

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Bettahar Ali

Haddad Hamid

Guerrache Mohamed

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : GENIE CIVIL

Option : Matériaux en Génie civil

Thème :

Potentiels de l'utilisation des déchets de brique dans les mortiers

Devant le jury composé de :

Hami Brahim	Grade	UAMOB	Président
Saoudi Nacira	Grade	UAMOB	Encadreur
Kennouche Salim	Grade	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur, Madame SAOUDI Nacira, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Qu'elle trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude. On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques. On tient aussi à remercier les ingénieurs responsables de laboratoire matériaux pour leurs aides et disponibilité. Nos vifs remerciements à tous mes enseignant(e)s, en signe d'un grand respect et d'un profond amour.

Merci à vous tous

Dédicaces

À nos parents.

À tous nos frères et sœurs

À tous nos amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2021/2022

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Résumé :

Chaque année, des millions de tonnes des déchets de brique rouge constituent des problèmes environnementaux insupportables dans le monde entier dont l'Algérie fait partie. Les briques rouges sont utilisées dans la construction comme élément séparateur dans le bâtiment, connue par ses propriétés mécaniques et physiques, comme la légèreté, l'isolation thermique et phonique, pourtant particulières la fragilité des briques est un paramètre déterminant. La prise en charge de ce type de déchet pourrait constituer une solution appropriée vers le développement de systèmes d'infrastructure durables (respectueux de l'environnement, énergétiques et économique). Dans cette étude de recherche, les déchets de brique finement broyé (inférieur à 80 μm), sont introduits aux mortiers par substitution d'une quantité de ciment à des taux de 12, 16 et 17 % remplacé par des déchets de briques. Plusieurs paramètres sont étudiés, rapport E/C, les pourcentages de remplacement, le confinement, les résultats d'essais physiques confirment le caractère absorbant de la poudre de brique (54,86%), et l'effet positif de l'ajout de poudre de brique sur les résistances mécaniques.

Mots-clés : poudre de brique rouge, mortiers, essais physicomécaniques.

Abstract:

Every year, millions of tons of red brick waste constitute unbearable environmental problems all over the world of which Algeria is a part. Red bricks are used in construction as a separating element in the building, known for its mechanical and physical properties, such as lightness, thermal and sound insulation, yet particular the fragility of bricks is a determining parameter. The management of this type of waste could constitute an appropriate solution towards the development of sustainable infrastructure systems (environmentally friendly, energetic and economical). In this research study, finely ground brick waste (less than 80 μm) is introduced to the mortars by substitution of an amount of cement at rates of 12, 16 and 17% replaced by brick waste. Several parameters are studied, W/C ratio, replacement percentages, confinement, the results of physical tests confirm the absorbent nature of brick powder (54.86%), and the positive effect of addition of brick powder on mechanical resistance.

Key words : Powder of red brick, Morat, physicomécanique test.

ملخص:

في كل عام، تشكل ملايين الأطنان من نفايات الطوب الأحمر مشاكل بيئية لا تطاق في جميع أنحاء العالم والتي تعد الجزائر جزءًا منها. يستخدم الطوب الأحمر في البناء كعنصر للفصل في المباني، والمعروف بخصائصه الميكانيكية والفيزيائية، مثل الخفة والعزل الحراري والصوتي، ومع ذلك فإن هشاشة الطوب هي عامل محدد. يمكن ان تشكل إدارة هذا النوع من النفايات حلا مناسباً لتطوير أنظمة البنية التحتية المستدامة (صديقة للبيئة وحيوية واقتصادية). في هذه الدراسة البحثية، يتم إضافة نفايات الطوب المطحون (اقل من 80 مايكرومتر) الى المناطق عن طريق استبدال كمية من الإسمنت بمعدلات 12 و16 و17% من مسحوق الطوب الأحمر، تمت دراسة العديد من الخصائص، نسبة الماء/الإسمنت (E/C) ، وتأكد نتائج الاختبارات الفيزيائية لنسبة امتصاص الماء لمسحوق الطوب الأحمر (54.86%)، والتأثير الإيجابي بإضافة مسحوق الطوب على المقاومة الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: مسحوق الأجر الأحمر، ملاط إسمنتي، التجارب الفيزيائية الميكانيكية.

Table des matières

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Revue Bibliographique.....	2
I.1 Matériaux utilisés	2
I.2 Caractérisation des matières premières	3
I.2.1 Fluorescence X	3
I.2.2 Diffraction par rayons X (DRX)	5
I.2.3 Analyses proximales et ultimes	7
I.2.4 Le test TCLP	8
I.2.5 Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	8
I.2.6 Test bêta P	9
I.2.7 Analyse thermogravimétrique ATG	10
I.3 Procédures du mélange ou de fabrication	11
I.4 Essais sur mortiers frais	13
I.5 Comportements	16
I.5.1 Absorption	16
I.5.2 Résistance à la compression	18
I.5.3 Retrait de séchage	20
I.6 Durabilité des mortiers	23
I.6.1 Résistance à la carbonatation	23
I.6.2 Diffusion des ions chlorure	24
I.6.3 Résistance au sulfate	26
I.6.4 Attaque sulfatique externe	28
Chapitre II : Partie expérimentale	33
II.1 Introduction	33
II.2 Matériaux et méthodes utilisé	33
II.2.1 Sable	33
II.2.1.1 Analyse granulométrique	33
II.2.1.2 Module de finesse	34
II.2.1.3 Essai d'équivalent de sable.....	34
II.2.2 Le ciment	35
II.2.3 Eau de Gâchage	36
II.2.4 Les déchets utilisés	36
II.2.4.1 L'absorption d'eau	36

II.2.5 Les fibres utilisées	37
II.3 Conception des mortiers	37
II.3.1 La formulation des mortiers	38
II.3.2 Malaxage	38
II.3.3 Conservation des éprouvettes	39
II.4 Les essais physiques	39
II.4.1 La masse volumique des mortiers à l'état frais et durcis :	39
II.4.2 L'absorption	40
II.4.3 Mesure d'ultrasons des mortiers	41
II.5 Les essais mécaniques	44
II.5.1 Essai de résistance à la flexion	44
II.5.2 Essai de résistance à la compression	46
Conclusion générale	49
Bibliographies	51

Liste des figures :

Figure 1: Distributions granulométriques de WBP, filler calcaire et ciment (Zengfeng Zhao, 2021)	2
Figure 2: Distribution granulométrique du ciment Portland et des ajouts minéraux. (Fernanda Brekailo, 2021).....	3
Figure 3: DRX de déchets de carreaux de sol et de mur démolis non cuits. (Mandefort Dubale ,2021).	6
Figure 4: Diffractogrammes aux rayons X des additions minérales. (Fernanda Brekailo., 2021).	7
Figure 5: Résultat FTIR des déchets DFWT (Demolished Floor and Wall Tile). (Mandefort Dubale 2021).....	9
Figure 6: Relation entre V_w/V_p et R pour la charge calcaire et WBP (Waste Brick Powder).	10
Figure 7: Résultats de la TGA des déchets de DFWT (Mandefort Dubale2021).....	11
Figure 8: Épandage des mortiers frais en fonction de la teneur en WBP.	13
Figure 9: Rheocad 400 : (a) machine avec bol ; (b) roue spéciale	14
Figure 10: Courbe d'écoulement des mortiers et évaluation de la limite d'élasticité (Zhao, 2021).....	15
Figure 11: La teneur en air des mortiers en fonction du taux de substitution WBP.....	16
Figure 12: Absorption d'eau de la brique cuite avec les déchets de DFWT (Mandefort Dubale 2021).	17
Figure 13: Absorption d'eau des mortiers à 28 jours. (Zengfeng Zhao 2021).....	18
Figure 14: Résistance à la compression de la brique cuite avec des déchets DFWT incorporés dans les deux sols à 850 °C et 900 °C. (Mnadefort Dubale 2021).	18
Figure 15: Compression des mortiers en fonction de la teneur en WBP. (Zhao, 2021).....	20
Figure 16: Résistance à la flexion des mortiers en fonction de la teneur en WBP (Zengfeng Zhao 2021).....	20
Figure 17: Retrait de séchage des mortiers (Zhao, 2021).....	21
Figure 18: Retrait linéaire de la brique cuite avec des déchets DFWT dans les deux sols. (Mnadefort Dubale 2021).	22
Figure 19: Perte au feu de la brique cuite avec des déchets DFWT dans les deux sols. . (Mandefort Dubale2021).	22
Figure 20: La densité apparente de la brique cuite avec les déchets DFWT dans les deux sols. (Mandefort Dubale2021).....	23
Figure 21: Profondeur de carbonatation des mortiers en fonction du temps (Zengfeng Zhao 2021)....	24
Figure 22: Montage expérimental de cellules de diffusion de chlorure (Zhao, 2021).	25
Figure 23 : Vitesses de diffusion des chlorures pour les mortiers avec filler calcaire et WBP. (Zengfeng Zhao2021).....	26
Figure 24: Variation de longueur des mortiers avec filler calcaire et WBP en solution sulfatée. (Zengfeng Zhao2021).....	27
Figure 25: Expansion du mortier contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux en substitution au ciment Portland jusqu'à 98 jours. (Fernanda Brekailo 2021).....	29
Figure 26: Densité du mortier contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux entrant dans la composition du ciment Portland. (Fernanda Brekailo 2021).....	30
Figure 27: Diffractogrammes de rayons X des additions minérales. (Fernanda Brekailo 2021).	31
Figure 28: Expansion des mortiers contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux dans la composition du ciment Portland jusqu'à 42 jours et l'expansion limite par NBR 16697 (ABNT, 2018). (Fernanda Brekailo 2021).....	32
Figure 29 : Courbe granulométrique de sable siliceux	34
Figure 30: Essai d'absorption d'eau.....	37
Figure 31: Fibres métalliques de type dramix	37
Figure 32: Essai d'absorption.....	40
Figure 33: Absorption de mortier témoin.....	40
Figure 34: Absorption des mortiers à base de taux des déchets de briques confinées et non confinées 41	

