PDF Page Organizer - Foxit Software

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche la Scientifique

Université YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté des Science et de Technologie
Département de Génie de la Matière
Filière Génie Civil

Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil
Option : structure

THEME

Etude des propriéters physico-mécaniques et la durabilité du mortier autoplaçant à base des granulats de brique cuite

Réalisé par :

- M^elle^ LAROUCI DILMI Hayet.
- M^elle^ OUZADID Soumia .

Proposé et encadré :

- Pr. DEBEIB Farid

Co-Encadré :

-Mr. IRKI Ilyes

Promotion : 2015/2016

PDF Page Organizer - Foxit Software

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dr. Debieb Farid et Mr. Irki Ilyes pour l'encadrement de ce mémoire pour leur aide, leur patience et la confiance qu'ils nous ont accordée.

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

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.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Soumia et Hayet

PDF Page Organizer - Foxit Software

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère ***Mère*** *et à mon cher* ***Père****, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.*

A mes frères : Abderrahmane, Mohamed et Abdenacer et leurs femmes

A mes neveux : Islam et Anes

A toute la famille : Ouzadid et Brahimi

Je remercie mon amie et binôme ***Hayet*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

A tous mes Amis

A toute la promotion de G.C 2016

Soumia

PDF Page Organizer - Foxit Software

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère ***Mère*** *et à mon cher* ***Père****, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.*

A mes frères : Adlen et Mohamed

A ma sœur : Sabrina

A toute la famille : Larouci Dilmi et Bouchaaba

Je remercie mon amie et binôme ***Soumia*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

A tous mes Amis :

A toute la promotion de G.C 2016

Hayet

PDF Page Organizer - Foxit Software

ملخص

الفائدة من هذا البحث هو إعادة تدوير نفايات الأجور لاستعماله في الملاط الذاتي الوضع. مخلفات الأجور المستخدمة أتينا بها من مدينة المدية وتستخدم في الملاط على شكل رمال (SB) و مسحوق (PB) من خلال استبدال كل منها مع الرمال الطبيعية بنسبة (25 و 50 و 75 ٪) و كذا مع الاسمنت بنسبة (5 ، 10 ، 15 و 20 ٪) . وقد أظهرت النتائج التجريبية الأثر الإيجابي لنفايات الطوب على السلوك الملاط ذاتي الوضع، و ذلك بتبديل 5 ٪ إلى 15 ٪ من مسحوق الطوب(والدرجة المثلى 5 ٪) و 25 ٪ إلى 75 ٪ من رمل (والدرجة المثلى25 ٪) . من الجانب الاقتصادي ، فباستبدال الأسمنت بنسبة 5٪ من مسحوق الطوب، يعطي كسب 5 ٪ أسمنت و زيادة بنسبة 13 ٪ في مقاومة ضغط و 107 ٪ من قوة الشد

Résumé

L'intérêt de ce travail de recherche est de pouvoir valoriser les déchets de la brique cuite dans le mortier auto plaçant. Les déchets de la brique proviennent de la briqueterie de Médéa et sont utilisées dans le mortier sous forme de sable (SB) et de poudre (PB) par substitutionrespective avec le sable naturel (25, 50 et 75%) et le ciment (5, 10, 15 et 20%). Les résultats expérimentaux ont montré l'effet positif des déchets de la brique sur le comportement du mortier autoplaçant pour un pourcentage de substitution de 5% à 15% en PB (avec un optimum de 5%) et de 25% à 75 % en SB (avec un optimum de 25%). Coté économie, la substitution du ciment par 5% de PB donne un gain de 5% de ciment et une augmentation de 13% de Résistance en compression et de 107% de Résistance en traction.

Abstract

The benefit of this research is to valorize waste of fired bricks waste in self-compacting mortar. The brick Waste used are coming from Medea city brick manufactory and substituted in mortar as sand (BS) and powder (BP) respectively with natural sand (25, 50 and 75%) and cement (5, 10, 15 and 20%) . The experimental results showed the positive impact of brick waste on the behavior of self-compacting mortar with 5% to 10% of substitution in brick powder (with an optimum of 5%) and 25% of substitution in brick sand(with an optimum of 5%). Economically, the substitution of cement with 5% of BP gives a win of 5% of cement with an increase of 13% in compressive strength and 107% in tensile strength.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Sommaire

PDF Page Organizer - Foxit Software

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Notation et Abréviation

Introduction Générale

Contexte général 1

Objectif de travail 2

Plan de travail 2

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction 3

I .2. Mortier de Construction 4

I.2.1.Définition 4

I.2.2.Type de Mortier 4

A. Mortier du Ciment 4

B. Mortier de la Chaux 5

C. Mortier Bâtards 5

D. Mortier de Résine 5

E. Mortiers Fabriqués sur chantier 5

F. Mortier Industriel 5

G. Mortier de Hourdage de maçonnerie 6

I.2.3. Domaines d'utilisation des mortiers 6

A. Mortier pour chape 6

B. Mortiers et coulis de réparation 6

I.2.4. Formulations des mortiers 7

I.2.5.Cure et protection du mortier 7

I.2.6. Contrôle de qualité du mortier 7

A. Éssais sur le mortier frais 8

B. Éssais sur le mortier durci 10

PDF Page Organizer - Foxit Software

I.3. Béton Autoplaçant 11
I.3.1 Avantage des bétons autoplaçants 11
1.3.2 Constituant D'un BAP 12
I .3.3 Caractérisation d'un BAP 20
A. Etat Frais 20
B. Etat Durci 22
I.3.4 Formulations des BAP 24
a. Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon) 24
b. Formulation LCPC (France) 26
c. Formulation CBI modifiée 27
d. Formulation JSCE 27
I.4. Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction 28
I.4.1 Valorisation des déchets et sous-produits industriels dans le génie civil 28
I.4.2 Constitution chimique du déchet 29
I.4.3 Types de déchets 29
A. Déchets biodégradables 29
B. Déchets ultimes 29
C. Déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux 30
D. Déchets recyclables 30
E. Déchets organiques 31
I.4.4.Différents déchets utilisés en génie civil 31
A. Déchets de construction et de démolition 31
B. Sous-produit de l'industrie 33
I.4.5.Activité du recyclage des déchets en construction 34
A. Recyclage des déchets 34
B. Technique de recyclage 35
B.1. Procédés du recyclage 35
B.2. Chaîne du recyclage 35
Étape 1 : Collecte de déchets 35
Étape 2 : Transformation 35
Étape 3 : Commercialisation et consommation 36
C. Type de recyclage 36
D. Impacts du recyclage sur l'environnement 37
I.5.Brique et Déchets de brique 38
1.5.1. Matériaux brique 38
I.5.2 Mode de fabrication 38

PDF Page Organizer - Foxit Software

A. Méthode traditionnelle 38
B. Méthode moderne 39
I.5.3.Produits 40
A. Brique pleine 40
B. Brique perforée 40
C. Bloc perforé 41
D. Brique creuse de terre cuite 41
I.5.4. Propriétés des briques 41
A. Propriétés thermo- physico -mécaniques de brique 41
B. Résistance au gel 42
C. Propriété thermique 43
I.5.5.Brique et respect de l'environnement 43
A. Économie de matières premières 43
B. Économie d'énergie 43
I.6.Valorisation des déchets de brique 44
I.6.1 Sur mortier 44
a. Etat frais 44
b. Etat durci 45
I.6.2.Sur béton 47
a. Etat frais 47
b. Etat durci 49

CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1. Introduction 55
II .2. Caractérisation des matériaux utilisés 55
II.2.1 Ciment 56
II.2.2. Sable 57
II.2.3 Eau de gâchage 58
II.2.4. Superplastifiant 58
II.2.5. Déchets de brique cuite 58
A- Sable de brique recyclé (SBR) 59
B- Poudres de brique recyclé (PBR) 60
II.3.Formulation des mortier 61
II.4. Séquence de malaxage du mortier 63
II.5.Préparation et Conservation des Éprouvettes 64
II.6. Essais sur les mortiers 64
II.6.1. Etat frais 64

PDF Page Organizer - Foxit Software

II.6.2. Etat durci 66
II .7.Variables étudiées 70
II .8.Conclusion 72

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

III.1. Introduction 73
III.2. Essais sur MAP à base de déchets 73
III.2.1 État frais 73
A. Influence du PBR sur l'ouvrabilité 74
A.1. Étalement 74
A.2. Temps d'écoulement à travers le V-funnel 76
B. Effet du SBR sur l'ouvrabilité 77
B.1. Étalement 77
B.2.Temps d'écoulement à travers le V-funnel 78
III.2.2.État durci 80
III.2.2.1.Influence de PBR 80
A. Résistances mécanique 80
A.1.Résistance à la compression 80
A.2 Résistance à la traction par flexion 83
B. Absorption d'eau par capillarité 87
C. Retrait et le gonflement 91
C.1.Retrait 91
C.2. Gonflement 95
III.2.2.2.Influence de SBR 99
A. Résistances mécanique 99
A.1.Résistance à la compression 99
A.2.Résistance à la traction par flexion 100
B. Absorption d'eau par capillarité 102
C. Retrait et le gonflement 103
C.1.Retrait 103
C.2. Gonflement 104

Conclusion Générale et Recommandations

Conclusion Général 105
Recommandations 106

PDF Page Organizer - Foxit Software

Liste de tableau

PDF Page Organizer - Foxit Software

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 :	L'étalement en fonction de teneur et finesse de PBR(%)	42
Tableau I.2 :	la Résistance thermique des briques pleines, perforées et creuses	42
Tableau I.3 :	Les résultats de l'essai à l'état frais	49
Tableau II.1 :	Différents compositions utilisées dans la recherche	55
Tableau II.2 :	L'analyse chimique du ciment et composition du clinker	56
Tableau II.3 :	Propriétés physiques d'identification des sables utilisés	57
Tableau II.4 :	les caractéristiques de SBR	60
Tableau II.5 :	les composantes des mortiers formulés à base des déchets de brique (v=1.6l)	62
Tableau III.1 :	Résultats d'essais à l'état frais de différentes familles de MAP	74

PDF Page Organizer - Foxit Software

Liste de figure

PDF Page Organizer - Foxit Software

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 :	Les mortiers pour chapes	6
Figure I.2 :	Les mortiers et coulis de réparation	6
Figure I.3 :	Essai à la table à secousses	8
Figure I.4 :	Essai au Maniabilimètre LCPC-B	9
Figure I.5 :	Appareil de VICAT	9
Figure I.6 :	Mesure du retrait d'un mortier par Réfractomètre.	10
Figure I.7 :	Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP.	13
Figure I.8 :	Les utilisations des superplastifiants	17
Figure I.9 :	Représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures	21
Figure I.10 :	Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton	32
Figure I.11 :	Quelque exemple de recyclage	36
Figure I.12 :	coupage	39
Figure I.13 :	fabrication des produits de terre cuite	40
Figure I.14 :	les dimensions de brique	41
Figure I.15 :	L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité d'un mortier	44
Figure I.16 :	Temps d'écoulement des mortiers à base de déchets de brique (MBr)	45
Figure I.17 :	Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique	46
Figure I.18 :	Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers MBr	47
Figure I.19 :	Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers MBr	47
Figure I.20 :	Eaux Totales et Eaux Ajoutées aux Mélanges (en Litres)	48
Figure I.21 :	Eaux Totales et Eaux Ajoutées aux Mélanges (en Litres)	48
Figure I.22 :	Absorption d'eau des bétons à base de déchets de brique	50

PDF Page Organizer - Foxit Software

LISTE DES FIGURES

Figure I.23 :	Variation de la résistance à la compression des bétons à base de déchet de brique sous l'action du Gel-Dégel	50
Figure I.24 :	La variation de la résistance du béton avec et sans granulats recyclés	51
Figure I.25 :	Absorption d'eau du béton avec et sans granulats recyclés	52
Figure I.26 :	**P**erméabilité au gaz du béton avec et sans granulats recyclés	52
Figure I.27 :	Diffusion des ions chlores du béton avec et sans granulats recyclés	52
Figure II.1 :	Le ciment utilisé	56
Figure II.2 :	Courbe granulométrique des sables utilisés	58
Figure II.3 :	Protocole de concassage des déchets de brique cuite	59
Figure II.4 :	Courbe granulométrique de sable recyclé	59
Figure II.5 :	Protocole d'obtention de finesse de PBR	61
Figure II.6 :	Protocole d'obtention des finesses de PBR	61
Figure II.7 :	Séquence de malaxage du MAP	63
Figure II.8 :	protocole de malaxage	64
Figure II.9 :	Protocole de l'essai d'étalement	65
Figure II.10 :	protocole de l'essai d'entonnoir (V- Funnel)	65
Figure II.11 :	Essai de traction par flexion sur mortier	66
Figure II.12 :	Essai de compression sur mortier	67
Figure II.13 :	Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier	67
Figure II.14 :	Réfractomètre et son étalonnage (variation dimensionnelle)	68

PDF Page Organizer - Foxit Software

LISTE DES FIGURES

Figure III.1 :	L'étalement en fonction de teneur et finesse de PBR(%)	75
Figure III.2 :	Le Temps d'écoulement en fonction de MPX	76
Figure III.3 :	Dosage en superplastifiant en fonction de MSY	77
Figure III.4 :	l'étalement de MSY	78
Figure III.5 :	le temps d'écoulement de MSY	79
Figure III.6 :	La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F1=3900cm^2 /g	80
Figure III.7 :	La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F2=4300 cm^2 /g	81
Figure III.8 :	La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F3=5200g/cm^2	81
Figure III.9 :	Variation de résistance à la compression en fonction de la finesse de poudre de brique de 5%	83
Figure III.10 :	La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F1=3900cm^2 /g	84
Figure III.11 :	La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F2=4300 cm^2 /g	84
Figure III.12 :	La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F3=5200 cm^2 /g	85
Figure III.13 :	Variation de résistance à la traction en fonction de la finesse de poudre de brique de 5%	86
Figure III.14 :	Variation de résistance à la traction en fonction de la finesse de poudre de brique de 10%	86
Figure III.15 :	L'absorption d'eau en fonction du temps du MP1	87
Figure III.16 :	L'absorption d'eau en fonction du temps du MP2	88
Figure III.17 :	L'absorption d'eau en fonction du temps du MP3	88
Figure III.18 :	L'absorption d'eau en fonction du temps du 5% des familles MPF	89
Figure III.19 :	L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 10% des familles MPF	90
Figure III.20 :	L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 15% des familles MPF	90

PDF Page Organizer - Foxit Software

LISTE DES FIGURES

Figure III.21 :	L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 20% des familles MPF	91
Figure III.22 :	L'évolution du retrait des MP1.	92
Figure III.23 :	L'évolution du retrait des MP2	92
Figure III.24 :	L'évolution du retrait des MP3	93
Figure III.25 :	L'évolution du retrait des MPF de 5% de PBR	93
Figure III.26 :	L'évolution du retrait des MPF de 10% de PBR	94
Figure III.27 :	L'évolution du retrait des MPF de 15% de PBR	94
Figure III.28 :	L'évolution du retrait des MPF de 20% de PBR	95
Figure III.29 :	L'évolution du gonflement des MP1	96
Figure III.30 :	L'évolution du gonflement des MP2	96
Figure III.31 :	L'évolution du gonflement des MP3	97
Figure III.32 :	L'évolution du gonflement des MPF de 5% de PBR	97
Figure III.33 :	L'évolution du gonflement des MPF de 10% de PBR	98
Figure III.34 :	L'évolution du gonflement des MPF de 15% de PBR	98
Figure III.35 :	L'évolution du gonflement des MPF de 20% de PBR	99
Figure III.36 :	La résistance à la compression en fonction de pourcentage de SBR	100
Figure III.37 :	La résistance à la traction en fonction de pourcentage de SBR	101
Figure III.38 :	L'absorption d'eau en fonction du temps du MS	102
Figure III.39 :	L'évolution du retrait de MS	103
Figure III.40 :	L'évolution du gonflement de MS	104

PDF Page Organizer - Foxit Software

Notation et Abréviation

PDF Page Organizer - Foxit Software

NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS

BAP	Béton autoplaçant
M	Mortier
D	Diamètre d'étalement au mini cône
J-C	Jésus-Christian
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	Ciment portland ordinaire de classe 42.5 MPa
G/S	Rapport gravillon/sable
HPMC	Hydroxyde propyle méthyle cellulose
HEC	Hydroxyde éthyle cellulose
CMC	Oxyde méthyle cellulose
G	La teneur volumique en gravillons
A	La quantité d'aire choisie en fonction de la résistnace au gel-dégel
$\mathbf{G_{lim}}$	Le volume absolu d'un mètre cube de gros agrégats
$\mathbf{K_{af}}$	Le taux de fines particule(<0.09mm)dans le sable
R	Résistance
ACI	American concrete institute
S/M	le rapport Sable/Mortier
SBR	Sable de brique recyclé

PDF Page Organizer - Foxit Software

PBR	Poudre de brique recyclé
JSCE	Japan society of civil engineers
Sp	Superplastifiants
MT	Mortier témoin
MP_F	Mortier autoplaçant à base de poudre de brique
MS	Mortier autoplaçant à base de sable de brique
AFGC	Association française du génie civil
M	Moment de flexion
I	Moment d'inertie
N	La distance de la fibre inférieure la plus éloignée
ΔL	Variation de L par rapport à la longueur originale
L_0	longueur origine
EFNARC	european federation of natioal association representing for concrete
R_C	Surface Spécifique de Blaine
R_t	a résistance à la compression
d	a résistance à la traction
d0	Le diamètre final de la galette
E	Le diamètre inférieur du cône
MT	Quantité d'eau
NA	Mortier témoin
NE	Norme Algérienne
C	Norme Européenne
P	la compacité
W	

PDF Page Organizer - Foxit Software

ES	la porosité
ESV	Teneur en eau
Mf	Equivalent de sable à piston
	Equivalent de sable à vue
	Module de finesse

PDF Page Organizer - Foxit Software

PDF Page Organizer - Foxit Software

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Contexte général

Les bétons autoplaçants sont des bétons spéciaux très fluides, homogènes et stables, dont la spécification est de se mettre en place sous l'effet de leur propre poids à l'aide de sa fluidité et homogénéité sans apport de vibration externe ou interne.

Les bétons autoplaçants possèdent une plage d'utilisation très large, des résistances couvrant la gamme des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances et ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine.

D'une manière générale les contraintes de mise en œuvre des BAP sont nettement plus faibles que celles des bétons mis en œuvre par vibration, grâce à sa facilité de coulage sur de longues distances et de grandes hauteurs.

En effet, la qualité de matériau autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire ce qui donne aujourd'hui au béton autoplaçant une grande importance dans la recherche scientifique car les chercheurs ont essayés de remplacé les composantes de BAP par des matériaux locaux recyclé.

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

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets. L'utilisation de ces granulats recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15% de leurs productions.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Objectif de travail

Pour le but de contribuer à la valorisation de déchets de brique (sous forme de poudre fine et de sable 0/3) de la région de Médéa on a étudié la possibilité d'utilisé ce type de déchets dans la formulation du mortier autoplaçant (MAP), et leur influence sur les caractéristiques physique et mécanique et la durabilité.

Plan de travail

Ce travail est structuré comme Suits :

En premier lieu on représente une introduction générale qui montre une aperçue sur le BAP et la valorisation des déchets (déchet de brique) ainsi que l'objectif de cette recherche.

Le premier chapitre consiste à une recherche bibliographique sur la valorisation et l'activité de recyclage en construction, sur le déchet de brique qui. Dans cette partie nous soulignons les grands titres pour faire apparaître une vue générale sur le MAP et le BAP

Et finalement sur les bétons de déchets de brique.

Le deuxième chapitre donne une description des matériaux utilisés et les essais réalisés et fait l'objet d'une section réservée aux détails de l'expérimentation mise en place durant toute la maîtrise de cette recherche.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Finalement, on terminera ce travail par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien contourner et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Chapitre I

Recherche bibliogaphique



PDF Page Organizer - Foxit Software

I.1. Introduction

L'idée d'un béton fluide ou béton autoplaçant (BAP) est apparue en 1989, elle été proposée par OKAMURA en 1986 **[1,2]** car les japonais avaient besoin d'un béton qui n'exige pas une main d'œuvre nombreuse et qualifiée, et qui fournisse une résistance à la compression élevée à jeune âge pour pouvoir augmenter la productivité. Ainsi, le progrès et l'évolution en génie civil dans différentes applications telles que les ponts suspendus, les grattes ciel et surtout la grande orientation de l'usage des bâtiments vers une utilisation spécifique et une qualité architecturale accrue, ont été les enjeux concrets du développement des bétons fluides**. [3,4]**

Le BAP présente une innovation dans les systèmes de construction sur chantier, parmi lesquels :

- Une meilleure productivité et rapidité de mise en place.
- Réalisation d'élément en forme complexe et suppression des systèmes vibration

Les principaux inconvénients du BAP sont **[5] :**

- Le dosage de ciment élevé.
- Les BAP sont fortement adjuvantes, ils contiennent un grand nombre de matériaux et leur dosage peut facilement en changer les propriétés.

Et si on parle de MAP on va dire qu'il est la base de BAP, il est utilisé dans la régularité des dalles, l'isolation, revêtement etc. **[6]**

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, etpour des raisons économiques, règlementaires, commerciales et environnementales, il est devenu nécessaire d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets notamment dans le domaine de GC.

L'objectif de notre travail est d'élaborer et contribuer à la valorisation des déchets de la brique cuite dans le BAP, on a proposé de substitué le sable concassage utilisé par un sable obtenu par recyclage des déchets de brique et l'ajout des poudres fines de même déchets pour étudier l'influence sur les caractéristiques Rhéologique et mécanique d'un mortier autoplaçant.

PDF Page Organizer - Foxit Software

I .2. Mortier de construction

I .2.1 Définition

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.), assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général, le mortier se compose de ciment ou de chaux, de sable, d'eau et d'adjuvant. C'est la dimension Du plus gros granulat qui détermine l'appellation : mortier pour D≤4mm, béton pour D≥4 mm **[7]**.

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier est le ciment, l'eau et l'adjuvant forment la pâte liante. Lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de pate pure de ciment **[8]**.

Le mélange de chaux, d'argile, de sable et d'eau est très ancien. Les Égyptiens l'utilisaient déjà 2600 ans avant. J-C. : un des mortiers les plus anciens est celui de la pyramide d'Abu Rausch, qui fut probablement érigée sous la IVe dynastie **[9]**.

Le mortier romain de l'Antiquité était composé d'une partie de chaux pour trois parties de sable fin. Grâce à la chaux et au processus chimique de carbonatation, le mortier romain durcit en vieillissant, ce qui explique son extraordinaire conservation pendant des siècles **[10]**.

Le mortier de tuileau est un mélange de chaux et de fragments de terres cuites de construction (briques ou tuiles). Une variété citée par Vitruve **[11]**, comprend une partie de chaux, une partie de tuileau pilée et tamisée et deux parties de sable. Le tuileau, qui est une argile cuite, agit pendant la prise du mortier :

- Dans un premier temps, le tuileau fixe au cœur du mortier l'eau rendue par le début de prise.
- Dans un second temps, le tuileau rend l'eau fixée, contribuant à une prise très solide.

I.2.2. Type de mortier

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

A. Mortier du ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport

PDF Page Organizer - Foxit Software

de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables **[12]**.

B. Mortier de la chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments **[12]**.

C. Mortier bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée **[12]**.

D. Mortier de résine

Ils utilisent des résines synthétiques, en particulier le polyester ou l'époxyde

E. Mortier fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables **[12]**.

F. 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 mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre **[12]**.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins **[12]**.

G. Mortier de hourdage de maçonnerie

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5mm, le dosage le plus usuel est de1 volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant **[12]**.

I .2.3. Domaines d'utilisation des mortiers

A. Mortiers pour chape :

Ce type de mortier **[13]** illustre dans la :

- Mise à niveau de la dalle et régularité de la surface.
- Support de revêtement, ou isolation.



Figure I.1 : Les mortiers pour chapes **[13]**

B. Mortiers et coulis de réparation

Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité (La figure I.2) illustre en gros une partie du cas pratique.

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figure I.2 : Les mortiers et coulis de réparation **[13]**

I.2.4.Formulations des mortiers

Les mortiers composés de chaux et de ciment portland sont définis en deux étapes **[14]**. Le mortier doit d'abord être défini en fonction de la résistance requise pour l'application. Ensuite, il faut décider si on spécifie les proportions ou les propriétés énumérées dans la norme Américaine **[15]**.

La norme ASTM C270 **[15]** (Mortar for Unit Masonry) fournit une base pour la définition des mortiers de ciment et de chaux. Cette norme fournit une base pour cinq types de mortier différents en fonction de la résistance du mortier requise pour l'application. Les noms de ces mortiers, élabores en 1954, étaient bases sur les lettres alternantes de la phrase ≪**M**ASON W**O**R**K** ≫. Le mortier de type M offre la plus grande résistance. Le mortier de type K a la plus faible résistance à la compression.

La norme ASTM C270 fournit une spécification de proportion et de propriété pour chaque type de mortier **[15]**.

I.2.5.Cure et protection du mortier

Éviter que le mortier ne sèche trop vite, car cela peut entraîner des fissures de retrait. Les joints de mortier frais doivent être protégés de la pluie, du vent et du soleil et être maintenus humides pendant trois à sept jours **[16]**.

Les mortiers à base de liants hydrauliques à durcissement lent, comme la chaux hydraulique, devraient être soumis à une cure humide d'au moins sept jours, et les mortiers de ciment Portland et de chaux de type N et O, à une cure humide de trois à quatre jours **[16]**. Pour créer les conditions de la cure humide, installer une toile de jute humide (recouverte d'une membrane de plastique) sur la maçonnerie et ré-humecter régulièrement la toile de jute

PDF Page Organizer - Foxit Software

avant qu'elle ne sèche **[16]** (Tenir la toile de jute hors de contact de la maçonnerie pour éviter les taches de mortier).

I.2.6. Contrôle de qualité du mortier

La performance des mortiers de faible résistance est tributaire de la qualité de leur mise en œuvre. Une inspection quand les joints sont dégarnis, nettoyés et découpes en angle droit, âpres un rejointoiement en profondeur (>25 mm) et quand le rejointoiement est complète, contribue à la qualité des travaux **[17]**. Les essais de contrôle de la qualité comprennent la résistance à la compression des cubes de mortier, le foisonnement du sable (soit le changement de volume imputable à la teneur en humidité du sable), la teneur en air du mortier frais, le rapport liant/sable et la consistance du mortier **[17]**

Le cône de Vicat est un outil qui permet aux responsables du contrôle de la qualité de vérifier rapidement au chantier la consistance du mortier et de surveiller sa perte d'eau par temps chaud. La qualité du mortier est contrôle par :

A. Essais sur le mortier frais

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils.

A.1.Table à secousses

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue (figure I.3). L'étalement en % est donné par la formule suivante **[18]** :

$$E\% = 100\ (D_r - D_i)/D_i \qquad \text{Équation I.1}$$

D_r=diameter final

Di = diameter initial.

PDF Page Organizer - Foxit Software

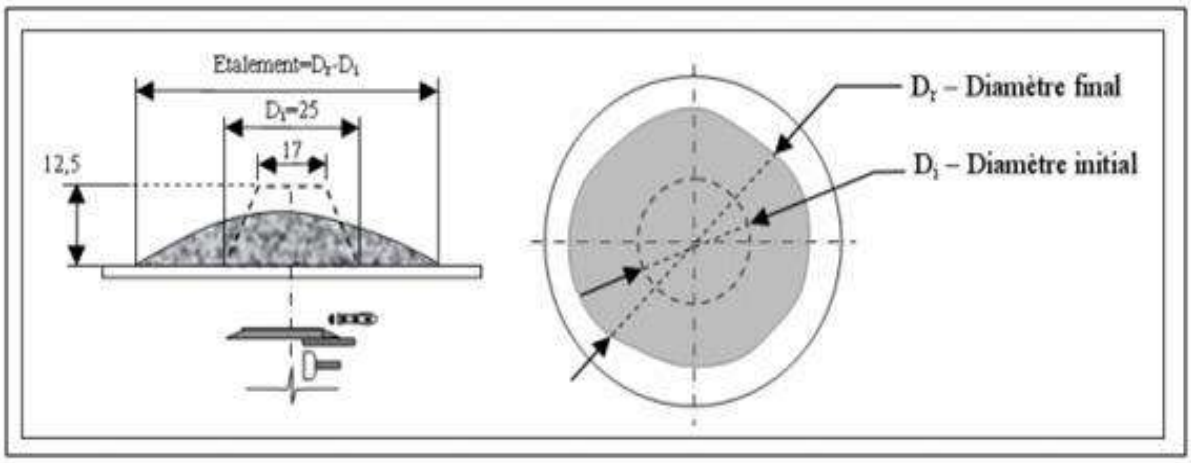


Figure 1.3 : Essai à la table à secousses

A.2. 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 1.4). Le mortier est d'autant fluide que le temps d'écoulement est court.

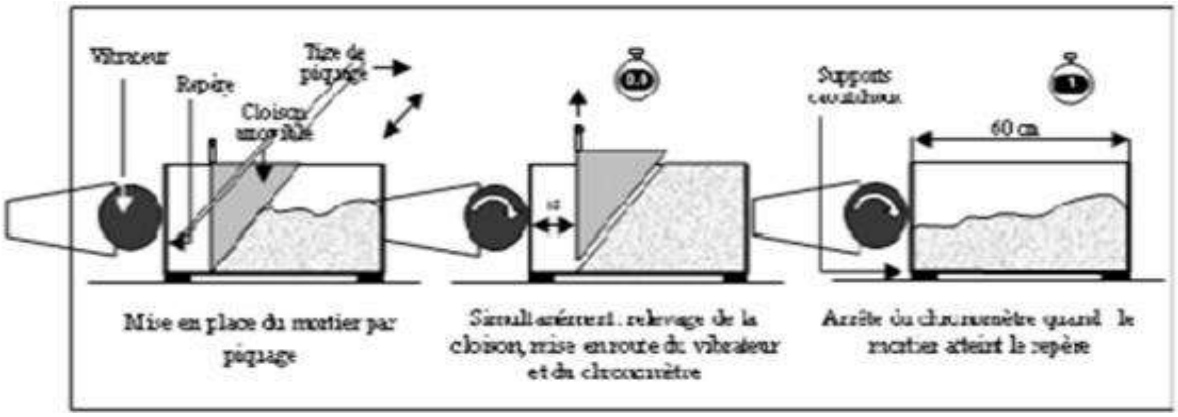


Figure I.4 : Essai au Maniabilimètre LCPC-B

A.3.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 calibre situe à la partie inferieure d'un cône qui peut être muni d'un vibrateur **[19]**.

A.4. Prise

Le temps de prises en mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24à30% 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

PDF Page Organizer - Foxit Software

niveau supérieur **[18]**.

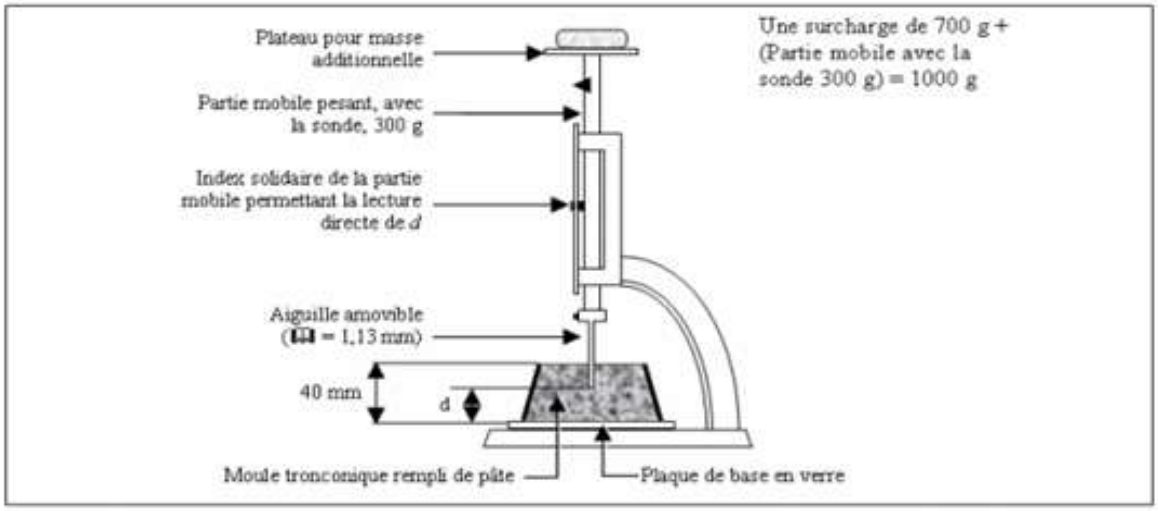


Figure I.5 : Appareil de VICAT

B. Essais sur le mortier durci

B.1.Résistances mécaniques

Les éprouvettes sont rompue sen 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 (entre1et 28jours).

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs **[20, 21]** :

- Nature et dosage en ciment
- Rapport eau/ciment (E/C)
- Granulométrie et nature du sable, énergie de malaxage et mise en œuvre, protection les tous premiers jours.

B.2. Variation dimensionnelle

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).Le gonflement des mortiers sont en général assez faibles **[22]**.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudie sur des éprouvette de mortier normal. On compare, à différents temps t, la variation de la longueur d'une éprouvette 4x4x16, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

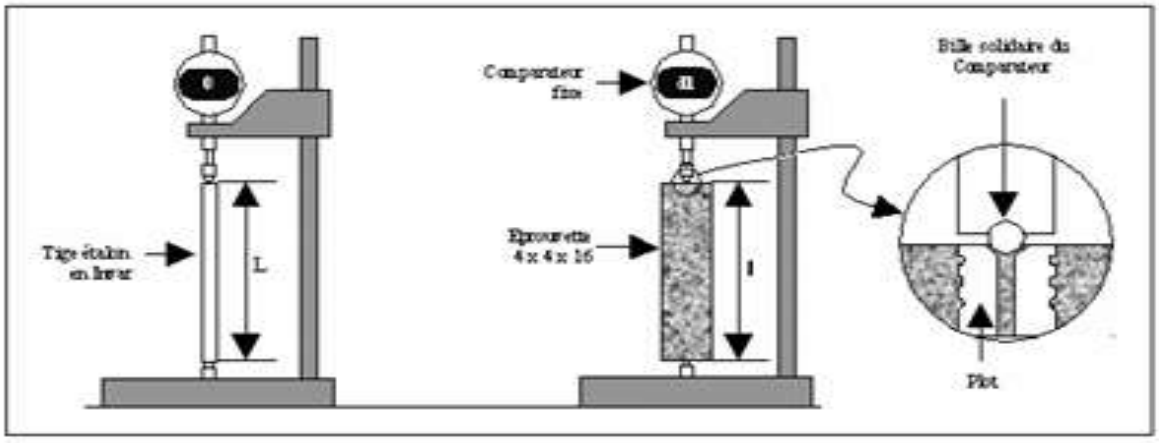


Figure 1.6 : Mesure du retrait d'un mortier par Réfractomètre.

I.3. Béton Autoplaçant

Le béton est un composite hétérogène qui résulte du mélange intime de ciment, de granulats, d'eau, et parfois d'ajouts minéraux, et de faibles quantités d'adjuvants. Pour construire des structures durables et fiables, il est nécessaire, non seulement de développer un béton de qualité, mais d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en services de la structure. D'où l'idée des chercheurs japonais à essayer de fabriquer des bétons répondants à ces exigences, qui fut appelé par la suite le Béton Autoplaçant. L'idée d'un béton fluide ou béton autoplaçant (BAP) est apparue en 1989, alors que les japonais avaient besoin d'un béton qui n'exige pas une main d'œuvre nombreuse et qualifiée, et qui fournisse une résistance à la compression élevée à jeune âge pour pouvoir augmenter la productivité. Ainsi, le progrès et l'évolution en génie civil dans différentes applications telles que les ponts suspendus, les grattes ciel et surtout la grande orientation de l'usage des bâtiments vers une utilisation spécifique et une qualité architecturale accrue, ont été les enjeux concrets du développement des bétons fluides **[23,24].**

L'historique du BAP se résume par l'élaboration du premier prototype de BAP au Japon, grâce aux travaux du professeur H.Okamura **[25,26].** Puis par le développement de la première génération caractérisée par sa forte teneur en liant, et enfin par, le développement de

PDF Page Organizer - Foxit Software

la deuxième génération de BAP au Canada caractérisée par une faible teneur en liant et un remplacement élevé du ciment par des ajouts minéraux.

L'avancement technologique et le développement des BAP ont permis de diversifier leur utilisation ; beaucoup d'ouvrages d'art furent construits, notamment au japon et aussi en Europe et au Canada. Par contre, l'usage de ces bétons demeure restreint au domaine des réparations, d'où l'idée de développer une troisième génération de BAP, qui marque le début de la troisième étape dans la recherche sur ce matériau. La raison principale est d'ordre économique, car le coût unitaire du BAP est trop élevé.

I.3.1 Avantage des bétons autoplaçants

La qualité de ce matériau confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire **[27]** :

a. Avantages techniques

Avec l'apparition des BAP, les opérations traditionnelles de coulage, d'étalement, de talochage et de surfaçage se réduisent à une étape de coulage suivie d'un déballage dans le cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers trappes et échelles, sont réduits de manière significative. On peut résumer les avantages techniques dans les points suivants :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé).
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe.

b. Avantages socio-économiques

Nous avons vu que la fluidité des BAP est telle qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- Une diminution du bruit sur site.
- Une diminution de la pénibilité des tâches.
- Une réduction des risques d'accident.
- Réduction du coût de la main d'œuvre.

