes d'essais de ciment, AFNOR, France 1994

[72] EN 1097-5, Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 5: Determination of the water content by drying in a ventilated oven; German version, 2008

[73] NF P 18-598, Granulats – Equivalent de sable.

[74] NA 2607, Granulats - Analyse granulométrique par tamisage, 1990

[75] NF EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments – Partie 1, Analyse chimique des ciments.

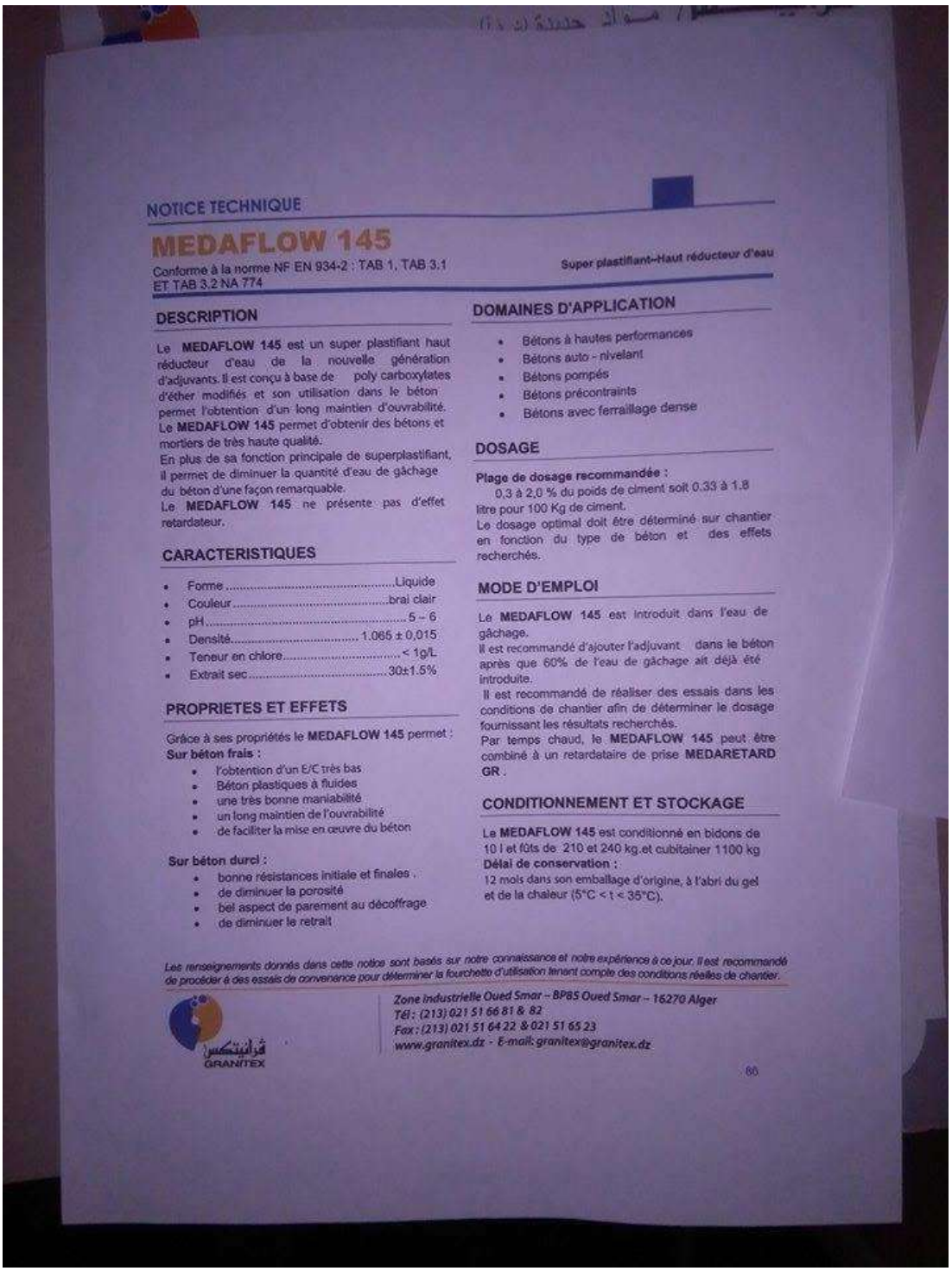
[76] NF EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments – Partie, Analyse chimique des ciments.

[77] NF P 18-404, Bétons- Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes, Décembre 1981

[78] NBN EN 13057, Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai - Détermination de l'absorption capillaire, 2002

[79] Ezziane, K., Kadri, E.H., Hallal, A., Duval, R. Effect of mineral additives on the setting of blended cement by the maturity method» Materials and Structures, Vol. 43, 2010, pp. 394 - 401.

ANNEXE A



NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 145

Conforme à la norme NF EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774

Super plastifiant–Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... brai clair
- pH ..... 5 – 6
- Densité ..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec ..... 30±1.5%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :
Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferraillage dense

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg
Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

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

GRANITEX

Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

ANNEXE B

Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier

Essais sur Mortier

Entrer data dans cellules en rouge

Valeurs calculées dans cellules en noir

Référence du mélange — Essai N° CEM I 42 — Date 27/06/2019

0 % de Poudre de brique

volume de mortier (litres) **1000,00**

sable/mortier vol **0,50**

E/P par vol. **1,185** poudre vol **22,883** Eau volume **27,117**

composition Poudre(vol %)	type
ciment portland	**100**
Poudre de brique	**0**

superplast - MEDAFLOW145 **1,6** % (Sp/P)

Densité relative de la poudre **3,12**

teneur en eau du sable

	humidité (%ab)		absorption	correction (%)
poids humide (g)	**200**	0,00	**0,70**	-0,70
poids sec (g)	**200**			

Materiaux	**Volume** litres	**Densité** kg/m³	**Masse** kg	**Contenance d'eau** %	kg	**poids mélange** kg		
poudre	228,833	3120	713,959			**713,959**		
Ciment	228,833	**3120**	713,959			**713,959**		
Poudre de brique	0,000	**2600**	0,000			**0,000**		
	#DIV/0!	**0**	#DIV/0!			**0,000**		
Eau	271,167	1000	271,2			**272,3#** **W1**	**199,663**	70% W
						W2	**81,713**	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		**1070**	11,42	**70**	7,996	**11,423**		
Sable	500,000	**2630**	1315,000	-0,70	-9,205	**1315,000**		
Total	**#DIV/0!**					2312,758		

E/P poids = 0,380

100ZC				
Volume	**1**	**poids mélange** g		
poudre		**713,959**		T
Ciment	0,229	**713,96**		
Mg	0,000	**0,00**		
Poudre de	#DIV/0!	**0,00**		
Eau	0,271	**272,3#** **W1**	**199,7**	
	E théorique	271,17 **W2**	**81,7**	
superplastifiant MEDAFLOW 30		**11,42**		
Sable	0,5000	**1315,0**		
Total	#DIV/0!	2312,8		