Figure 35: Absorption des éprouvettes à base de taux des déchets de briques fibrées confinées	41
Figure 36: Résultats d'ultrason du mortier témoin.....	42
Figure 37: Vitesse ultrasonique des mortiers à 12% de substitution des déchets de brique.....	42
Figure 38: Vitesse ultrasonique des mortiers à 16% de substitution des déchets de brique.....	43
Figure 39: Vitesse ultrasonique des mortiers à 17% de substitution des déchets de brique.....	43
Figure 40 : Vitesse ultrasonique des mortiers à ordinaire et confiné et confiné fibré en fonction du taux de la substitution de déchets de brique	44
Figure 41: Dispositif de l'essai de flexion.....	44
Figure 42 : Résultats de la résistance à la flexion de mortier ordinaire.....	45
Figure 43 : Résultats de la résistance à la flexion de mortier a substitution de poudre de brique E/C=0.38	45
Figure 44: La résistance à la flexion de mortier à base de poudre de brique (non confiné, confiné) (E/C=0.38).....	46
Figure 45: Taux d'amélioration de la résistance à la flexion en fonction de% de remplacement de déchets de brique W% de mortier confiné	46
Figure 46: Résistance à la compression de mortier ordinaire vis à vis le rapport E/C.	47
Figure 47: Résistance à la compression de mortier vis-à-vis la substitution des déchets de brique (E/C=0.38).....	47
Figure 48: Résistance à la compression des échantillons vis-à-vis le confinement (E/C=0.38)	48
Figure 49: Taux d'amélioration des résistances a la compression de mortier confiné vis-à-vis le % de remplacement de déchets de brique W%.....	48

La liste des tableaux :

Tableau 1 : Oxydes d'éléments majeurs et mineurs. (Mandefort Dubale 2021).....	4
Tableau 2: Compositions chimiques de la poudre de brique concassé, (Zhao, 2021).....	4
Tableau 3: Caractérisation des additions minérales. (Brekailo, 2021)	5
Tableau 4: Analyse proximale des déchets de sol et de carrelage démolis (% en poids).....	8
Tableau 5: Analyse ultime des déchets de sols et de carreaux démolis.....	8
Tableau 6:Les éléments toxiques dans les déchets de DFWT (Mandefort Dubale., 2021).....	8
Tableau 7: Résultats de test beta P (Zhao, 2021).	10
Tableau 8 : Compositions de mortier auto plaçant (g). (Zhao, 2021)	12
Tableau 9: Exemple de rapport de mélange du modèle de produits en brique. (Mandefort Dubale2021).	12
Tableau 10 : Propriétés rhéologiques du mortier. (Zengfeng Zhao., 2021)	15
Tableau 11: Vitesses de diffusion des chlorures pour les mortiers avec filler calcaire et WBP. (Zengfeng Zhao2021).....	25
Tableau 12: Mélanger la proportion de mortiers pour évaluer le potentiel d'atténuation de l'attaque des sulfates dans une solution de sulfate de sodium. (Fernanda Brekailo 2021).....	28
Tableau 13. Analyse granulométrique de sable siliceux de Tébessa.....	33
Tableau 14: Équivalent de sable pour le sable siliceux (NF EN 933-8).....	35
Tableau 15 : Composition chimique du ciment.....	35
Tableau 16 : Les caractéristiques physicomécaniques du ciment	36
Tableau 17: Opérations de malaxage du mortier normal	39
Tableau 18: Résultats des masses volumiques des variantes étudiées	39

Liste des abréviations:

DFWT: Démolished Floor and Wall Tile.

WBP: Waste Brick Powder.

C&D: Construction and Démolition waste.

DRX: Diffraction par rayons X.

XRF : La spectroscopie par fluorescence X.

MBE : Méthode de béton équivalent

M-BP : Mortier à base de poudre de brique

PSD: Particle Size Distribution

TCLP: Toxicity Characteristics Leaching Procedure).

FTIR : Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier.

APE : Agence de protection de l'environnement.

ATG : Analyse thermogravimétrique.

HR : Humidité Relative.

Introduction générale

Avec l'accélération des activités de la construction et l'amélioration urbaines, engendre une grande quantité de déchets solides provenant de la démolition de vieux bâtiments, notamment les rebuts issus des activités des différents secteurs industriels des matériaux de construction en Algérie, de plus ceux en relation avec l'industrie des briques rouges, selon les statistiques, la quantité de déchets solides est en croissance continue au niveau mondial, vue la demande croissante des besoins des population. En Algérie, les déchets de brique de séparation, se sont accrus et ils ont un impact de plus en plus négatif sur l'environnement qui Ils peuvent être collectés de manière rentable dans des couleurs mélangées.

Le recours à l'utilisation des déchets de différentes industries, s'avère une solution attractive, vu son importance introduction par addition ou remplacement dans les matériaux cimentaires, donne une amélioration des propriétés mécaniques, telles que les résistances en compression des matériaux cimentaires, par leurs effets positif résultant des réactions pouzzolaniques, qui produit des quantités supplémentaires des C-S-H dans les mélanges, permettant aussi lors de leurs introduction par substitution la réduction des quantités de ciments utilisées, contribuant ainsi de manière simple à réaliser des gains économiques. L'objectif principal de ce travail est orienté dans ce contexte, il s'inscrit dans le thème très général de la recherche de l'amélioration des caractéristiques mécaniques des mortiers et la valorisation des déchets de briques sous forme de poudre, avec substitutions d'une quantité de ciment, dont plusieurs variantes seront élaborées puis étudiées. Ce travail expérimental étudie les effets de substitution des quantités de ciments par la poudre de brique avec des taux de 12 % et 16 % et 17 % sur les propriétés physicomécaniques des mortiers.

CHAPITRE I : Revue Bibliographique

I.1 Matériaux utilisés :

(Dubale, An investigation of demolished floor and wall ceramic tile waste utilization in fired brick production, 2021) dans son étude sur l'utilisation des déchets de carreaux de céramiques et de sol et des murs démolis dans la fabrication de brique cuite, à utiliser le sol de latérite et le sol alluviale et les déchets DFWT (Démolished Floor and Wall Tile) . (Nzeukou, 2013), Après avoir collecté le sol il a été tamisé moyennant le tamis 0,6 mm, La séparation des déchets DFWT et des déchets C&D (Construction and Démolition waste) s'est faite manuellement car les différents types de déchets étaient déversés ensemble.

Après la collecte et la séparation, le broyage été également effectué manuellement à l'aide et d'un marteau, puis à l'aide d'un broyeur à billes, suivi d'un tamisage sur le tamis de 0,6 mm.

(Zhao, 2021) Dans l'élaboration des mortiers auto compactant en substituant les filler calcaire par la poudre de brique de rebut. Il a utilisé; un ciment portland ordinaire (CEM I 52,5N) de densité de $3,10 \text{ g/cm}^3$ et un sable naturelle siliceux standard conforme à la norme EN 196-1. Et des déchets de briques rouges. La Figure 1 présente les distributions granulométriques (Granulométrie Laser) de WBP (Waste Brick Powder) de filler calcaire et de ciment utilisés comme constituants des mortiers.

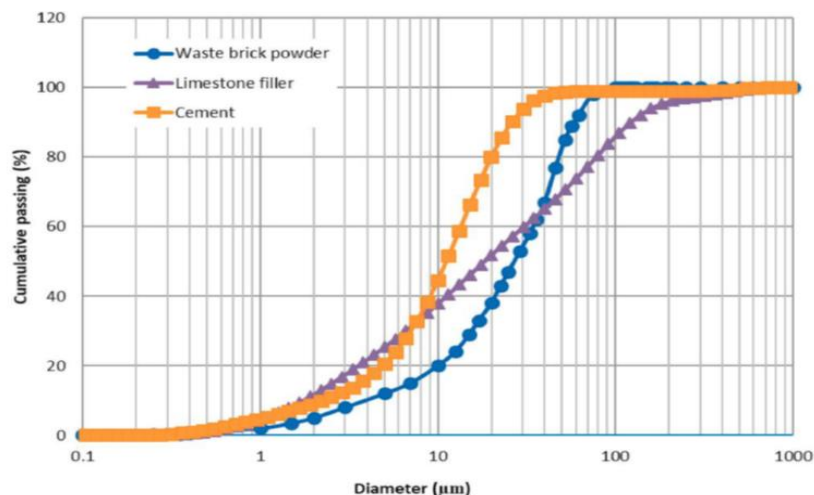


Figure 1: Distributions granulométriques de WBP, filler calcaire et ciment (Zengfeng Zhao, 2021).

Pour l'aspect microstructurale de l'éco-mortier aux attaques sulfatique, (Brekailo, 2021) dans l'étude des déchets de céramiques rouge et des déchets de béton en remplacement du ciment portland, l'auteur a utilisé la poudre de céramique rouge, la poudre de déchets de béton

et le filler calcaire ont été analysés en tant qu'ajouts minéraux. Le matériau céramique provient de blocs de déchets céramiques. Tous deux ont été préalablement traités dans la machine à abrasion de Los Angeles. Le matériau obtenu a été tamisé, et le matériau final utilisé était celui qui passait à travers un tamis de 0,075mm. Cette méthode a été choisie parce-que parmi les options de broyage testées, Le matériau traité dans l'équipement d'abrasion de Los Angeles présentait une meilleure homogénéité de la distribution granulométrique, et un ciment Portland CII F-40, équivalent au CEM II/A-L 42.5N (selon la norme européenne EN 197-1), qui est un ciment avec un ajout de 10% de filler dans sa composition Un agrégat fin de lit de rivière naturel (quartz) a été utilisé, Sa distribution granulométrique était composée de 4 fractions égales retenues dans les tamis à maille de 1,20 /0,60/ 0,30 et 0,15 mm, comme spécifié dans la norme brésilienne NBR 7214 (ABNT, 2015). La figure 2 représente la distribution granulométrique de filler et le ciment portland utilisé par (Brekailo, 2021), où on remarque une granulométrie très fine par rapport à (Zhao, 2021).

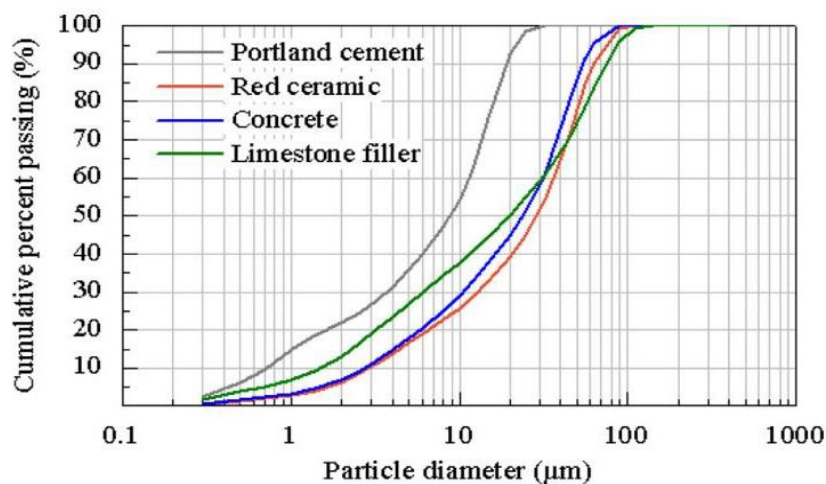


Figure 2: Distribution granulométrique du ciment Portland et des ajouts minéraux. (Fernanda Brekailo, 2021).