PDF Page Organizer - Foxit Software

- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.
- Toutefois, certains points restent à surveiller dans l'utilisation du béton autoplaçant.
- Augmentation du coût des matières premières, par la présence des nouveaux adjuvants, et des différentes additions minérales.
- Compatibilité des matériaux.
- Etanchéité des coffrages.

I.3.2. Constituant D'un BAP :

Les bétons autoplaçants (BAP), sont encore à l'heure actuelle qualifiés de < nouveaux bétons > car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. Comme tout type de béton, les BAP sont composés de matériaux de base soit de ciment, de sable, de granulats et d'eau, afin d'assurer leur fluidité et leur homogénéité.

Les bétons autoplaçants nécessitent l'utilisation des adjuvants chimiques (superplastifiants et d'agents de viscosité), ainsi que les ajouts minéraux. Ces derniers sont incorporés en faibles quantités au béton frais, afin d'améliorer certaines propriétés.

Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais, qui sont reliées à la composition de la pâte de ciment qu'à celle du mélange en lui-même.

Il existe de parts le monde divers essais pour caractériser l'ouvrabilité des BAP.

Nous allons décrire les caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton autoplaçant (ciment, additions minérales, granulats, adjuvants et eau).Chaque constituant joue un rôle différent dans l'écoulement et dans le comportement rhéologique du béton, et des interactions existent entre certains composants. La figure I.7 présente la comparaison entre la composition d'un béton fluide autoplacant et d'un béton ordinaire.

PDF Page Organizer - Foxit Software

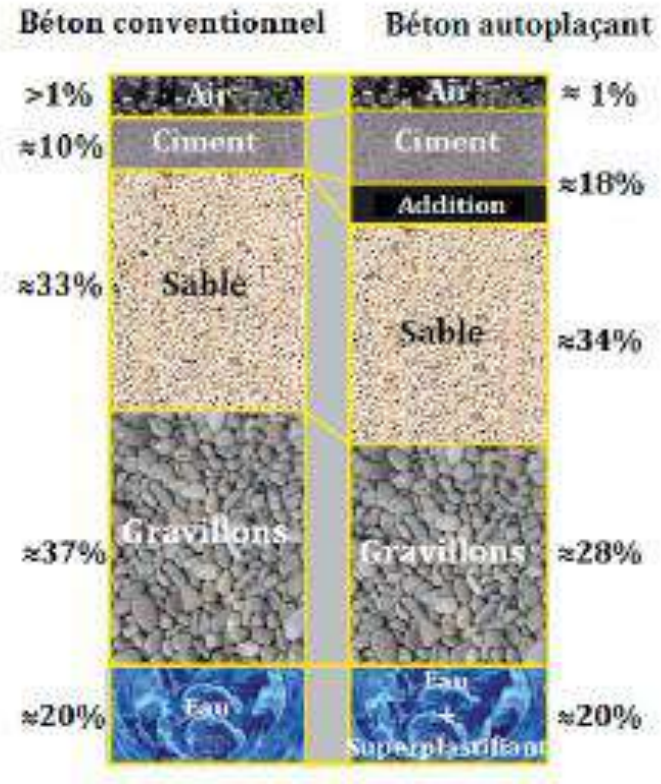


Figure 1.7. Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP.

a. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement.

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% **[28].** Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire

PDF Page Organizer - Foxit Software

(L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, hémihydrates, anhydrite) et d'additifs.

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplaçant est soit le ciment Portland CPA-CEM I 42,5 qui contient au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts.

Dans notre recherche Le ciment utilisé est un CPJ-CEM II/B, Un ciment Portland ordinaire dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de la Farge (M'sila) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA 442].

b. Granulats

En générale le béton est constitué de deux phases : une phase solide constituée du squelette granulaire (sable, gravier, cailloux) en principe inerte et une phase constituée d'une pâte liante, les grains qui constituent le squelette granulaire, C'est l'ensemble des grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm **[29],** et doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage.

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent la granularité et la forme des granulats sont fonction du processus d'élaboration. Selon leur origine, on distingue les granulats roulés, extraits de ballastières naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassés, obtenus à partir de roches exploitées en carrière.

La fluidité d'un béton autoplaçant est contrôlée par l'état de contrainte entre les particules qui le constituent. En effet, pour que le béton s'écoule bien, il est primordial de réduire les frictions et les frottements existants entre les particules solides (gravier, sable, additions minérales, liant) qui génèrent des contraintes empêchant l'écoulement.

L'utilisation de granulats roulés (de forme plus ou moins sphérique) peut être avantageuse lorsqu'on désire réduire les frictions entre les granulats **[30].** Le volume des gros granulats dans le béton est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération.

Afin d'empêcher tout risque de blocage du béton par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre différent **[31].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

De plus la proportion des gravillons par rapport au sable est plus faible qu'avec un béton ordinaire, afin de permettre l'écoulement du matériau dans les zones confinées, leur volume est limité et le rapport gravillon/sable (G/S) est proche de 1 **[32].**

c. Additions minérales

Les BAP sont caractérisés par une fluidité importante et surtout une diminution de la ségrégation et du ressuage. Pour obtenir ces propriétés, on ajoute de fortes teneurs en ajouts minéraux : fumées de silice, laitiers, cendres volantes, pouzzolanes et aditions calcaires.

Ce sont des matériaux finement broyés tels que le laitier de haut fourneau, la fumée de silice, les cendres volantes qui viennent principalement de l'industrie. Ces fines présentent des avantages dans l'industrie (la diminution de l'émission du CO2) et des avantages dans la formulation des bétons.

Les ajouts minéraux substituant le ciment peuvent être classés en fines pouzzolaniques telles que la fumée de silice et la pouzzolane et fines inertes telles que le calcaire. Une autre classification est basée sur la source de chaque produit d'où on trouve :

Les produits artificiels :

- le laitier des Hauts Fourneaux
- Les cendres volantes,
- La fumée de silice,
- L'argile calcinée (méta kaolin)
- Les déchets d'incinération
- Les déchets de briques concassées
- Les produits naturels :
- La pouzzolane naturelle (cendres volcaniques, scories)
- Le calcaire
- L'argile opaline
- Les additions siliceuses (sable)

d. Adjuvants

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (20000 –30000 gr) **[33].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont frais, afin d'améliorer certains propriétés, en modifiant principalement :

- Les solubilités
- Les vitesses de dissolution
- L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps. Les chinois employèrent des ci-dessus. Les Romains additionnaient parfois du sang animal comme plastifiant à leur béton de chaux et de pouzzolane **[34,35].**

Depuis 1960, les superplastifiants se multiplient et se diversifient par leurs qualités et leurs constantes de qualité qui s'améliorent sans cesse.

- **Les superplastifiant**

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2 % environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Le béton est un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau et ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage.

L'utilisation de superplastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation **[36].**

Les superplastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et présenter de bonnes propriétés de mise en œuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées **[37].**

Il apparaît donc que les bétons modernes doivent satisfaire à la fois aux exigences de résistance et de maniabilité. Il s'agit de deux caractéristiques apparemment inconciliables puisque sans l'ajout de superplastifiant, l'augmentation des résistances ne s'obtient qu'avec une réduction d'eau. Or, une réduction d'eau diminue la fluidité. Un gain de maniabilité ne peut être obtenu qu'en augmentant la quantité d'eau de gâchage et donc au détriment des résistances finales du matériau.

PDF Page Organizer - Foxit Software

L'utilisation de superplastifiant dont l'action est schématisée sur **Figure I-9**permet de concilier la diminution de la teneur en eau et la fluidité du béton tout en conservant de bonnes performances mécaniques du matériau **[38].**

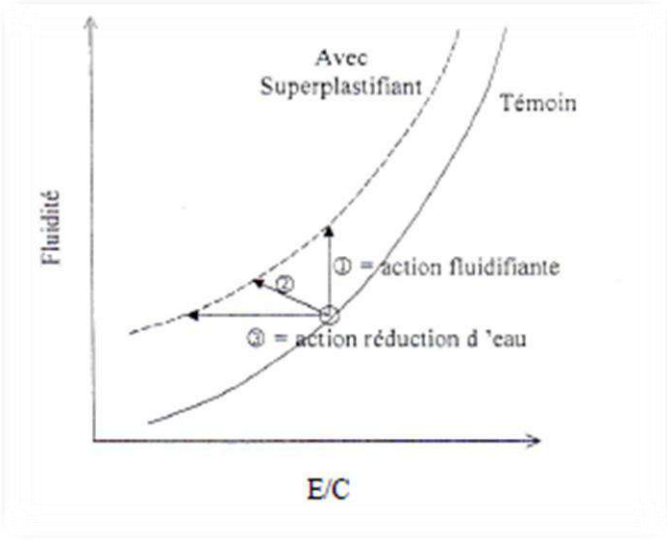


Figure I-8 *:* Les utilisations des superplastifiants

1 – Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)

2 – Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité

3 – Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

- **Les agents de viscosité**

L'utilisation des agents de viscosité dans la formulation des bétons fluides est devenue récemment une nécessité pour garantir une bonne résistance à la ségrégation du béton.

Si la formule ne contient pas d'agent de viscosité, il est nécessaire d'avoir une plus grande quantité de liant pour assurer un écoulement sans ségrégation.

Les agents de viscosité permettent un maintien de la fluidité et de la capacité de remplissage L'ajout d'un superplastifiant dans un béton augmente son ouvrabilité mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage. Pour minimiser cet effet, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures, en général se sont des polysaccharides hydrosolubles **[39].**

- Polysaccharide obtenu par fermentation microbiologique du type gomme Whelan ou gomme de xanthine.
- Dérivés cellulosiques à base de méthyle cellulose, d'hydroxy-éthyl cellulose.
- Colloïdenatural.

PDF Page Organizer - Foxit Software

- Suspension des particulars siliceuses.

Mailvaganarn**[40]** divise les agents colloïdaux selon leur action physique dans le béton en cinq classes comme suit :

- **Classe A** : polymères naturels et synthétiques qui sont solubles dans l'eau et qui augmentent la viscosité de l'eau dans le mélange ; ce sont les éthers de cellulose, les oxydes de polyéthylène, etc.
- **Classe B** : floculant organiques so1ubles dans l'eau qui s'adsorbent sur les grains de ciment et augmentent l'attraction entre eux ce qui augmente la viscosité ; ce sont les copoiymères de styrène avec le groupe carboxylique et Les gommes naturelles.
- **Classe C** : émulsions des différentes matières organiques qui augmentent l'attraction entre les grains de ciment et introduisent les particules superfines dans la pâte de ciment ; ce sont les émulsions acryliques et les dispersions aqueuses de l'argile.
- **Classe D** : matières inorganiques de grande surface spécifique qui gonflent dans l'eau et augmentent les possibilités du mélange à garder de l'eau libre ; ce sont les bentonites, les fumées de silice, etc.
- **Classe E** : matières inorganiques de grande surface spécifique qui augmentent la quantité de particules superfines dans le mélange, comme les cendres volantes et les terres à diatomées.

Kawai **[41]** a classifie les agents colloïdaux selon leur origine comme suit :

- **polymères naturels** : amidons, protéines de plantes et gommes naturelles.
- **polymères semi-synthétiques** : amidons décomposés et leurs dérivés, dérivés de la celluloseéther (hydroxyde propyle méthyle cellulose (HPMC), hydroxyde éthyle cellulose (HEC) et &oxyde méthyle cellulose (CMC)).
- **polymères synthétiques** : basés sur l'éthylène (oxyde de polyéthylène) ou sur le vinyle (polyvinyle alcool).

Les agents de viscosité (agents colloïdaux), les plus utilisés dans le béton sont des dérivés de la cellulose et des polysaccharides de source microbienne (gomme de Whelan). La gomme de Whelan est un polysaccharide à masse moléculaire élevée (autour de 2 millions) produit par un procédé de fermentation **[42].** Si on compare la viscosité causée par la présence de la gomme de Whelan dans la solution avec celle causée par la présence du HPMC, la gomme de Whelan donne une plus grande viscosité pour des bas taux de cisaillement tandis qu'à des hauts taux de cisaillement sa viscosité est plus faible.

PDF Page Organizer - Foxit Software

La gomme de Whelan est très efficace et est utilisée à faibles concentrations (0,02 % - 0,2 % de la masse de ciment) **[43].** La présence d'un superplastifiant, soit à base de mélanine, soit à base de naphtalène, ne change pas ses effets rhéologiques s'il est utilisé en dosages habituels jusqu'à 3 %.

Les dérivés de la cellulose ont une masse moléculaire comprise entre 10 000 et un million. Ils sont souvent utilisés avec les superplastifiants à base de mélamine à cause de leur incompatibilité avec les superplastifiants à base de naphtalène.

Ils entrent en réaction chimique avec ces derniers pour former un gel qui provoque un fort accroissement de la viscosité. Dans l'industrie du béton les dérivés de la cellulose sont utilisés à des dosages de 0,02 – 2% de la masse de ciment [**41**].

Certains agents colloïdaux à base de cellulose (HPMC, HEC) peuvent entraîner une importante quantité d'air dans le béton (jusqu'à 15 %) et il est recommandé de les utiliser avec une certaine quantité d'agent des entraîneurs d'air [**41**].

e. Eau :

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.).

Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de suspension entre granulats.

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais, pour cela on utilise l'eau efficace qui consiste à tenir compte de la quantité d'eau existante dans les granulats

I .3.3 Caractérisation d'un BAP

A. Etat Frais

PDF Page Organizer - Foxit Software

La composition d'un BAP doit offrir un rapport équilibré entre les propriétés recherchées sur béton frais ou durci et les coûts de fabrication. Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont : la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques ces critères sont : **[44]**.

- La Capacité au Remplissage.
- La Capacité de Passage.
- La résistance à la Ségrégation

A.1Capacité au remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton autoplaçant 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). Le remplissage est observé sous deux aspects : la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage. Le premier aspect est lié à la capacité de déformation du béton, il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace. Le second est lié à la vitesse de déformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton. Le test d'étalement au cône d'Abrams donne des indications sur les deux aspects **[45]** puisque le diamètre final atteint par la galette de béton correspond à la capacité de déformation, et le temps de passage à un certain diamètre (à 50 cm de diamètre par exemple) correspond à la vitesse de la déformation du béton.

Du point de vue rhéologique, la fluidité du BAP se traduit par un faible seuil de cisaillement, et une viscosité suffisante pour assurer le maintien des granulats dans la suspension. La fluidité de la pâte peut être assurée par l'ajout d'un superplastifiant qui agit en baissant fortement le seuil de cisaillement de la pâte, et celui du béton si les frottements inter - granulaires sont minorés par un volume suffisant de pâte.

A.2 Capacité de passage

Le béton autoplaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement sur un chantier. Cependant, dans les milieux confinés et les zones fortement ferraillées, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures. En effet, le blocage des granulats est provoqué d'une part par la quantité importante de granulats dans le béton (plus de gravier, plus de

PDF Page Organizer - Foxit Software

risques de blocages), et d'autre part par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement. Le mécanisme de blocage peut être illustré dans un plan par le schéma de la figure I.10 qui montre un béton s'écoulant entre deux armatures avant et au moment du blocage.

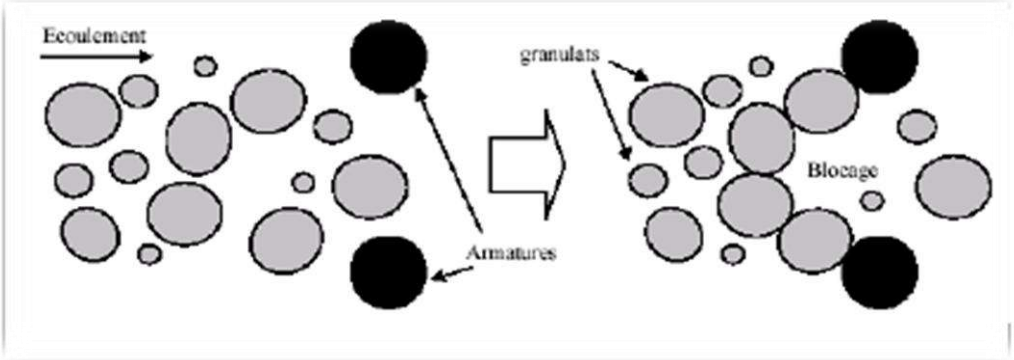


Figure I.9 : Représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures **[45]**

A l'approche des armatures, une différence se crée entre la vitesse des granulats et celle de la pâte. Plus rapide, la pâte précède les granulats en passant à travers les armatures **[46]** Ainsi, la quantité de granulats est considérée localement plus grande avant les armatures et tend à augmenter avec l'écoulement du béton. Ce phénomène s'explique par le lessivage de la pâte à travers les granulats au niveau du passage entre les armatures **[47]**. Par conséquent, les frictions et les collisions entre les granulats sont plus importantes, et créent de multiples contacts entre les granulats à l'amont de l'ouverture entre les armatures, ce qui provoque la formation éventuelle d'un arc stable de granulats bloquant l'écoulement du béton.

Le béton autoplaçant doit posséder donc une bonne capacité de passage à travers les armatures et dans les confinements. Ceci nécessite une quantité de gravier inférieure à celle d'un béton ordinaire, et de taille maximale plus petite.

Un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires (fluidité, résistance à la ségrégation).

A.3 Résistance à la ségrégation

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solides et liquides ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions **[45]**.

La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons

PDF Page Organizer - Foxit Software

Différentes, comme la séparation entre la pâte et les sables, qui peuvent conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

B. État durci

De nombreux travaux ont montré que les déformations des bétons sont sensibles à la proportion de granulats qui entre dans leur composition **[48].**Plus précisément, le béton peut être représenté comme une combinaison de deux phases : la pâte de ciment durcie, ou matrice, et les granulats.

B.1. Résistance mécanique

Les résistances mécaniques ont été longtemps considérées comme les qualités essentielles. Elles projettent généralement une image globale sur la qualité d'un béton

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) **[45]**. L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges **[49]**. Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite. En fonction des propriétés pouzzolaniques des additions, les résistances mécaniques des BAP peuvent continuer à croître au-delà de 28 jours.

Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence sur l'évolution de la résistance mécanique du béton.

Ainsi, l'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges. De même, certains superplastifiants utilisés pour contrôler la fluidité des formulations ont pour effets secondaires de retarder le temps de prise et d'augmenter le développement de la résistance mécanique **[50].**

Étant donné la défloculation du liant hydraulique qu'ils engendrent, leur dosage important dans les BAP conduit à considérer que ceux-ci seront plus résistants que des bétons vibrés supposés similaires au départ.

B.2 Durabilité

PDF Page Organizer - Foxit Software

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.

Le déficit de compaction dû aux difficultés de vibration dans des espaces étroits entre les bars et le coffrage a été reconnu comme étant un facteur clé de faible durabilité pour des structures en béton exposées à des environnements agressifs. Le surpasser était l'une des raisons essentielles pour le développement des bétons autoplaçants au Japon.

La durabilité en général est relative aux paramètres de composition en terme de compacité et de nature chimique du liant (et de la minéralogie des granulats pour l'alcali-réaction). Les règles applicables pour les bétons courants restent donc normalement applicables aux BAP. La durabilité est une propriété qui a été relativement peu étudiée pour les BAP jusqu'à présent. Les données de la littérature dans ce domaine concernent la microstructure des bétons autoplaçants, la perméabilité (aux gaz), la migration des ions chlore, l'absorption d'eau, la carbonatation et la résistance au gel – dégel. Les caractéristiques microstructurales des BAP sont principalement influencées par :

- Un volume de pâte élevé,
- La présence d'additions en quantité importante,
- Un réseau de bulles d'air plus ou moins dense.

Les spécificités de composition des BAP ne semblent pas permettre de tirer un premier commentaire quant à une perméabilité différente de celle des bétons vibrés. Le volume de pâte plus important peut a priori être un handicap pour ces bétons mais l'utilisation d'addition minérale est susceptible d'améliorer cette propriété : la densification de la matrice cimentaire qu'elle engendre peut éventuellement diminuer la perméabilité du béton.
Assié et al **[51]** ont trouvé qu'il n'y a pas une différence significative dans les propriétés physico-chimiques (perméabilité à l'oxygène, diffusion des ions chlore, absorption d'eau et carbonations par le nitrate d'ammonium) pour les deux types de béton, BAP et ordinaire.

I.3.4 Formulations des BAP

Les différentes propriétés des bétons autoplaçants (fluidité, viscosité, résistance à la ségrégation, aptitude au remplissage, etc.) 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

PDF Page Organizer - Foxit Software

fabriquer un béton autoplaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis **[51].**

Réaliser un béton autoplaçant est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles, et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP. Il est impossible de réaliser une formulation universelle de béton autoplaçant ; chaque chantier utilisant ses propres matériaux (matériaux locaux) doit mettre au point sa propre formulation.

De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un béton autoplaçant. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales et quelques de ses modifications.

a. Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon)

Considérée comme la méthode générale de formulation, la formulation OKAMURA a été développée à l'Université de Tokyo par Okamura, d'après Ozawa et al rapporté par **[52].**

Cette méthode consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite de procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton résultant les meilleures performances. Le principe de cette méthode est le suivant :

- La teneur volumique G en gravillons du béton est fixée à 50% du volume du solide. Ce pourcentage permet d'éviter les risques de blocages, à condition que le mortier du béton réponde correctement aux critères d'ouvrabilité testés :

$$G = \frac{50}{100} G_{lim}(1 - A) \qquad \textbf{(I.2)}$$

Où :

A : quantité d'air choisie en fonction de la résistance au gel-dégel

G_{lim} : volume absolu d'un mètre cube de gros agrégats

- Le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier :

Où :

$$S = \frac{40}{100} \frac{(1 - A - G)}{(1 - K_{sf})} \qquad \textbf{(I.3)}$$

K_{sf} : taux de fines particules (<0.09 mm) dans le sable

PDF Page Organizer - Foxit Software

- L'optimisation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40%
- L'eau, le superplastifiant et les fines sont ajustés pour les mortiers pour obtenir une viscosité suffisante (mesurée par le temps d'écoulement par l'entonnoir en V) et une fluidité importante (mesurée par l'étalement au cône).

  Les auteurs définissent alors deux grandeurs : étalement relatif et vitesse relative d'écoulement.

  La fluidité du mortier, donnée par :

$$D = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2} \qquad \textbf{(I.4)}$$

  Avec ;

  d est le diamètre de la galette et d0 la base du cône.

  La viscosité du mortier, donnée par :

$$T = \frac{10}{t} \qquad \textbf{(I.5)}$$

  Avec ;

  T : le temps d'écoulement à l'entonnoir en V exprimé en secondes.

Selon les auteurs, ces deux grandeurs représentent la fluidité (plus la valeur de D est élevées, plus le mortier est fluide) et la viscosité du mortier (plus la valeur de Test faible, plus la viscosité est élevée).

Le dosage du superplastifiant et le rapport E/C sont optimisés pour obtenir simultanément :

$$D = 5 \text{ et } T = 1 \pm 0{,}1 \qquad \textbf{(I.6)}$$

Le béton obtenu est testé pour vérifier les propriétés d'ouvrabilité, et le dosage du superplastifiant peut être réajusté si nécessaire pour obtenir un béton autoplaçant satisfaisant.

b. Formulation LCPC (France)

L'approche développée en France au LCPC par Sedran et De Larrard **[63]** est basée sur le modèle d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. Un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité. Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques des constituants telles que la densité apparente, les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité

PDF Page Organizer - Foxit Software

propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire.

Cette approche, basée sur la synthèse d'une quinzaine d'années de recherches, est simplifiée par la mise en oeuvre d'un logiciel (Bétonlabpro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche **[54,55],** et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour démoulage immédiat, bétons autoplaçants). Pour un béton autoplaçant, les grandeurs exigées à l'état frais sont :

- Un étalement au cône d'Abrams supérieur à 600 mm
- Un seuil de cisaillement inférieur à 500 Pa
- Une viscosité plastique comprise entre 100 et 200 Pa.s (grandeurs rhéologiques mesurées au BTHREOM).

Ces critères correspondent selon les auteurs à un béton assez fluide et qui ne présente pas de ségrégation. Une proportion de liant (ciment + addition) est fixée à priori, pour laquelle on détermine le dosage à saturation du superplastifiant utilisé. Selon l'expérience des auteurs, le dosage de saturation pourrait conférer au béton une viscosité élevée, par conséquent la moitié de ce dosage serait plus pertinente.

Le besoin en eau du liant en présence du superplastifiant est déterminé, et conduit au calcul de la compacité propre du liant, qui est une donnée d'entrée nécessaire. Grâce au logiciel, les dosages des constituants sont déterminés, en prenant en compte tous les paramètres de calcul, et de l'effet de paroi. Le dosage du superplastifiant peut être ajusté pour obtenir les critères d'ouvrabilité désirés, celui de l'eau pour obtenir la résistance à la compression ciblée.

c. Formulation CBI modifiée

La principale modification et extension de la méthode CBI est apportée par Bui et al dans **[56],** qui ont proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats. Leur méthode consiste à calculer l'épaisseur moyenne de la pâte autour des granulats du béton autoplaçant, grâce à une base de données importante de formulations de bétons **[57].** L'espacement moyen entre les particules varie selon les auteurs entre 0,3 et 1 mm.

PDF Page Organizer - Foxit Software

d. Formulation JSCE

La démarche proposée en 1998 par la Japanese Society of Civil Engineers (JSCE) est fondée sur des travaux de recherche et des applications pratiques [68]. Dans cette formulation, la quantité d'eau, le rapport eau/poudres et la teneur en poudre varient en fonction de l'utilisation ou non d'un agent de cohésion.

Les points principaux de cette formulation sont **[59] :**

- Le volume absolu des gros agrégats varie en fonction de l'auto-compactibilité désirée. Il est situé entre 0.30 et 0.32 m^3/m^3 et le diamètre maximum est limité à 20, voire 25mm.
- Quand un agent de viscosité est utilisé, la quantité d'eau se situe idéalement sous les 180 kg/m^3 dans les conditions d'exposition normales. Si la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, et uniquement dans ce cas, il peut être utilisé jusqu'à 190 kg d'eau par m^3. En absence d'agents de viscosité, la quantité d'eau doit être située entre 155 et 175 kg/m^3.
- Les rapports eau/poudres et eau/liant sont basés sur les performances du béton à l'état durci. Si la fluidité n'est pas atteinte, on peut utiliser davantage de liant. Sans agent de viscosité, le rapport eau/poudres se situe entre 28 et 37% en masse et entre 85 et 115% en volume.
- Les quantités de liant et de poudres sont déduites des rapports précédents. Avec un agent de viscosité de type polysaccharide, les poudres représentent en généra l0.13m^3/m^3. Dans les autres cas, une valeur standard devra être déterminée entre 0.16 et 0.19 m^3/m^3.
- La quantité d'air dépend du diamètre maximum du gros granulat, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4.5% d'air.
- La quantité de fins agrégats se déduit des quantités précédentes (gros agrégats, poudres, eau et air).
- Le dosage de superplastifiant et d'agent de viscosité est évalué selon l'expérience. Le dosage de superplastifiant dépend cependant du rapport eau/poudres et de la nature des poudres. Il est généralement situé, pour les superplastifiants de nouvelle génération, entre 1 et 2 kg d'extrait par m3, ce qui correspond, pour une solution aqueuse à 35%, à une quantité de 3 à 6 litres. Le dosage en agent de viscosité est très variable selon la nature de l'agent et le type de béton (avec ou sans ajout de fines) : de 0.15 à 0.30% de

PDF Page Organizer - Foxit Software

la quantité d'eau pour les agents cellulosiques, de 3 à 5% pour les acryliques, de 2 à 3% pour les glycols, de l'ordre de 0.05% pour les polysaccharides solubles.

I.4. Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

Le recyclage n'est pas un luxe ou une mode mais une nécessité, qui provient d'une constatation forte simple : nous vivons dans un monde limité.

S'il n'est pas possible de supprimer la production de déchets, sous-produits ou résidus industriels ou urbains, il convient alors de définir les meilleures conditions de valorisation.

Presque toutes l'activité industrielle portant atteinte aux ressources naturelles et dégradant l'environnement, le recyclage et la valorisation des déchets est un devoir autant qu'une nécessité. En effet, pour des raisons économiques, règlementaires, commerciales et environnementales, la valorisation des déchets (industriels, municipaux et de l'industrie de construction) dans le béton, est en cours de développement ces dernières années dans plusieurs pays développés.

I.4.1 Valorisation des déchets et sous-produits industriels dans le génie civil

Un déchet se définit simplement par un objet en fin de vie ou une substance issue d'un processus, jugés devenus inutiles, dangereux ou encombrants, et dont on veut se débarrasser. Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abimé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement considéré comme tel par les autres **[60]**.

Le terme « déchet » désigne :

- Selon l'article n°1 de la loi Française n° 75-633 du 15 juillet 1975, «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 » **[61]**
- Selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, «toute résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisations, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont et là l'obligation de se défaire ou de l'éliminer» **[62].**

I.4.2 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

PDF Page Organizer - Foxit Software

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 **[63]**.

I.4.3 Types de déchets

On distingue plusieurs types des déchets :

A. Déchets biodégradables

Résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires…, qui s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc. ,selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage / amendements / engrais…)

B. Déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration, Outre les déchets ultimes : « ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge **[60].**

C. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

À la différence du déchet banal peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes **[60]**.

D. Déchets recyclables

PDF Page Organizer - Foxit Software

Matériaux de construction, métaux, matières plastiques : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible …

On s'intéresse sur les déchets de métaux (fer, aluminium, plomb,…) qui possèdent une valeur marchande et qui se présentent sous 3 formes :

1- les objets métalliques en fin de vie (moteurs, outils, canalisations, câblages...)

2- les composés métalliques destinés à être traités pour en extraire le métal contenu (catalyseurs de pots d'échappement,…).

D.1 Déchets usuels inertes

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peut dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

D.2 Déchets usuels non inertes

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles **[60]**.

D.3 Déchets industriels dangereux

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart des produits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sont dangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables entraîne des risques d'accidents graves **[60]**.

D.4 Déchets toxiques en quantités dispersées

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques.

E. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

PDF Page Organizer - Foxit Software

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'oeufs, etc.…

I.4.4Différents déchets utilisés en génie civil

La production des déchets utilisés dans le domaine de génie civil qu'on rencontre généralement sont

A. Déchets de construction et de démolition

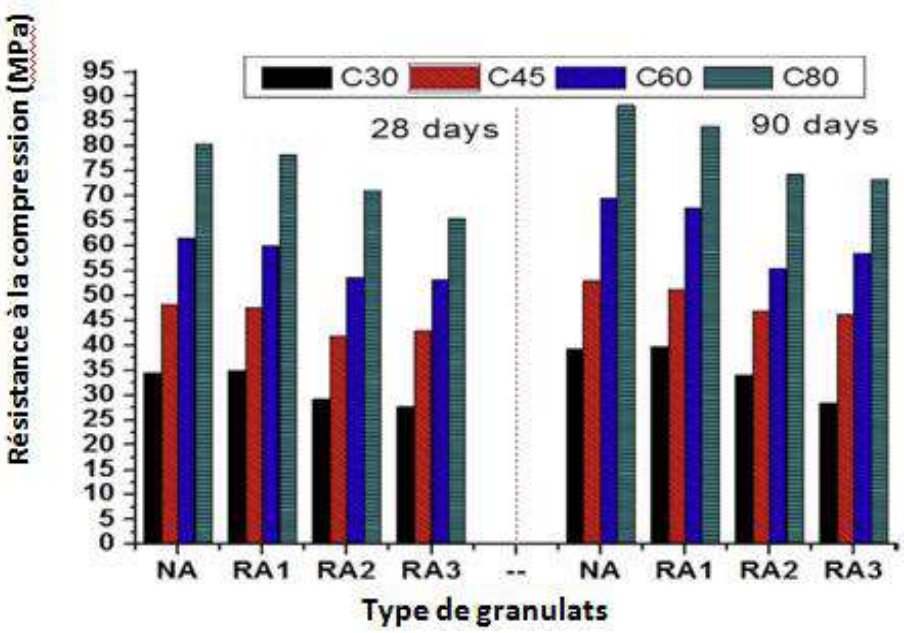
La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.

Zhen H. D. et al **[64],** ont étudié l'effet de l'ajout de trois types de granulats recyclés (10-20 mm) issus des bétons de classe de résistance différentes (30, 45, 60 et 80 MPa) sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton ordinaire. Les résultats expérimentaux de cette étude, en terme de résistances mécaniques (compression et traction), module d'élasticité, retrait de séchage et pénétration des ions chlore ont montré qu'on peut utiliser des granulats recyclés de bonne qualité (présentent une faible couche de mortier à la surface et un faible coefficient d'absorption) pour formuler un béton avec des performances comparables à celles mesurées pour un béton à base de granulats naturelles (figure I.11).

PDF Page Organizer - Foxit Software



FigureI.10. Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton **[64]**

Kenai S. et Debieb F. **[65]**, ont travaillé sur le béton recyclé en remplaçant partiellement le gravier et le sable naturel (25, 50, 75 et 100%) par de gros, fin, et mélange de gros et fin granulats à base d'ancien béton et de brique cuite concassées. Par comparaison avec un béton hydraulique à base de 100% de granulats naturelles, les résultats de cette étude ont mis en évidence que l'absorption d'eau des bétons recyclés est élevée, la perméabilité à l'eau peut atteindre le double, le retrait est très important. Finalement ils ont trouvé que les propriétés physiques et mécaniques des bétons à base de granulats recyclés peuvent être acceptables.

Dans d'autres travaux de Debieb F. et son équipe de recherche sur l'effet des granulats recyclés contaminés sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton courant**[66]**, les résultats expérimentaux montrent que les granulats recyclés contaminés par les chlorures ont un effet néfaste sur les caractéristiques du béton par rapport aux granulat. Une importante déférence a été observée entre les propriétés des bétons recyclés et ceux des bétons naturels.

B. Sous-produit de l'industrie

L'industrie constitue la source principale de sous-produits et de déchets utilisés dans le domaine de génie civil. Des quantités énormes qui se produisent sans cesse et qui augmentent toujours, des grandes surfaces de terrain immobilisées par les déchets stockés et

PDF Page Organizer - Foxit Software

de la réduction des disponibilités de terrain, ainsi que de la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences

Le génie civil se considère comme un domaine d'utilisation des déchets industriels, a une importance pratique et économique immédiate, car de nombreux produits secondaires et déchets résiduels peuvent remplacer des matières premières naturelles ainsi qu'une large gamme de matériaux de construction Parmi les sous-produits et déchets utilisés en génie civil :

B. 1.**Les laitiers de haut fourneau**

Sont utilisés comme matériaux de Construction depuis assez longtemps.

Les laitiers granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base, dans la fabrication de brique. **[67 ,68].**

B.2.les cendres volantes

Provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons, ou elle remplacent en partie de la ciment portland, à la production des granulats légers et d'autres matériaux de construction, ainsi qu'à l'exécution des remblais dont elles ont un effet favorable grâce à leurs faible poids **[68]**

c. Mâchefer

C'est les résidus de la combustion de la houille dans les centrales électriques anciennes. Il contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. **[67]**

d. Terre cuite

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulat léger (voir Tableaux III-3 et III-8). En effet, ceux sont : l'argile cuite non moulée (chamotte), l'argile cuite, les briques concassées, les surcuits et les incuits de briqueteries, ainsi que les débris de briques contenus dans les déchets de démolition et les décombres, qui sont désignés sous le nom collectif de < débris de terre cuite > **[69].**

Par commodité, quoi qu'il en soit et suite à l'axe de notre recherche qui s'intéresse aux déchets de brique de briqueteries, nous les classeront permis les sous-produits et l'industrie.

En Algérie, la brique en terre cuite est le plus fréquemment utilisée comme élément de maçonnerie dans le secteur du bâtiment. Vu le développement économique de l'Algérie qui

PDF Page Organizer - Foxit Software

s'est engagée en domaine de construction et dans le cadre de valorisation d'utilisation des matériaux locaux, en 1989, l'état algérien a en courage l'industrie de fabrication des produits rouge. A cette éparque il y avait que 12 projets de production qui ont été inities durant l'année 1988 et l'offre, estime a un taux de satisfaction de 45%, était loin de satisfaire le marché national. Les besoin prévus jusqu'au l'an 1994, étaient de l'ordre de ces millions tonnes/an en produit rouge et 5 million tonnes/an pour les tuiles **[70].**

I.4.5.Activité du recyclage des déchets en construction

A. Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés **[71]**.

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

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

B. Technique de recyclage

B.1. Procédés du recyclage

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

PDF Page Organizer - Foxit Software

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

B.2. chaîne du recyclage

- **Étape 1 : Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi <séparative > et souvent appelée à tort < tri sélectif > est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation.

Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques. Avant ce stade, le verre brisé est systématiquement écarté pour éviter les risques de blessure **[72]**

- **Étape 2 : Transformation**

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

- **Étape 3 : Commercialisation et consommation**

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

PDF Page Organizer - Foxit Software

En fin de vie, ces produits seront probablement jetés, et certains d'entre eux pourront être à nouveau récupérés et recyclés **[72]**

Exemple de recyclage **:**

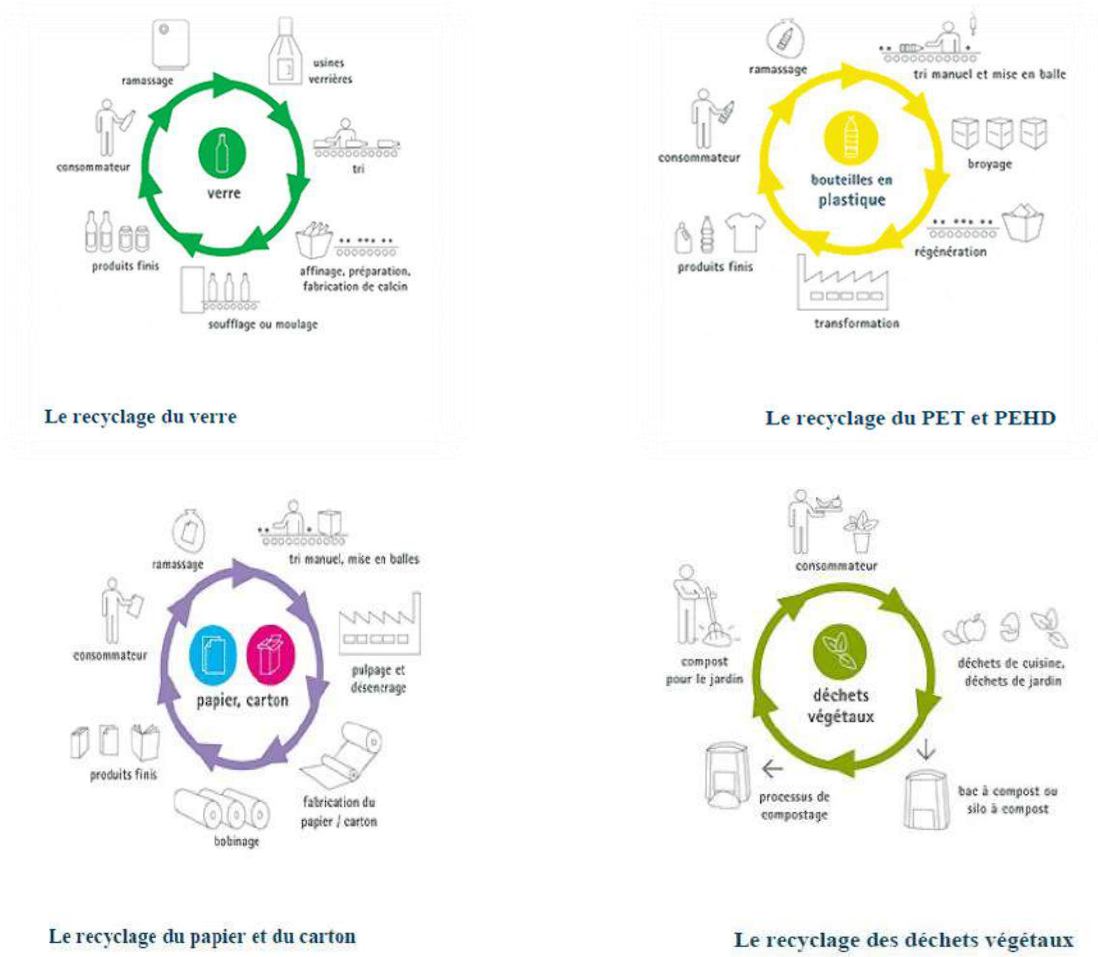


Figure I.11 : Quelque exemple de recyclage

C. Type de recyclage

On peut distinguer trois types de recyclage **[73]** :

C.1.Recyclage en site

Les installations de recyclage sont mobiles et il s'effectue sur le chantier de démolition ;

C. 2.Recyclage sélectif

Il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes ;

C.3.Recyclage en site fixe

Les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site. L'avantage du premier type de recyclage consiste en la

PDF Page Organizer - Foxit Software

réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de l'ancienne chaussée. L'Allemagne et l'Angleterre possèdent plus d'installations mobiles que fixes.

- Le deuxième type de recyclage nécessite que les quantités stockées soient suffisantes.
- Le troisième type de recyclage s'effectue dans des conditions industrielles.
- La nature spécifique des matériaux de démolition et de construction, un certain nombre d'opérations sont ajoutées aux fonctions traditionnelles de concassage-criblage :
- Stockage sélectif des matériaux réceptionnés.
- Prétraitement : réduction des gros éléments, cisaillage des ferraillages.
- Dé ferraillage (magnétique) : il peut être effectué en deux phases, l'une à la sortie du premier broyeur et la seconde après le criblage.
- Des tris manuels et mécaniques pour la récupération des papiers, des bois, des plastiques, etc. : il existe différents systèmes de séparation et de tri, en fonction des éléments à retirer (épuration par flottaison, tables densimétriques, séparation au moyen d'un courant d'air, etc.).

D. Impacts du recyclage sur l'environnement

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par 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 **[73]**.
Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14kWh d'électricité.
- L'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois.
- Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15g de bois.

PDF Page Organizer - Foxit Software

I.5.Brique et Déchets de brique

1.5.1. Matériaux brique

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée (la température de frittage). Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. En réalité, la brique de terre offre une isolation thermique, phonique et hydrométrique bien supérieure au parpaing béton et une résistance à la compression également supérieure au parpaing **[74].**

I.5.2 Mode de fabrication

A. Méthode traditionnelle

L'extraction de la terre nécessaire à la fabrication des briques se faisait à partir de puits rudimentaires, de mines ou de carrières. Avant la mécanisation. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permettait d'affiner la matière première. Ensuite, l'ajout d'eau en grande quantité permettait d'obtenir une pâte homogène, à la plasticité voulue.

Le pétrissage, autrefois de faisant pied, et désormais avec de puissantes machines, permettait d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se terminait par une phase de pourrissage, durant laquelle la terre glaise se < reposait >.

Son façonnage se faisait dans un moule en bois dont les bords et le fond étaient ensablés afin que la glaise n'y adhère pas. Un morceau de glaise était placé dans le moule, puis aplani. La surface était égalisée et arasée de son excédent à l'aide d'un archet. Le tout était démoulé et déposé sur le sol, ou sur une grille pour une première phase de séchage.

Une fois durcies, les briques étaient empilées en quinconces pour faciliter la circulation de l'air entre elles. La cuisson s'opérait quand le nombre de briques sèches était suffisant.

Elles étaient alors empilées selon le même principe à l'intérieur du four, par une étroite ouverture verticale aménagée dans un des côtés. Des rainures horizontales recevaient une planche servant de support à l'ouvrier chargé de placer les briques jusqu'en haut du four.

L'ouverture était ensuite obturée avec de la terre. Le feu était allumé dans le foyer situé en sous-sol du four, et entretenu pendant plusieurs jours, avec une surveillance constante. **[75,76]**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Ce travail manuel a donné aux briques leur forme caractéristique. Aujourd'hui, ce travail est industrialisé et permet d'obtenir différentes tailles de briques, parfaitement identiques. Un système de découpage automatique façonne des briques à partir de boudins de glaise.

La brique subit ensuite une série de séchages qui éviteront les fissures et les éclats lors de la cuisson.

B. Méthode moderne

Extrusion des briques à travers une filière.

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes : [**76]**

- Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange environ 10% d'argile verte avec 90 % d'argile rouge. La terre argileuse, généralement extraite à proximité de la briqueterie, ne peut pas inclure trop de sable. (Voir figure I.13)
- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée
- Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite facilite l'extrusion.
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage (voir figure I-14)



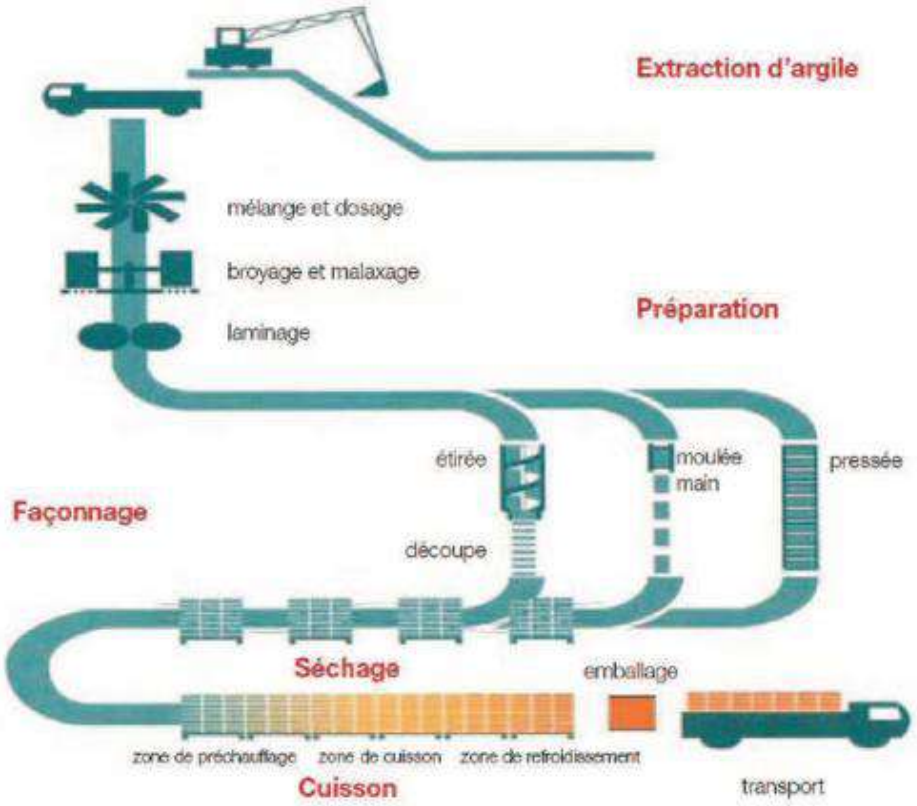
Figure I-12 : coupage

- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre vingt et cinquante heures) figure I-13
- Cuisson à environ 900 °C, pendant trente heures

PDF Page Organizer - Foxit Software

- Éventuellement rectification (fraisage des bords jointifs pour faciliter le montage).

Les figures (I-13) et (I-14) résument les processus moderne de fabrication des briques



FigureIII.13 : fabrication des produits de terre cuite **[77]**

I.5.3.les produits

Sont des briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme (XP P 13-305) sont composants en trois catégories de produits :

A. Brique pleine

Brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm**.**

B. Brique perforée

Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm.

C. Bloc perforé

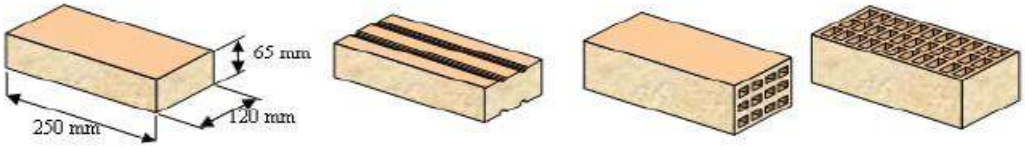
PDF Page Organizer - Foxit Software

Brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm et dont la plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm. La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 60% de la section totale.

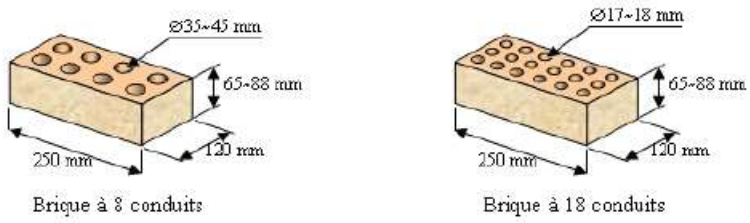
D. Brique creuse de terre cuite (Norme NF P 13-301)

On distingue deux types de briques creuses :

- Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux continus.
- Type R.J : Briques dites " à Rupture de Joint ", destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux discontinus.



Briques pleines et perforées



Briques perforées

Figure I.14 : les dimensions de brique

I.5.4. Propriétés des briques

A.les propriétés thermo- physico -mécaniques de brique

Les propriétés thermo- physico –mécaniques de brique sont indiquées dans les tableaux I. 1 I.2 suivants :

Tableau I. 1 :1es propriétés physico –mécaniques des Briques creuses et

PDF Page Organizer - Foxit Software

Perforées [78, 79,80]

Masse volumique (kg/m^3)	**Briques creuses**	**Briques perforées**
	1750-2050	1650-2000
Absorption d'eau	< 15%	30 - 80 %
Isolation acoustique	41 -58 dB	41 - 54 dB
Résistance à la compression	4 - 8 MPa	12.5 - 40 MPa

Tableau I.2 : la Résistance thermique des briques pleines, perforées et creuses [78, 79,80]

Pleines		**perforées**		**Creuse**	
Epaisseur (cm)	**R (m2.°W)**	**Epaisseur (cm)**	**R (m2.°C/W)**	**Epaisseur (cm)**	**R (m2.°C/W)**
5.5	0.05	20	0.52	5	0.10
10.5	0.09	30	1.00	10	0.2
22	0.20	35	1.21	20	0.39

- **La conductivité thermique** : des briques de terre cuite égale 0.8 (W /m.k)
- **La conductivité thermique** : des briques de terre cuite pleines égale 1.15 (W /m. °C)
- **Coefficient de dilatation** : des briques de terre cuite entre 5 -8 x10^{-6} K^{-1}
- **Porosité :** des briques de terre cuite quelques % à 50%
- **Adsorption** : des briques de terre cuite est faible **[81]**

B. Résistance au gel

La résistance au gel est l'image de la propriété qu'a un matériau à résistera une succession de cycles gel – degel. On l'eau dans les pores en cas de gel. Si les pores sont totalement remplis d'eau et que cette dernière ne peut être évacuée à temps durant le gel, la glace exerce une pression interne sur la brique et le fait éclaté. La résistance au gel est déterminée sur base d'essais normalises.

PDF Page Organizer - Foxit Software

C.Propriété thermique

La brique fournit des conditions de vie et un confort intérieur excellents grâce à ses bonnes propriétés thermiques et acoustiques. Celles-ci découlent d'un équilibre judicieux entre leur structure poreuse, qui confère entre autres le caractère isolant thermique, et leur masse qui apporte résistance mécanique et isolation acoustique **[82]**

I.5.5.La brique et le respect de l'environnement

Comme la plupart des processus, la production de briques a un impact sur l'environnement. Le secteur céramique y accorde beaucoup d'attention et met tout en œuvre pour minimiser les émissions dans l'air, l'eau et le sol. La consommation énergétique est aussi un point d'attention continu.

A.Économie de matières premières

La gestion de la matière première qu'est l'argile est planifiée à court, moyen et long terme. Nous accordons beaucoup de valeur à la gestion parcimonieuse des matières premières. Lorsque c'est possible, des accords de partenariats sont conclus pour stimuler l'apport extérieur d'argile. Ainsi, de temps à autre, on ajoute au mélange de matières premières, de l'argile provenant des travaux d'infrastructure.

L'eau est utilisée pour rendre le mélange d'argile plastique mais est également ajoutée lors du moulage. Lors du façonnage, les moules sont humidifiés, sablés et remplis du mélange argileux. Ensuite, ils sont rincés à l'eau et réutilisés. L'eau de rinçage est réutilisée en circuit fermé. Cette manière de travailler permet de limiter la consommation d'eau et d'éviter toute forme de rejet d'eau.

La production de briques occasionne d'inévitables émissions. Le secteur mène de nombreuses initiatives pour les minimiser. Pour atteindre cet objectif, des mesures intégrées au processus et des techniques de traitement de fumées jouent un rôle complémentaire.

B.Économie d'énergie

Depuis des dizaines d'années, des mesures d'économie d'énergie sont mises en œuvre : fours tunnel performants alimentés au gaz naturel, suivi détaillé du processus de cuisson, récupération maximale de la chaleur des fours pour l'utiliser dans les chambres de séchage, …

La brique est un produit " local ", fabriqué à partir de matières premières issues de notre propre sous-sol. Par ailleurs, on trouve toujours une briqueterie à une distance limitée d'un chantier. Ainsi, on limite le transport tant des matières premières que des produits finis **[83]**

PDF Page Organizer - Foxit Software

I.6.Valorisation des déchets de brique

I.6.1 Sur mortier

a. Etat frais

F.Bektas et al. **[84]** ont examiné les effets du recyclage de la brique d'argile sur la durabilité du mortier. La brique a été utilisée par remplacement du poids de sable avec des taux de substitution de 5% à 30%. Les auteurs ont remarqué une diminution de l'ouvrabilité des mortiers avec l'augmentation du taux de substitution (figure I.15). Cela peut être dû au degré d'absorption des déchets de brique (7%).

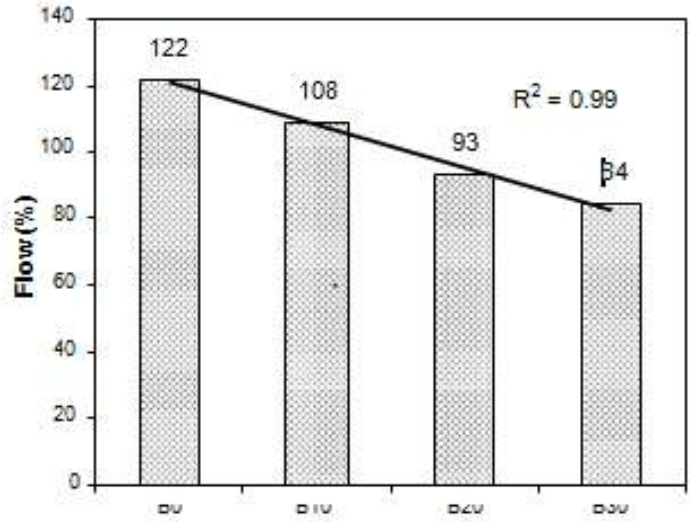


Figure 1.15. L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité d'un mortier **[84]**

Debieb.F, Aouni.M**[95]** ont réalisés un mortier à base des déchets de brique cuite (MBr) en faisant substituer une partie du poids de ciment par une quantité similaire en poudre et comparées au mortier témoin. Les taux de remplacement des poudres recyclées, sont choisis de 0 à 30 % avec une marge de 5%. Ils ont remarqué que les déchets de brique influent négativement sur l'ouvrabilité du mortier, et également que plus le pourcentage des déchets augmente, le temps d'écoulement du mortier augment aussi Les résultats d'ouvrabilité sont présentés sur un histogramme (FigureI.16) qui permet de comparer les valeurs du temps d'écoulement des différents mortiers à base de déchets de brique (MBr) au mortier témoin (MT).

PDF Page Organizer - Foxit Software

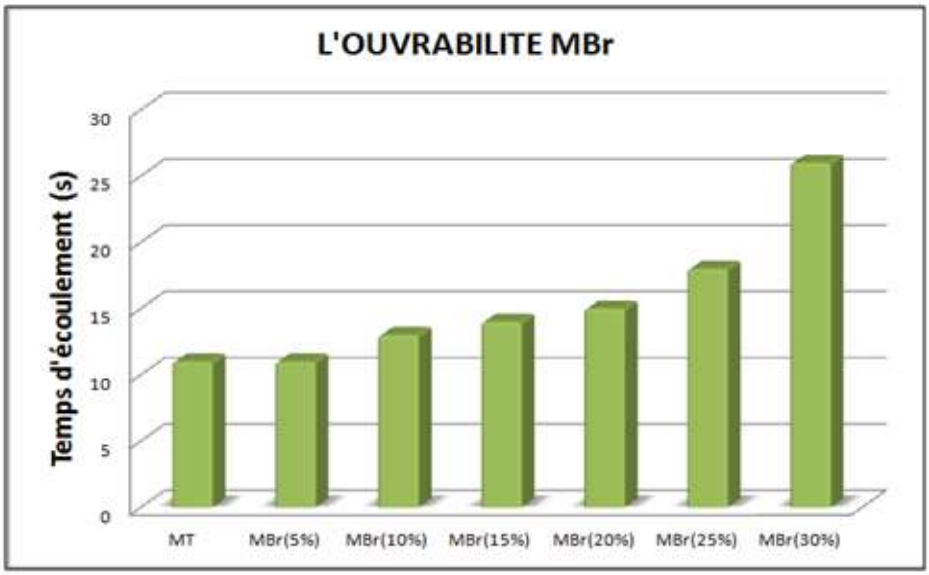


Figure I.16 : Temps d'écoulement des mortiers à base de déchets de brique (MBr) **[85]**

b. Etat durci :

NIGRI.G. et al. **[96],** Ont cherché à élaborer un nouveau ciment composé à base de déchets de briques. Des résultats préliminaires montrent que l'incorporation de 5 à 15% de déchets de briques dans un broyeur à haute énergie, permet une amélioration des principales caractéristiques physiques (retrait, densités, expansion à chaud, etc.) du nouveau liant, avec des propriétés mécaniques comparables aux ciments portlands composés de classe de résistance normale de 42,5MPa.Les meilleures valeurs des caractéristiques et des propriétés physico mécaniques ont été obtenues pour un ciment contenant les proportions en masses suivantes : 85% de clinker + 10% de déchets de briques + 5% de gypse.

Les travaux de Dina M. S. **[97],** ont pour but d'étudie les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment à base du déchet de brique d'argile broyées comme granulats recyclés. Quatre séries de mélanges dont la teneur en ciment de 100, 150, 200 et 300 kg/m3 ont été préparés. Dans chaque série, les granulats naturels fins, ont été remplacés par des agrégats de briques concassées (ABC) à avec des taux de substitution de 0%, 50% et 100% en volume. Les résultats expérimentaux ont montré une diminution du poids et des résistances mécaniques des mortiers avec l'augmentation du dosage en granulats recyclés. En plus ils ont remarqué que l'absorption d'eau par capillarité augmente en augmentant le taux de remplacement des granulats recyclés des granulats naturels.

F.Bektas et al. **[94]** ont examiné les effets du recyclage de la brique d'argile sur la durabilité du mortier. La brique a été utilisée par remplacement du poids de sable avec des taux de substitution de 5% à 30%. Concernent l'état durci (Résistance à la compression), les auteurs ont trouvé une augmentation graduelle avec le vieillissement (B0, B5%, B10% et

PDF Page Organizer - Foxit Software

B20%). Au-delà ils ont remarqué une réduction de 5% à 10% pour un pourcentage de 25% de brique

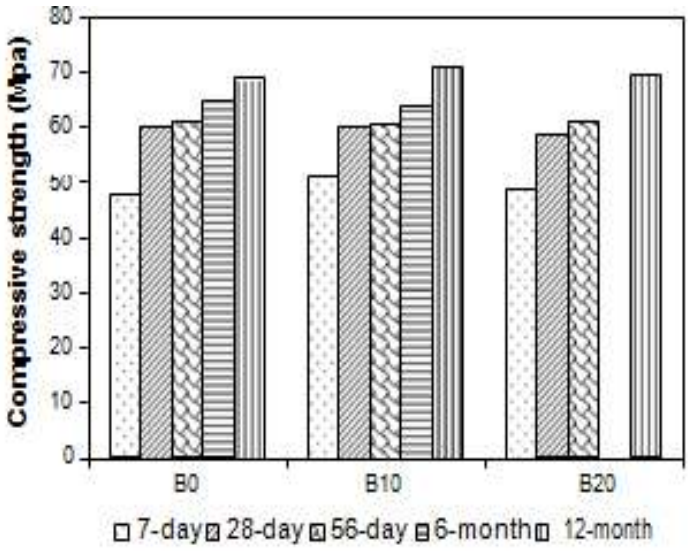


Figure I.17 : Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique **[84]**

Debieb.F, Aouni.M**[95]**ont réalisés un mortier à base des déchets de brique cuite (MBr) en faisant substituer une partie du poids de ciment par une quantité similaire en poudre et comparées au mortier témoin. Les taux de remplacement des poudres recyclées, sont choisis de 0 à 30 % avec une marge de 5%. concernent l'état durci la résistance à la compression des mortiersMbr 5%, Mbr 10%, Mbr 15%, dépasse celle du mortier de référence, les résultats sont présentent sous forme d'histogramme (la figure I.18),ainsi que les résistances à la traction augmentent en fonction de l'âge quel que soit le type du mortier.Les résistances des mortiers MBr 5%, MBr 10% et MBr 15%dépassent celle du mortier témoin pour les trois âgés et il est de l'ordre de 7,51 MPa, 7.21 MPa et 7,23 MPa respectivement à 28 jours, et la plus faible valeur de l'ordre de 3.30 MPa est remarquée pour le mortier MBr 30%. La traction par flexion nous donne à peu près une idée sur la résistance à la traction, on constate alors qu'on a un gain de résistance de 11%les résultats sont présenté sous forme d'histogramme donné par la figureI.19 .

PDF Page Organizer - Foxit Software

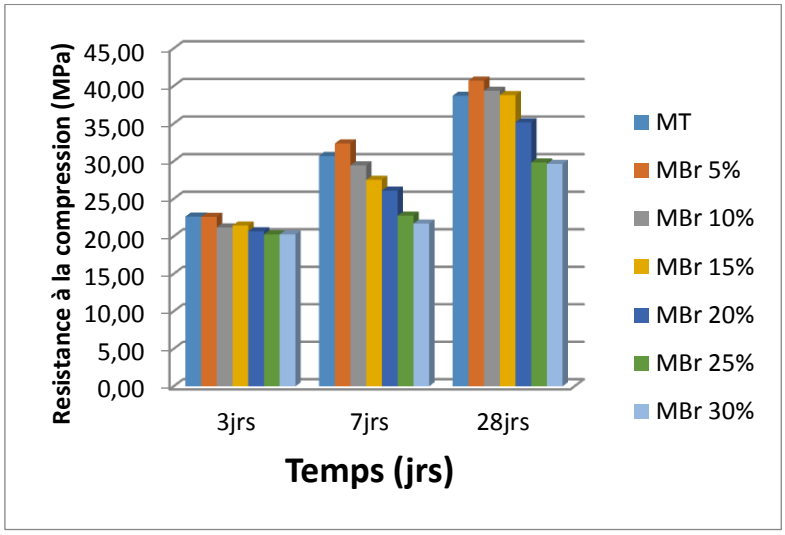


Figure I.18. Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers MBr **[85]**

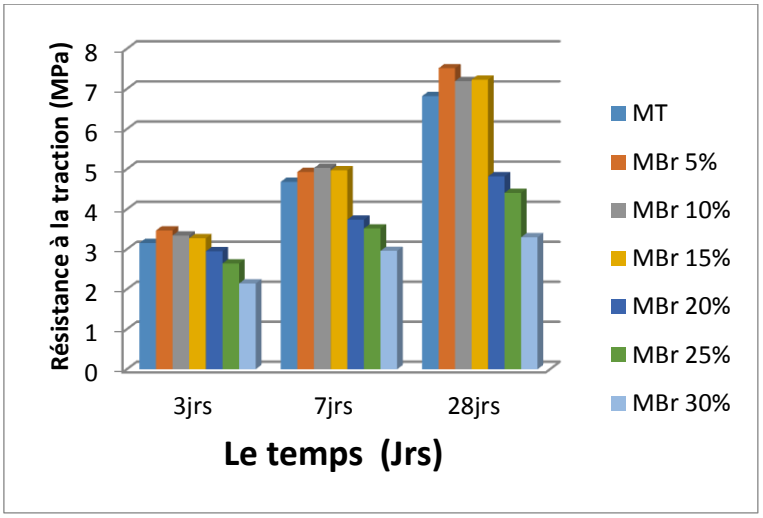


Figure I.19 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers MBr**[85]**

I.6.2.Sur béton

a. L'état frais :

Selon Akhtaruzzaman et hastan **[88],** les résultats des essais à l'état frais du béton de granulats de brique concassée sont favorablement comparables avec ceux du béton normal sont obtenu comme suites :

- Pour les bétons de granulats de brique concassée, le rapport eau-ciment optimum est 0,55 ; bien que si la haute ouvrabilité soit exigée, alors les mélanges puissent être faits avec un rapport eau - ciment jusqu'à 0,7 **[89].**
- L'ouvrabilité peut être appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams ou par essai VeBe **[89].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

BARKAT.A et al **[90]**ont réalisé trois types de béton à base de déchets de brique Les granulats employés dans la composition des bétons sont obtenus à partir d'un mélange ternaire de sable (0/5), de gravillon (3/8) et de gravillon (8/15).les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante appréciée par un affaissement au cône d'abrams de l'ordre de 6cm de la classe de consistance des bétons plastiques. La figureI.20suivants donne une indication
Sur les quantités d'eau totales réellement utilisées dans les mélanges ainsi que les quantités effectivement ajoutées aux mélanges (compte tenu du pourcentage élevé d'absorption d'eau de granulats à base de brique concassée).ainsi que pour la densité du béton frais qui diminue
Successivement par substitution successive des granulats naturels par les granulats recyclés et que le pourcentage de l'air occlus augmente en variation entre 1et 2.5% dans le béton (Figure I.21)

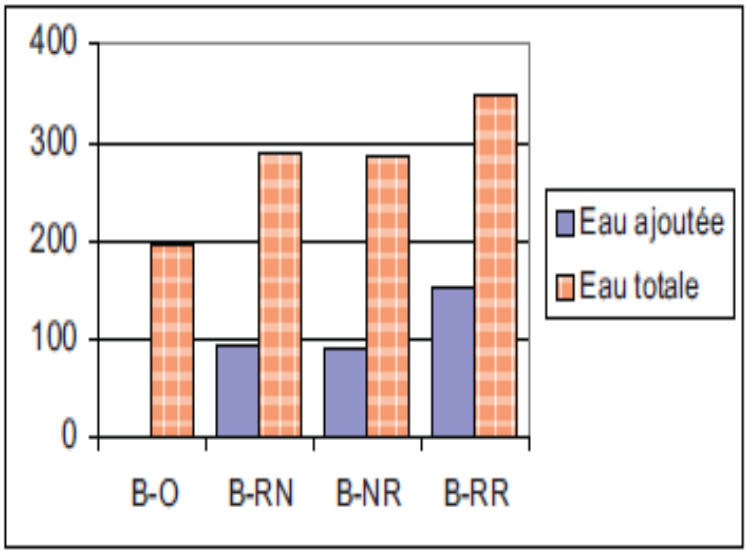


Figure I.20 : Eaux Totales et Eaux Ajoutées aux Mélanges (en Litres) **[90]**

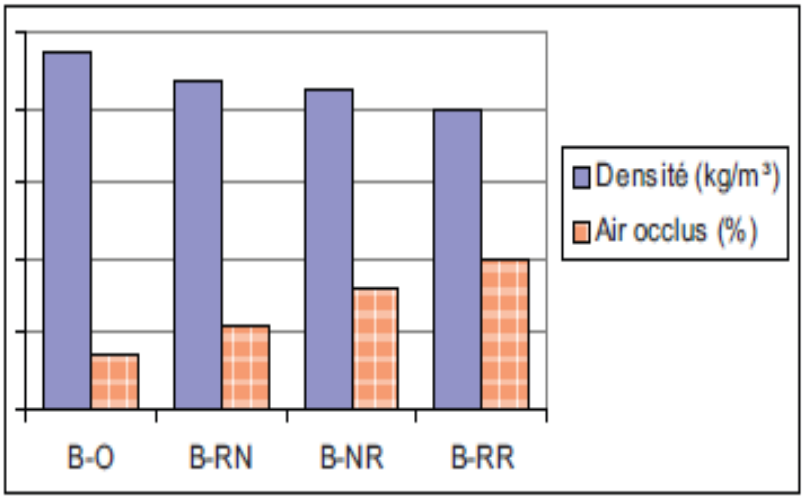


Figure I.21 : Densité et Air Occlus des Bétons Frais **[90]**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Benakli.S **[91]** et al ont réalisent un BAP à base de déchet de brique pour l'objective d'étudie l'influence d'ajout 10% de poudre de déchet de brique broyée sur le comportement à l'état frais.

Les résultats des essais à l'état frais sont représentés dans le tableau comme suit :

Tableau III.3. Les résultats de l'essai à l'état frais

Type	Etalement (cm)	La boite en L dénivelée /	Stabilité au tamis /	Appréciation visuelle de la galette d'étalement
BAP a base des dechets de brique	**61**	**25**	**5**	**Bon**

b. L'état durci :

HADJOUDJA M. et BEDERINA M. **[92]**, ont étudié la possibilité de récupération des déchets de briques dans le béton de sable de dunes. Leur étude a pour objet d'étudier l'effet du dosage en filler des déchets de briques sur la capacité d'absorption de l'eau du béton de dunes, ses cycles de séchage–ré-humidification et l'évolution de sa résistance sous l'effet gel-dégel. Leur travail a permis d'observer l'intérêt et l'efficacité de l'ajout des fillers sur le comportement physico-mécanique du béton de sable dunaire à base de déchets de brique. Néanmoins les résultats de cette étude ont montré l'importante absorption capillaire avec l'augmentation du dosage en filler de brique (figure 1.22).En ce qui concerne la résistance au gel-dégel, ils ont remarqué que l'augmentation de la teneur en fillers de briques provoque une nette diminution des taux de variations en poids, elle semble présenter un optimum pour la composition avec 200 Kg/m^3 de fillers de brique (figure 1.23).

PDF Page Organizer - Foxit Software

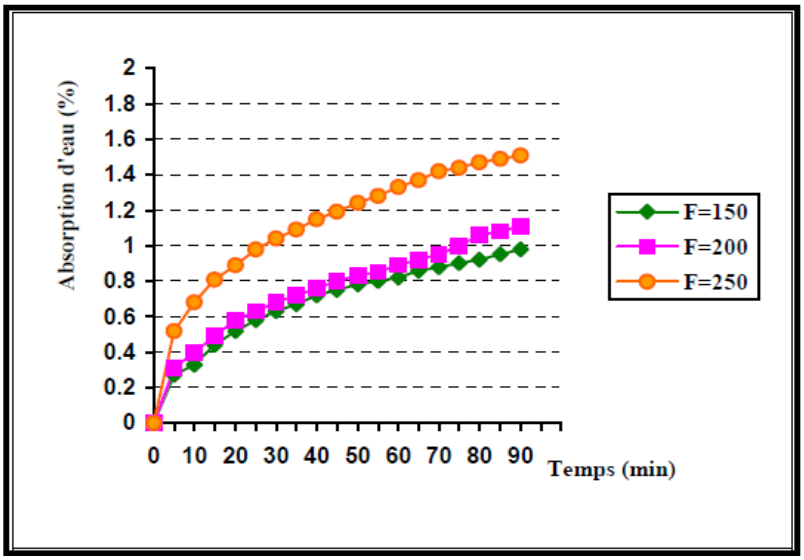


Figure 1.22. Absorption d'eau des bétons à base de déchets de brique **[92]**

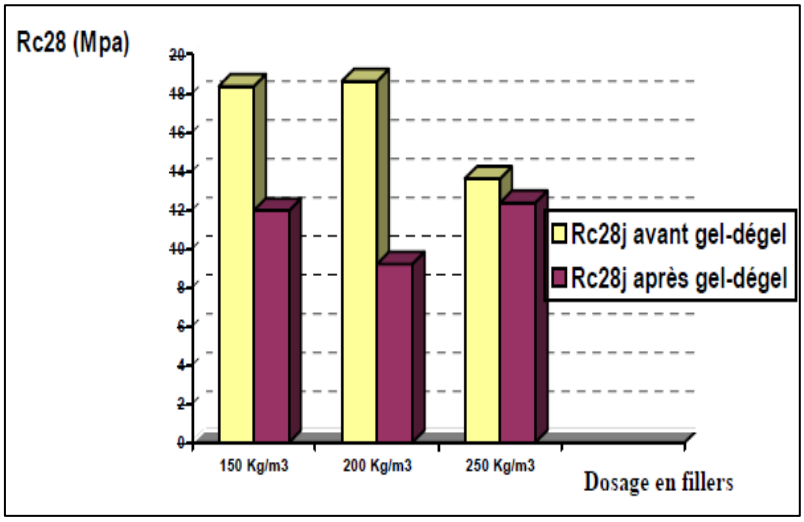


Figure 1.23. Variation de la résistance à la compression des bétons à base de déchet de brique sous l'action du Gel-Dégel **[92]**

Debieb F. et al. **[93]**, ont étudié la possibilité d'utilisation des déchets de brique dans la fabrication d'un béton ordinaire avec des taux de remplacement de 25, 50, 75 et 100% des granulats naturelles (fin et grossier). L'introduction des granulats de déchet de brique a été faite une fois, par le remplacement partiel du sable naturel seulement. La deuxième fois par le remplacement du gravier seulement. Et en dernier par le remplacement des deux granulats à la fois. Les résultats de cette étude montrent qu'un remplacement maximale de 25 % pour le sable et de 50% pour le gravier avec le déchet de brique, mènent à des caractéristiques

PDF Page Organizer - Foxit Software

similaires à celles du béton à base de granulats naturelles en terme de résistances mécaniques (compression et flexion), retrait, absorption capillaire, porosité et perméabilité à l'eau.