I.2 Caractérisation des matières premières :

Dans ce paragraphe nous montrons les différents essais de caractérisations des matières utilisés par les chercheurs afin de construire des briques à base des déchets :

I.2.1 Fluorescence X :

La spectroscopie par fluorescence X (XRF) est une excellente technologie qualitative et quantitative des analyses chimiques. L'étude de la matière première par XRF a été effectuée par (Mandefort Dubale 2021). L'appareil est un XRF séquentiel informatisé avec un tube à

rayons X à fenêtre latérale de 3 kW. La machine XRD génère des rayons X d'une longueur d'onde de 1,54184 Å, la mieux adaptée pour générer des cartes de densité électronique de la résolution atomique utilisée.) Le résultat de XRF pour les déchets DFWT non cuits est décrit en termes d'oxydes majeurs et mineurs et fourni dans [le tableau 1](#).

Tableau 1 : Oxydes d'éléments majeurs et mineurs. (Mandefort Dubale 2021)

S.no	Oxyde majeurs et mineurs	Poids pour cent
1	SiO ₂	47,78
2	Al ₂ O ₃	11,60
3	Fe ₂ O ₃	3,53
4	MnO	0,037
5	MgO	1,04
6	CaO	4,88
7	Na ₂ O	1,4
8	K ₂ O	1,76
9	TiO ₂	0,49
10	P ₂ O ₅	0,09
11	SO ₃	0,05

D'après les résultats de Tableau 1 les principaux éléments de l'analyse de XRF des déchets utilisés sont SiO₂ et Al₂O₃ ([Mandefort Dubale 2021](#)), ([duggal, 2012](#)).

De même la XRF effectuée par (Zhao, 2021) pour déterminer la composition chimique de WBP (Waste Brick Powder) comme est indiqué dans [le tableau 2](#). L'élément chimique le plus dominant est SiO₂ avec l'apparition de l'élément Al₂O₃, contrairement à études ([Mandefort Dubale 2021](#)), ([duggal, 2012](#)).

Tableau 2: Compositions chimiques de la poudre de brique concassée, (Zhao, 2021)

Composantes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	SO ₃	V ₂ O ₃	MnO	LOi
% WBP	62.8	10.4	16.3	0.6	2.1	2.2	1.7	2.4	0.6	0.1	0.2	0.5

Pour ([Brekailo, 2021](#)) la caractérisation des additions minérales (céramique rouge et du béton et le filler calcaires) déterminée par la fluorescence X, montre la présence des CAO dans les déchets du béton et le remplissage calcaire, voir [le tableau 3](#)

Tableau 3: Caractérisation des additions minérales. (Brekailo, 2021)

	Céramique Rouge	Béton	Remplissage Calcaire
SiO ₂ (%)	55.32	27.41	2.97
CaO (%)	0.19	52.23	78.03
Fe ₂ O ₃ (%)	5.27	8.60	0.44
Al ₂ O ₃ (%)	35.50	7.35	1.73
K ₂ O (%)	1.28	1.45	0.31
SO ₃ (%)	1.23	1.15	1.21
TiO ₂ (%)	1.09	1.33	-
MnO (%)	0.04	0.48	-
MgO (%)	-	-	15.06
*Alcalis équivalents (%)	0.84	0.95	0.41
Masse spécifique (g/cm ³)	2.53	2.39	2.70

Remarque : *Alcalis équivalents = (%Na₂O) + 0,658*(%K₂O).

I.2.2 Diffraction par rayons X (DRX) :

L'analyse XRD a été effectuée par (Mandefort Dubale., 2021) pour comprendre la minéralogie de la matière première. Il a utilisé une double imagerie haute sensibilité, système de plaques, ce qui augmente la précision et réduit le temps d'acquisition des données. Le graphique XRD détermine la molécule structure des atomes sur l'échantillon. Le graphique XRD montré à la Figure 3 le pic est plus net et que les déchets DFWT avaient été les phases cristallines due à la présence de quartz (SiO₂) (Johari.al, 2011).

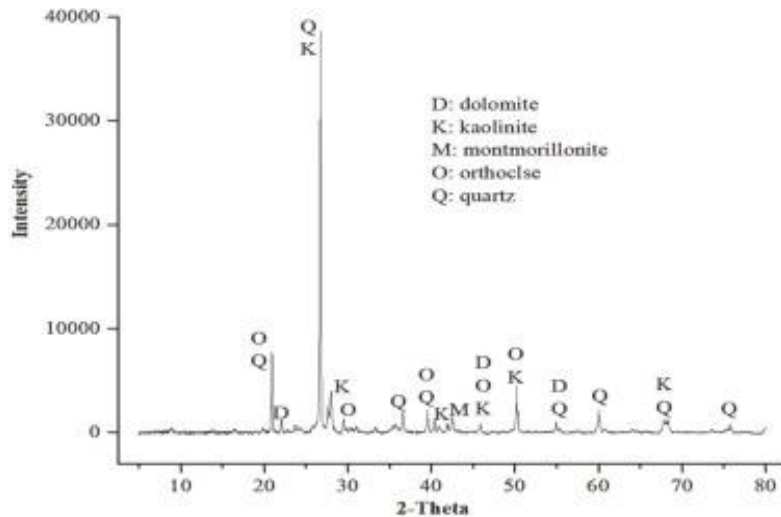


Figure 3: DRX de déchets de carreaux de sol et de mur démolis non cuits. (Mandefort Dubale, 2021).

De même (Brekailo, 2021) à réaliser la Diffraction De Rayon X, DRX dans un Rigaku Ultima IV diffractomètre. Un pas de $0,02^\circ$ et un temps de 1 s par pas, avec un balayage compris entre 5° et 55° (2θ), a été retenu pour l'essai. Le Cu-Ka (40 kV, 30 mA) et une fente divergente de 1° ont été utilisés. Certains des études montrent que la céramique rouge peut avoir une potentialité Pouzzolanique, la réactivité de ce matériau a également été examinée à travers la Méthode de Chapelle, selon la norme brésilienne NBR 15895 (ABNT, 2010). Ce test permet de déterminer la quantité de calcium hydroxyde fixé par le matériau. Dans la figure 4 on remarque que les diffractogrammes de la poudre de céramique rouge ont montré des pics de quartz prédominants (SiO_2), la muscovite ($\text{KA}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$), et l'hématite (Fe_2O_3). Le diffractogramme de la poudre de béton a montré de façon prédominante des pics de quartz, de calcite (CaCO_3) et d'oxyde de calcium (CaO). Dans l'échantillon de remplissage de calcaire (Brekailo, 2021), le diffractogramme a montré de la calcite, de la dolomite ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) et des pics de quartz.

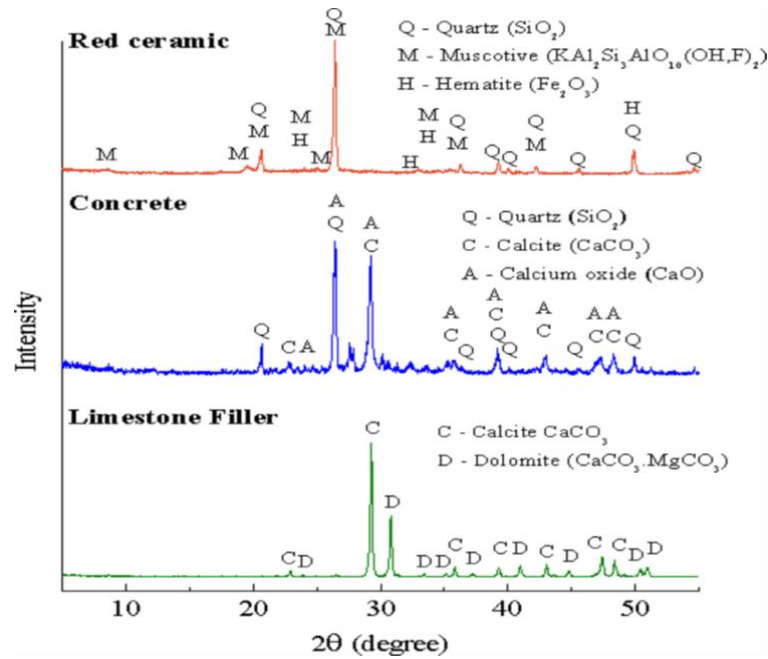


Figure 4: Diffractogrammes aux rayons X des additions minérales. (Fernanda Brekaillo., 2021).

I.2.3 Analyses proximales et ultimes :

(Mandefort Dubale., 2021) a réalisé des analyses proximales et ultimes pour les déchets de carreaux de sol et des murs démolis. L'analyse ultime est une analyse élémentaire qui détermine le pourcentage de chaque élément présent dans les déchets. Cette analyse est nécessaire pour effectuer des calculs de bilan massique pour un processus chimique ou thermique. L'analyse proximale est essentielle pour l'évaluation des propriétés de combustion de la matière première, et consiste à identifier les propriétés des matériaux liées à la combustion et la matière organique. L'analyse proximale et ultime n'est pas les seuls paramètres permettant de décider des propriétés de combustion et l'analyse élémentaire plutôt qu'ils ont été utilisés dans cette recherche comme des données préliminaires avant de faire des briques cuites. Les résultats de l'analyse proximale et ultime des déchets de DFWT (Mandefort Dubale 2021), Le pourcentage de d'humidité est faible, et les cendres sont très élevées dans les analyses proximales ; cela montre que la matière première n'est pas facilement combustible. La teneur en eau et la matière volatile ont entraîné une légère différence dans le retrait linéaire et la perte au feu. L'analyse ultime montre qu'il peut y avoir une perte de masse sur la brique à cause du carbone présent au moment de la cuisson. Les tableaux 4 et 5 montrent les résultats des analyses proximales et ultimes des déchets DFWT non cuits (Mandefort Dubale., 2021).

Tableau 4: Analyse proximale des déchets de sol et de carrelage démolis (% en poids).

Teneur en humidité	Matières volatiles	Carbone fixe	Cendre
11.32	4.12	0.98	83.58

Tableau 5: Analyse ultime des déchets de sols et de carreaux démolis.