Lan Z. et al **[94]**, ont utilisé des déchets de brique provient d'un site de construction et ont une résistance à la compression plus de 10 MPa. Ces déchets sont introduits dans la fabrication d'un béton à base de 15% de cendre volante, avec des taux de remplacement de 0, 30, 40 et 50% des granulats concassées. Les résultats de cette étude ont montré que les granulats recyclés (déchets de brique) ont une porosité très élevée par rapport aux granulats concassés. Et que les résistances mécaniques du béton sont diminuées avec l'augmentation du dosage en granulats recyclés (figure 1.24)

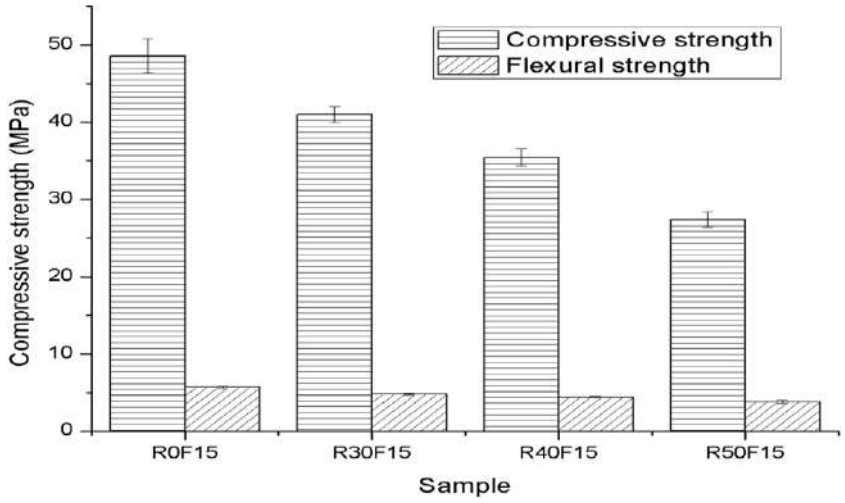


Figure 1.14. La variation de la résistance du béton avec et sans granulats recyclés **[94]**

En outre les résultats des essais de durabilité en termes de perméabilité à l'eau, au gaz et la diffusion des ions chlores, ont montré une augmentation de ces caractéristiques avec l'augmentation du pourcentage d'addition des déchets (figure 1.25, 1.26 et 1.27).

PDF Page Organizer - Foxit Software

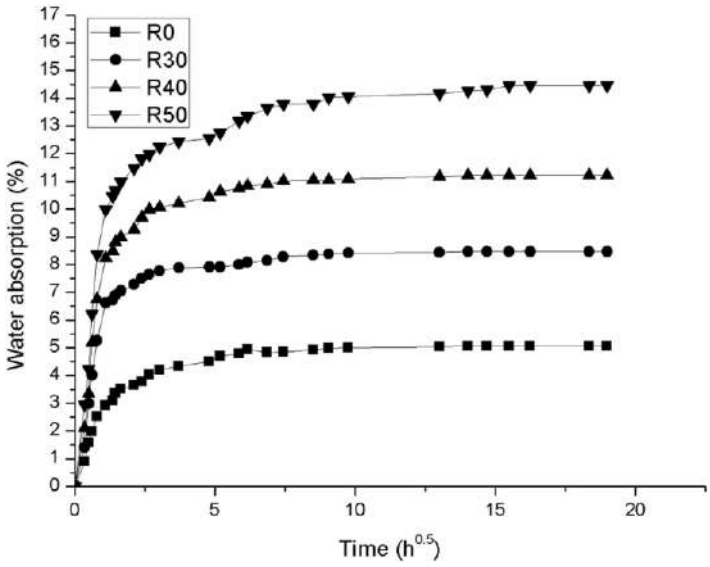


Figure 1.25 : Absorption d'eau du béton avec et sans granulats recyclés **[94]**

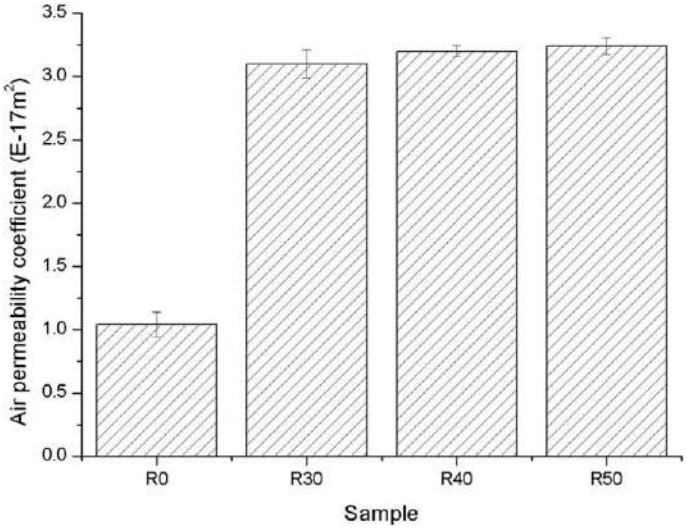


Figure 1.26 : Perméabilité au gaz du béton avec et sans granulats recyclés **[94]**

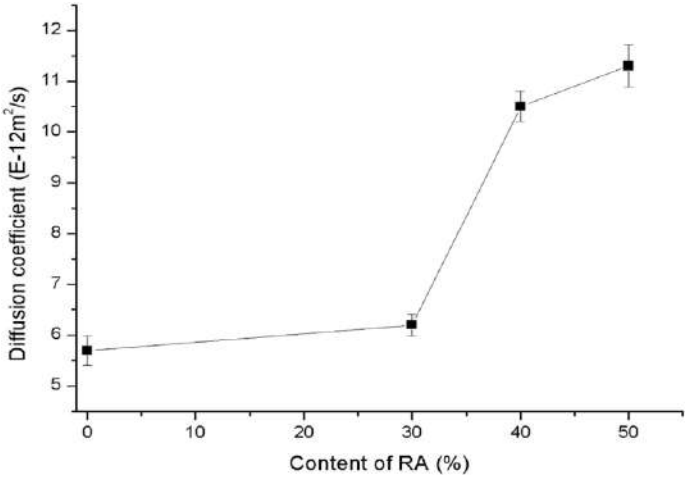


Figure 1.27. : Diffusion des ions chlores du béton avec et sans granulats recyclés **[94]**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Selon Akhtaruzzaman et hastan **[88],** les résultats des essais du béton de granulats de brique concassée sont favorablement comparables avec ceux du béton normal, obtenus par l'ACI.Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton de granulats de brique **[88].** Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de brique concassée, résultantes des essais et des recherches sont :

- Les briques concassées, provenant des briques et tuiles, possèdent des résistances propres de 100 à 300 *kg cm*2 [**94].**
- L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'est nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton. Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulat avec l'eau au lieu de 0l%immersion totale du granulat pendant 30min **[89].**
- La masse volumique apparente du béton de brique concassée varie de 2000 à 2080 *kg m*3. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal **[88].**
- La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulat normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de brique concassée **[89].**
- Il est nécessaire de procéder au maintien prolongé à l'état humide de tous les bétons de débris de briques, pour empêcher le dessèchement des liants et la ségrégation de surface du béton **[94].**
- La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 MPa **[88].**
- L'utilisation du granulat grossier de brique concassée peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal **[89].**
- Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), le module d'élasticité, en général, est approximativement 30% inférieur à celui du béton normal et approximativement de 40% plus grand que celui du béton léger **[88].**
- Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal **[88].**
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel **[95].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

- Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton **[96].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Chapitre II

Matériaux et Essais



PDF Page Organizer - Foxit Software

II.1. Introduction

Dans cette partie expérimentale, nous proposons une nouvelle démarche pour formuler le Mortier Autoplaçant (M) à base des déchets de brique, nous étions obligés de réalisé un certain nombre d'essais pour la détermination des caractéristiques des matériaux utilisés et leurs propriétés, d'autre part la détermination de la formulation doit être définie avec le plus grand soin possible à travers la détermination des différents paramètres agissant sur la formulation d'un mortier à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- Les dosages en sable, ciment, eau et superplastifiant.
- Le rapport Eau/Ciment (E/C) et Sable/Mortier(S/M).

Pour répondre aux différentes questions de cette étude, trois familles de mortier ont été réalisés. La nomenclature choisis est représentée dans le tableau suivant (Tableau II.1) :

Tableau II.1 : Différents compositions utilisées dans la recherche

Notation	Désignation
MT	MAP Témoin (sans poudre et sans sable de brique cuite)
MP_fX	MAP à base de poudre de brique cuite recyclé (PBR) avec trois différentes finesses (Fx) la poudre de brique est substituée avec le ciment avec X= 5, 10,15 et 20% F1=3900(cm^2/g) F2=4300(cm^2/g) F3=5200(cm^2/g)
MSY	MAP à base de sable de brique cuite recyclé (SBR), le SBR est substitué avec le sable naturel avec Y= 25,50 et 75%

NB : la nomenclature utilisé est x et y avec :

X et Y = Numéro de substitution

II .2. Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection des mortiers, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

PDF Page Organizer - Foxit Software

II .2. Caractérisation des matériaux utilisés

II.2.1.Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) **(**Figure II.1), est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA 442] **[97].**Le tableau II.2 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment.

Tableau II.2 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

Voir la fiche technique en < annexe A > pour avoir plus de détaille sur ce ciment



PDF Page Organizer - Foxit Software

Figure II.1 : Le ciment utilisé (Annexe A)

II.2.2. Sable

Pour cet étude nous avons utilisé un sable corrigé de module de finesse environ 2,25 composée de 40% d'un sable fin (Hassi Bah bah) et 60 % d'un sable concassé (EL-HACHIMIA) dont leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau II.3. La figure II.2 représente la courbe granulométrique des granulats utilisés.

Tableau II.3 : Propriétés physiques d'identification des sables utilisés

Caractéristiques	**Type de sable**		**Normes**
Provenance	Hassi Bah bah	Mont Guorno	
Classe granulaire	0/2	0/3	NF EN 933-1 **[98]**
Module de finesse	0.834	3.20	
Module de finesse De sable corrigé	2.25		
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.63	2.64	NF EN 1097-6**[99]**
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.43	1.50	NF EN459-2 **[100]**
Equivalent de sable (%)	80.42	91.29	NF EN 933-8**[101]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86	0.38	NF EN 1097-6**[99]**
Taux d'absorption total d'eau (%)	0.62		

PDF Page Organizer - Foxit Software

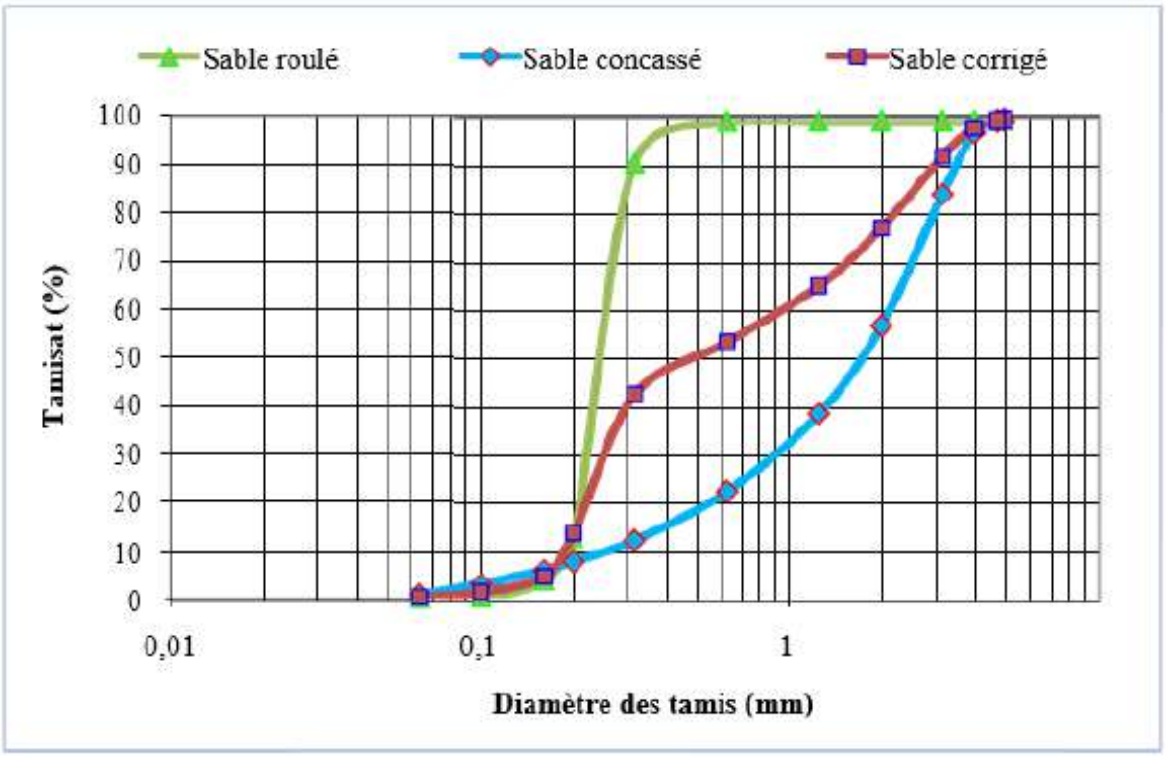


Figure II.2 : Courbe granulométrique des sables utilisées

II.2.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des mortiers est celle du robinet considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au mortier et conforme à la norme NF EN 1008 **[71]**. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.2.4. Superplastifiant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un Superplastifiant – Haut réducteur d'eau à base de polycarboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société Granitexe, sous le nom « MEDAFLOW 145 » .Voir la fiche technique en < annexe B> pour avoir plus de détaille sur ce adjuvant.

II.2.5. Déchets de brique cuite

Les déchets de brique cuite utilisée dans ce travail de recherche proviennent de la briqueterie de Draa-Smar de la wilaya de Médéa sous deux formes :

- Un sable de brique concassé SBR
- Une poudre de brique PBR

PDF Page Organizer - Foxit Software

❖ **Recyclage et caractérisation des déchets de brique cuite**

Notre travail consiste deux méthodes pour le recyclage des déchets de brique cuite qui sont résumés comme suit :

A- Sable de brique recyclé (SBR)

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figure II.3) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm

La figure II.3montre les étapes précédentes

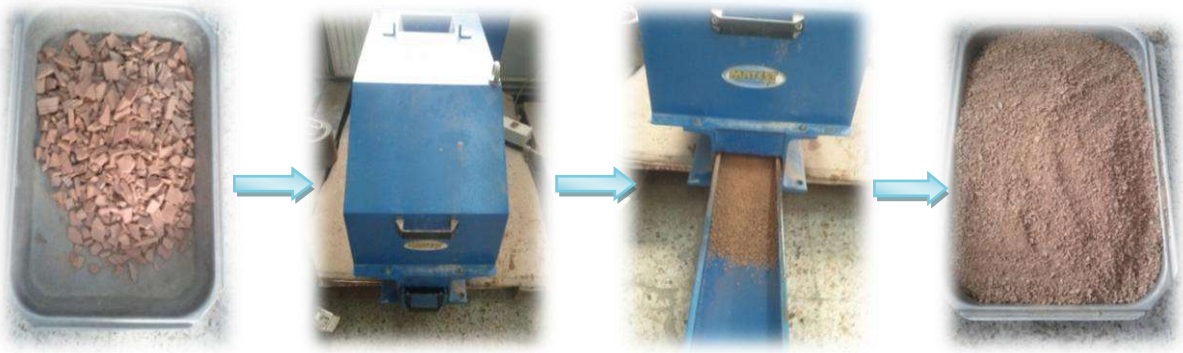


Figure II.3 : Protocole de concassage des déchets de brique cuite**.**

A.1.caractéristiques de SBR

Le SBR est caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées en < annexe C> sur ce sable, les résultats sont représentés dans le tableau II.4 et la figure II.4.

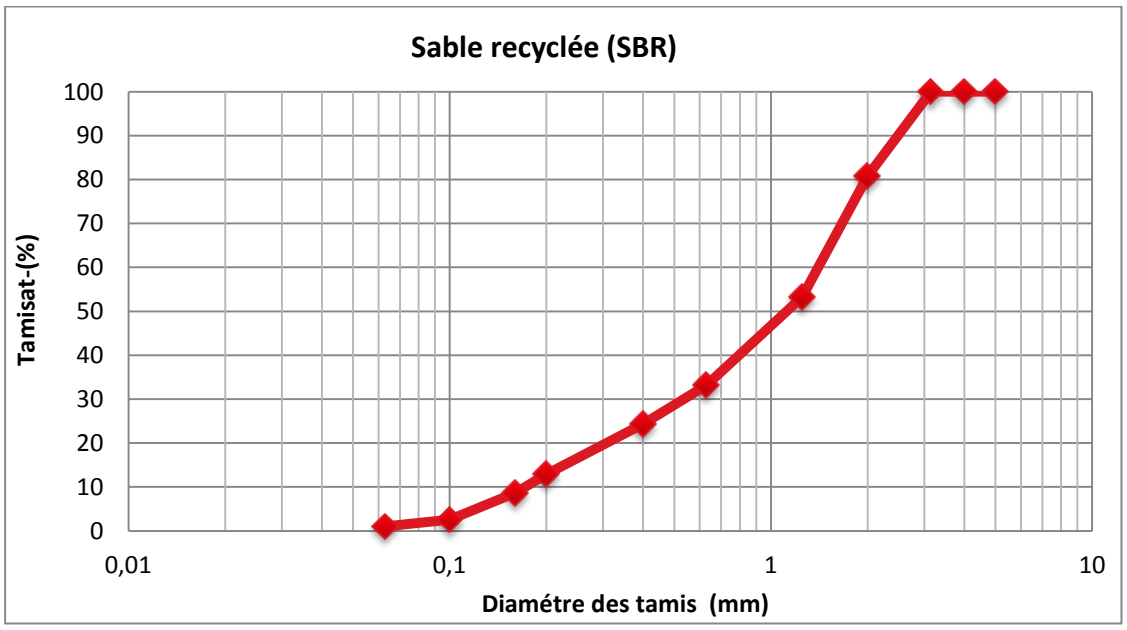


Figure II.4 : Courbe granulométrique de sable recyclé

PDF Page Organizer - Foxit Software

Tableau II.4 : les caractéristiques de SBR

Caractéristiques	SBR	Normes
Classe granulométrie	**0/3**	NF EN 933-1 **[98]**
Module de finesse	3.00	
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.56	NF EN 1097-6**[99]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.35	NF EN459-2 **[100]**
Equivalent de sable (%)	84.96	NF EN 933-8**[101]**
Taux d'absorption d'eau(%)	13	NF EN 1097-6**[99]**

B- Poudres de brique recyclé (PBR)

Nous avons utilisé trois finesses selon la norme NFP15-476suivant un protocole de broyage indiqué par la suite :

- **SSB =3900(cm^2/g)** : Ces fines ont été obtenues a par un tamisage à travers un tamis de 80µm (fines brutes). (Figure II.5)
- **SSB=4300(cm^2/g)** : Cette finesse est obtenue à travers un broyage des fines brutes avec une vitesse de 800 tr/min pendant 10 min. **(**Figure II.6**)**
- **SSB=5200(cm^2/g)** : Cette finesse est obtenue à travers un broyage des fines brutes avec une vitesse de 800 tr/min pendant 20 min. **(**Figure II.6**)**

La masse volumique absolue de ce matériau est déterminée suivant la norme NF P18-555 qui a donné une valeur de 2,66 g/cm^3.

PDF Page Organizer - Foxit Software

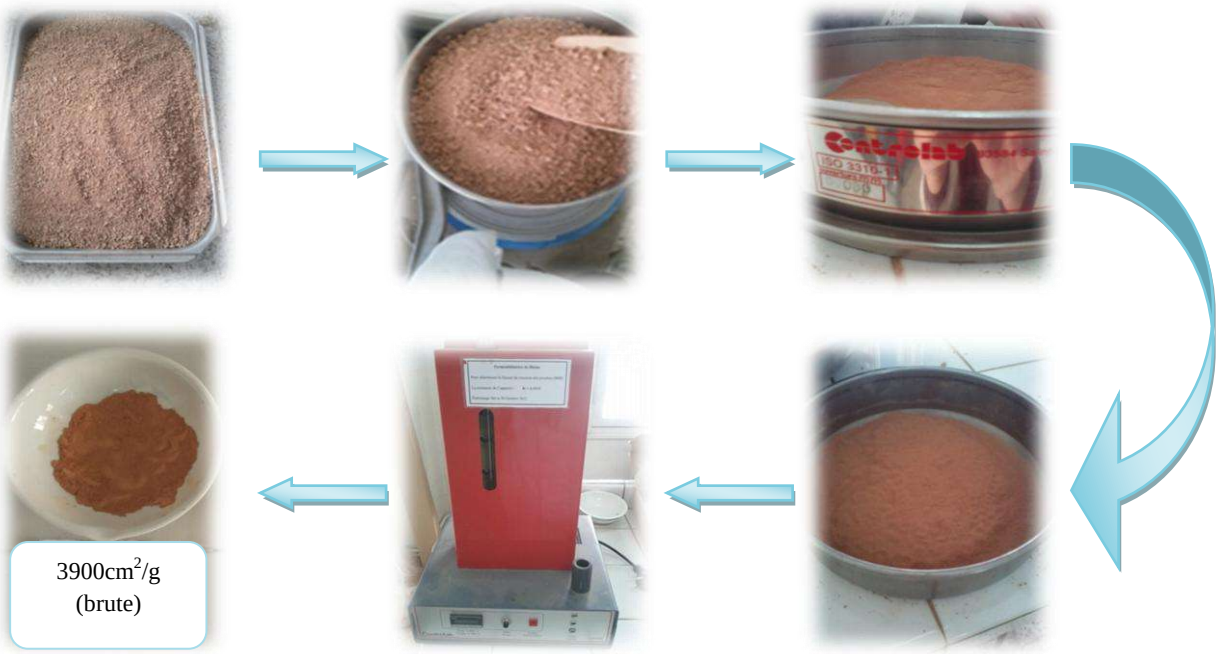


Figure II.5 : Protocole d'obtention de finesse de PBR



Figure II.6 : Protocole d'obtention des finesses de PBR

II.3.Formulation des mortiers

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux du gâchée, afin d'obtenir un mortier avec des propriétés souhaitées.

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des déchets de brique issues de deux différentes formes (PBR, SBR) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un mortier.

Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, eau et adjuvant, nous nous sommes basés sur la formulation japonaise (JSCE), en assurant un rapport S/M=0.45, un rapport E/C= 0.40 et un dosage de superplastifiant Sp/L=0.8% pour les familles MP_fX et Sp variable dans la famille de MSY pour assurer une ouvrabilité constant (290±2mm), les différentes compositions sont présentées dans le tableau II.5 **:**

PDF Page Organizer - Foxit Software

Tableau II.5 : les composantes des mortiers formulés a base des déchets de brique (v=1.6l)

	Substitution (%)	Ciment (kg)	Sable0/5 (kg)	Sable roulé (kg)	Eau (kg)	Sp		Déchets de brique (kg)
						(%)	(kg)	
MT	**0**	1.2270	0.8565	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0
MP_1	**5**	1.1650	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.0614
	10	1.1043	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1227
	15	1.0430	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1841
	20	0.9820	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.2460
MP_2	**5**	1.1650	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.0614
	10	1.1043	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1227
	15	1.0430	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1841
	20	0.9820	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.2460
MP_3	**5**	1.1650	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.0614
	10	1.1043	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1227
	15	1.0430	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.1841
	20	0.9820	1.1420	0.7620	0.5160	0.8	0.0098	0.2460
MSY	**25**	1.2270	0.8565	0.7620	0.5140	1.0	0.0123	0.2855
	50	1.2270	0.5710	0.7620	0.5100	1.4	0.0172	0.5710
	75	1.2270	0.2855	0.7620	0.5070	1.8	0.0221	0.8565

PDF Page Organizer - Foxit Software

II.4.Séquence de malaxage du mortier

Pour la confection du mortier, les proportions du mélange (ciment, sable, eau superplastifiant et agent de viscosité) ont été calculés selon une procédure donnée en <Annexe D> La séquence de malaxage décrite dans la figure I.8 suit les étapes suivantes **[102]** :

- Malaxer à sec le ciment et le sable afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 seconde (on a utilisé un malaxeur à mortier de capacité de 5 litres).
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 60% Eau).
- Ajouter pendant 1 minute le restant de l'eau de gâchage (w2 = 40% Eau) mélangé avec le superplastifiant .
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier. Pour assurer une meilleure incorporation, et d'après la séquence de malaxage de ce produit cité en fiche technique, l'ajout de brique qui est en poudre fines doit être mélangé avec les agrégats (ciment, sable) cette quantité a été prise d'un pourcentage massique du ciment et ajouté d'un seul coup. La même procédure pour les mélanges du mortier à base de sable recyclé.

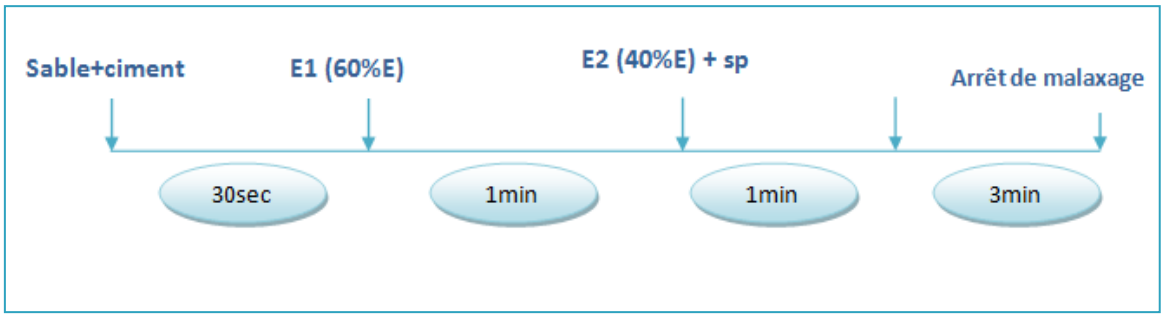


Figure II.7 : Séquence de malaxage du mortier autoplaçant

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figure II.8 : protocole de malaxage

II.5.Préparation et Conservation des Eprouvettes

La préparation des éprouvettes (40X40X160) mm du mortier autoplaçant est effectuée selon la norme EN196-1 **[103].**

II.6. Les essais sur les mortiers

II.6.1. Etat frais

Dans cette étude, deux essais ont été effectués pour valider le caractère des mortiers autoplaçant formulés selon les recommandations de l'AFGC.

a. Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure II.9 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône.

PDF Page Organizer - Foxit Software

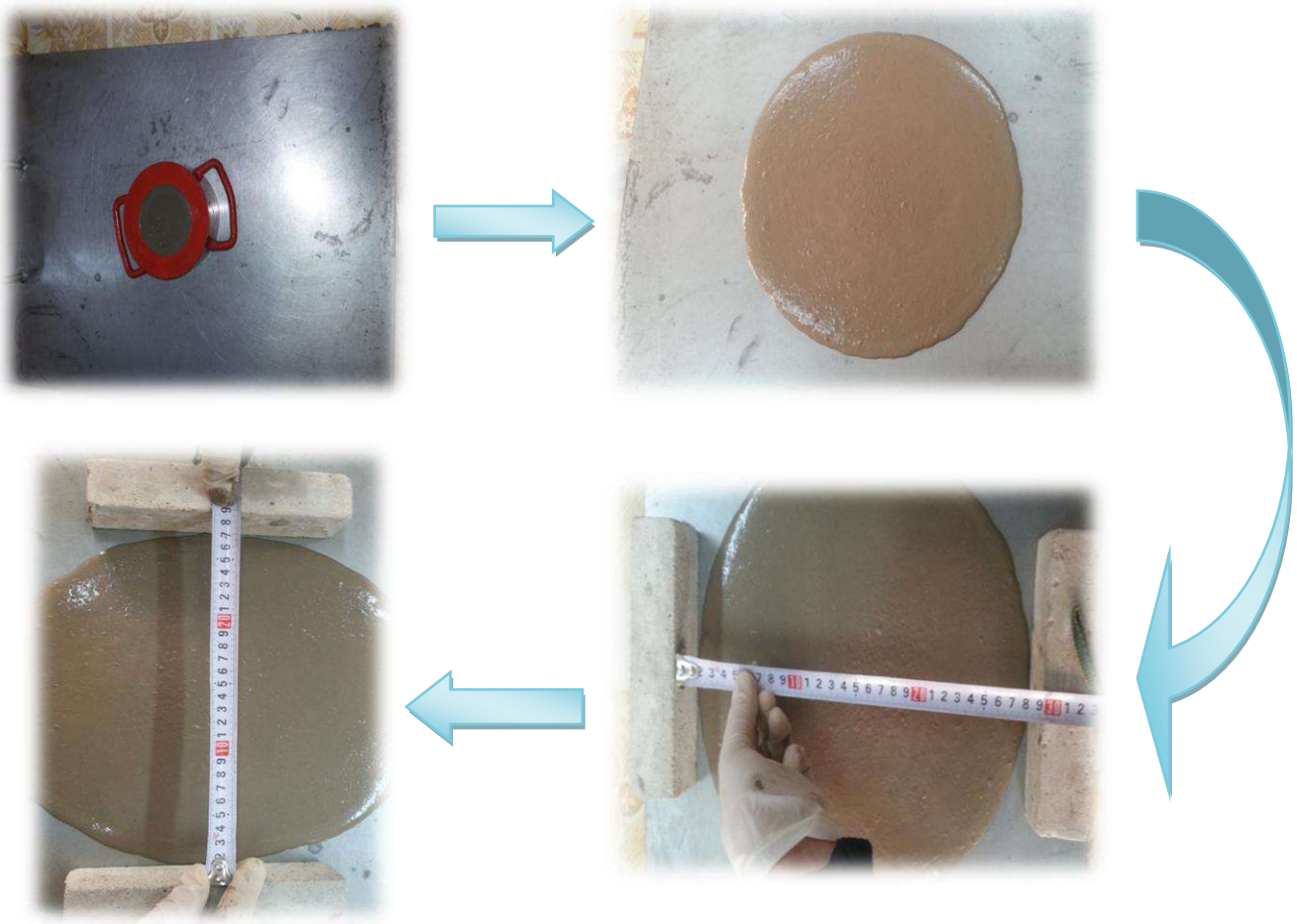


Figure II.9 : Protocole de l'essai d'étalement

b. Essai d'entonnoir en V (V-funnel)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui impose entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de mortier et le temps pour lequel le mortier prend pour couler à travers le dispositif est mesure. Ce temps mesure indique la fluidité et Caractérise la capacité du mortier à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif. La figure II.10montre les étapes de l'essai

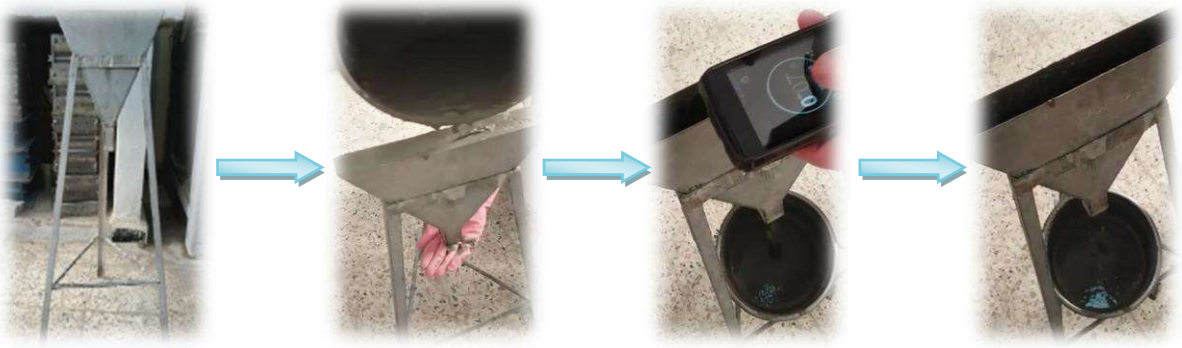


Figure II.10 : protocole de l'essai d'entonnoir (V- funnel)

PDF Page Organizer - Foxit Software

II.6.2.Etat durci

a. Résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[104]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure II.11), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L.

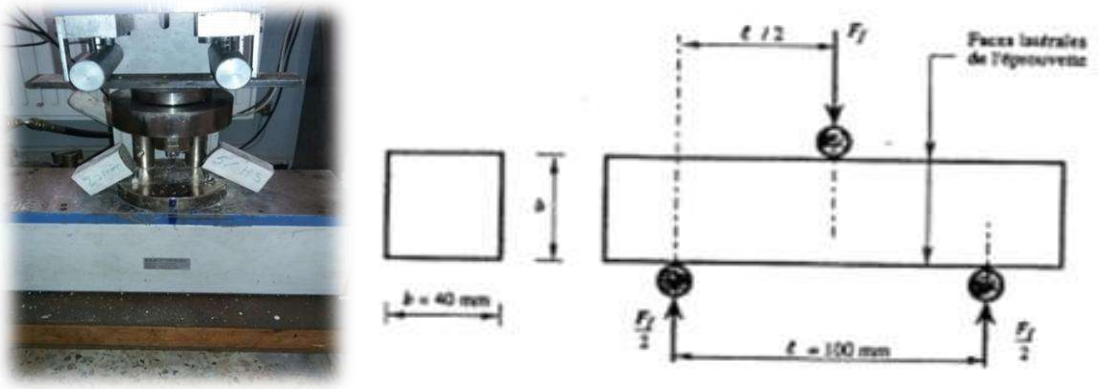


Figure II.11. Essai de traction par flexion sur mortier

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

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

Avec :

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

I : Moment d'inertie de la section transversale : $I = \frac{a^4}{12}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $v = \frac{a}{2}$

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

$$\sigma_t = \frac{1.5 F_f L}{a^3}$$

b. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] **[104]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques après rompre en flexion à l'âge de 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (Figure II.12). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (03) demi-prismes des trois éprouvettes.

PDF Page Organizer - Foxit Software

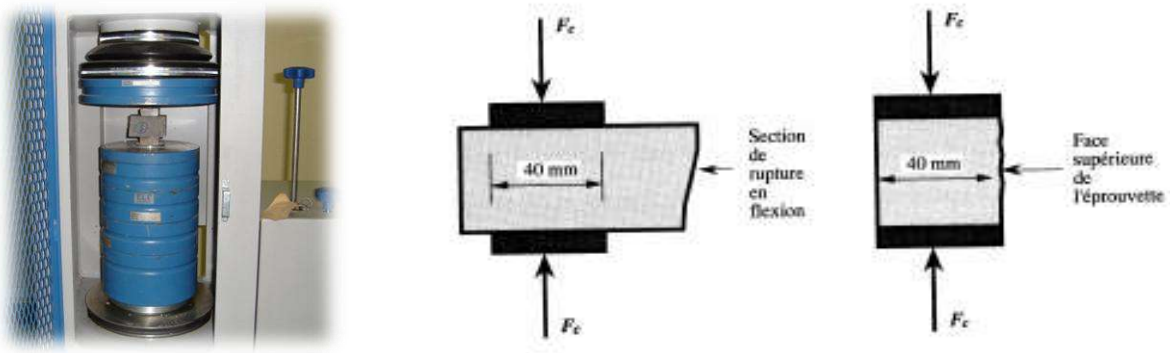


Figure II.12. Essai de compression sur mortier

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra : $\sigma_c = \frac{F_c}{a^2}$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$f_{c28}\,(\text{MPa}) = \frac{F_c\,(\text{N})}{1600}$$

c. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18**[105]**,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'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5 mm d'eau) (figure II.13)et pendant chaque intervalle de temps (15min,30min,1h,2h,4h,24h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse(m_1).Le différent de poids entre $m_1$et m_0 est le poids de l'eau absorbée(m_1- m_0).

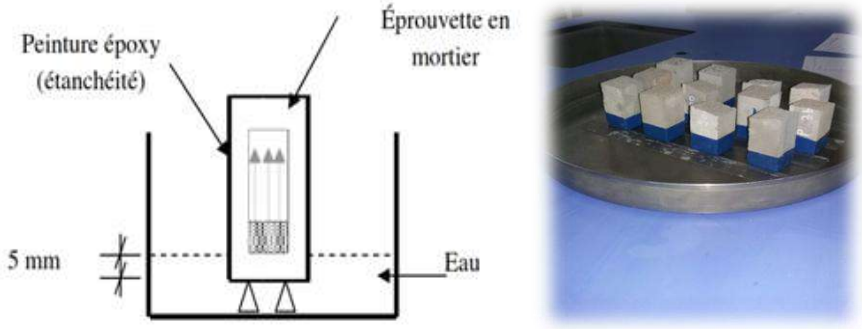


Figure II.13. Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier

PDF Page Organizer - Foxit Software

d. Retrait et Gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier autoplaçant se déforme instantanément. Ces déformations sont dus 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 **[106]**.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16cm) conformément à la norme [NFP18-404]**[107]**.Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24h, placées dans un réfractomètre (figure II.14) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court, moyenne et long terme(du 1, 2, 3, 7, 14, 28 et 56jours).



Figure II.14 : Réfractomètre et son étalonnage (variation dimensionnelle)

e. 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 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a 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 sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de160mm 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).

PDF Page Organizer - Foxit Software

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants :

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine.

$\mathbf{L_0}$: Longueur de base, prise égale à 160mm.

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

$$l = L + dl\ t \quad \text{Equation 2.3}$$

Soit l (t0) la longueur de l'éprouvette au temps t cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera :

$$\Delta l\ t = l\ t - l\ t_0 = dl\ t - dl\ t_0 \quad \text{Equation 2.4}$$

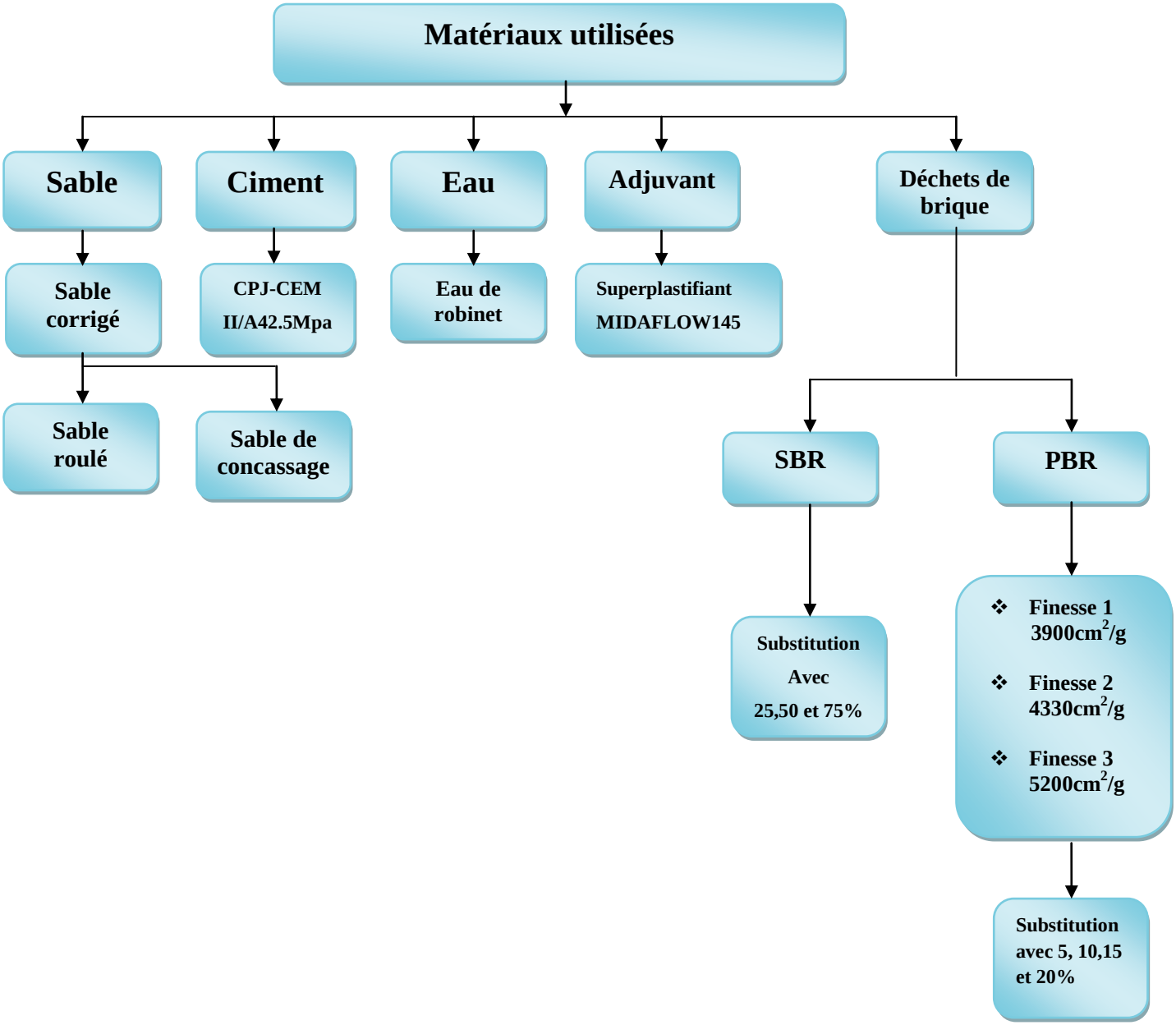
La variation relative de longueur est généralement désignée parε et a pour expression :

$$\varepsilon\ t = \frac{\Delta \mathrm{l(t)}}{\mathrm{L}} = \frac{dl\ t - dl(t_0)}{L} \quad \text{Equation 2.5}$$

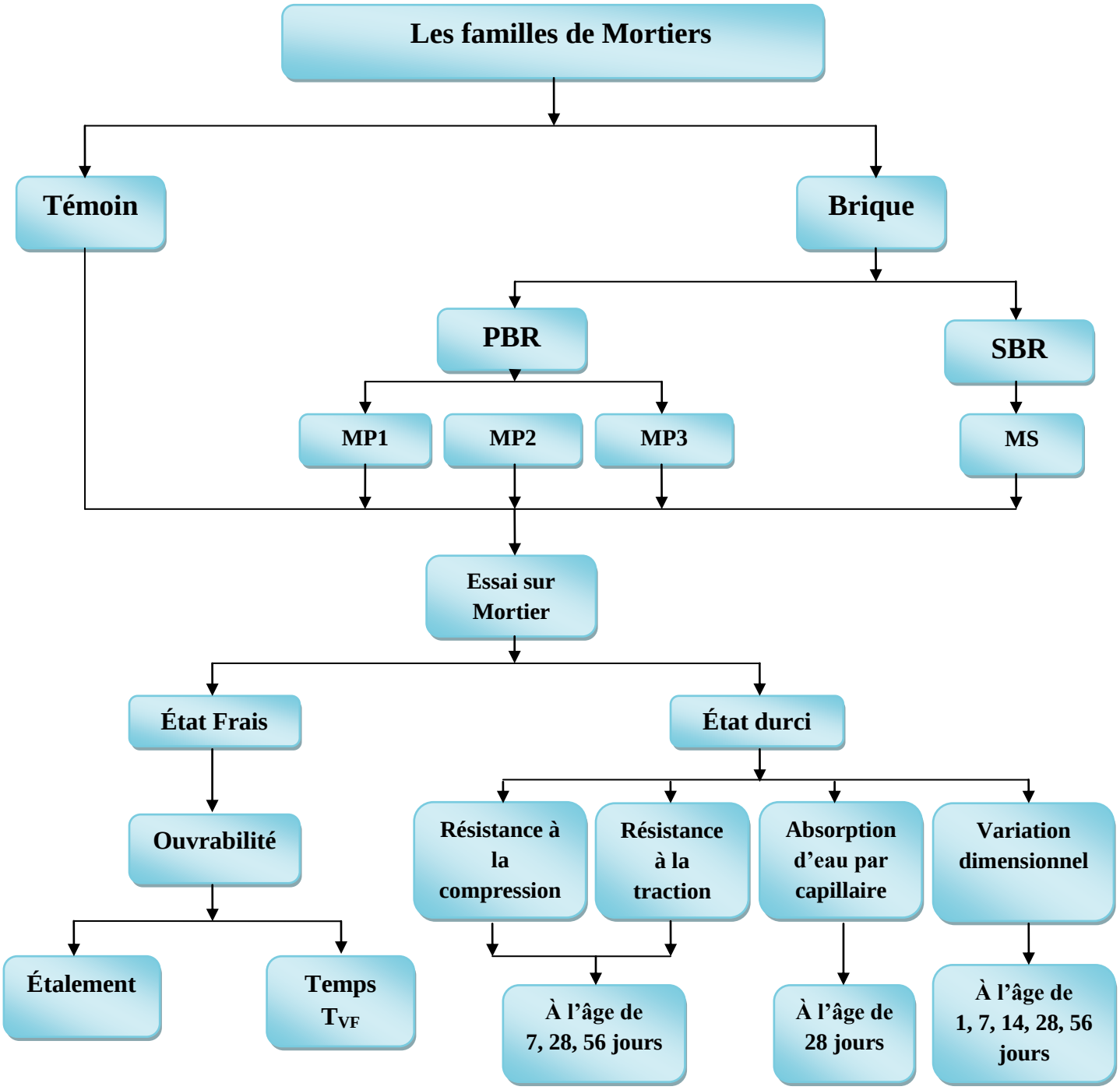
ΔL(t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air Δl(t) est généralement négatif et l'on parle alors du retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau ou à froid, Δl(t) peut être positif : il y a alors gonflement **[108,109].**

PDF Page Organizer - Foxit Software

II.7. Variables étudiées



PDF Page Organizer - Foxit Software



PDF Page Organizer - Foxit Software

II .8.CONCLUSION

Dans notre travail on a réalisés des essais importants pour déterminer les caractéristiques rhéologiques et mécaniques. Tout dans le but de connaitre l'effet de déchet de brique sur le Mortier Autoplaçant.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Chapitre III

Résultats et interprétation



PDF Page Organizer - Foxit Software

III.1. Introduction

L'objectif de l'étude expérimental est d'étudier l'effet de recyclage de déchet des travaux de construction (déchet de brique) dans la fabrication de mortier autoplaçant et sur les caractéristiques mécanique et rhéologique d'un mortier autoplaçant à base des matériaux locaux.

A cet effet, nous visons à tester les différents mortiers réalisés par l'essai d'ouvrabilité à l'état frais. Ainsi la caractérisation des différents mortiers à l'état durci à travers l'essai de traction par flexion, l'essai de compression, l'absorption d'eau, la variation dimensionnelle (retrait et gonflement) et la variation massique des éprouves d'essai en fonction de type du déchet, pourcentage de déchet et l'âge du mortier. Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont présentés et discutés ci-après.

III.2. Essais sur mortier à base de déchets

III.2.1 État frais

Pour obtenir un mortier autoplaçant à base des déchets de brique tout en assurant la fluidité, la capacité depassage recommandée par EFNARC **[120],** on a caractérisé les mortiers autoplaçant par l'essai d'étalement au mini-cône et le temps d'écoulement par mini V-funnel, les résultats sont la moyenne de trois mesures qui sont représentés dans le tableau III.1 :

PDF Page Organizer - Foxit Software

Tableau III.1 : Résultats d'essais à l'état frais de différentes familles de mortier

Finesse de PBR (cm^2/g)						
	MP1		MP2		MP3	
Teneur (%)	Etalement (mm)	Temps (s) V-Funnel	Etalement (mm)	Temps (s) V-Funnel	Etalement (mm)	Temps (s) V-Funnel
MT	290	3.35	290	3.35	290	3.35
5	286.5	3.6	287	3.53	287.5	3.45
10	285	3.9	285	3.79	286	3.68
15	283.5	4.25	284	4.14	284.5	3.96
20	280	4.8	281.5	4.544	282	4.31
SBR						
MS (25%)			MS (50%)		MS (75%)	
Etalement (mm)	Temps (s) V-funnel		Etalement (mm)	Temps (s) V-funnel	Etalement (mm)	Temps (s) V-funnel
290.5	5.025		289.5	5.565	289	6.231

A. Influence de la poudre de brique sur l'ouvrabilité

A.1. Étalement

Pour notre travail on a respecté un diamètre d'étalement situé entre 280 et 295mm pour toutes les familles de mortier autoplaçant recommandée par l'AFGC **[121],** Les résultats d'étalement sont présentés sur un histogramme (Figure III.1) qui permet de comparer les valeurs d'étalement entre eux.

PDF Page Organizer - Foxit Software

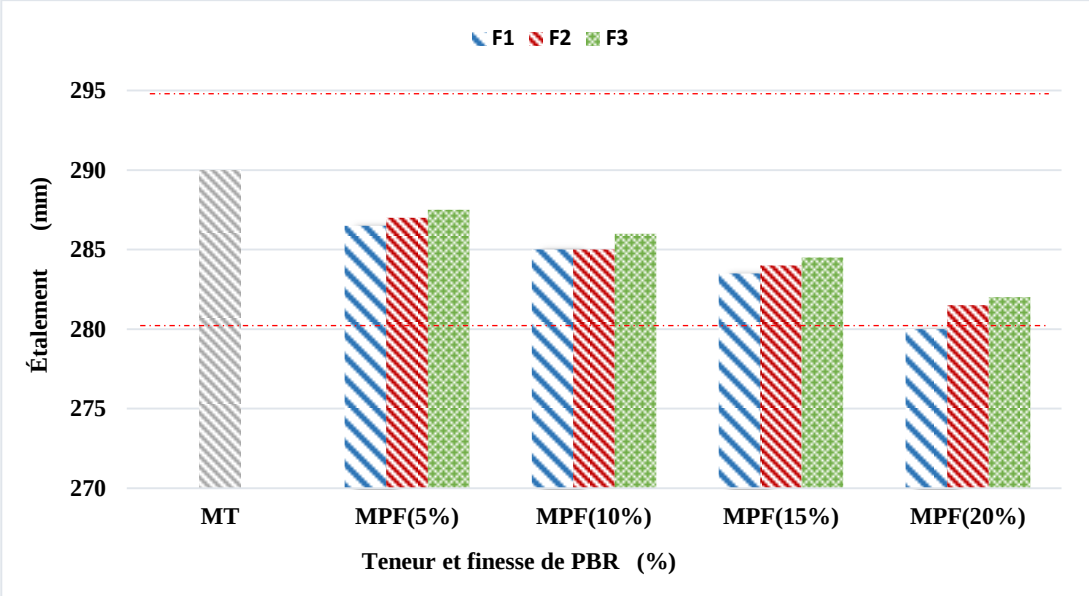


Figure III.1 : Étalement en fonction de teneur et finesse de PBR(%)

A travers les résultats illustrés dans la figure précédente, on a constaté que le diamètre d'étalement diminue en fonction de pourcentage d'ajout de PBR et l'augmentation de la finesse mène à une augmentation relative d'étalement. Pour la famille de MP_fX la plus grande valeur est celle de MP3 (5%) avec 287.5mm de diamètre et la plus petite est celle de MP1 (20%) avec 280 mm de diamètre tous en comparent avec la valeur de MT qu'est égale à 290mm.

D'après les résultats précédente on peut dire que la poudre de brique et la pouzzolane ont le même effet sur l'étalement, on confirme cette observation par les résultats obtenue parmi les chercheur, selon Siham **[122]** qui a remarqué que les valeurs d'étalement diminuent avec l'augmentation de la teneur en pouzzolane ; A titre d'exemple, pour une finesse de 3500 cm^2/g, les valeurs d'étalement des mortiers élaborés avec 15, 30 et 50 % de pouzzolane représentent respectivement 97,7 ; 93,8 et 92,9% de celui du mortier contrôle. Aussi la finesse de la pouzzolane influe légèrement sur l'ouvrabilité.

PDF Page Organizer - Foxit Software

A.2. Temps d'écoulement à travers le V-funnel

L'essai à l'Entonnoir en V (V-funnel test) a été également réalisé pour évaluer la fluidité et la stabilité du MAP, La Figure III.2 montre l'effet d'ajout de PBR sur le temps d'écoulement à travers l'entonnoir des mélanges.

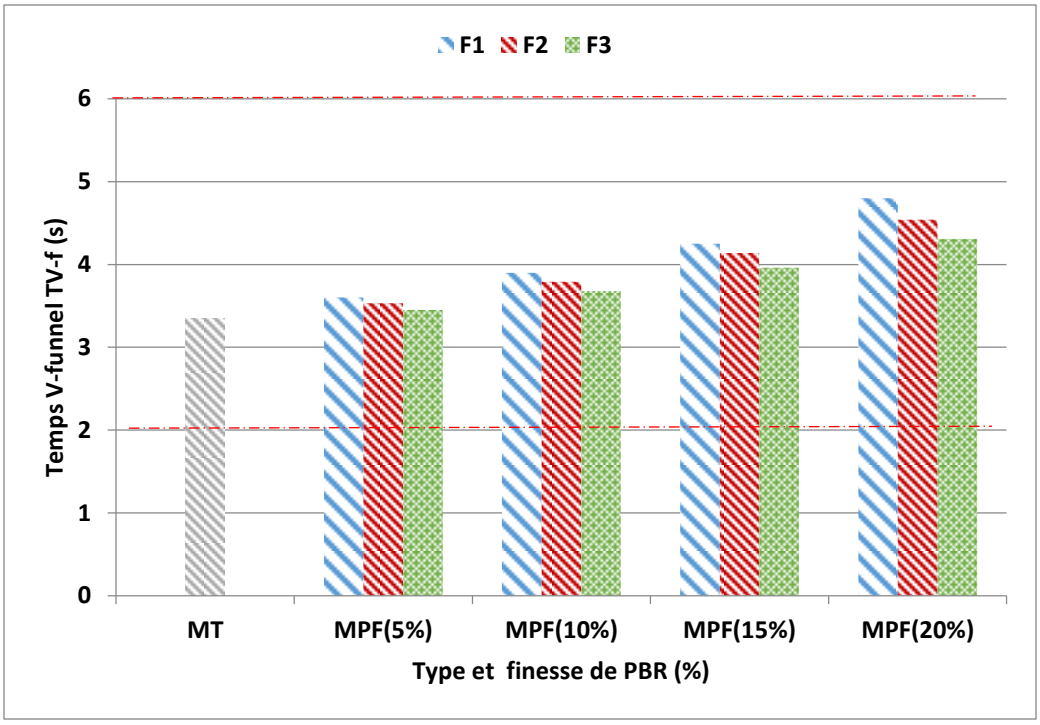


Figure III.2 : Le Temps d'écoulement en fonction de MP_fX

L'observation des résultats montre que le temps d'écoulement augmente avec l'augmentation du dosage d'ajout de PBR, on confirme ces résultats avec celle d'étalement. Par contre pour le temps du v-funnel, plus on augmente la finesse, plus le temps de passage à travers le v-funnel diminue, on signale que tous les valeurs enregistré sont supérieur à celle du mortier témoin (MT) on remarque que le meilleur temps de l'écoulement mesuré pour Les familles de MP_fX était 3.45 s pour le MP3 (5%), tandis que le MP1(20%) a eu le temps d'écoulement le plus haut de 4.8 s tous en comparent avec le MT.

D'après les résultats précédents on peut dire que le PBR et la pouzzolane ont le même effet sur le temps du V-funnel, Siham **[122]** a remarqué que le temps d'écoulement augmente proportionnellement aux taux de substitution.

PDF Page Organizer - Foxit Software

B.Effet du SBR sur l'ouvrabilité

B.1. Étalement

Pour faciliter la comparaison entre la famille de MS et MT il faut que les mélanges réalisés auront la même ouvrabilité (diamètre constante) .La figure III.3 représente la variation de dosage en superplastifaint pour avoir un étalement constant

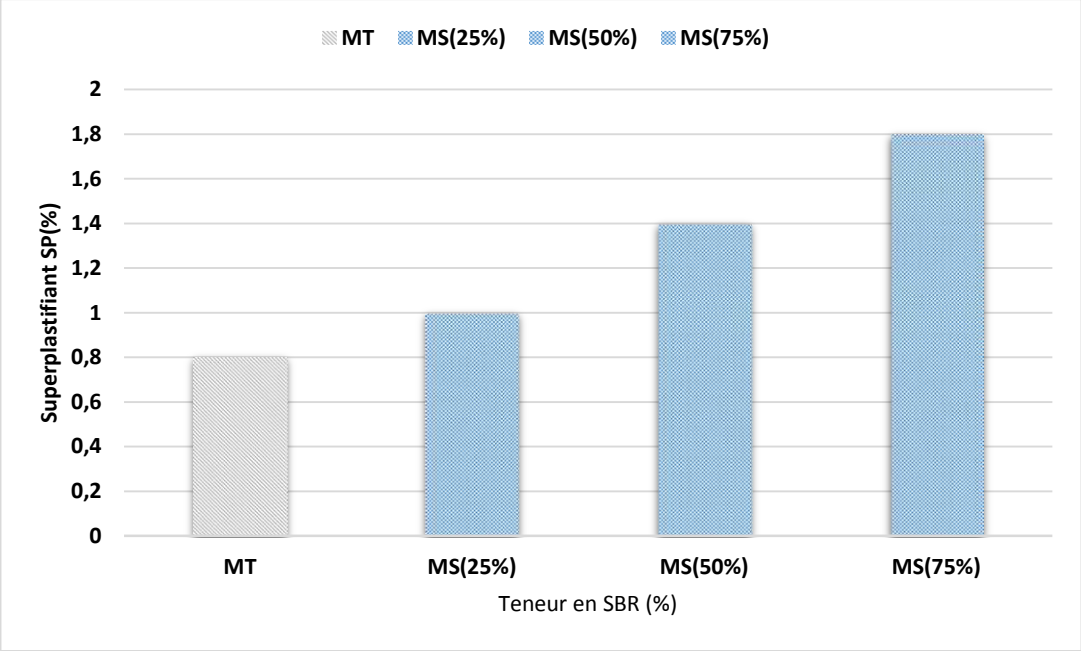


Figure III.3 : Dosage en superplastifiant en fonction de MSY

On constate que plus on augmente le pourcentage de substitution du SBR, plus le mélange devient plus ferme qui nécessite d'augmenter le pourcentage du superplastifiant à fin d'assuré une ouvrabilité relativement constante (290±2mm), cela du au taux d'absorption élève des granulats recyclé (environ 13%). Les résultats de l'étalement sont représentés dans la figure III.4, qui illustre cette ouvrabilité.

PDF Page Organizer - Foxit Software

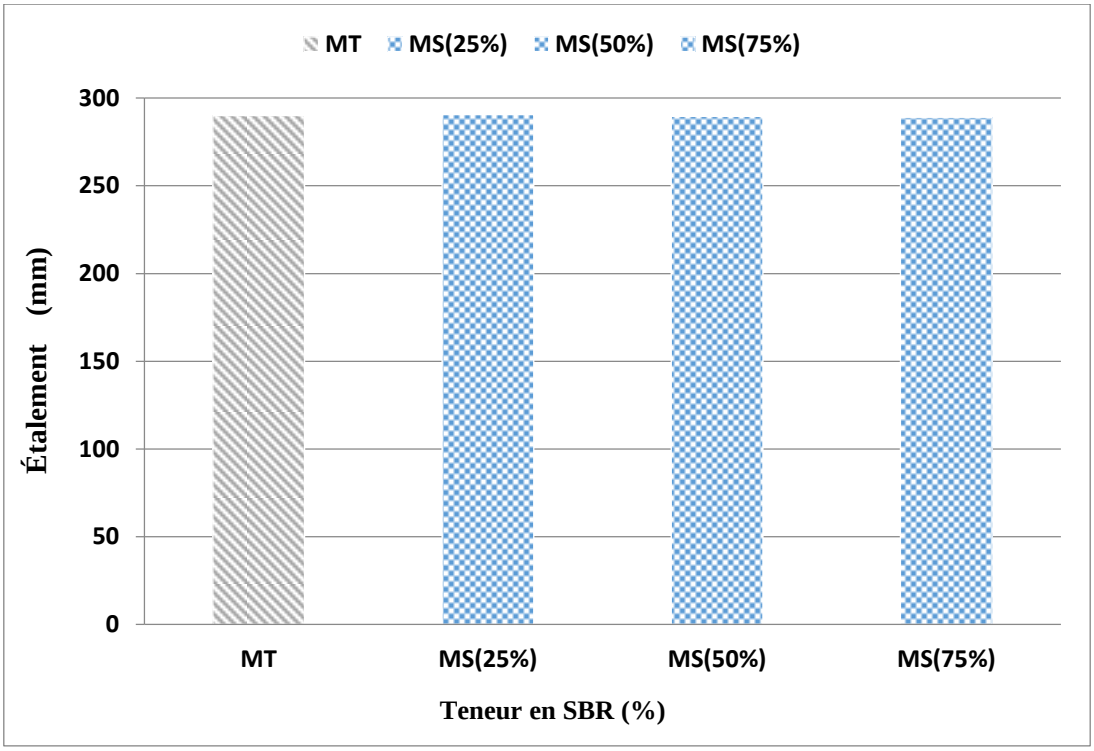


Figure III.4 :l'étalement de MSY

B.2.Temps d'écoulement à travers le V-funnel

La Figure III.5 représente l'effet d'ajout de SBR sur le temps d'écoulement. Nous remarquons que le temps d'écoulement augmente avec l'augmentation de la substitution en SBR., le meilleur temps de l'écoulement mesuré pour La famille de MSY était 5.025 s pour 25% de SBR, tandis que le mortier qui contient 75% de SBR a eu le temps d'écoulement le plus haut de 6.231s, tout en restant dans la marge recommandée par l'AFGC **[120]**

PDF Page Organizer - Foxit Software

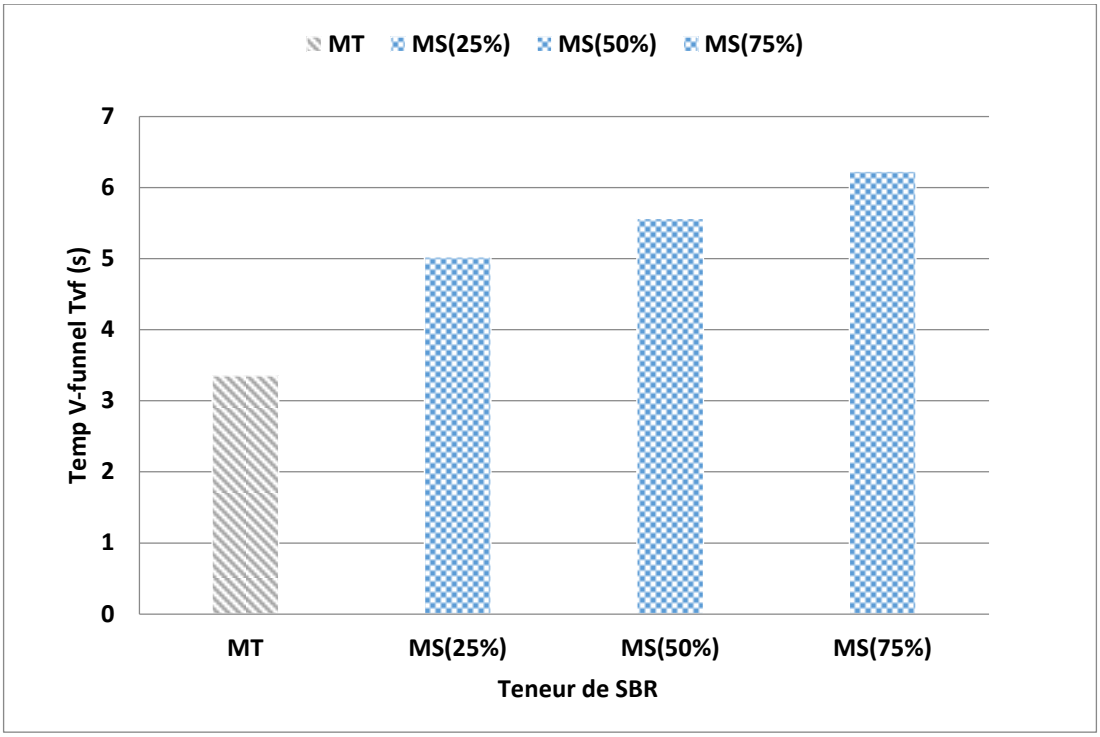


Figure III.5 : le temps d'écoulement de MSY

Pour tous les mortiers réalisés on a respecté un ordre d'écoulement de 2 à 10 s, comme il est mentionné dans AFGC **[111].** Donc les valeurs obtenues à travers cet essai sont acceptable pour tous les mélanges.

D'après les essais sur les différentes familles de mortier à base de brique à l'état frais, on remarque que les déchets de brique influent négativement sur l'ouvrabilité du MAP, Cette diminution en ouvrabilité est semblée être due au taux d'absorption élevé de PBR, ce qui confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheures **[85, 112]**

D'après ces résultats on confirme qu'à l'état frais le PBR a la même influence que la pouzzolane. Naturelle de Béni-saf. Les propriétés des pâtes de ciments à l'état frais ont été étudiées par AICHOUBE et al. **[113].** Il a été montré que la substitution du ciment par la pouzzolane de 10% à 30% engendre une augmentation de la consistance normale (diminution de l'ouvrabilité).EZZIANE et al. **[114]** ont montré que l'addition de la pouzzolane naturelle en grandes quantités engendre une accélération de la prise de la pâte de ciment générée par une importante consommation d'eau par l'hydratation.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Pour SBR on obtient la même remarque sur l'ouvrabilité à cause de taux d'absorption élevé et plus la forme irrégulière de ses grains. On confirme ces résultats par plusieurs chercheures parmi eux **[84, 88, 89,90]**

III.2.2.État durci

III.2.2.1.Influence de la poudre de brique recyclé

A. Résistances mécanique

Pour les différentes familles de mortier autoplaçant, les mesures ont été réalisées sur trois éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm^3, la moyenne des trois valeurs est retenue. Les résultats de l'essai de résistance effectué sur les différents mortiers autoplaçant à base de poudre de brique aux échéances 7, 28 et 56 jours sont présentés dans cette partie.

A.1.Résistance à la compression

Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la compression des différents mortiers avec l'âge et fonction du taux de substitution de PBR, et permettre la comparaison avec les MT, les résultats sont présentés dans les figures III.6 III.7, III.8

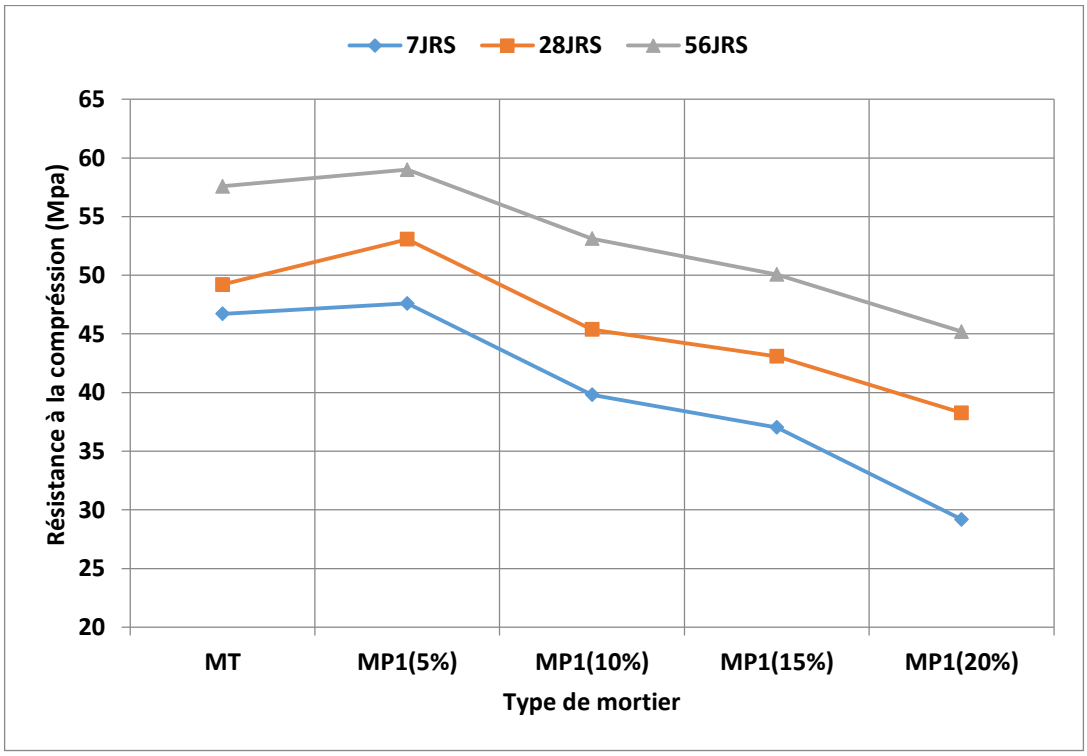


Figure III.6. La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F1=3900cm^2 /g

PDF Page Organizer - Foxit Software

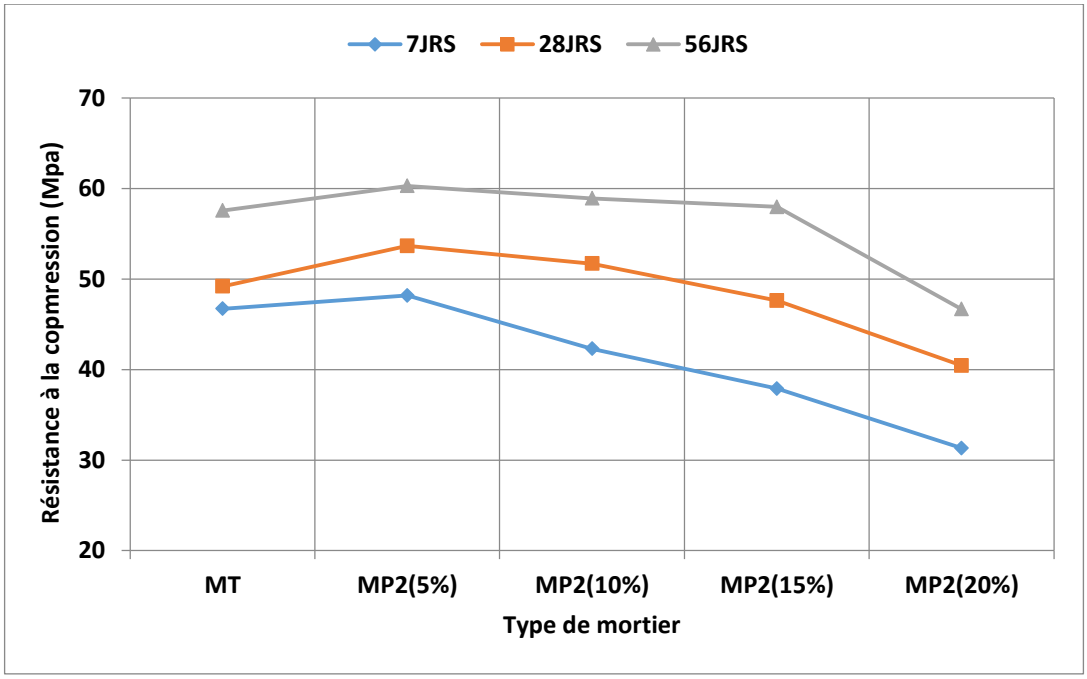


Figure III.7 : La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F2=4300 cm^2 /g

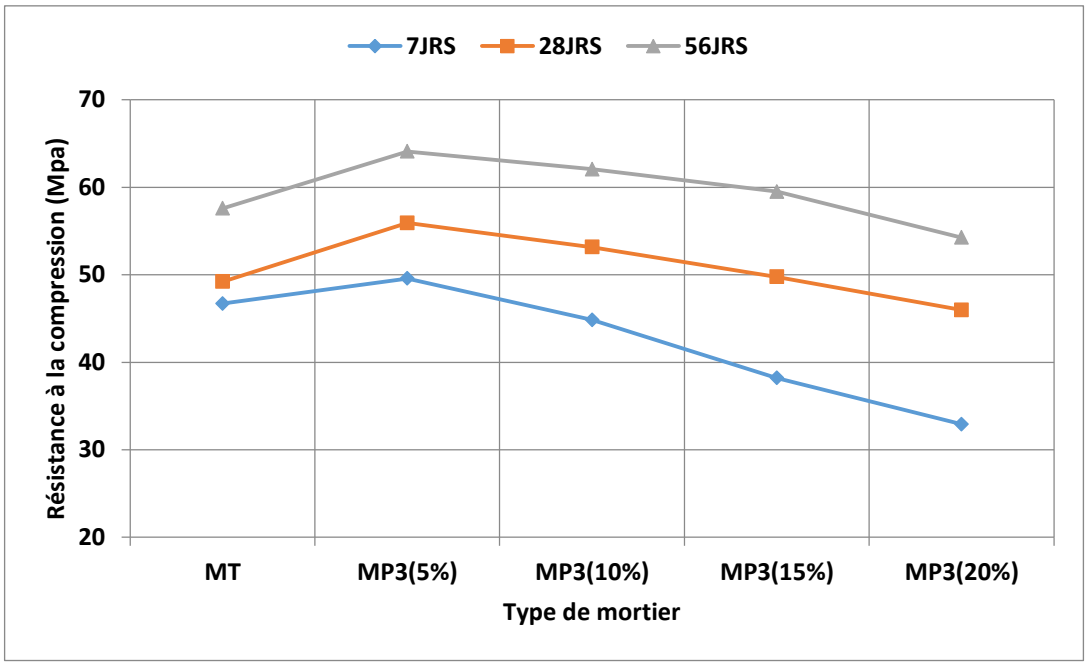


Figure III.8 La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F3=5200g/cm^2

PDF Page Organizer - Foxit Software

La figure III.6 montre la variation de la résistance à la compression des mortiers à base de poudre de brique PBR de 3900g/cm^2 comme surface spécifique (SSB) ; on peut constater que l'évolution de la résistance suit la même cinétique ; pour les différents âges on enregistre un optimum de résistance pour le mélange qui contient 5% de substitution qui donne une amélioration de la résistance de 2% à court terme et environ 4% à long terme, au-delà de cette valeur on constate une diminution environ 25% à court terme et 14% à long terme. On peut dire à partir de ces résultats que le déchet de brique de cette finesse a une faible réaction pozzolanique.

Le même constat a été enregistré pour les mélanges à base de 4300g/cm^{2,} sauf qu'à long terme la résistance a été plus meilleure que le mortier témoin par les dosages de 5,10 et 15%. À cette étape on peut dire que la réaction pozzolanique est améliorée en fonction de l'augmentation de la surface spécifique. Nous avons obtenues des améliorations de la résistance de l'ordre de 7%

Concernent la troisième finesse la même cinétique a été enregistré ; tout en obtenu des améliorations de l'ordre de 13% à long terme cela confirme que plus on augmente la finesse plus la résistance augmente, cette augmentation est due probablement à l'augmentation de la réaction pozzolanique et l'amélioration de la compacité en fonction de l'amélioration de SSB.

Ces résultats sont comparable à ceux d'autre chercheurs qui ont travaillées sur les différentes 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. **[115]** dans leur étude ont trouvé que la résistance en compression diminue considérablement avec l'augmentation du pourcentage de la pouzzolane naturelle de Béni-saf à jeune et à moyen terme (2, 7 et 28 jours). Il y'a aussi TARGAN et al. **[116]** qui ont trouvé une diminution de 11% de la résistance à la compression à l'échéance de 90 jours, D'autre part, MANSOUR **[117]** a montré qu'un taux de substitution de 30% de pouzzolane engendre une diminution de 15% de la résistance à la compression des bétons à long terme (90 jours). Il semble que la poudre de brique cuite joue le même rôle que la pouzzolane

La figure III.9 représente l'effet de la finesse sur la résistance à la compression.