Carbone	Azote	Hydrogène	Oxygène
67.26	0.09	12.98	35.21

I.2.4 Le test TCLP :

Le test TCLP (Toxicity Characteristics Leaching Procedure) a été réalisé pour déterminer la lixiviation des métaux toxiques de la matière première des déchets de carreaux de sol et des murs démolis (Mandefort Dubale., 2021). Les directives de la méthode de l'Agence de protection de l'environnement (APE) ont été utilisées pour les éléments toxiques tels que : As, Cd, Cr, Cu, Pb, et Zn. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été réalisée sur les déchets de carreaux de sol et de mur démolis non cuits pour identifier le groupe fonctionnel dans la matière première. Les déchets de carreaux de sol et de mur démolis génèrent des lixiviats dont les valeurs sont bien inférieures aux limites prescrites par les règles indiennes de gestion des déchets dangereux. Par conséquent, l'incorporation des déchets de DFWT dans la production de briques cuites est sûre et peut être recyclée. Les résultats de test de lixiviation TCLP sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6: Les éléments toxiques dans les déchets de DFWT (Mandefort Dubale., 2021).

Elément	Ac	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Déchets DFWT en mg/kg	1.32	0.28	7.32	18.44	5.95	16.73	287.12

I.2.5 Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

La spectroscopie infrarouge (FTIR) a été réalisée par Mandefort Dubale 2021. Sur des déchets de carreaux de sol et de mur démolis non cuits pour identifier la fonction de groupe en matière première. Les molécules vibrent selon quatre (4) modes différents (flexion, basculement, torsion et cisaillement) ; cela crée un spectre graphique qui peut être identifié avec FTIR (Mukherjee, 2013). Les principales bandes identifiées par FTIR étaient d'environ 3253cm^{-1} ;

1723cm⁻¹ ; 1399cm⁻¹ ; 1027cm⁻¹ ; 791cm⁻¹ et 473cm⁻¹ montrant dans la figure 5. (Mandefort Dubale 2021).

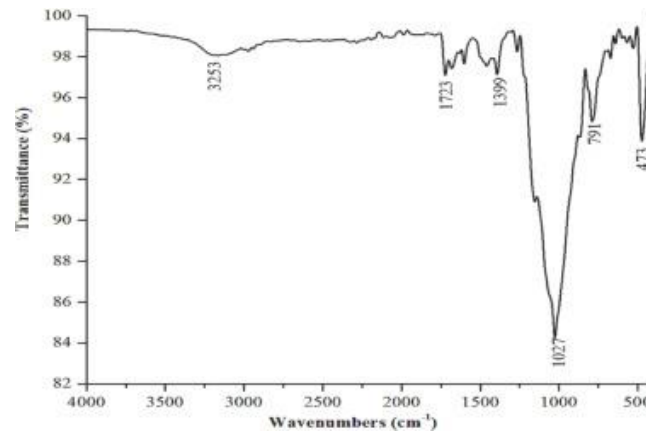


Figure 5: Résultat FTIR des déchets DFWT (Demolished Floor and Wall Tile). (Mandefort Dubale 2021).

I.2.6 Test bêta P :

La demande en eau, par les fillers calcaires et du WBP a été caractérisée par moyen du facteur β_p (Courard, 2003) et (P.Domone, 1997). Le test Beta P a été réalisé par (Zhao, 2021) afin de quantifier la demande en eau β_p du mélange correspondant au comportement rhéologique d'une pâte à différentes teneurs en eau. Cette épreuve impliquait la mesure de l'étalement d'une pâte pour différentes teneurs en eau et un facteur de surface d'écoulement relatif (R) calculé à partir du diamètre d'épandage D (mm), Équation (1) avec le mini-cône (h = 60 mm, d = 70 mm et D = 100 mm) utilisé pour la norme européenne EN 1015-3.

$$R = \frac{(D^2 - 100^2)}{100^2} = \left(\frac{D}{100}\right)^2 \dots\dots\dots \text{Équation 1}$$

(H.Okamura, 1993), Ont démontré que, pour une pâte faite avec n'importe qu'elle poudre ou poudre particulière, le rapport volumique d'eau et de la poudre (V_w/V_p) et l'aire d'écoulement relative (R) sont linéairement liées équation (2) , où (β_p) est le taux d'eau, qui peut être considéré comme comprenant eau adsorbée à la surface de la poudre avec celle nécessaire pour remplir les vides dans le système de poudre, et pour assurer une dispersion suffisante de la particules, nécessaires à l'écoulement du mélange. (Ep) est le coefficient de déformation, qui est une mesure de la sensibilité des caractéristiques de fluidité du coller pour augmenter la teneur en eau.

$$V_w/V_p = \beta_p + R \times EP \dots\dots\dots \text{Équation 2}$$

La relation entre le rapport poudre-Eau en volume (V_w/V_p) et la surface d'écoulement Relative (R) pour la charge calcaire et le WBP (Waste Brick Powder) est présentée à la Figure 6. Comme on peut le voir sur la Figure 6 et le Tableau 7, le WBP a présenté un β_p plus élevé par rapport au calcaire, ce qui peut être justifié par la distribution granulométrique mono-dispersée et plus étroite du WBP de particules du WBP et une surface spécifique BET plus élevée (Z. Ge, 2015) (Subaş, 2017). Cela indique qu'une plus grande quantité d'eau est nécessaire pour obtenir la même maniabilité de la pâte pour le WBP. Ainsi, le WBP a une demande en eau plus élevée par rapport à la charge calcaire. Cette constatation est en accord avec les résultats d'autres auteurs (Liu, 2014), (Schackow, 2015). En ce qui concerne le coefficient de déformation (E_p), le WBP a une valeur plus élevée démontrant une plus grande sensibilité à la variation de la quantité d'eau, (Courard, 2003).

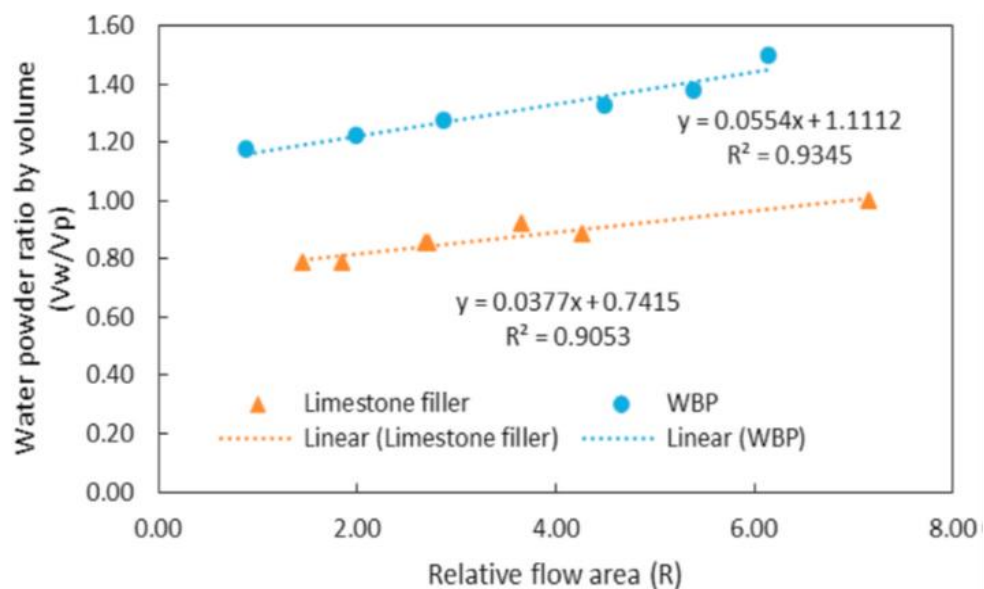


Figure 6: Relation entre V_w/V_p et R pour la charge calcaire et WBP (Waste Brick Powder).

Tableau 7: Résultats de test beta P (Zhao, 2021).

Poudre	β_p	E_p (coefficient de déformation)	R^2
Remplissage calcaire	0.742	0.038	0.905
WBP	1.111	0.055	0.935

I.2.7 Analyse thermogravimétrique ATG :

L'analyse thermogravimétrique ATG, a été utilisée par Mandefort Dubale., 2021 avec une vitesse de chauffage de 10 °C/min dans une atmosphère statique d'azote pour étudier le changement de poids et

la stabilité thermique dus à la température de cuisson.. Le résultat de traitements des déchets DFWT est présenté dans la figure 7.

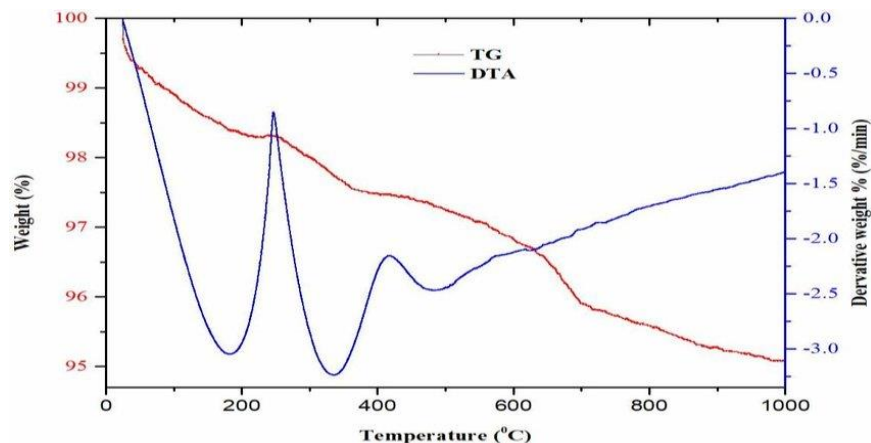


Figure 7: Résultats de la TGA des déchets de DFWT (Mandefort Dubale2021).

I.3 Procédures du mélange ou de fabrication :

La conception du mélange réalisée par (Zhao, 2021) selon la méthode du béton équivalent (MBE) développé par (Schwartzentrube, 2000). Le tableau 8 présente les compositions de mortier auto plaçant, des mortiers auto-plaçant ont été fabriquées avec un filler calcaire remplacé par (WBP) à des taux de substitution en volume de 0%, 50% et 100%.