PDF Page Organizer - Foxit Software

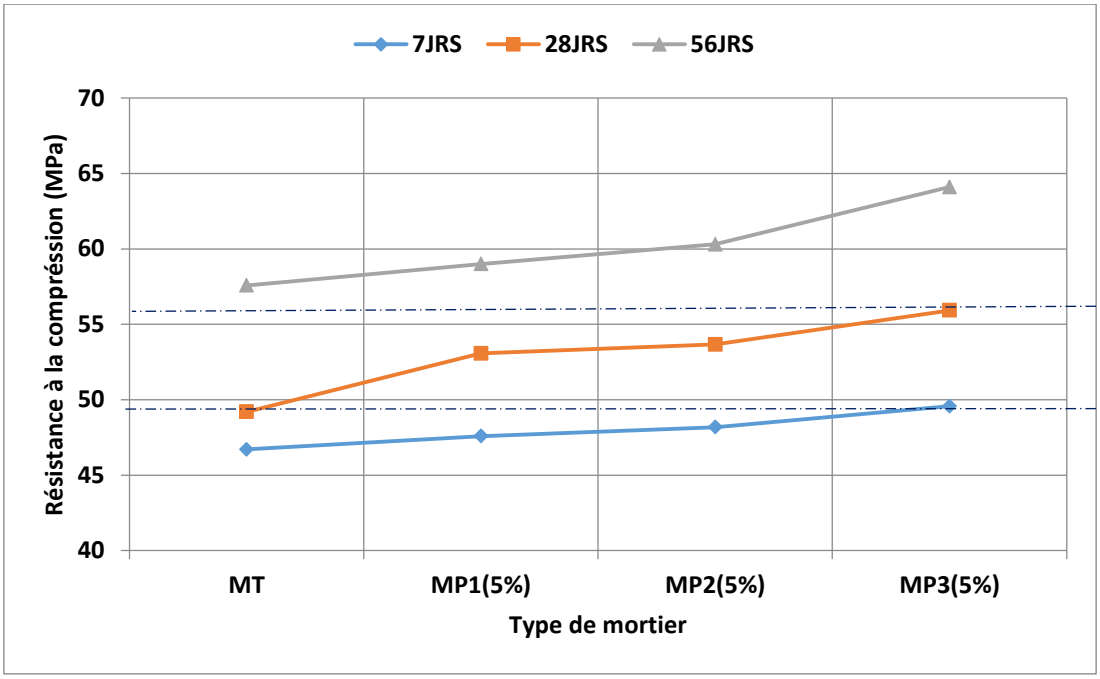


Figure III.9 : La variation de résistance à la compression en fonction de la finesse de poudre de brique de 5%

A partir de la figure III.9 on remarque que la résistance augmente en fonction de l'augmentation de finesse et présente la même cinétique au cours du temps. Sur la base, plus on augmente en finesse en gagne en résistance à la compression.

A.2 Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence Ciment-Granulats. Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers autoplaçant avec l'âge et fonction du taux de substitution de PBR, et permettre la comparaison avec les MT, les résultats sont présentés dans les figures III.10. III.11, III.12

PDF Page Organizer - Foxit Software

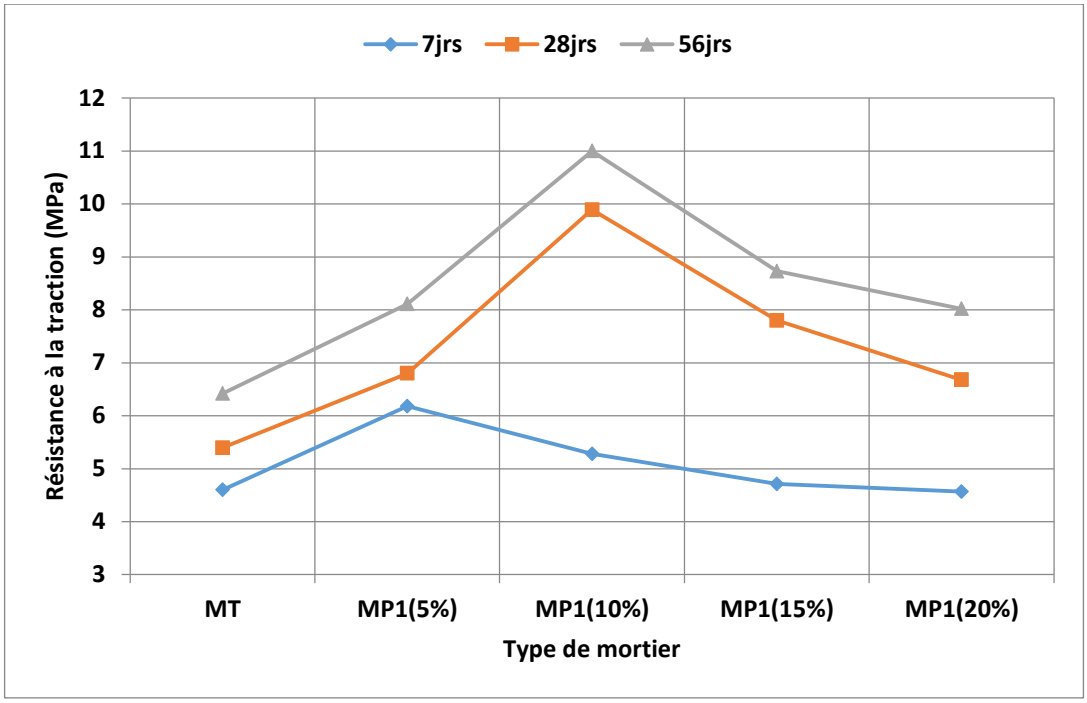


Figure III.10 La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F1=3900cm^2 /g

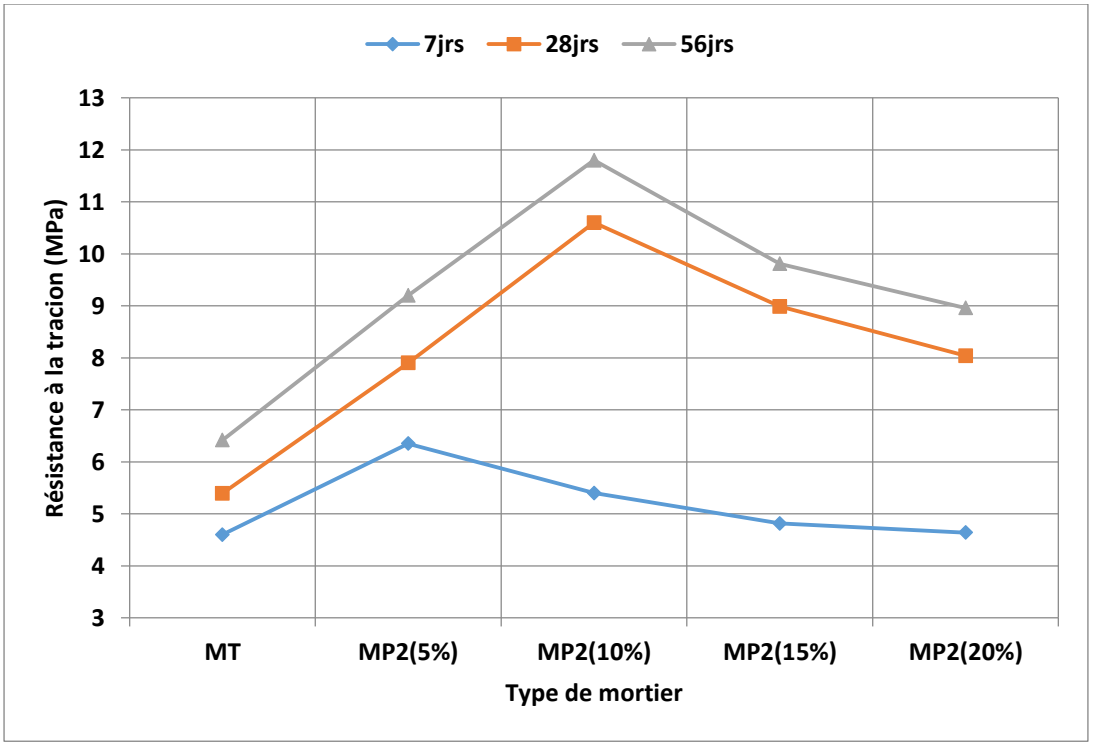


Figure III.11 La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F2=4300 cm^2 /g

PDF Page Organizer - Foxit Software

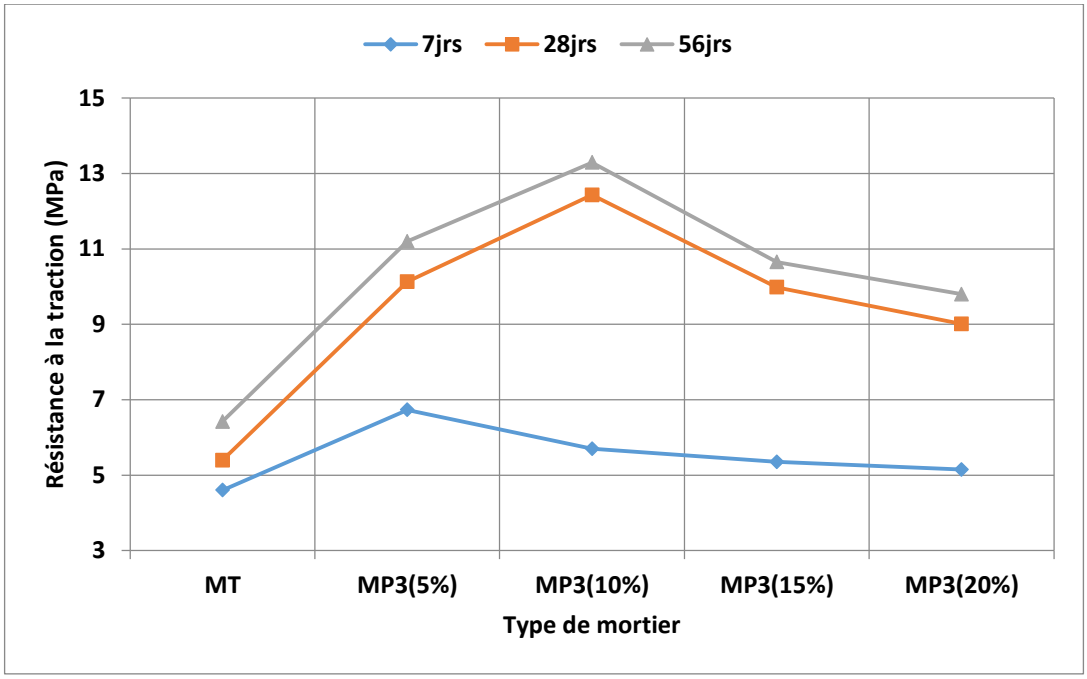


Figure III.12 La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de brique F3=5200 cm^2 /g

La figure III.10 montre la variation de la résistance à la traction des mortiers à base de poudre de brique (PBR) de 3900g/cm^2 comme surface spécifique (SSB) ; on peut constater que à court terme on enregistre un optimum de résistance pour le mélange qui contient 5% de substitution qui donne une amélioration de la résistance de 34% suit un diminution. À court terme et à long terme on a enregistré un optimum pour des substitutions de 10% ou la résistance a été développée de 72%, d'après ces résultats on peut dire que le PBR développe une réaction pouzzolanique après les 28 jours. Ou de la des 10% on a constaté une regresson de la résistance.

Le même constat a été enregistré pour les mélanges à base de 4300g/$cm^{2,}$ sauf qu'à long terme la résistance a été meilleure que le mortier à base de 3900g/cm^2, à cette étape on peut dire que la réaction pouzzolanique est améliorée en fonction de l'augmentation de la surface spécifique. Nous avons obtenues des améliorations de la résistance de l'ordre de 84%.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Concernent la troisième finesse la même observation a été enregistré ; tout en obtenu des améliorations de l'ordre de 107% à long terme cela confirme que plus on augmente la finesse plus la résistance augmente aussi.

Les figures III.13, III.14 représente l'effet de la finesse sur la résistance à la traction.

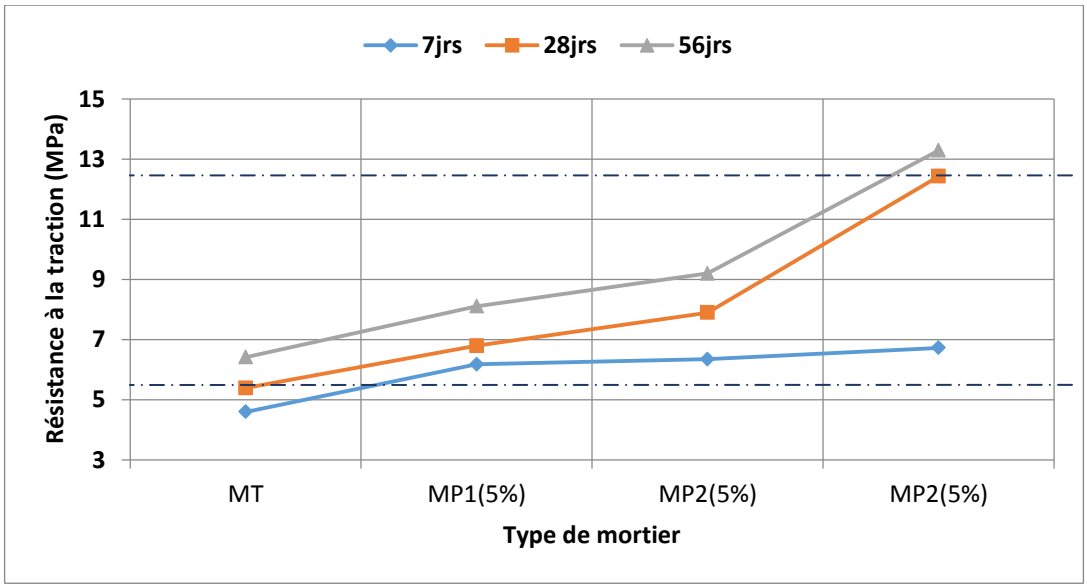


Figure III.13 Variation de résistance à la traction en fonction de la finesse de poudre de brique de 5%

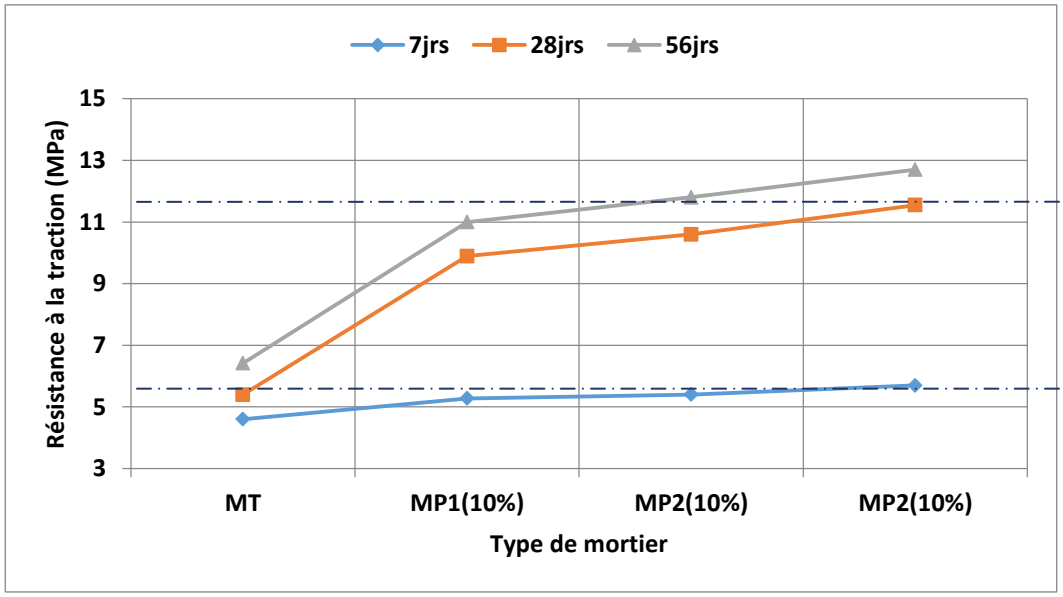


Figure III.14 Variation de résistance à la traction en fonction de la finesse de poudre de brique de 10%

PDF Page Organizer - Foxit Software

On constate d'après la figure III.14 une augmentation de la résistance à la traction en fonction de l'augmentation en finesse de la poudre de brique recyclée quantifiée par 83% ,96% et 114% respectivement pour les finesses F1, F2 et F3.

B. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers réalisés sont résumés dans Les figure III.15, III.16, III.17.

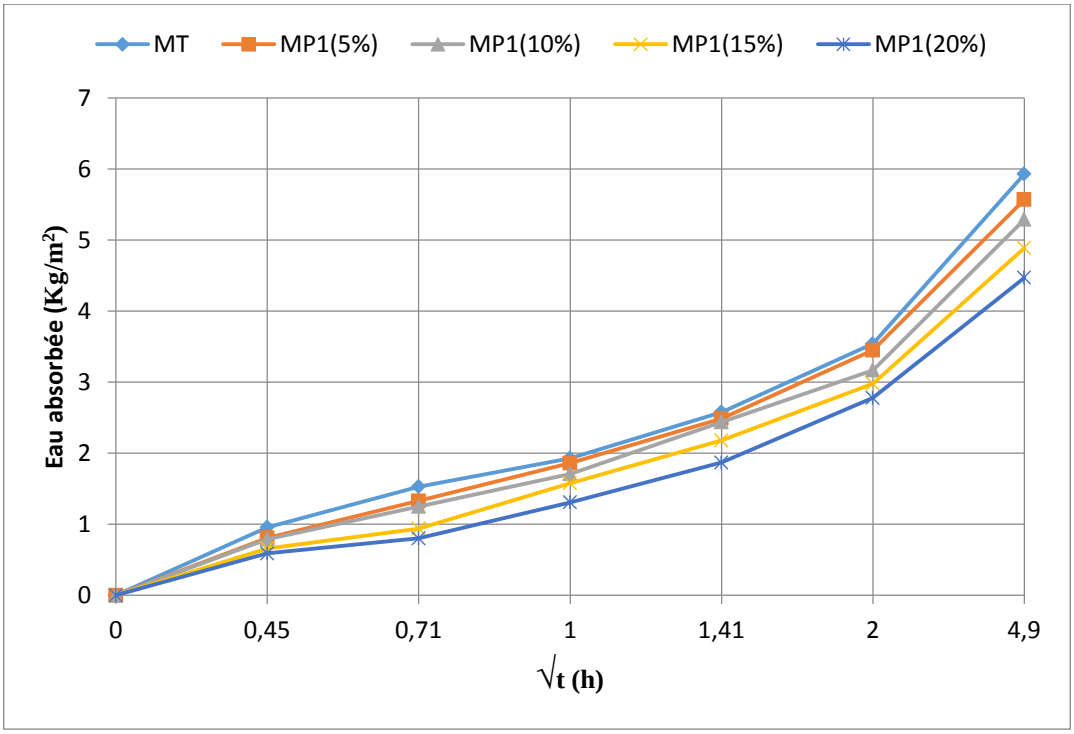


Figure III.15 :L'absorption d'eau en fonction du temps du MP1

PDF Page Organizer - Foxit Software

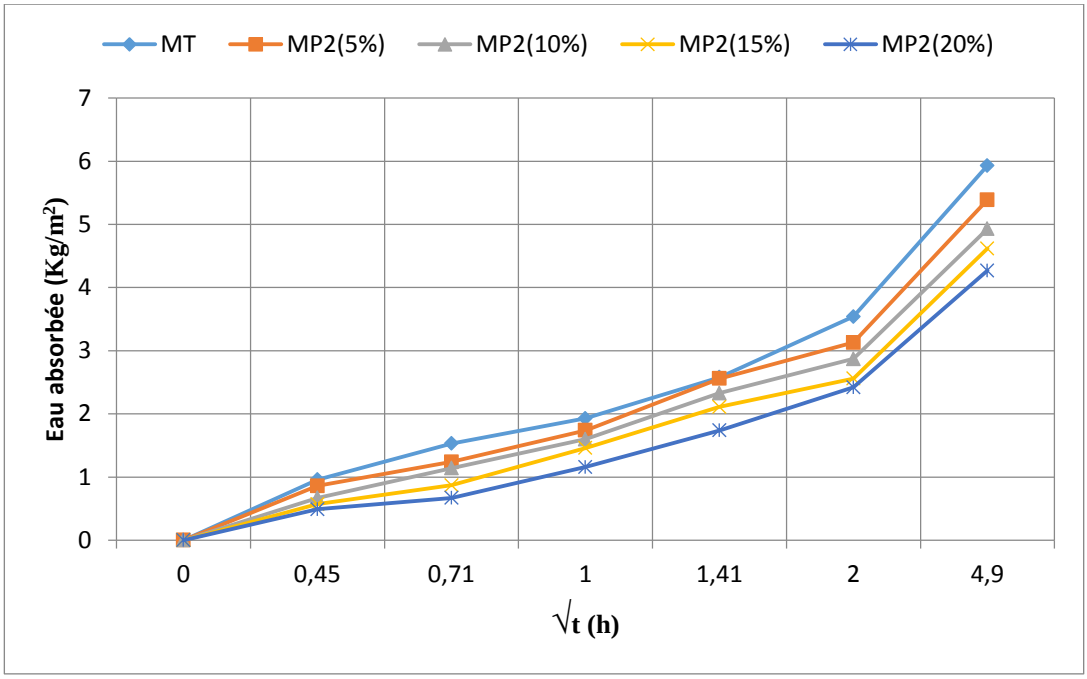


Figure III.16 :L'absorption d'eau en fonction du temps du MP2

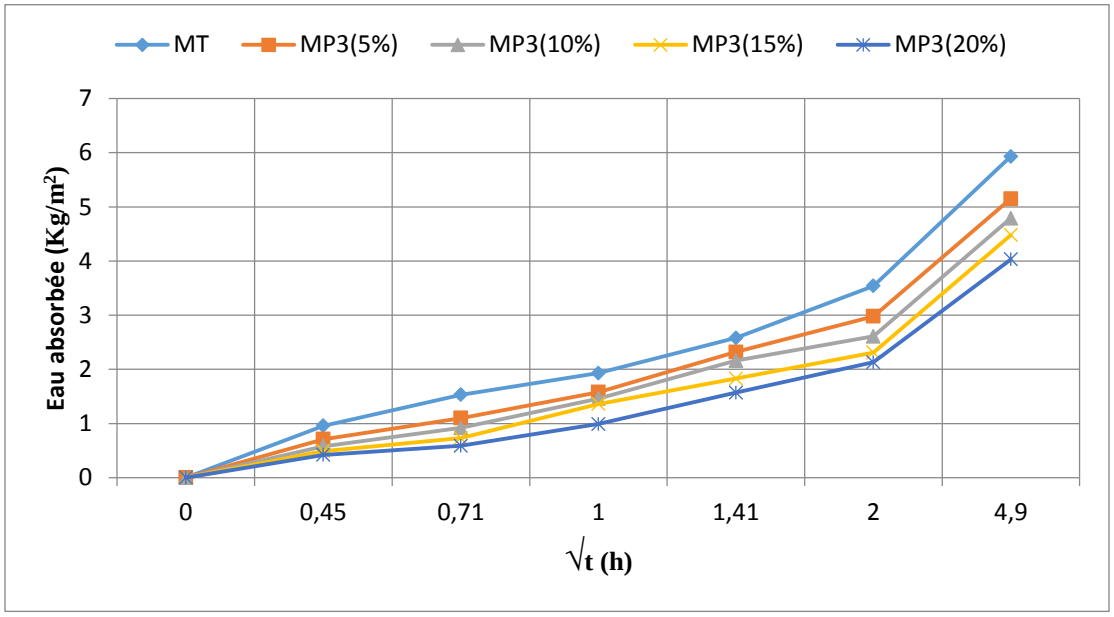
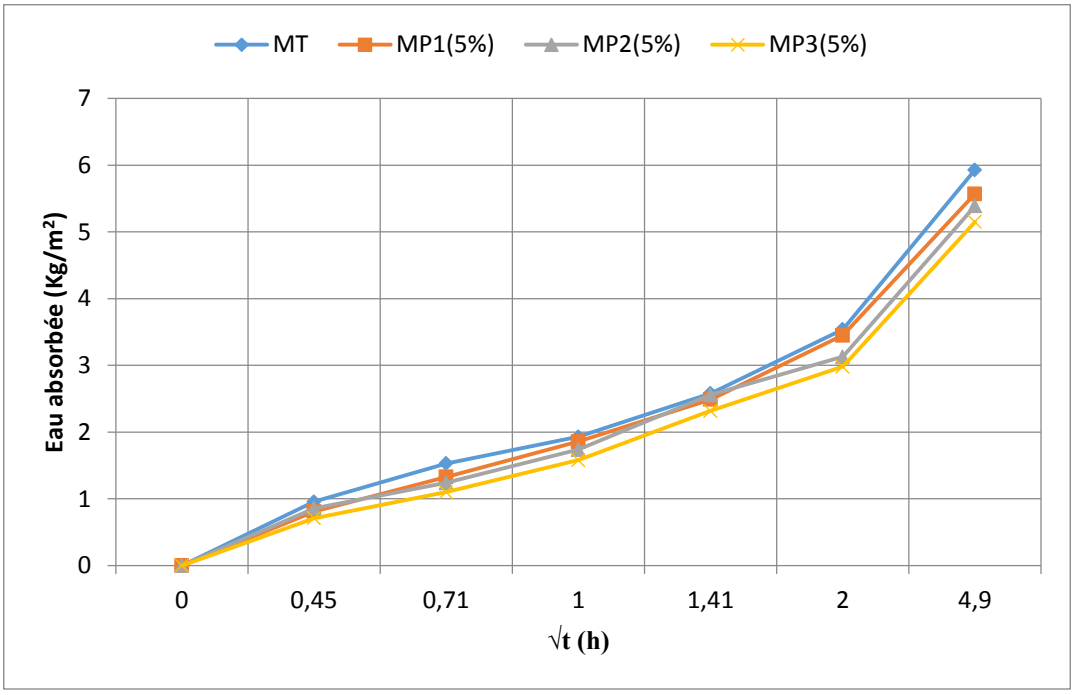


Figure III.17 : L'absorption d'eau en fonction du temps du MP3

PDF Page Organizer - Foxit Software

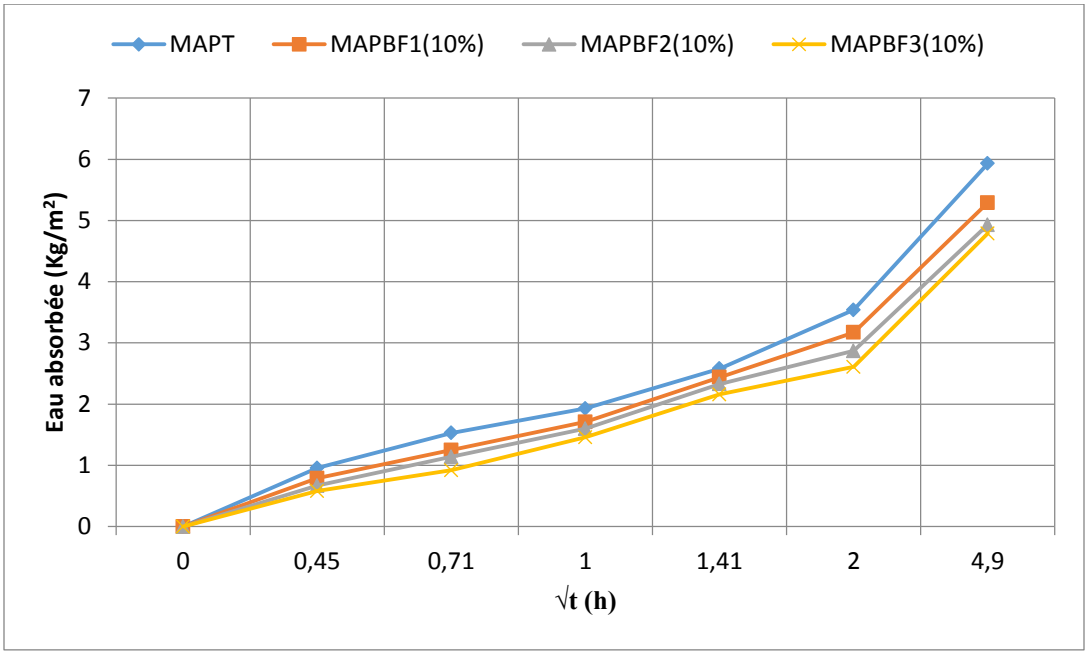
D'après les figures III.15, III16, III17 on constate que plus on augmente la substitution en PBR, plus la sorption est diminué ; cela peut exprimer l'effet des PBR sur la compacité, car le PBR a une réaction pouzzolanique qui permettra l'amélioration de la compacité de ces mortiers

Les figures III.18, III.19, III.20 et III.21 représente l'effet de la finesse sur l'absorption d'eau par capillarité**.**

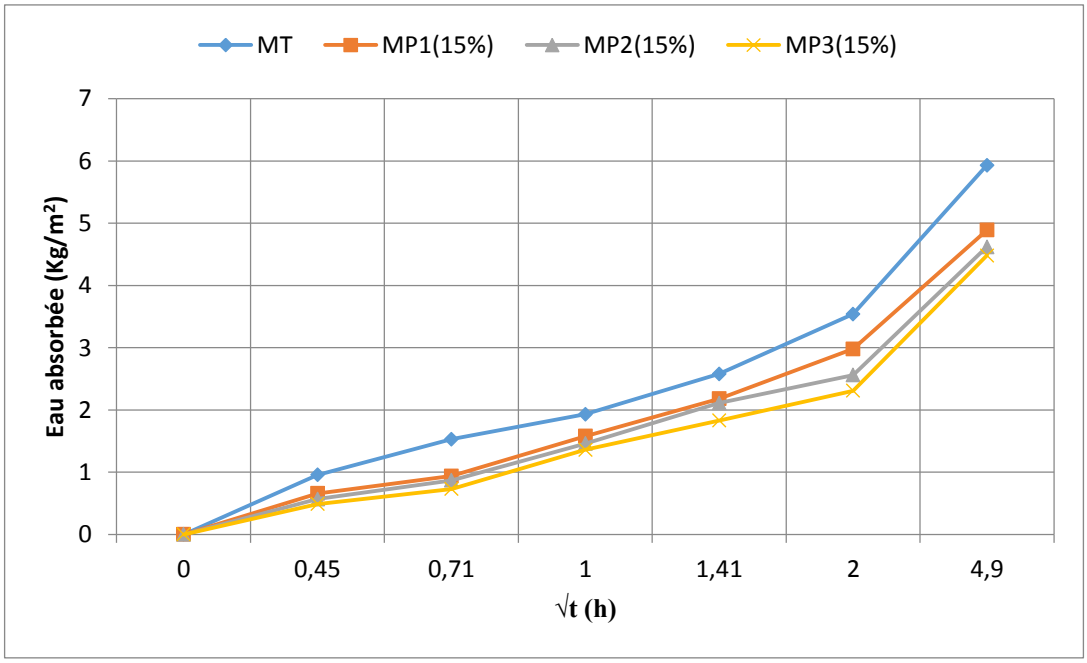


Figures III.18 : L'absorption d'eau en fonction du temps du 5% des familles MPF

PDF Page Organizer - Foxit Software

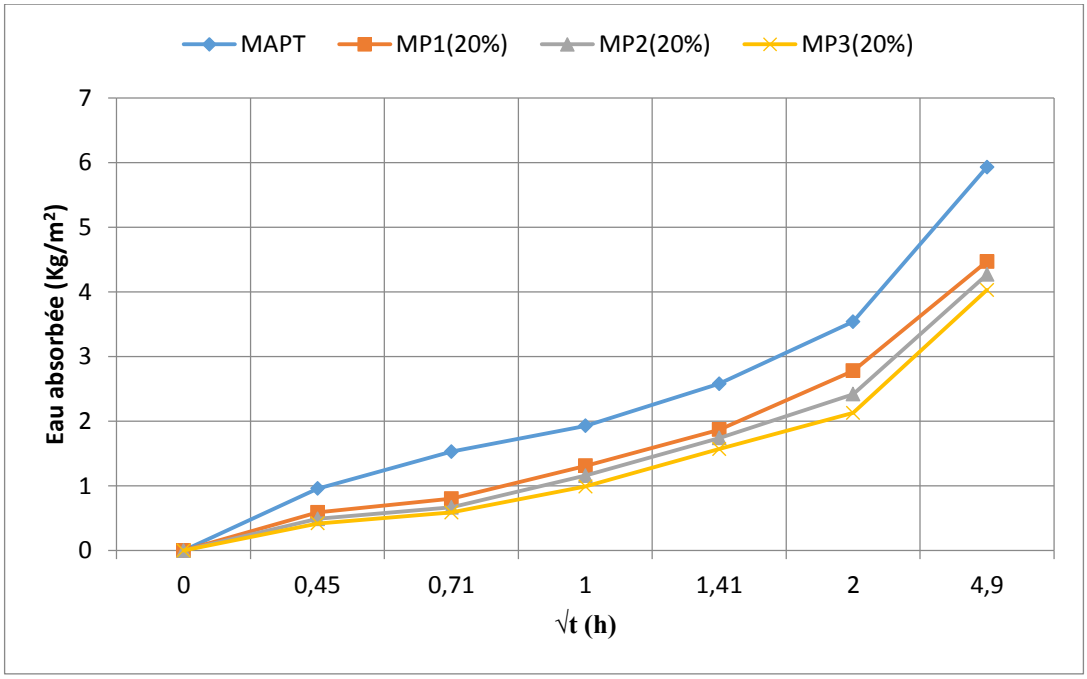


Figures III.19 : L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 10% des familles MPF



Figures III.20 :L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 15% des familles MPF

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figures III.21 : L'absorption d'eau en fonction de racine du temps du 20% des familles MPF

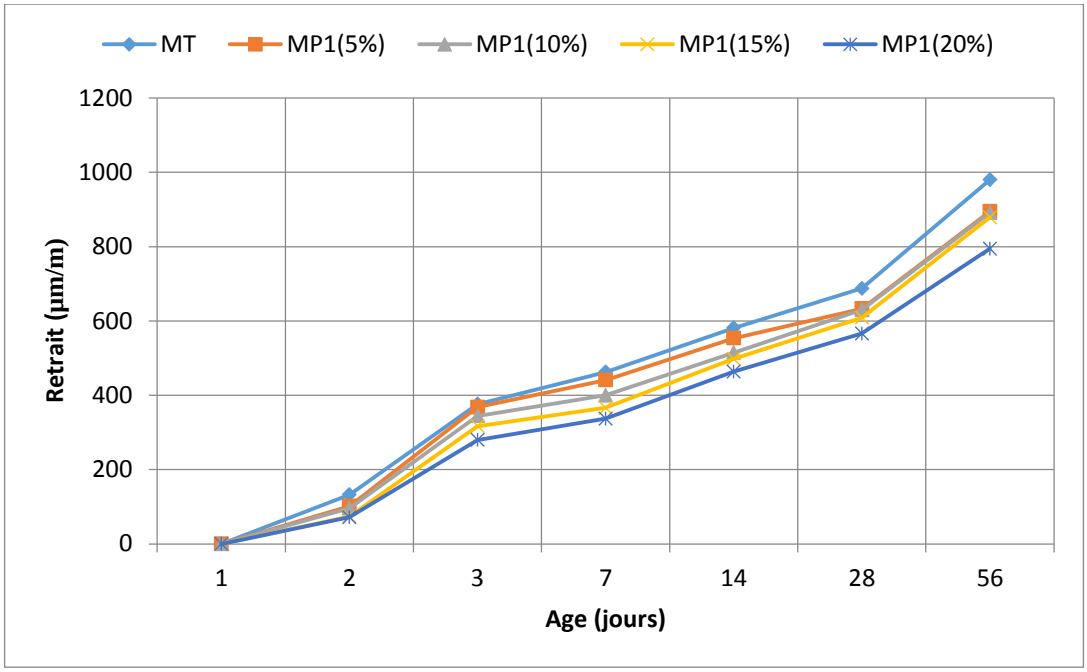
A partir de ces résultats on peut dire que plus la valeur de surface spécifique de PBR augmente plus la sorption est diminué.

C. Retrait et le gonflement

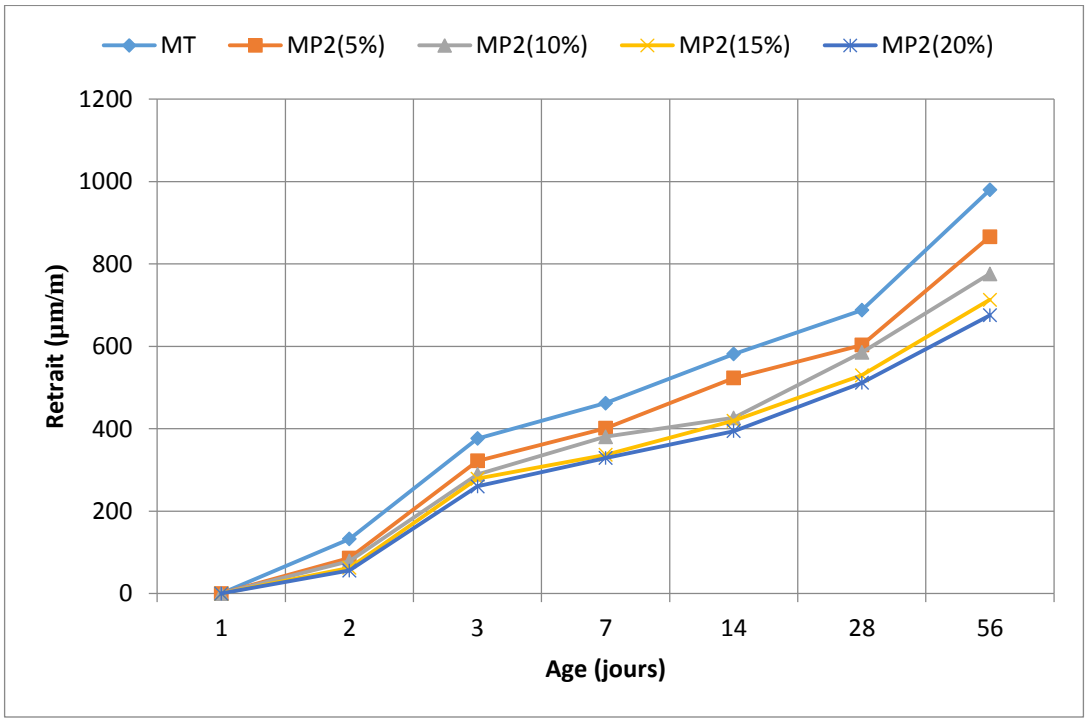
C.1.Retrait

Les figures III.22, III.23 et III.24 illustrent l'évolution moyenne du retrait en fonction du temps des mortier de SSB différentes.