Le même rapport (E/C) de 0,8 a été utilisé pour les séries de mortiers M-BP0, M-BP50 et M-BP100 ce rapport élevé a été utilisé pour obtenir un mortier auto-plaçant et pour éliminer l'effet des super plastifiants). Des études antérieures réalisées sur ce matériau (Bouarroudj, 2021) ont montré que la porosité du WBP était très faible après broyage de la particule de brique. Des essais préliminaires ont cependant montré que la substitution du filler calcaire par WBP a eu un impact négatif sur la maniabilité : mesure préventives (H.Okamura, 1993). Un super plastifiants ou ajout d'eau supplémentaire sont nécessaires pour contrôler la maniabilité du mélange. Il est à noter que l'étude de (Zhao, 2021) est d'estimer l'effet réel de la WBP remplaçant le filler calcaire, tout en gardant les autres variables constantes. Par conséquent, une quantité supplémentaire d'eau a été utilisée pour la série de mortiers M-BP50WA et MBP100WA afin d'obtenir un indice d'écoulement de mélange similaire à celui mortier de référence M-BP0 (WA dans M-BP50WA et M-BP100WA signifie cette eau ajoutée pour produire des mortiers avec une ouvrabilité similaire).

Tableau 8 : Compositions de mortier auto plaçant (g). (Zhao, 2021)

Type de mélange	ciment	Sable naturelle	Filler calcaire	WBP	L'eau efficace	L'eau supplémentaire	L'eau totale
M-BP0	448.0	1350.0	298.3	0.0	358.4	0	358.4
M-BP50	448.0	1350.0	149.2	167.7	358.4	0	358.4
M-BP100	448.0	1350.0	0.0	335.4	358.4	0	358.4
M-BP50WA	448.0	1350.0	149.2	167.7	358.4	19.0	377.4
M-BP100WA	448.0	1350.0	0.0	335.4	358.4	37.9	396.3

De sa part [Mandefort Dubale., 2021](#), avant de fabriquer une brique cuite, un bon mélange à sec est essentiel pour obtenir un mélange homogène. Les briques de mélange avec un sol alluvial et un sol latéritique produit avec ajout de l'eau progressivement en ajoutant 20 à 25% d'eau pour obtenir la consistance désirée. Des briques de forme cubique d'une taille de 61 mm *29mm*19mm ont été préparées par moulage manuel. Ces briques moulées ont ensuite été séchées au soleil pendant une journée, séchées à l'étuve à la température de ± 105 à 5 °C le jour suivant, et le frittage de la brique est effectué dans un four électrique. Four à moufle pendant 5 heures à deux températures différentes, 850 °C et 900 °C qui sont les températures de cuisson typiques utilisées dans les fours commerciaux. Pour obtenir une bonne qualité de brique cuite, la plage de température typique est de 800 à 1100 °C selon la nature des matières premières. La désignation du ratio de mélange est F pour le sol alluvial et M pour le sol latéritique avec différents ratios de mélange de déchets DFWT de 5wt% à 45wt%, comme indiqué dans [le tableau 9](#).

Tableau 9: Exemple de rapport de mélange du modèle de produits en brique. (Mandefort Dubale2021).

Echantillons de briques	Ingrédient en % en poids		
	Sol Alluvial	Sol latéritique	DFWT
F	100	0	0
F5	95	0	5
F10	90	0	10
M	0	100	0
M5	0	95	5
M10	0	90	10

Une procédure de mélange précise a été suivie par (Zhao, 2021) selon les normes européennes norme EN 196-1. Pour le mélange de 50% et 100% de poudre, la quantité totale d'eau (eau

efficace plus eau supplémentaire) était utilisé pour fabriquer les éprouvettes, sans processus de pré-saturation de WBP.

I.4 Essais sur mortiers frais :

Après mélange, le premier test rhéologique effectué par (Zhao, 2021) est essai de l'étalement. Le débit d'étalement du mortier frais a été mesuré immédiatement après le retrait du cône MBE (Méthode de Béton Equivalant) (Schwartzentrube, 2000) et (Zhao, 2021), ($h = 150$ mm, $d = 50$ mm et $D = 100$ mm, environ 687 ml). La valeur de propagation a été mesurée le long de deux diamètres perpendiculaires après 5 min de mélange. La figure 8 présentes les valeurs d'étalement des mortiers en fonction de la teneur en WBP. La figure 9 présenté Un autre rhéologique a été réalisé avec Rheocad 400 (CAD Instrumentation) (Artelt, 2008). (Zhao, 2021) Afin d'évaluer les contraintes d'élasticité et de cisaillement. Ce rhéomètre est un dispositif mécanique contrôlé par ordinateur, qui est développé spécialement pour la caractérisation des matériaux de construction. Son principe repose sur la mesure de la couple développé en réponse à la rotation contrôlée d'un instrument de mesure appareil dans un bol. Le couple est enregistré en fonction de la vitesse de rotation. Étalonnage minutieux et programme utilisé du système (Tabarelli, 2018) autorisé de transformer cette corrélation en une corrélation entre la viscosité dynamique du mortier et le gradient de cisaillement (intervalle compris entre $0,1$ et 60 S^{-1}). La masse volumique des mortiers frais a été déterminée selon la norme EN 1015-6. Avant la coulée, la teneur en air des mortiers ont été mesurés selon la norme EN 1015-7.

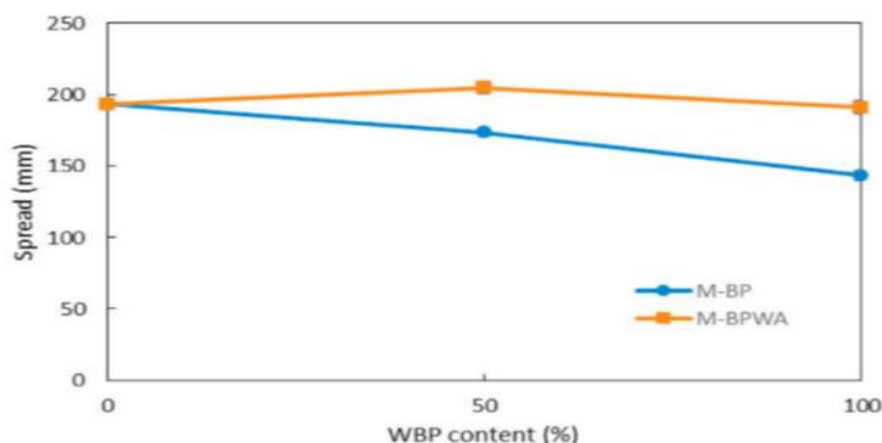


Figure 8: Étalement des mortiers frais en fonction de la teneur en WBP.

NB : la teneur en WBP (M – BP fait référence à la série de mortiers M-BP0, M-BP50 et M-BP100 ; tandis que M-BPWA fait référence au séries de mortiers M-BP50WA et M-BP100WA).

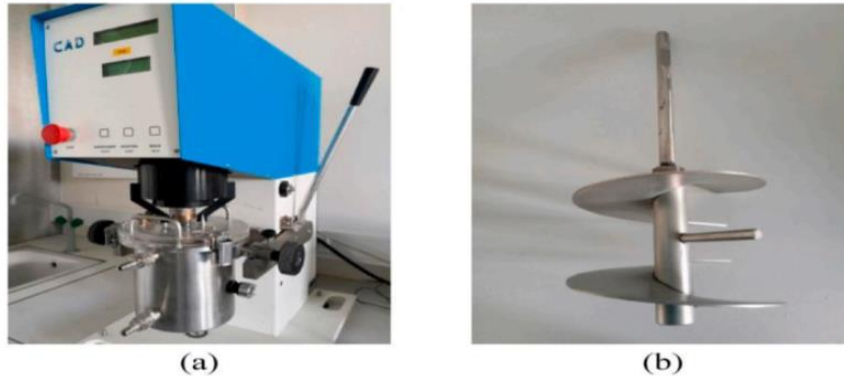


Figure 9: Rheocad 400 : (a) machine avec bol ; (b) roue spéciale

Les courbes de débit ont été analysées avec le modèle standard de Bingham pour étudier les propriétés rhéologiques de fluides non newtoniens comme le ciment pâtes, mortiers et bétons (Equation 3). (Zhao, 2021).

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma' \dots\dots\dots \text{Équation 3}$$

Où (τ) est la contrainte de cisaillement, (τ_0) est la limite d'élasticité, (μ) est la viscosité plastique et est (γ') taux de cisaillement.

La Figure 10 montre que la courbe d'écoulement des mortiers s'adapte parfaitement à une ligne droite pour les taux de cisaillement dans la gamme 1 à 22 s⁻¹. La limite d'élasticité, la viscosité plastique et le coefficient de corrélation (R²) sont présentés dans Tableau 10. Les résultats ont montré que les mortiers avec substitution de calcaire, la charge par WBP a présenté une limite d'élasticité et une viscosité plastique plus élevées que celui du mortier de référence. L'équation de la ligne de tendance de la référence le mortier présentait la limite d'élasticité et la viscosité plastique les plus faibles.

- Pour la série des mortiers M – BP, la limite d'élasticité et la viscosité plastique du mortier augmenté avec le taux de substitution de WBP, qui est conforme avec test de débit d'épandage. En effet, ces comportements dépendaient probablement sur le frottement interne entre les particules et la fluidité des mortiers : le WBP a présenté un PSD mono-taille et plus étroit, une surface plus élevée, surface spécifique et frottement interne probablement plus

élevé entre les particules que le filler calcaire. De plus, un peu d'eau a été adsorbée par le WBP pendant le mix, ce qui a entraîné une diminution de la disponibilité d'eau libre dans le mélange : ainsi le couple et la viscosité du mortier augmentent avec le taux de substitution.

- Pour la série des mortiers MBPWA, la limite d'élasticité et la viscosité plastique du mortier ont légèrement augmenté lors du remplacement du filler calcaire par du WBP, ce qui est probablement dû à frottement interne plus élevé de WBP (l'eau supplémentaire a été ajoutée pour produire le mortier avec le niveau de maniabilité similaire).

Sur la base des valeurs obtenues par les tests Rheocad, on peut considérer que la série des mortiers M-BP présentait une limite d'élasticité initiale et viscosité plastique supérieure à la série des mortiers M-BPWA. Pour la série des mortiers M-BPWA, la fluidité du mélange a augmenté en raison de l'eau supplémentaire utilisée, qui a conduit à la diminution de la viscosité et la contrainte de couple ou de cisaillement. Ces résultats sont cohérents avec la maniabilité de mortier évalué au moyen d'un test d'écoulement d'épandage.