PDF Page Organizer - Foxit Software

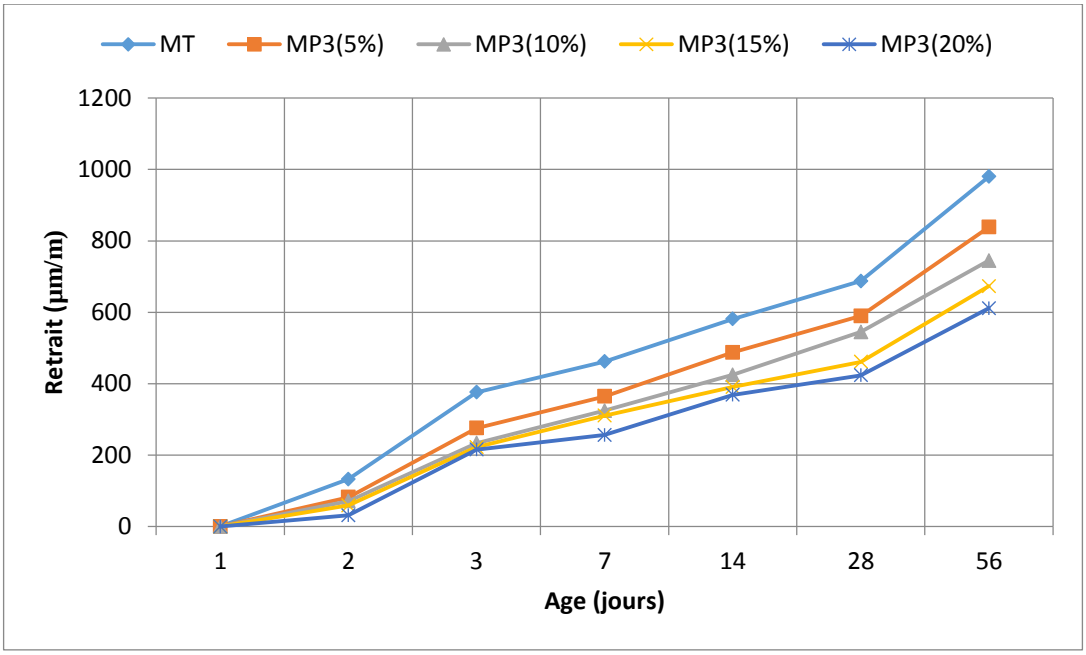


Figures III.22 :L'évolution du retrait des MP1.



Figures III.23 :L'évolution du retrait des MP2

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figures III.24 :L'évolution du retrait des MP3

D'après les figures III.22, III.23 et III.24, on remarque que les valeurs du retrait diminuent avec l'augmentation du taux de substitution du PBR quelle que soit la valeur de finesse.

Les figures III.25, III.26, III.27, III.28 sont présentés le retrait en fonction de la finesse de PBR pour une substitution de 5 à 20% avec un pas de 5 :

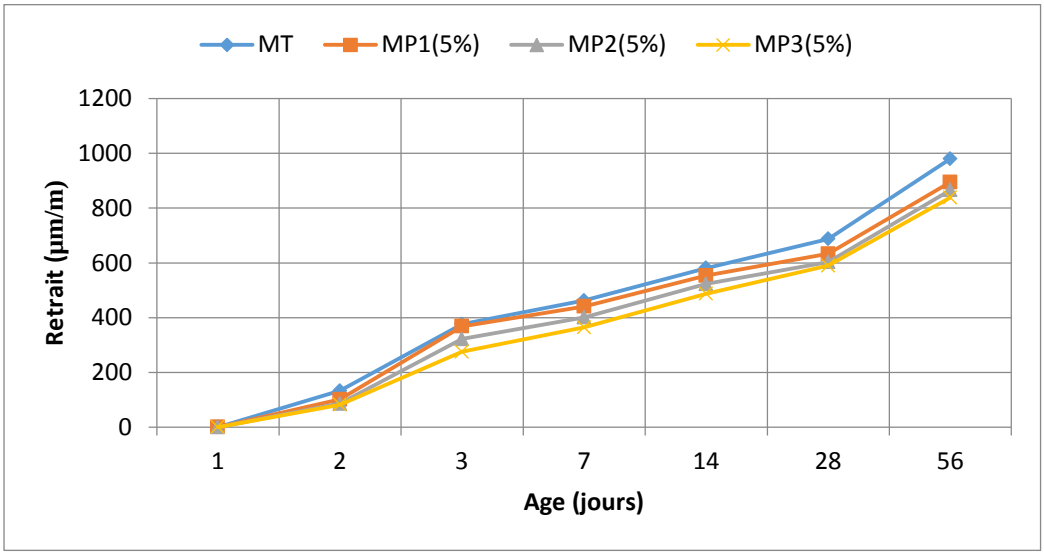
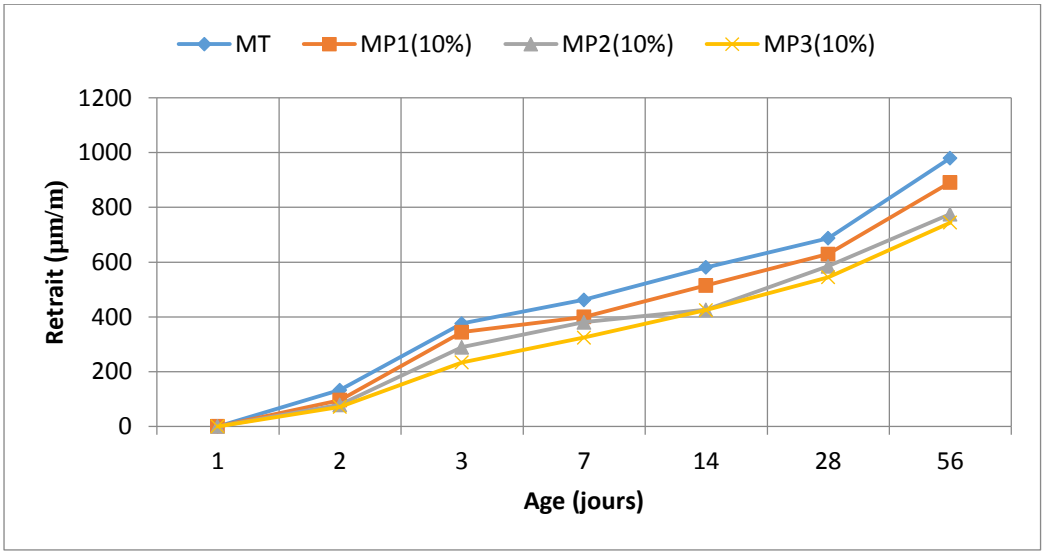
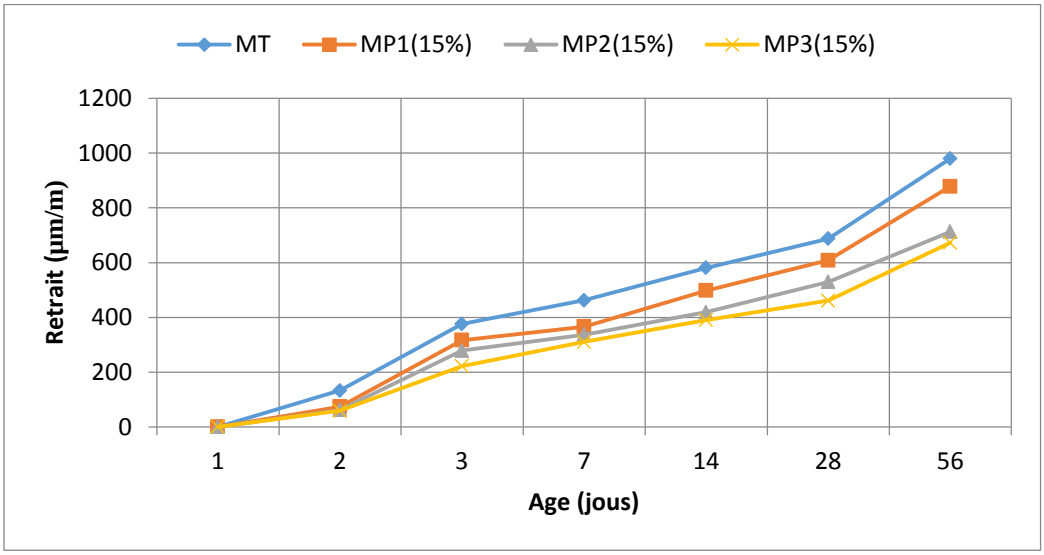


Figure III.25 :L'évolution du retrait des MPF de 5% de PBR

PDF Page Organizer - Foxit Software

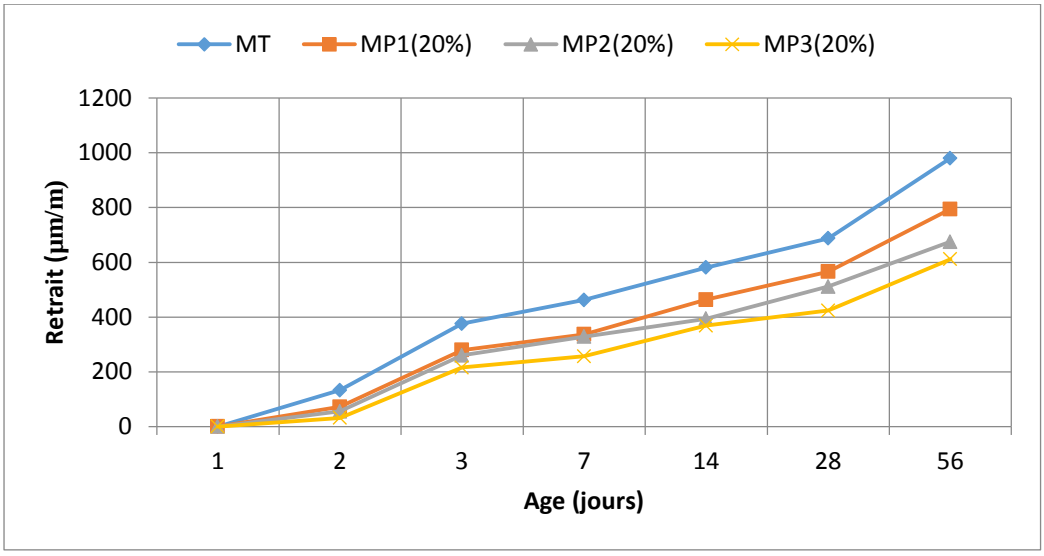


Figures III.26 :L'évolution du retrait des MPF de 10% de PBR



Figures III.27 :L'évolution du retrait des MPF de 15% de PBR

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figures III.28 :L'évolution du retrait des MPF de 20% de PBR

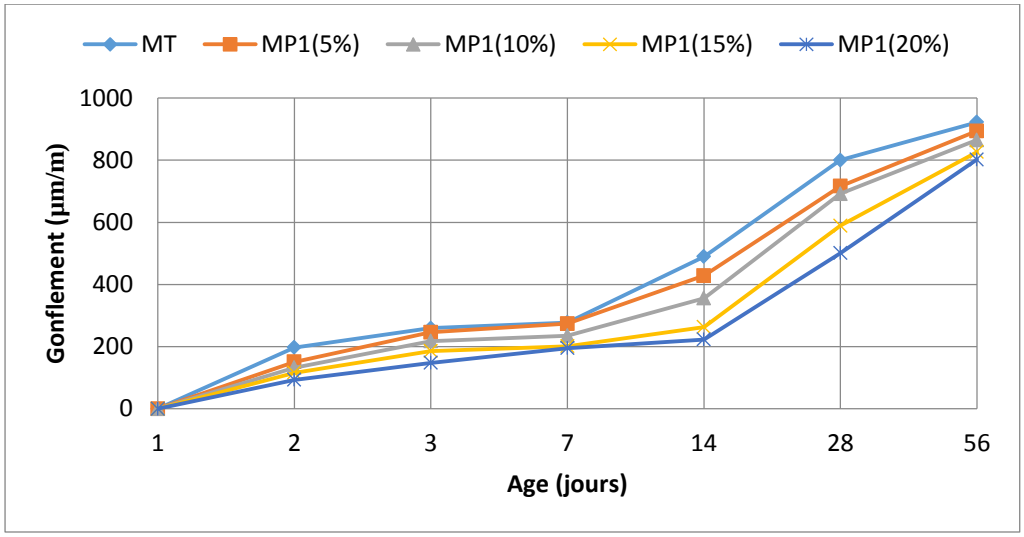
Selon les figures III.25 III.26 III.27 et III.28 on constate que l'augmentation de la finesse de la PBR engendre un retrait plus faible.

Par la comparaison de ces résultats, on conclure que le comportement des fines de brique PBR est semblable beaucoup plus aux l'effet de pouzzolane, car ITIM et al. **[118]** qui ont montré que la substitution de la pouzzolane à des taux supérieurs à 10% fait réduire le retrait total. Par ailleurs, CHAID et al. **[119]** ont montré que l'amplitude de retrait total des bétons à base de pouzzolane est plus faible que celle mesurée sur le béton témoin .

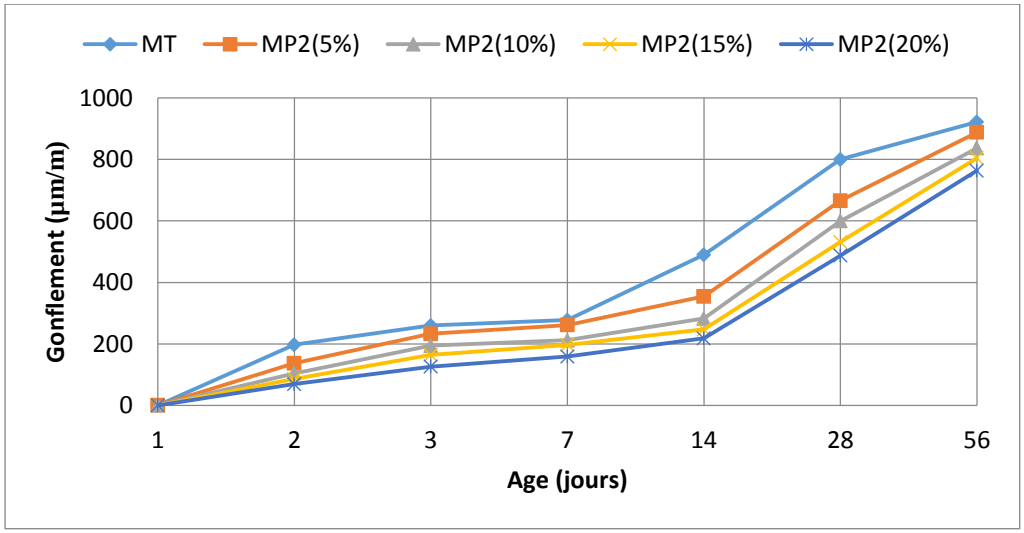
C.2. Gonflement

Les résultats de l'essai de gonflement sont illustrés dans les figures III.29 III.30et III.31 suivantes :

PDF Page Organizer - Foxit Software

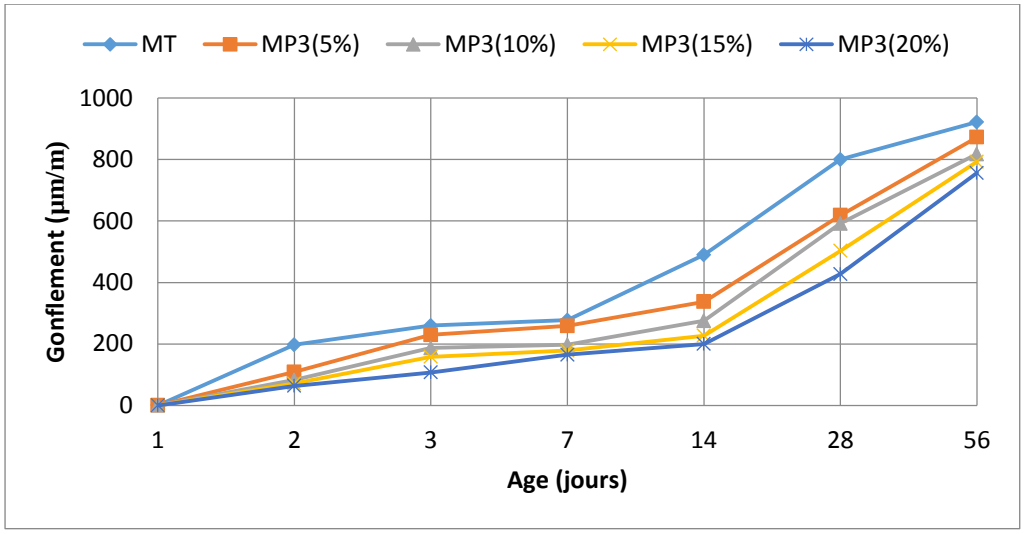


FiguresIII.29 :L'évolution du gonflement des MP1



FiguresIII.30 : L'évolution du gonflement des MP2

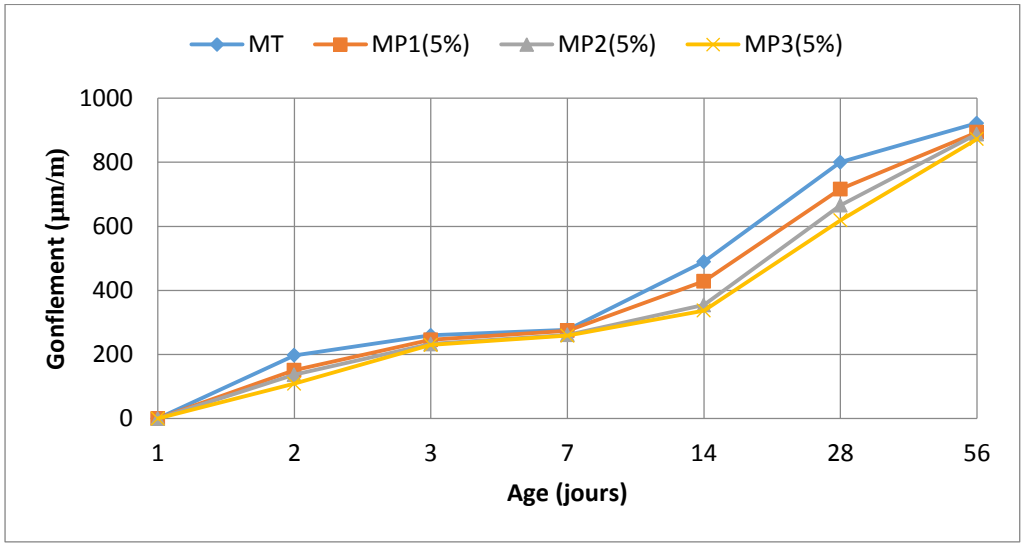
PDF Page Organizer - Foxit Software



FiguresIII.31 :L'évolution du gonflement des MP3

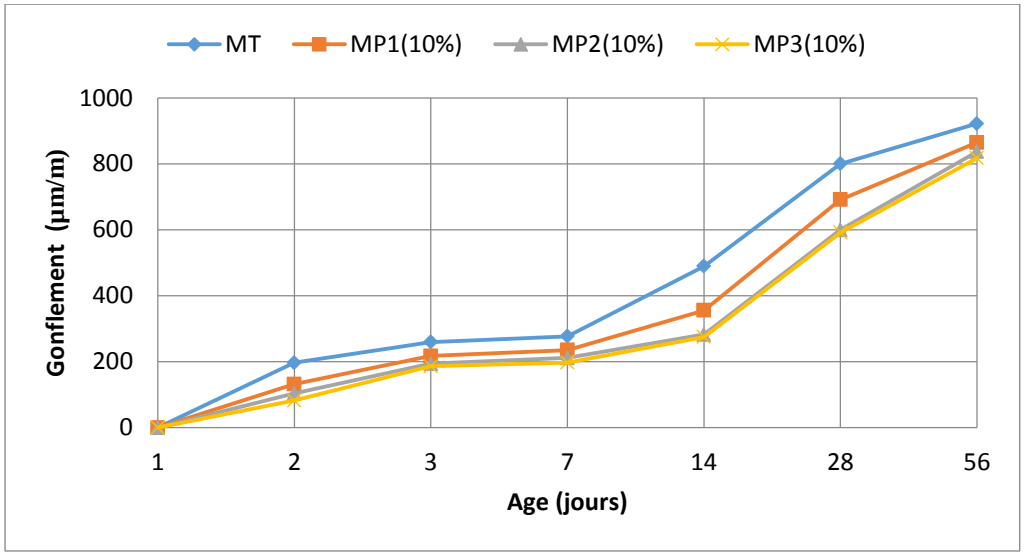
D'après les figures ci-dessus on remarque que les valeurs du gonflement diminuent avec d'augmentation de pourcentage de PBR quelle que soit la valeur de SSB.

Les figures III.32 III.33 III.34 III.35 sont présentés le gonflement en fonction de la finesse de PBR pour une substitution de 5 à 20% avec un pas de 5 :

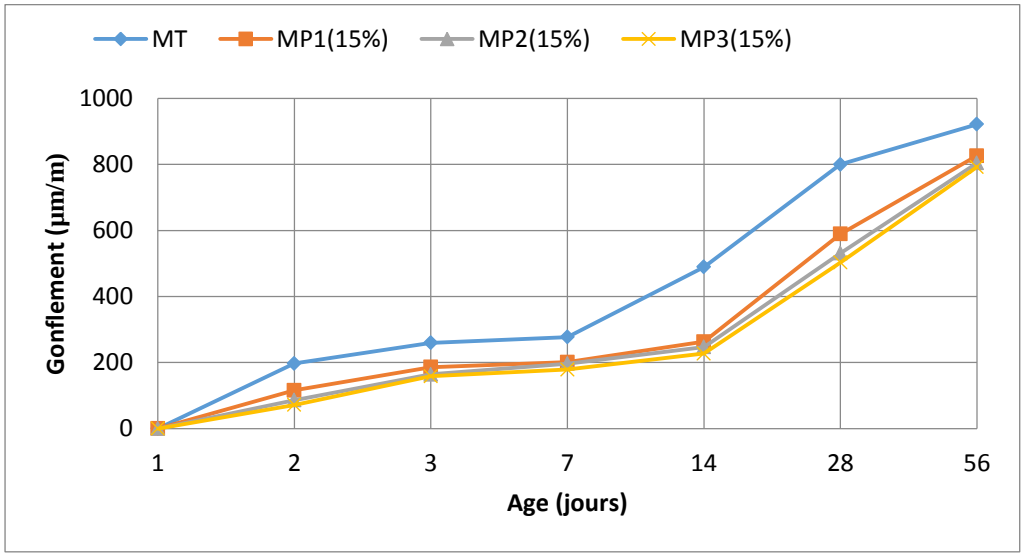


Figures III.32 :L'évolution du gonflement des MPF de 5% de PBR

PDF Page Organizer - Foxit Software

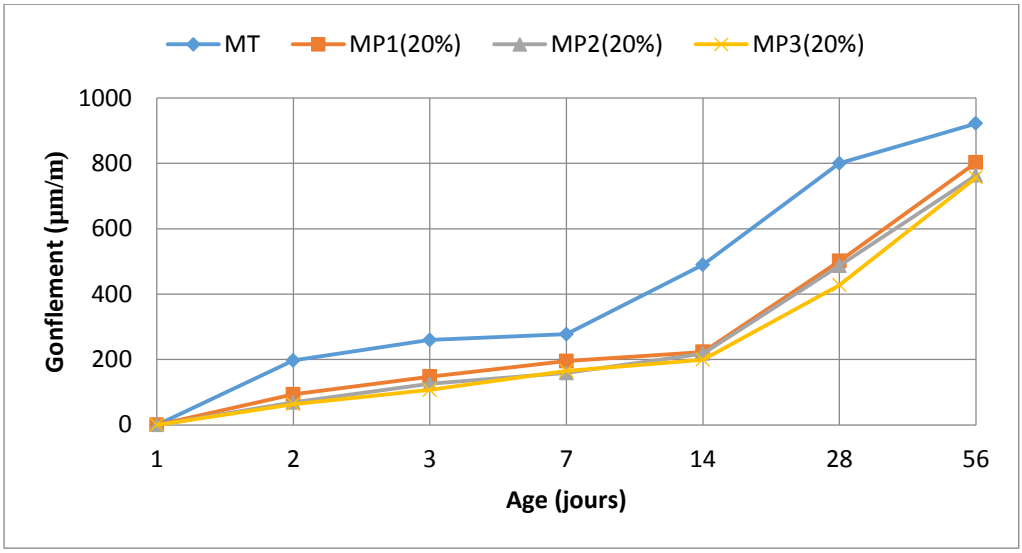


Figures III.33 :L'évolution du gonflement des MPF de 10% de PBR



Figures III.34 :L'évolution du gonflement des MPF de 15% de PBR

PDF Page Organizer - Foxit Software



Figures III.35 :L'évolution du gonflement des MPF de 20% de PBR

Selon les figures III.32 III.33 III.34 et III.35, on constate que l'augmentation de la finesse de la PBR engendre un gonflement plus faible.

III.2.2.2.Influence de SBR

A. Résistances

Pour les différentes familles de mortier, les mesures ont été réalisées sur trois éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm^3, la moyenne des trois valeurs est retenue. Les résultats de l'essai de résistance effectué sur les différents mortiers à base de SBR aux échéances7, 28 et 56 jours sont présentés dans cette partie.

A.1.Résistance à la compression

Pour présenter l'évolution de la résistance à la compression des différents MAP avec l'âge et en fonction du taux de substitution de SBR, et lui comparaient avec le MT, les résultats sont présentés dans la figure III.36.

PDF Page Organizer - Foxit Software

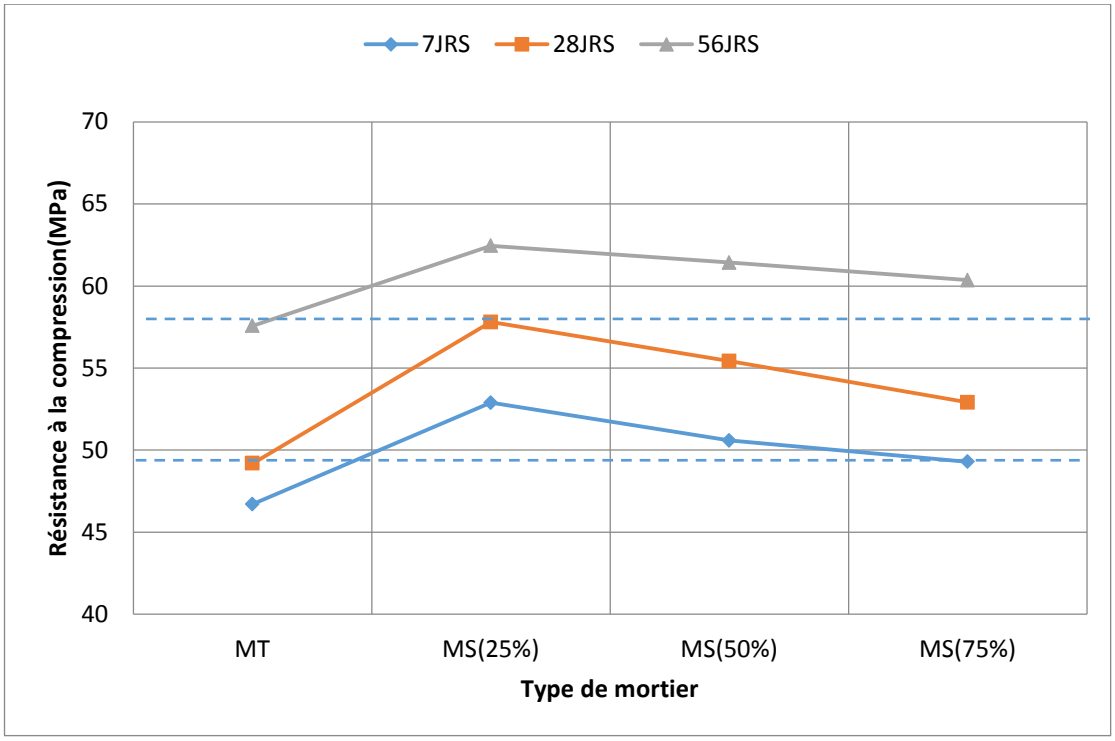


Figure III.36 : La résistance à la compression en fonction de pourcentage de SBR

D'après la figure III.36 on constate que la variation de la résistance suit la même cinétique aux différents âges, on a enregistré un optimum de résistance pour le mélange qui contient 25% de substitution de sable recyclée SBR avec une amélioration atteint 13% à jeune âge et environ 17% à long terme suit a une diminution de la résistance avec l'augmentation de pourcentage de substitution de SBR.

Les résultats obtenue sont tous meilleure que celle de mortier témoin donc on peut dire que le SBR améliore la résistance à la compression d'une façon positif. On affirme ces résultats par plusieurs chercheure **[84, 88, 93]**

A.2.Résistance à la traction par flexion

Les résultats de l'essai de traction par flexion sur MSY sont présentés dans la figure III.37.

PDF Page Organizer - Foxit Software

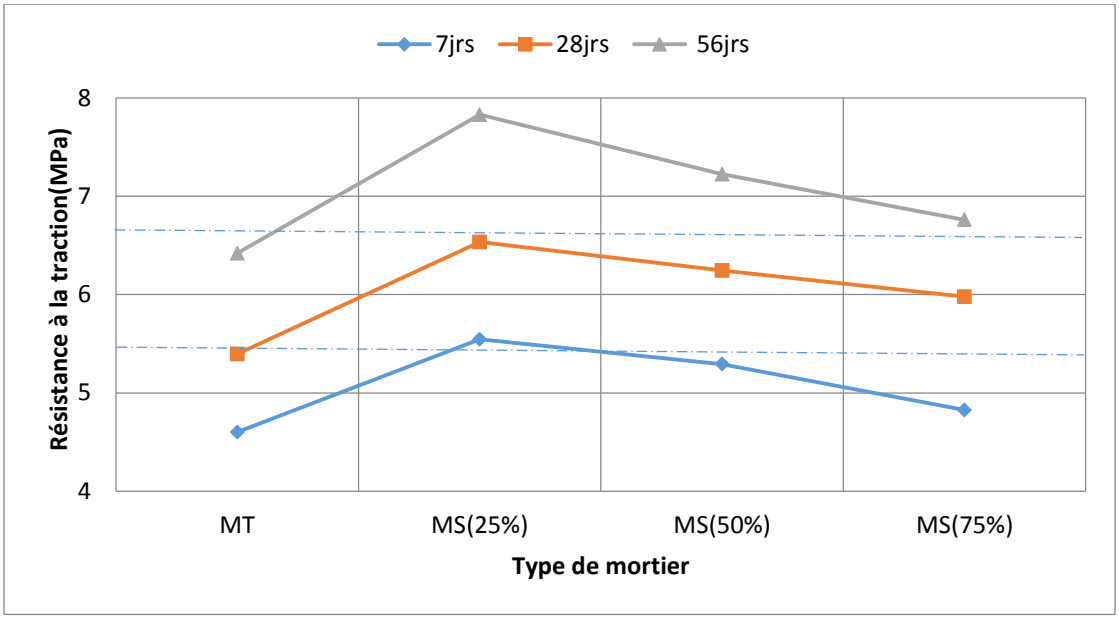


Figure III.37 : La résistance à la traction en fonction de pourcentage de SBR

A propos cette figure la même cinétique a été enregistrée sur la variation de la résistance, on obtient des améliorations à l'ordre de 20% à jeune âge et de 22% à long terme puis on constate une diminution après l'augmentation de pourcentage de substitution de SBR qui atteint les 13%.

En fusant la comparaison entre le mortier témoin et les mortiers à base de sable recyclée on trouve que la résistance de cette dernière est meilleur que celle de mortier à base de SBR et d'après les résultats obtenue par plusieurs chercheur on constate que le SBR influe positivement et apport une amélioration appréciable et importante sur la résistance à la traction, on confirme ces résultats par des chercheures parmi eux AKHTARUZZAMAN A.A. et HASNAT A **[88]** qui monteront que pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal.

PDF Page Organizer - Foxit Software

B. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats sont représentés dans la figure III.38 suivante :

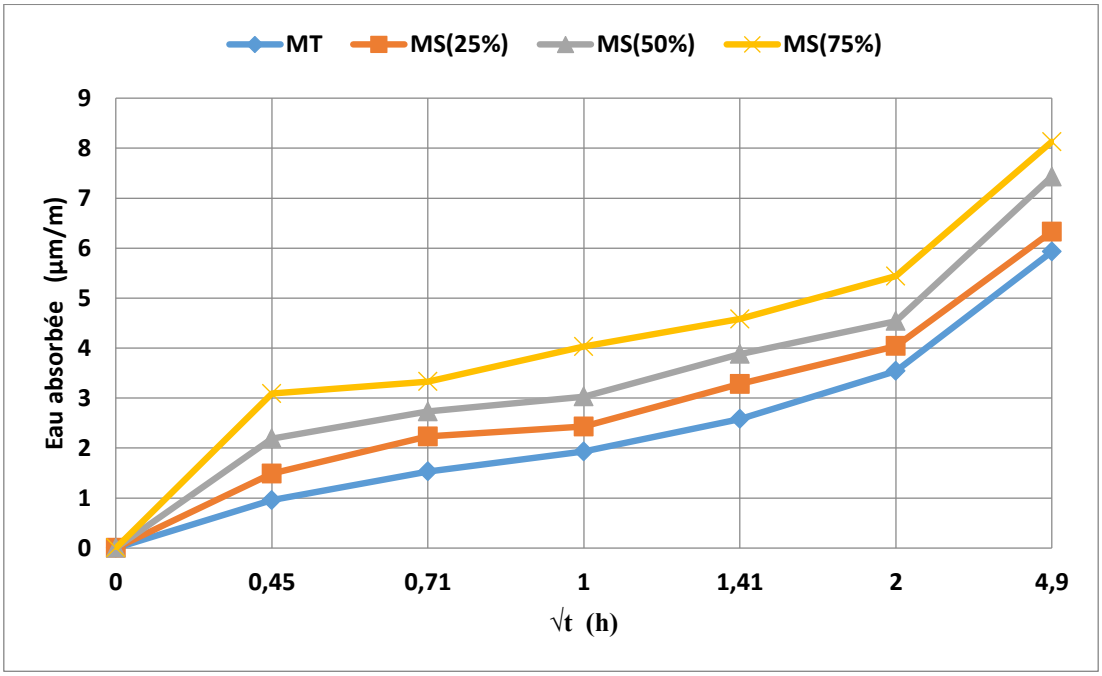


Figure III.38 : L'absorption d'eau en fonction du temps du MS

D'après la figure III.38 on remarque que le mortier à base de sable de brique recyclé (SBR) absorbe plus d'eau légèrement par rapport au mortier témoin. La quantité d'eau absorbée par le mortier augmenté avec l'augmentation de l'ajout de SBR. On confirme ces résultats par plusieurs chercheures, Debieb et al **[120]** a trouvé que l'absorption d'eau pour les sables recyclée est plus élevée que celle de sable naturel et le pourcentage d'absorption d'eau augmente (en général de 1,5 a` 3,5 fois) quand le pourcentage de substitution en granulats recycles (gros) augmente cette augmentation est comparable à celle trouvé par Katz et al **[121].** Ce comportement est attendu à cause des gros et fins granulats de bétons et de briques concassées, qui présentent un pourcentage d'absorption d'eau plus élevé (2-11 fois pour les gros et 5-14 fois pour les fins) que celui des granulats naturels

PDF Page Organizer - Foxit Software

C. Retrait et le gonflement

C.1.Retrait

La figure III.39 illustre l'évolution moyenne du retrait en fonction du temps des MAP de différentes d'ajout SBR.