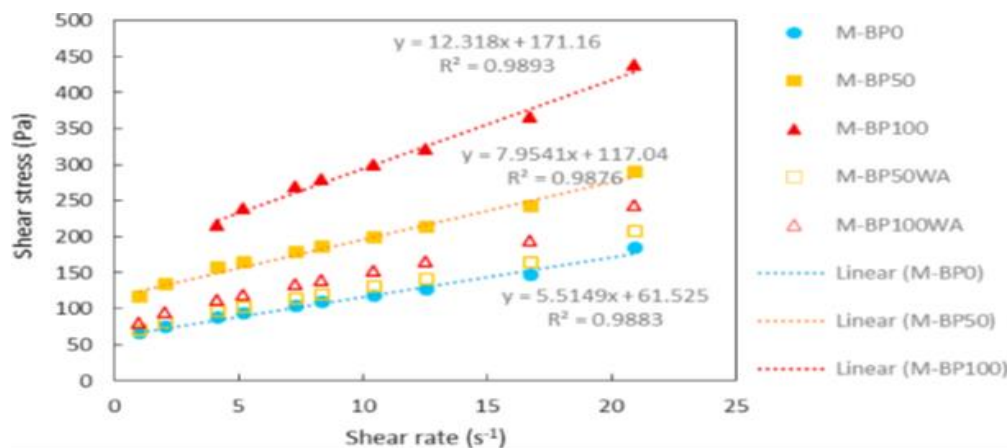


Figure 10: Courbe d'écoulement des mortiers et évaluation de la limite d'élasticité (Zhao, 2021).

L'ensemble des mortiers fabriqués par (Zhao, 2021) suit le modèle de Bingham avec un coefficient de corrélation 0.99, comme le montre le tableau 10.

Tableau 10 : Propriétés rhéologiques du mortier. (Zengfeng Zhao., 2021)

Mortier	τ_0 (limite d'élasticité, Pa)	μ (viscosité plastique, Pa.s)	R2
M-BP0	61,52	5.51	0.99
M-BP50	117.04	7.95	0.99
M-BP100	171.16	12.32	0.99
M-BP50WA	65,60	6.36	0.99
M-BP100WA	76.03	7.55	0.99

La Figure 11 indique la teneur en air des mortiers en fonction de la substitution WBP, plus le taux de substitution est élevé, plus la teneur en air est élevée. Ceci est probablement dû à la surface spécifique plus élevée et au mono-dimensionnement et PSD plus étroit de WBP par rapport au filler calcaire et induit l'inclusion de bulles d'air lors de la procédure de mélange. En outre, la densité des mortiers frais a diminué lorsque le taux de substitution a augmenté. Des observations similaires ont été trouvées avec des déchets de poudres céramiques par (Subaş, 2017). (Zhao, 2021).

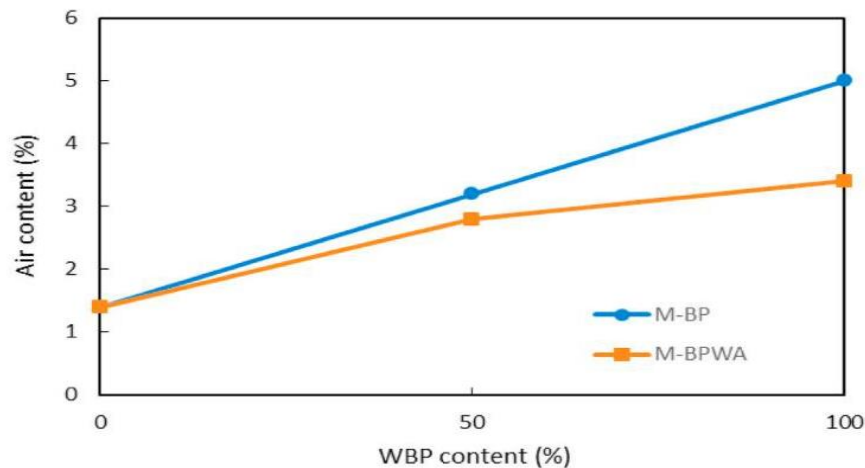


Figure 11: La teneur en air des mortiers en fonction du taux de substitution WBP.

I.5 Comportements :

Dans cette section, on résume les différents comportements des matériaux fabriqués à base de poudre de briques soit comme un liant.

I.5.1 Absorption :

L'absorption d'eau est la quantité d'eau absorbée par l'échantillon de brique et calculée après immersion pendant 24 heures dans l'eau à température ambiante. Après 24 heures de trempage, les briques ont été retirées et essuyées avec un chiffon humide et la pesée a été effectuée immédiatement (Mandefort Dubale 2021). L'absorption d'eau observée est de 35% et 40 % en poids pour les déchets de carreaux de sol et des murs démolis à 850 °C et 900 °C respectivement sur les deux sites, voir figure 12. L'incorporation des déchets DFWT dans les sols a montré que l'absorption d'eau augmentait uniformément avec l'ajout de déchets.

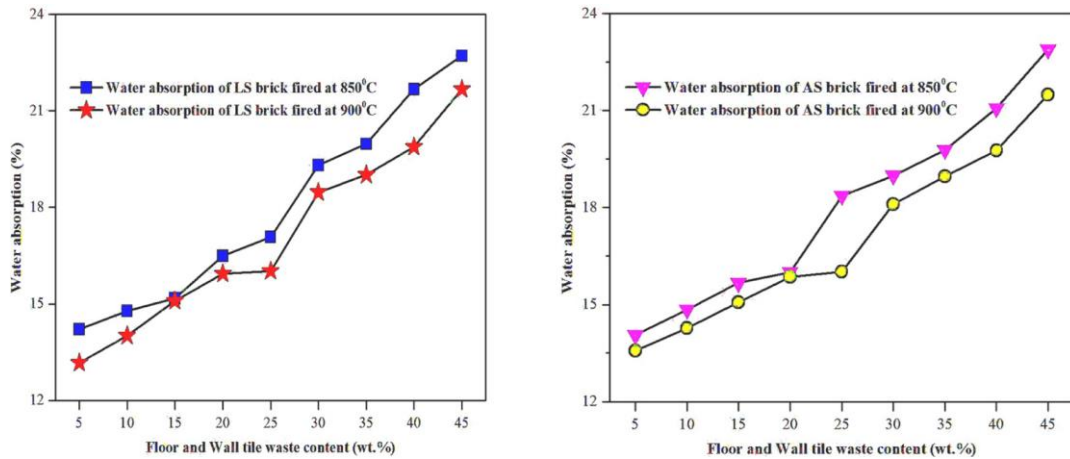


Figure 12: Absorption d'eau de la brique cuite avec les déchets de DFWT (Mandefort Dubale 2021).

Par contre, L'absorption d'eau des mortiers mesurée par (Zhao, 2021) a été faite après 28 jours de cure. Des éprouvettes de 40 mm × 40 mm × 160 mm ont été utilisées pour déterminer l'absorption d'eau selon la norme NBN B15-215. Les spécimens ont été immergés dans l'eau jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La masse constante a été prise comme la masse saturée d'échantillon (M_{satu}). La masse séchée a été obtenue après séchage de l'échantillon saturé dans une étuve à 105 °C jusqu'à masse constante ($M_{séch}$). Dans l'équation (4) l'absorption d'eau (WA) a ensuite été obtenue en rapportant la quantité d'eau absorbée à la masse séchée au four.

$$WA = \frac{M_{SAT} - M_{dried}}{M_{dried}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Équation 4}$$

Les absorptions d'eau des mortiers mûris pendant 28 jours sont présentées dans la figure 13. Pour la série de mortiers M -BP, les valeurs d'absorption d'eau étaient similaires pour les différents teneurs en WBP. Les valeurs d'absorption d'eau des mortiers M-BPWA étaient légèrement supérieures à la série de mortiers M - BP, qui est dû à l'apport d'eau : cela induit un rapport initial eau/ciment par rapport à la série de mortiers M- BP et conduisant à une plus grande porosité. De plus, la réaction entre $Ca(OH)_2$ et les composés amorphes (effet pouzzolanique), telles que la silice et l'alumine présentes dans WBP, généreront des hydrates de silicate/aluminate similaires à ceux produits lors de l'hydratation du ciment; qui va induire un affinement de la structure poreuse et une diminution de la porosité de la matrice cimentaire. Pour les valeurs de porosité ou d'absorption d'eau étaient similaires pour les différents teneurs en WBP pour la série de mortier M - BP, tandis que les valeurs légèrement supérieures ont été obtenues pour la série de mortier M-BPWA.

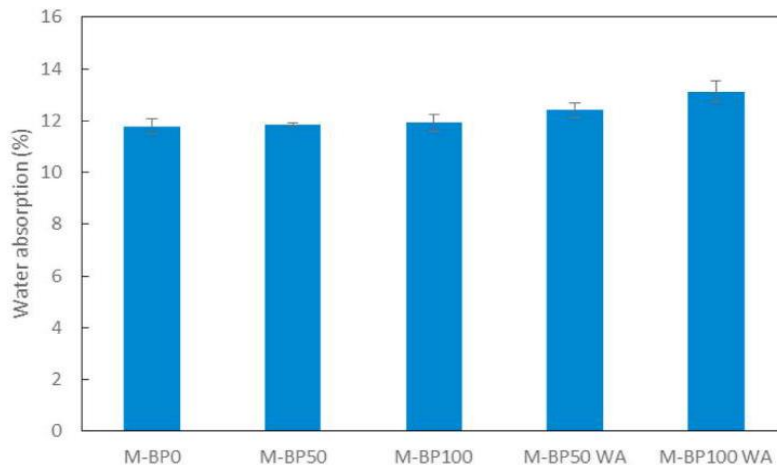


Figure 13: Absorption d'eau des mortiers à 28 jours. (Zengfeng Zhao 2021)

I.5.2 Résistance à la compression :

La méthode de production, la température de cuisson, les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques de la matière première déterminent les facteurs de résistance à la compression sur brique cuite (Muñoz, 2019). Le résultat montre que 35% en poids et 40% en poids de DFWT l'ajout de déchets à deux températures différentes avait atteint la limite dans les deux types de sol latérite et sol alluvial (Figure 14). L'impact du temps de cuisson n'a eu aucun effet significatif sur les propriétés physiques et mécaniques de la brique que la température de cuisson (Rebel, 2001). Le résultat montre dans cette étude que les briques cuites à une température de 900 °C ont eu de bons résultats comparés à 850 °C. (Mnadefort Dubale 2021).

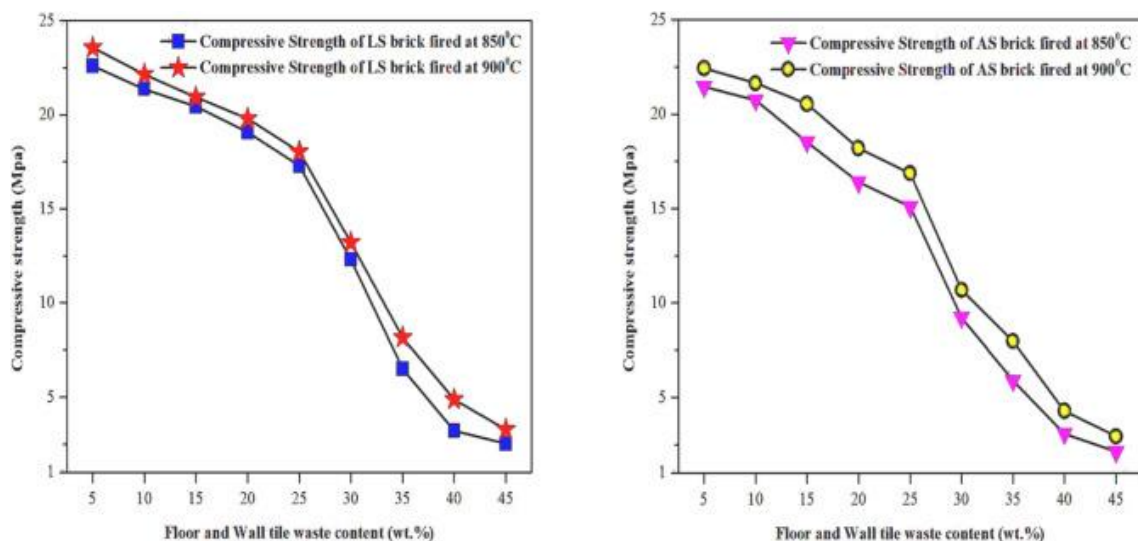


Figure 14: Résistance à la compression de la brique cuite avec des déchets DFWT incorporés dans les deux sols à 850 °C et 900 °C. (Mnadefort Dubale 2021).

Pour la compression et la flexion des échantillons de (Zhao, 2021), à base de WBP, la Figure 15 et la Figure 16 montrent que lorsque la substitution de filler calcaire par WBP a augmenté, la résistance à la compression de mortiers ont légèrement diminué après 7 jours (la résistance à la compression des mortiers M - BP a diminué de 5,6% et 9,3% pour des mortiers à base 50% et 100% WBP en comparaison avec le mortier de référence, respectivement; tandis que la résistance à la compression des mortiers M-BPWA a diminué de 2,7% et 16,7 % pour les mortiers à base de 50 % et 100 % WBP, respectivement; la résistance à la compression du mortier de série de mortier M-BP100WA pourrait atteindre 26,8 MPa), ce qui est probablement dû à la teneur en air plus élevée des mortiers avec WBP. Après 28 jours, la résistance à la compression des mortiers avec WBP était équivalente au mortier de référence avec filler calcaire (la résistance à la compression du mortier de série M-BP100WA a diminué de 5,3% en comparaison avec le mortier de référence et il pourrait atteindre 35,6 MPa) ; la tendance à la baisse semble être compensée, probablement par l'activité pozzolanique de WBP (Liu, 2014) et (Ortega, 2018) ont montré la quantité de portlandite pour un mortier fait avec 10% et 20% de poudre de brique a fait pas beaucoup augmenté ou même diminué de 15 à 90 jours, en raison de la consommation de portlandite dans les réactions pouzzolaniques basées sur l'analyse thermogravimétrique) et cet effet pourrait être renforcé après 90 jours (A. Grellier, 2021). La résistance à la compression du mélange M-BP100 était légèrement supérieur (1,7 MPa) au mélange M-BP50. Les 16% de la teneur en phase amorphe présente dans le WBP pourrait réagir avec l'hydroxyde de calcium et former des produits hydratés sous forme de silicates hydratés de calcium (C-S-H) et les hydrates d'aluminate de calcium (CAH), qui améliorer les propriétés de résistance et de durabilité des matériaux à base de ciment (E. Navrátilová, 2016), (Filho, 2007), (Vejmelková, 2011), (Ortega, 2018). Pour la série de mortiers M- BP, la compression la résistance était légèrement supérieure à celle de la série de mortiers M-BPWA. La différence entre les deux séries était la plus élevée pour le taux de substitution de 100 %, puisque la quantité d'eau supplémentaire a été ajoutée pour la série de mortiers M-BPWA, et donc le rapport eau sur ciment plus élevé induit la diminution de la résistance à la compression des mortiers pour la série de mortiers M-BPWA. Il est important de noter que tous les spécimens remplissent les exigences de la norme EN 998-2 sur la spécification des mortiers pour maçonnerie (la résistance à la compression des mortiers de maçonnerie Grade « Md » doit être supérieure à 25 MPa). Similaire des tendances ont été observées pour la résistance à la flexion des mortiers.

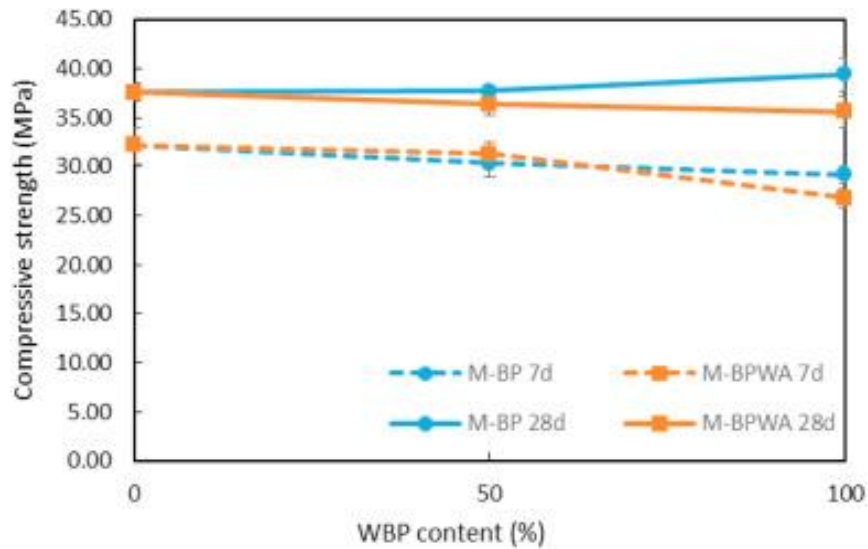


Figure 15: Compression des mortiers en fonction de la teneur en WBP. (Zhao, 2021)

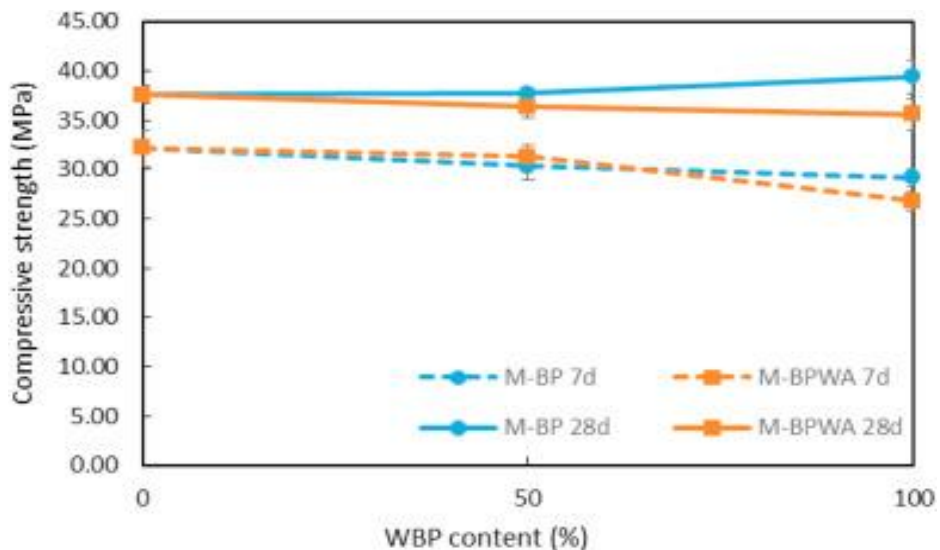


Figure 16: Résistance à la flexion des mortiers en fonction de la teneur en WBP (Zengfeng Zhao 2021).

I.5.3 Retrait de séchage :

(Zhao, 2021) A utilisé des éprouvettes de mortier (40 mm × 40 mm × 160 mm) pour évaluer le retrait de séchage. Les prismes ont été démoulés un jour après la coulée et immédiatement stockés en chambre climatique sèche à 21 ± 2 °C et 60 ± 5 % HR (Humidité Relative), selon la norme NBN B14-217. Les mesures de retrait au séchage ont été effectuées en continu à des âges de 1, 3, 7, 14 et 28 jours. Les variances de longueur ont été déterminées conformément à la norme NBN B14-217. Le retrait de séchage des mortiers est présenté sur la Figure 17. L'incorporation de WBP a induit une réduction du retrait de séchage du mortier par rapport à

celle du filler calcaire, qui est probablement due à leur réseau de pores plus raffiné produit par l'activité pouzzolanique (A. Grellier, 2021). Les résultats sur la série des mortiers M-BPWA ont montré une réduction de retrait de séchage du mortier, mais dans une moindre mesure. Ça devrait être noté ici que l'utilisation d'eau supplémentaire pour les mortiers MP-BPWA a augmenté le rapport initial eau/ciment, ce qui devrait contribuer à une augmentation du retrait de séchage par rapport aux mortiers MP-BP (Courard, 2003), (Chindaprasirt, 2004), (Neville, 1995).

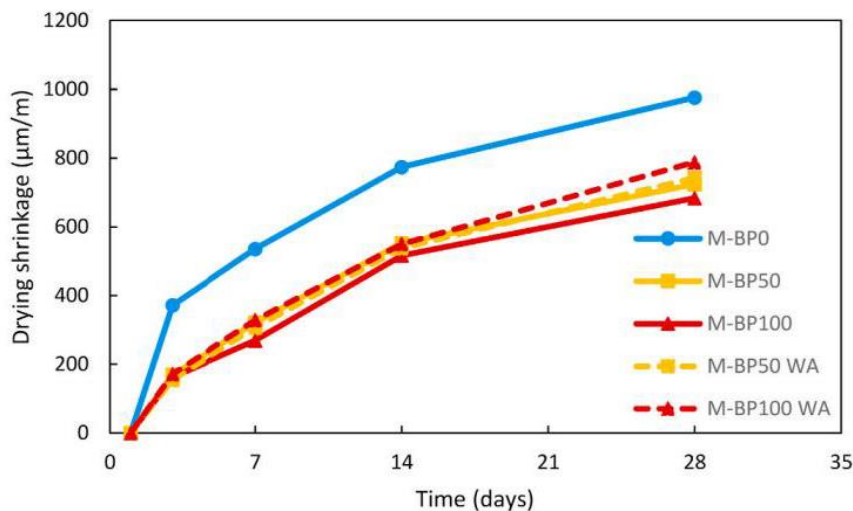


Figure 17: Retrait de séchage des mortiers (Zhao, 2021).