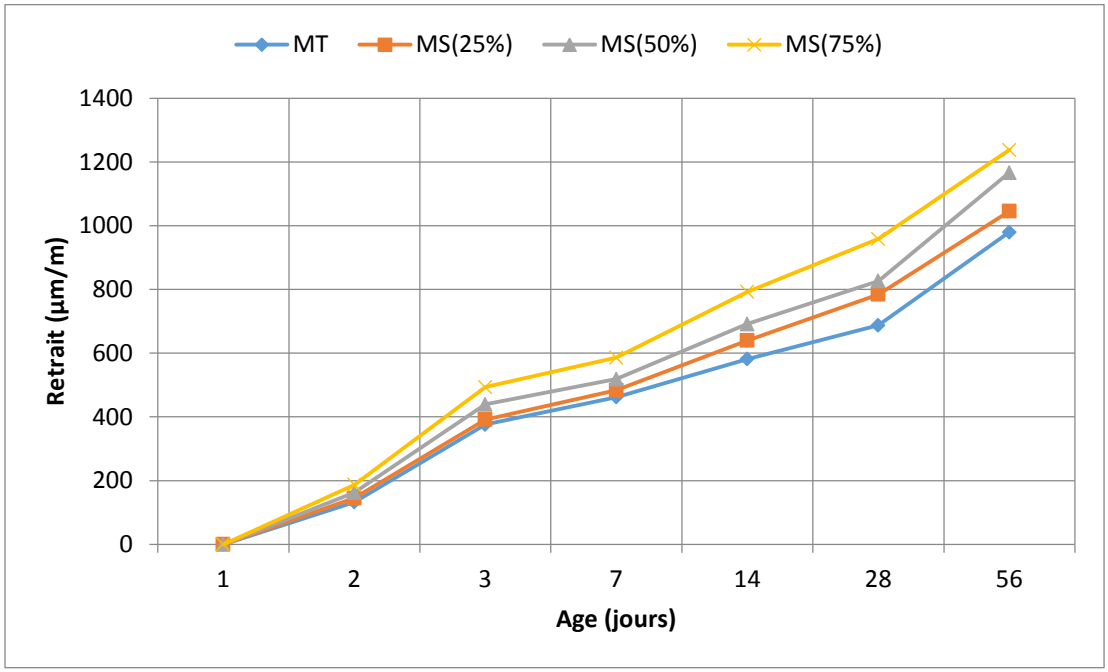


Figure III.39 :L'évolution du retrait de MS

D'après la figure III.39 on remarque que les valeurs du retrait augmente avec l'augmentation du taux de substitution du l'ajout de SBR, BARKAT **[90]** a remarqué quand on augmente le taux de substitution de granulats recyclé, le retrait de béton augment aussi.

PDF Page Organizer - Foxit Software

C.2. Gonflement

Les résultats de l'essai de gonflement sont illustrés dans les figures III.40suivantes

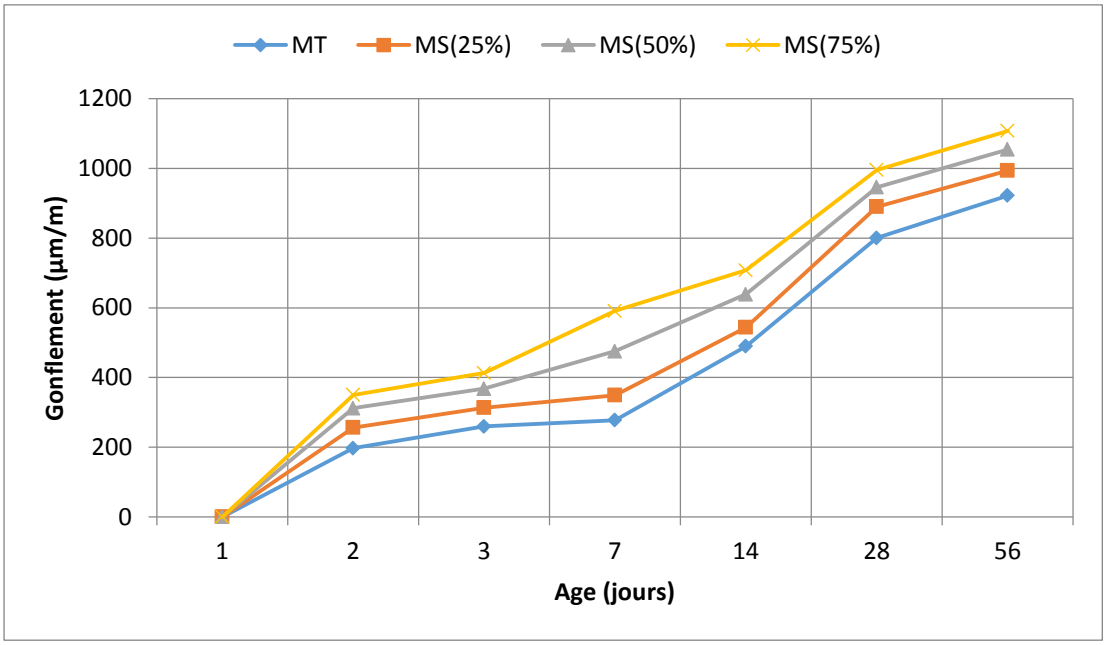
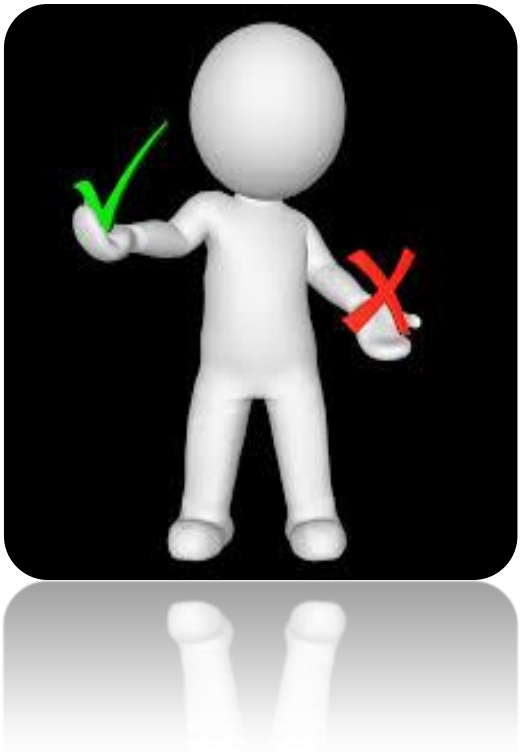


Figure III.40 :L'évolution du gonflement de MS

D'après la figure III.40 on observe que les valeurs du gonflement augments avec l'augmentation du taux de substitution du l'ajout de SBR.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Conclusion générale et recommendation



PDF Page Organizer - Foxit Software

Conclusion générale:

L'objectif visé de cette étude était de valorisé les déchets de brique ce forme de poudre (PBR) et sable (SBR) et d'étudier leur influence sur les caractéristique physique, mécanique et la durabilité du mortier autoplaçant (MAPBF, MAPSB) et faire des comparaisons avec un mortier autoplaçant témoin (MAPT) et un mortier autoplaçant à base de laitier (MAPLF); qui nous a permis de confirmer un certain nombre de résultats de la bibliographie. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

À l'état frais :

- La poudre de brique (PBR) influent négativement sur l'ouvrabilité du MAP en fonction de l'augmentation du taux de substituions et de la surface spécifique de Blaine (SSB).
- le sable recyclée (SBR) influe négativement aussi sur l'ouvrabilité du MAP en de taux de substitutions.

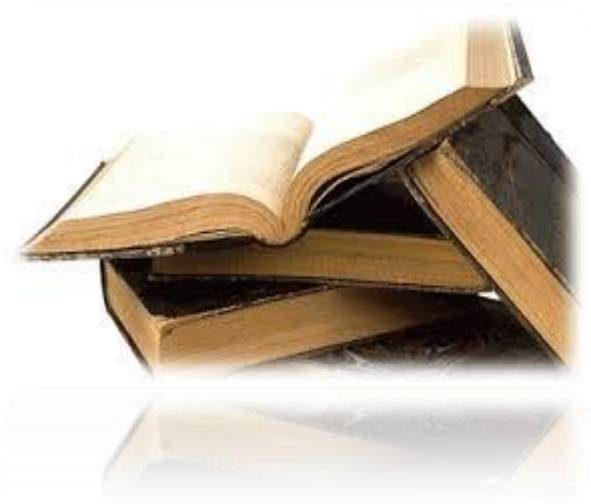
À l'état durci :

- le PBR joue un rôle pouzzolanique .on constate une amélioration dans les caractéristique mécanique à long terme pour des taux de substituions de 5à 15 % en comprissions et de 5 à 20% en traction de poids de ciment, comparativement aux deux familles MAPT et MAPLF.
- 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.
- le SBR améliore les caractéristique mécanique à court et à long terme pour des taux de substituions de 25à 75 % en comprissions et en traction de poids de sable (0/3), comparativement au MAPT.
- L'ajout de la SBR augmente le taux d'absorption par capillarité et le gonflement à l'eau et le retrait a l'air libre.

Finalement si on compare les résultats qu'on a trouvés dans cette partie d'étude et les résultats des déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire qu'il y a une nette concordance entre les deux.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Référances bibliographiques



PDF Page Organizer - Foxit Software

Référances bibliographiques

[1] Okamura H. and Ouchi M. « Self-compacting concrete » Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp. 5-15.

[2] Okamura. H, and M. Ouchi, «Self Compacting Concrete: Development, present use and future», In self compacting concrete: Proceedings of the first international RILEM symposium, A. Skrendahl, and O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan, France, 1999..

[3] Walraven « Structural aspect of self- compacting concrete » proceedings of the third international RILEM conference on SCC, août 2003,Reykjavik, Islande, pp. 15-22.

[4] H. Okamura, K. Ozawa, and M. Ouchi. «Self-compacting concrete». Structural Concrete, 17, March 2000.

[5] AFGC, « Association Française de Génie Civil», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.

[6] G.Tout le monde, ≪ Notion sur les materiaux de construction et la pratique des travaux ≫,Edition Eyrolles, Paris.

[7] Étienne B. et Georges-Bernard D., 1837, Règlements sur les arts et métiers de Paris, rédigés au 13^{e} siècle, et connus sous le nom du Livre des métiers d'Étienne Boileau. Crapelet.

[8] Paul Maurenbrecher, A.H et all, ≪ Les mortiers de rejointoiement pour les batiments demaconnerie ancienne≫, Notice technique et dite par l'Institut de recherche en construction du CNRC, Canada, 04/2008.

[9] Augustin M, 1935, Ciments et mortiers, Libr. Armand Colin, coll. « Génie civil », 2 p.

[10] Vitruve, De Architectura, livre II, 5.

[11] NIGRIG., CHERAITY. et BENOUIS H., 2011, Valorisation des déchets de briques dans l'industrie cimentaire, Université de Guelma, Algérie.

[12] Groupe des ingenieurs, ≪ Mortiers et betons hydraulique, materiaux de construction ≫, Edition Eyrolles, Paris, 1997.

[13] Valerie Polet, et all, ≪ Les mortiers de reparation en Belgique et au niveau europeen≫, Belgique ,2010.

[14] ASTM C270, ≪ Standard Specification for Mortar for Unit Masonry ≫, Norme Americaine, January 1999.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[15] Dreux G. et Festa J., 1998, Nouveau guide du béton et ses constituants, 8eme édition ,Eyrolles.

[16] CIM béton, «Bétons et mortiers : préparation et mise en œuvre sur chantier » Fiche technique dite par le centre d'information sur le ciment et ses applications, Paris, 2008.

[17] BARON J., OLLIVIER J. P., 1999, LESBETONS , bases et données pour leur formulation, édition Eyrolles.

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

[19] P18-597, 1990, Normes AFNOR:«Granulats-Détermination de la propreté dessables – Equivalant de sable à10% defines».

[20] CHERAITY.,NAFAZ.,2007,Elémentsdematériauxdeconstructionetessais,Directiondelapublicationuniversitairede Guelma.

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

[22] BARON J., OLLIVIER J. P., 1999, LESBETONS, base set données pour leur formulation, édition Eyrolles.

[23] H. Okamura, K. Ozawa, and M. Ouchi. «Self-compacting concrete». Structural Concrete, 17, March 2000.

[24] Okamura et Ouchi , «Self-compacting concrete», Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp 5-15.

[25] Ozawa. K, et al. «Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures», Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC), Vol.1, pp 445-450, January, 1989.

[26] H. Okamura, K. Ozawa. «Self compactable high performance concrete in Japan » ACI International Workshop on high Performance Concrete, Bangkok, Thailand, (1994).

[27] Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete. Development, present use and future", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self- Compacting

PDF Page Organizer - Foxit Software

Concrete, 1999, Stockholm, Suède pp. 3-14

[28] Khélifa R., «Influence des ciments à base d‟ ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons, mémoire de Magistère en Génie Civil, Université Mentouri de Constantine, le 11 Juillet 2001.

[29] G.Dreux, J. Festa, «Nouveau Guide du Béton et Ses Constituants », 8ème Edition, Edition Eyrolles.1998.

[30] DaoudAtef, «Etude expérimentale de la liaison entre l'acier et le béton autoplaçant-contribution à la modélisation numérique de l'interface », Thèse de Doctorat, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Toulouse, Juin 2003

[31] Holcim, « Le béton autocompactant », Version 26-11-2004.

[32] M. Madani et Z. Abib « Les Adjuvants des Bétons » Séminaires sur les technologies des bitons Hilton 18 -19 Septembre 2004 ACC.

[33] M. Madani et Z. Abib , « Les Adjuvants des Bétons » Séminaires sur les technologies des bitons Hilton 18 -19 Septembre 2004 ACC. 34

[34] M. Venuat , « La pratique des ciments mortiers et bétons ». Edition le MONITEUR, 1976.15

[35] J. Baron et R. Sautrey , « Le béton Hydraulique : connaissance et pratique». Presse de l'école ponts et chaussées. 1995. 16

[36] M. El Barak, «Contribution de l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçant à l'état frais», thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2005.

[37] M. Saric-Coric, P. Aïtcin, «Béton à haute performance à base de ciments composés contenant du laitier et de la fumée de silice », Canadien Journal of Civil Engineering 30, pp. 414-428 (2003).

[38] G.Dreux, J.Festa, «Nouveau Guide du Béton et Ses Constituants », 8ème Edition, Edition Eyrolles.1998.

[39] Khayat K.H., « Viscosity-Enhancing Admixtures for cement-based materials – An overview » Cement and Concrete Composites, 20, pp. 171-188, 1998. 18

PDF Page Organizer - Foxit Software

[40] MAILVAGANAM, N.P. (1984) Miscellaneous admixtwes, tiré de: Concrete adniixture handbook, ~ropreties, science. and technolow - V.S. Ramachandran, Noyes Publication Park Ridge, New Jersey, US& p. 528-597.19

[41] KAWAI, T. (septembre 1987) Non-dispersibe un demater concrete trringpolpers,5 & International Congess on Polymers in Concrete, Brighton, England, 6 p.20

[42] KHAYAT, K.R, (mars-avril 1995) Effects of antiwashout admütwes 02 fiesh conmete properties, AC1 Màterïals Journal, V.92, No. 2,. 8 p.

[43] SKAGGS, C.B., RAKZTSKY, W.G., WHITAKER, S.F., (1994) Applications of rheological modzflers and superplasticizers in cementitious system, Proceedines of the Fourth International Conference of the ACI, Montréal, Canada, p. 189-207.

[44] Z.E.Abib, « Formulation et Caractérisation des Bétons Autoplaçants », Thèse de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene USTHB, Juillet 2004.

[45] 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.

[46] Thierry Serdan, « Les Béton Autonivelants (BAN) Synthèse Bibliographique», Liaison Labo P et Ch 196, PP 53-60, Mars-Avril1995.

[47] K.Ozawa, K.Maekawa, H.Okamura, « Development of High Performance Concrete», Jornal of the Faculty of Engineering, Vol XLI, N°3 University of Tokyo1992.

[48] H. Fujiwara , Nagataki, N. Otsuki and E.Endo, «Study on reducing unit powder content of high fluidity concrete by controlling powder particle size distribution », Conc lib of Japan Soc of Civ. Eng. 28, December 1996, 117-128.

[49] T. Nawa, T. Izumi, Y. Edamatsu «State- of- the-art- report on materials and design of self compacting concrete» Proc of Int. Workshop on Self-compacting Concrete, ed K. Ozawa and K. Ouchi, Kochi University of Technology, Japan, August 1998, 166-190.

[50] S. Assie, G. Escadellas, G. Marchese, « Durability of self-compacting concrete » 3rd International Symposium on Self Copacting concrete, pp 665-662, Reykjavik, Iceland, 17-20 August 2003.

[51] 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.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[52] 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.

[53] Lexique Déchets, [en ligne].2004 Disponible sur : http://www.mines.inplnancy.fr/wwwenv/lexiques/lexique_dechet.htm, (consulté en 2004).

[54] Loi N° : 01-19 du 12 / 12 / 2001 , Relative à la Gestion, au Contrôle et à l Elimination des déchets , Journal Officiel de la Republique Algerienne Democratique et Populaire Démocratique et Populaire, N° : 77 du 15 / 12 / 2001

[55] Pimienta. p et remond. ‘‘Bétons de déchets : prévenir les risques’’, CSTB magazine, n°109, novembre 1997, pp. 28-30

[56] Zhen H. D. etChi S. P., 2014, Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

[57] Kenai S. et Debieb F., 2011, Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fin granulats de briques et de granulats concassés, Journal of Materials and Structures, N° 44, pp. 815-824.

[58] Debieb F., Courard L., Kenai S. et Degeimbre R., 2010, Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates, Journal of Cement and Concrete Composites, N° 32, pp. 421-426.

[59] Ramachandran V. S., ‘Utilisation des déchets et Sous-produits comme Granulats du Béton ', Conseil National de Recherches Canada,[en ligne], 2004,Disponible sur : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd215f.html, (consulté en 2004).

[60] Nicolescu L., ‘Généralités : Rapport Général Colloque International sur l’Utilisation des Sous-produits et Déchets dans le Génie Civil', Recueil des communications, Volume III, ENPC, Paris, 1978, p. 15

[61] Kleinlogel A., ‘ l’Influence des Divers Eléments Physico-chimique sur les Bétons', Editions Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.

[62] Debaili F. ,‘ Journées d’Information sur la Promotion de L’Inverstissement dans la Fabrication des Produits Rouges ', Revue Construire N°34, CNAT, Alger, 1990.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[63] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets (2011).

[64] Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton. Ciment et composé concret, 32(2010) 421-426.Elsevier, la science directe.

[65] Quebaud M., 'Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats', Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[66] BOURMATTE N., 2004, Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, Université de Constantine, Algérie.

[67] COUASNET Y., "Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction "Edition 2007

[68] TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ., Doc. C3370, 1989-1991

[69] ALVISET l.," Matériaux de Terre Cuite " ; Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[70] DELEBECQUE R.,"Éléments de Construction Bâtiment", Edition Delagrave; 1990.

[71] VENUAT M., "Produits Silico–calcaire "Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[72] RENAUD H.,"Murs Poutres Planchers", Edition Eyrolles ; 2002.

[73] Quebaud M., 'Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du Comportement de bétons incluant ces granulats', Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[74] BOURMATTE N., 2004, Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, Université de Constantine, Algérie.

[75] Ochi T., Okubo S., Fukui K., 2007, Development of recycled PET fibre and its application as concrete-reinforcing fiber, journal of Cement and Concrete Composites, N° 29, pp. 448–55.

[76] Dehouse N., le Jeune A., "Les mortiers et bétons renforcés de fibres", Bruxelles, C.S.T.C, Revue 1974, N° 2, 15 p .

[77] ALVISET l.," Matériaux de Terre Cuite " ; Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[78] DELEBECQUE R.,"Éléments de Construction Bâtiment", Edition Delagrave; 1990.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[79] VENUAT M., "Produits Silico–calcaire "Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[80] RENAUD H.,"Murs Poutres Planchers", Edition Eyrolles ; 2002.

[81] ARABI N.,"Etude des Brique Silico-calcaire à Base de Laitier Granule", Mémoire de Magister Université De Annaba ; 1988

[82] KHELAFI H.,"Contribution à l'étude expérimentale de la brique silico-calcaire",semenaire Université BISKRA ; 2000.

[83] CNERIB., " Béton de Terre Stabilise", Edition CNERIB ; 1988.

[84] Bektas F.,Wang K. et Ceylan H., 2008,Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability, Civil Construction and Environmental Engineering, Iowa State University, United States..

[85] Aouni M, «valorisation de la poudre recyclée dans le mortier de ciment », Mémoire de master , Université de medea, 2014.

[86] NA 431, 1989, «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement » Norme algérienne.

[87] ASTM C 143-78 Standard test method for slump-test .USA: ASTM; 2005.

[88] Akhtaruzzaman A.A. et Hasnat A., "Properties of Concrete Using Crushed Brick as Agregate ", Concrete International, Vol.5, N° .2 ,Feb. 1983, p. 58-63

[89] Devenny A. et Khalaf F.M., "The Use of Crushed Brick as Coarse Agregate in Concrete " ,Masonry International, Vol. 12, N° .3, 1999,p.81-84.

[90] BARKAT A, « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton », Mémoire de magister, Université de Ouargla, 2006.

[91] BENAKLI S, « Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction », Mémoire de magister, Université de Tizi-ouzou .

[92] NF P 15-452, 1988, «Essai pour béton frais, Mesure du temps d'écoulement des béton et de mortier aux maniablimètre, AFNOR.

[93] Marzouk, O.Y, Dheilly, R.M., Queneudec, M., 2007. Valorisation of post-consumé waste plastic in cementations concrete composites. Waste Management 27, 310–318.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[94] Al-Manaseer, A.A., T.R., Dalal.,1 997. “Concerte containg plastic agrégats”, Concret International, 47– 52.

[95] Kleinlogel A., “ l’Infleunce des Divers Eléments Physico - Chimique sur les Bétons”,Editions Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.

[96] Ramachandran V. S., Utilisation des déchets et Sous – produits comme Granulats du Béton , Conseil National de recherches Canade, [en ligne], 2004, Disponible sur : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd215f.html, (consulté en 2004).

[97] NF EN 933-1, 1997. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1:Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[98] Collection Mémento Technique, "Tuiles et Briques de Terre Cuite", Edition Moniteur paris ; 1998.

[99] NF EN 933-1, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[100] NF EN 1097-6, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[101] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR

[102] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[103] P.L. Domone, J.Jing, « Properties of Mortar for Self Compacting Concrete », Proceedings of RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, September 1999, RILEM Proceedins PRO 7, Paris pp109-120

[104] CEN EN 196-1 Nome française CENEN 196-1 ≪ Méthode d’essais des ciments, partie I : ≪ Détermination des résistances mécanique ≫ AFRON, Paris, Aout 1995.

PDF Page Organizer - Foxit Software

[105] NF EN 196-1, 1995, « Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques », AFNOR.

[106] NF EN 1015-18, 2002, Méthodes d'essais sur mortier de maçonnerie, Partie 18 : Absorption d'eau par capillarité du mortier durci.

[107] DUPAIN et LanchonR., 2000, «Granulats, sols, ciment et béton: Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire»,2eme édition CASTEILLA, Paris, France.

[108] NFP18-404,1989, Normes AFNOR: «Essais pour béton durci-Partie1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules ».

[109] Neville A., Geon M., 2000, Propriétés du béton, traduit par CRIB Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton, SHERBOOKE-Laval-éditions Eyrolles.

[110] Nasr-Eddine Kedjour, 2003, Le laboratoire de béton, office des publications universitaires, Algérie.

[111] AFGC, «Les, Béton Autoplaçants »: Recommandations Provisoires Edition AFGC 2000.

[112] EFNARC, «Earopean Federation of National Association Representing for Concrete.

[113] Siham H, « influence du laitier et de la pouzzolane sur le retrait des mortiers autoplaçant », Mémoire de magister, Université de blida, 2012.

[114] Aichoube, A., Ghrici, M., Benaissa, A., «Effet de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire", Colloque Méditerranéen sur les Matériaux CMEDIMAT», Oran, Algérie, 2005, pp. 6-7.

[115] 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.

[116] Benkaddour, M., Kazi Aoual, F., Semcha, A., « Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle », Revue Nature et Technologie, 2009, pp. 63-73.

[117] Targan, S., Olgun, A., Erdogan, Y., Sevinc, V., «Influence on natural pouzzolan ,

PDF Page Organizer - Foxit Software

colematite ore waste , bottom ash and fly ash on the properties of Portland cement» , Cement and Concrete Research , Vol 33 , 2003, pp. 1175 – 1182.

[118] Mansour, S., « Etude des propriétés des mortiers et bétons à base de ciments ternaires », Mémoire de Magister de l'université de Blida, 2003.

[119] Itim, A., Ezziane, K., Kadri, E.H., « Etude des déformations de retrait d'un mortier contenant différentes additions minérales », Symposium International sur la Construction en Zone Sismique, 2010, pp. 1-10.

[120] Chaid, R., Jauberthie, R., Boukhaled, A., Talah, A., « Endommagement, Déformations et microstructure des BHP de pouzzolane », First International Conference on Sustainable Built Environement Infrastructures in Developing Countries, 2009, pp. 12-14.

[121] Kenai S, Debieb F, Azzouz L (2002) Mechanical properties and durability of concrete made with coarse and fine recycled aggregates. In: Sustainable concrete construction. Proceedings of an international conference, Dundee, Sept. 2002. Thomas Telford, London, pp 383–392

[122] Dupain R., **Lanchon R.** et **Saint-Arroman J.-C.**, <Granulats, Sols, Ciments et Bétons –Caractérisation des Matériaux de Génie Civil par les Essais de Laboratoire >Éditions Casteilla, 2ème Édition, Paris, 2000, p. 26 + 394.

PDF Page Organizer - Foxit Software

PDF Page Organizer - Foxit Software

PDF Page Organizer - Foxit Software

Annexes



PDF Page Organizer - Foxit Software

Fiche technique du MEDAFLOW 145

NOTICE TECHNIQUE 1101

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

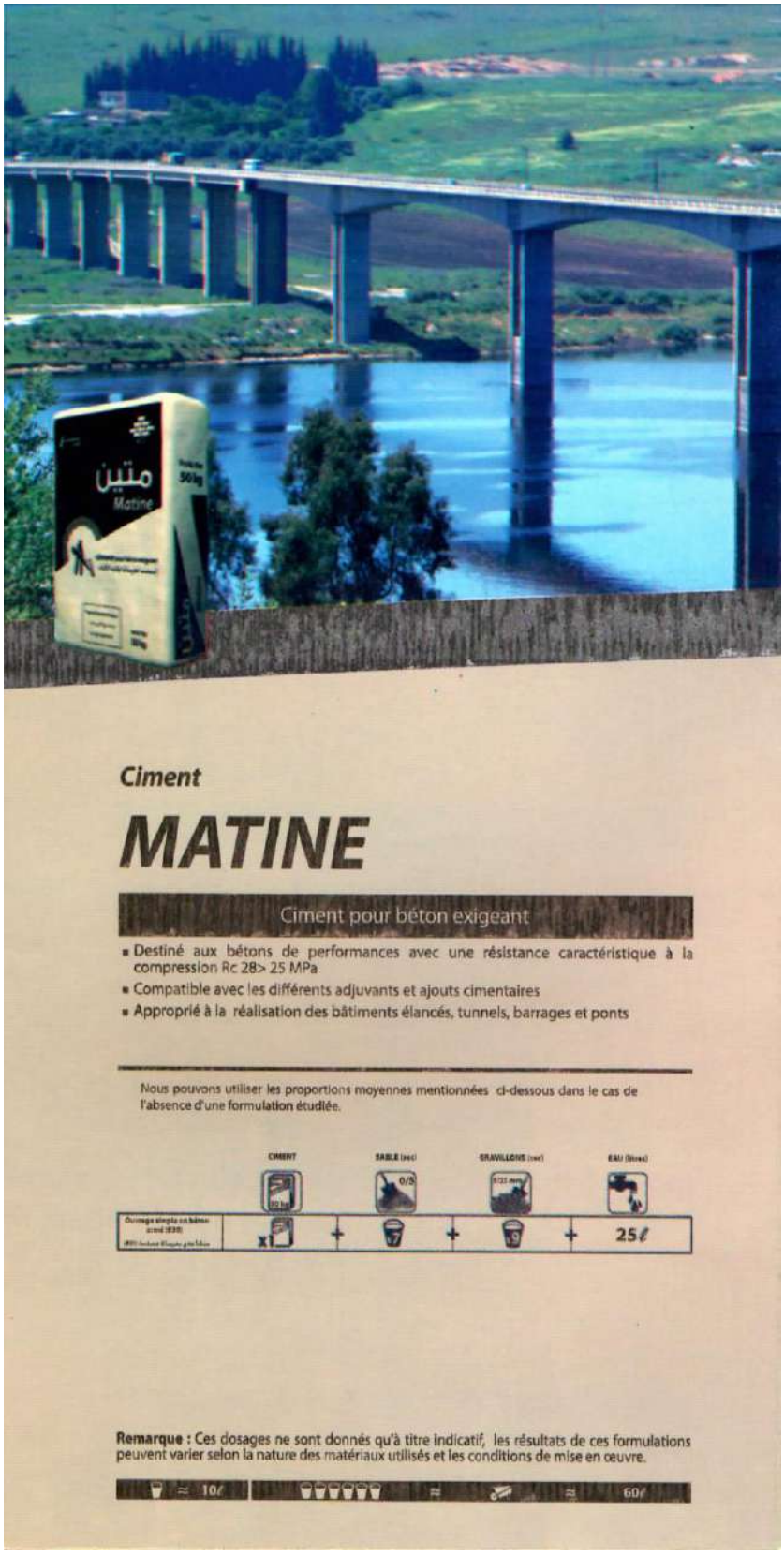
Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg
Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution d'emploi:
Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur notre site web : www.granitex.dz

PDF Page Organizer - Foxit Software

Fiche technique du ciment



PDF Page Organizer - Foxit Software

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

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

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

PDF Page Organizer - Foxit Software

Essai sur le sable recyclé (SB)

- **Masse volumique absolue**

Pour la déterminer de la masse volumique absolue de sable recyclé utilisé, les étapes suffisantes sont à suivre :

- On pesé une masse des déchets
- On met une quantité d'eau dans un récipient gradue et on note la valeur lit
- On met la masse des déchets mesurée dans le récipient puis on relit la valeur

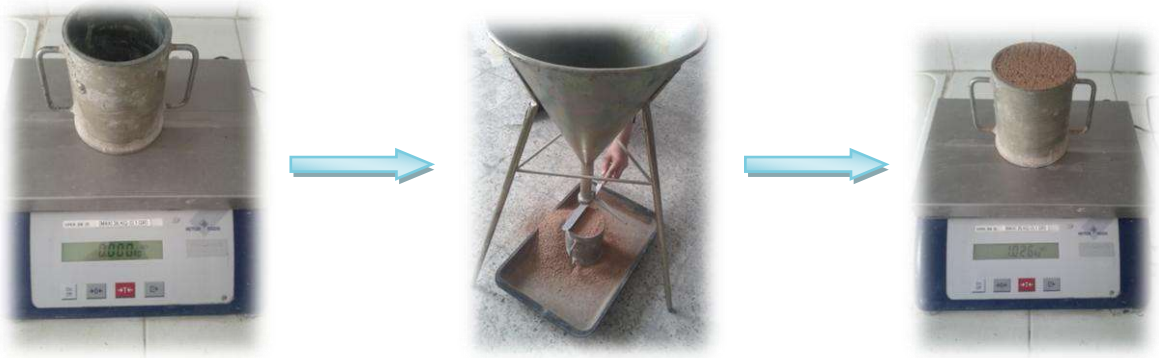


Protocole de l'essai de La masse volumique absolue pour les déchets de brique

- **Masse volumique apparent**

Pour la déterminer de la masse volumique apparente de sable recyclé utilisé, les étapes suffisantes sont à suivre :

- mettre un échantillon de sable dans l'entonnoir
- verser le sable dans la mesure en ouvrant l'entonnoir jusqu' a ce qu'il déborde formant un cône
- araser à l'aide d'une règle
- peser le contenu soit M (en kg).



Protocole de l'essai de La masse volumique apparent pour les déchets de brique

PDF Page Organizer - Foxit Software

PROGRAMME DE CALCULE LES QUANTITES EXIGENCES POUR DES MPF

Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge					
					valeurs calculées dans cellules en noir					
Référence du mélange	**Essai 1**	CEM II 42,5 sans ajout			Date	10/02/2016				
volume de mortier (litres)	**1,6**									
sable/mortier vol	0,45									
E/P par vol.	1,2600	poudre vol (%)	24,34	Eau volume (%)		30,66				
composition Poudre(vol %)		type								
ciment portland	100									
Laitier	0					**NB**: pour **E/C = 0,35** prendre **1,1025** par volume				
Fumée de Silice	0					pour **E/C = 0,40** prendre **1,2600** par volume				
Pouzolane	0									
superplast - MEDAFLOW145	0,8	% (Sp/P)								
humidité sable										
		humidité (%)	absorption (%)	correction (%)						
poids humide (gms)	200	**0,0**	1,2	**-1,2**						
poids sec (gms)	200									
Materiaux/Type	vol	densité		contenance d'eau		**poid mélange**				
	litres	kg/m³	kg	%	kg	**kg**				
ciment	0,389	3150				**1,227**				
Laitier	0,000	2940				**0,000**				
Fumée de silice	0,000					**0,000**				
Pouzolane	0,000	2740				**0,000**				
Eau	0,491	1000	0,491			0,516	W1	0,309		
			total				W2	0,206		
superplast - MEDAFLOW145		1065	0,010	70	0,007	**0,0098**				
			ssd				0/3	1,142		
Sable	0,720	2600	1,872	1,7	0,032	**1,904**	Roulé	0,762		
Total	1,600					3,656				

PDF Page Organizer - Foxit Software

PROGRAMME DE CALCULE LES QUANTITES EXIGENCES POUR DES MS

Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge				
					valeurs calculées dans cellules en noir				
Référence du mélange	**Essai 1**	CEM II 42,5 sans ajout			Date	10/02/2016			
volume de mortier (litres)	**1,6**								
sable/mortier vol	0,45								
E/P par vol.	1,2600	poudre vol (%)	24,34	Eau volume (%)		30,66			
composition Poudre(vol %)		type							
ciment portland	100								
Laitier	0					**NB**: pour **E/C = 0,35** prendre **1,1025** par volume			
Fumée de Silice	0					pour **E/C = 0,40** prendre **1,2600** par volume			
Pouzolane	0								
superplast - MEDAFLOW145	1	% (Sp/P)							
humidité sable									
		humidité (%)	absorption (%)	correction (%)					
poids humide (gms)	200	**0,0**	1,2	**-1,2**					
poids sec (gms)	200								
Materiaux/Type	vol	densité		contenance d'eau		**poid mélange**			
	litres	kg/m³	kg	%	kg	**kg**			
ciment	0,389	3150				**1,227**			
Laitier	0,000	2940				**0,000**			
Fumée de silice	0,000					**0,000**			
Pouzolane	0,000	2740				**0,000**			
Eau	0,491	1000	0,491			0,514	**V1**	**0,308**	
			total				**V2**	**0,206**	
superplast - MEDAFLOW145		1065	0,012	70	0,009	**0,0123**			
			ssd				**0/3**	**1,142**	
Sable	0,720	2600	1,872	1,7	0,032	**1,904**	**Roulé**	**0,762**	
Total	1,600					3,656			

PDF Page Organizer - Foxit Software

Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge				
					valeurs calculées dans cellules en noir				
Référence du mélange	**Essai 1**	CEM II 42,5 sans ajout			Date	10/02/2016			
volume de mortier (litres)	1,6								
sable/mortier vol	0,45								
E/P par vol.	1,2600	poudre vol (%)	24,34	Eau volume (%)		30,66			
composition Poudre(vol %)		type							
ciment portland	100								
Laitier	0					**NB**: pour **E/C = 0,35** prendre **1,1025** par volume			
Fumée de Silice	0					pour **E/C = 0,40** prendre **1,2600** par volume			
Pouzolane	0								
superplast - MEDAFLOW145	1,4	% (Sp/P)							
humidité sable									
		humidité (%)	absorption (%)	correction (%)					
poids humide (gms)	200	**0,0**	1,2	**-1,2**					
poids sec (gms)	200								

Materiaux/Type	vol	densité		contenance d'eau		**poid mélange**		
	litres	kg/m³	kg	%	kg	**kg**		
ciment	0,389	3150				**1,227**		
Laitier	0,000	2940				**0,000**		
Fumée de silice	0,000					**0,000**		
Pouzolane	0,000	2740				**0,000**		
Eau	0,491	1000	0,491			0,510	**W1**	**0,306**
			total				**W2**	**0,204**
superplast - MEDAFLOW145		1065	0,017	70	0,012	**0,0172**		
			ssd				**0/3**	**1,142**
Sable	0,720	2600	1,872	1,7	0,032	**1,904**	**Roulé**	**0,762**
Total	1,600					3,658		

PDF Page Organizer - Foxit Software

Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge				
					valeurs calculées dans cellules en noir				
Référence du mélange	**Essai 1**	CEM II 42,5 sans ajout			Date	10/02/2016			
volume de mortier (litres)	**1,6**								
sable/mortier vol	0,45								
E/P par vol.	1,2600	poudre vol (%)	24,34	Eau volume (%)		30,66			
composition Poudre(vol %)		type							
ciment portland	100								
Laitier	0					**NB**: pour **E/C = 0,35** prendre **1,1025** par volume			
Fumée de Silice	0					pour **E/C = 0,40** prendre **1,2600** par volume			
Pouzolane	0								
superplast - MEDAFLOW145	1,8	% (Sp/P)							
humidité sable									
		humidité (%)	absorption (%)	correction (%)					
poids humide (gms)	200	**0,0**	1,2	**-1,2**					
poids sec (gms)	200								
Materiaux/Type	vol	densité		contenance d'eau		**poid mélange**			
	litres	kg/m³	kg	%	kg	**kg**			
ciment	0,389	3150				**1,227**			
Laitier	0,000	2940				**0,000**			
Fumée de silice	0,000					**0,000**			
Pouzolane	0,000	2740				**0,000**			
Eau	0,491	1000	0,491			0,507	**V1**	**0,304**	
			total				**V2**	**0,203**	
superplast - MEDAFLOW145		1065	0,022	70	0,015	**0,0221**			
			ssd				**0/3**	1,142	
Sable	0,720	2600	1,872	1,7	0,032	**1,904**	**Roulé**	**0,762**	
Total	1,600					3,659			