Le retrait de cuisson linéaire a été effectué par (Mnadefort Dubale 2021) pour déterminer le changement dimensionnel de la brique à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Les changements de dimension des briques ont été mesurés avant et après la cuisson de l'échantillon de briques. Une perte au feu a été réalisée pour mesurer la perte de poids due à l'élimination des matières organiques et des carbonates. C'est la différence en pourcentage entre la perte de poids avant et après la cuisson de l'échantillon de briques (Bhavikatti, 2018) ; (duggal, 2012); (Pacheco-Torgal, 2014); (Pfeifer, 2001). Le retrait linéaire de cuisson, la perte de masse au feu et la densité apparente des résultats des sols latéritiques et alluviaux sont illustrés à la Figure 18, 19 et 20 respectivement. La perte de poids de la brique est due à la température de cuisson, à la décomposition des carbonates et à l'évaporation d'eau combinée. Lorsque la température de cuisson passe de 400 °C à 900 °C, la matière carbonée se décompose en CO et CO₂, qui provoquent une perte de masse lors de l'allumage (Akinship, 2017). La brique contrôlée (C) a une perte élevée sur l'allumage, la densité apparente et le retrait linéaire par rapport à l'ajout de déchets DFWT à la température de cuisson en raison de la présence de plus d'eau sur le grain d'argile, et celle-ci s'évapore au moment de la cuisson. Et

aussi, certaines matières volatiles s'estompent et sont passant de la phase amorphe à la phase cristalline (Johari.al, 2011) ; (Debnath, 2019). La densité apparente de la brique après cuisson à 850 °C et 900 °C sur sol alluvial est de 1,49 g/cm³ et 1,51 g/cm³. Alors que sur un sol latéritique 1,52 g/cm³ et 1,56 g/cm³ à 850 °C et 900 °C respectivement. L'ajout de 40% en poids de déchets DFWT sur les sols alluviaux et le sol latéritique a entraîné une réduction de 9% et 6% de la densité apparente de la brique à une température de 900 °C, respectivement. De l'autre part, l'ajout de 35% en poids de déchets DFWT sur des sols latéritiques et alluviaux représente une réduction de 7% et 12% de la densité apparente de brique à 850 °C, respectivement. Pendant le frittage, les fissures, les efflorescences et les défauts de ballonnement n'étaient pas visibles dans les deux sols et également aucune impression lors du grattage avec le doigt et il a un son de cloche lorsque deux briques sont frappées ensemble.

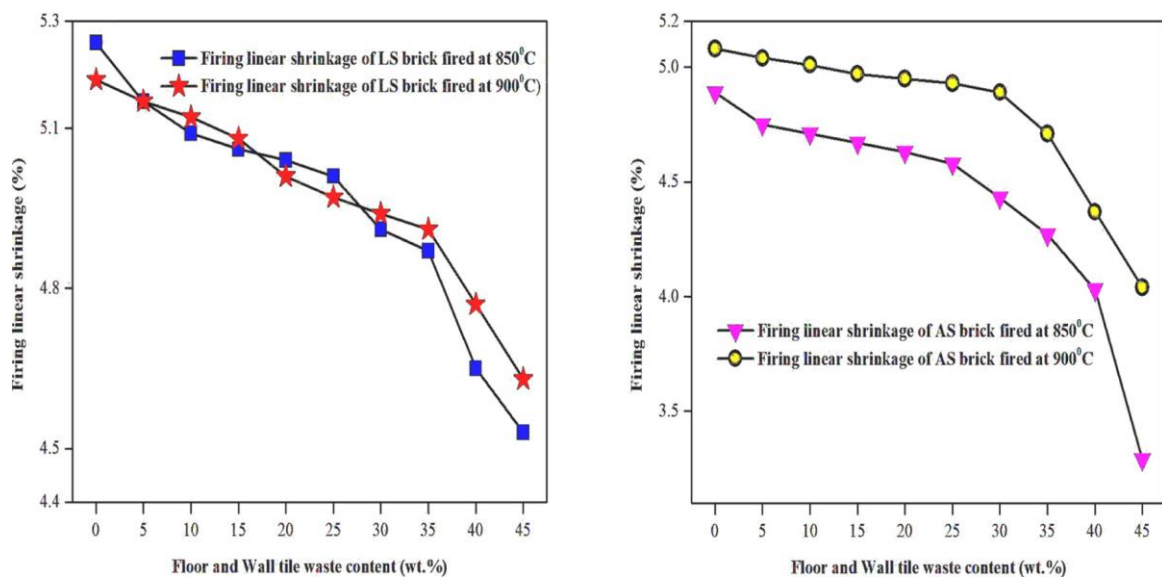


Figure 18: Retrait linéaire de la brique cuite avec des déchets DFWT dans les deux sols. (Mnadefort Dubale 2021).

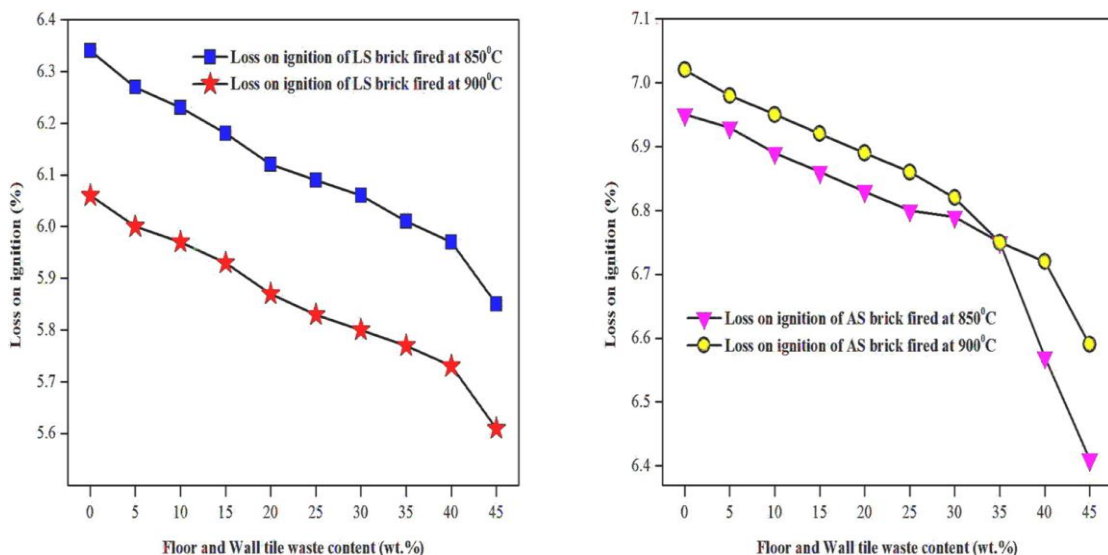


Figure 19: Perte au feu de la brique cuite avec des déchets DFWT dans les deux sols. . (Mandefort Dubale2021).

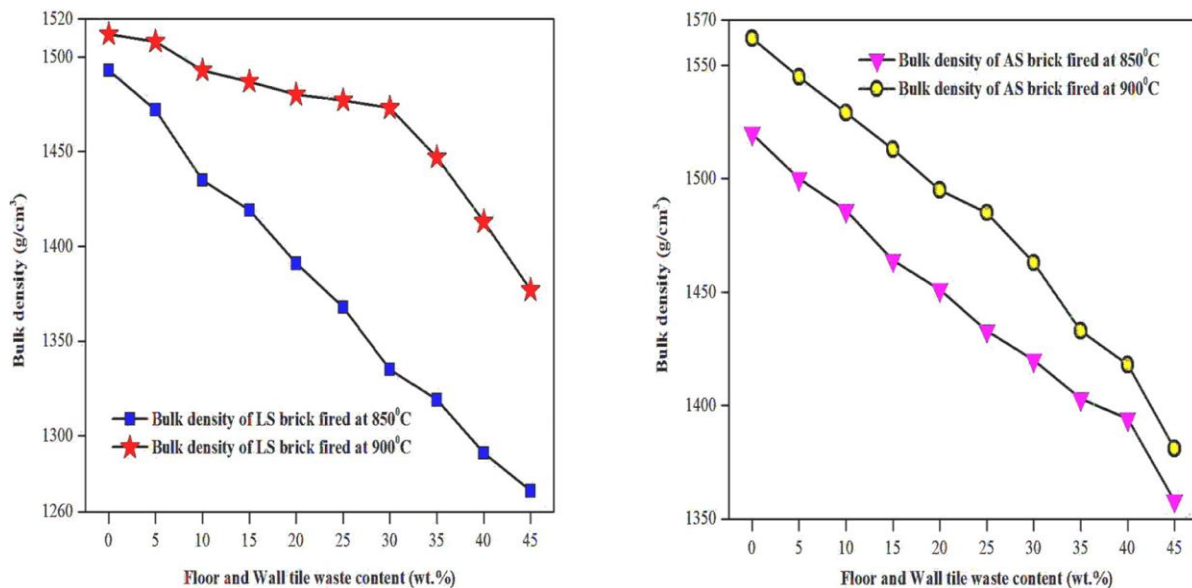


Figure 20 : La densité apparente de la brique cuite avec les déchets DFWT dans les deux sols. (Mandefort Dubale2021).

I.6 Durabilité des mortiers :

I.6.1 Résistance à la carbonatation :

Le test de carbonatation accélérée a été réalisé par (Zhao, 2021) sur les mortiers à base de déchets de briques, selon la norme EN 13295. Les trois éprouvettes de mortier (40 mm × 40 mm × 160 mm) ont été durcies dans l'eau pendant 28 jours puis pré reconditionnées à 21 ± 2 °C et 60 ± 5 % d'humidité relative (HR) pendant 28 jours avant le test de carbonatation. Les échantillons ont ensuite été stockés dans l'incubateur de carbonatation avec une concentration de CO₂ de 1 % et une humidité relative de 60 ± 5 % (21 ± 2 °C). Après respectivement 28 et 56 jours de carbonatation, la profondeur de carbonatation des faces fraîchement cassées a été mesurée au moyen d'un indicateur à la phénolphtaléine.

La figure 21 montre la profondeur de carbonatation des mortiers sous conditions. La substitution du filler calcaire par le WBP a augmenté la profondeur de carbonatation des mortiers. De plus, les profondeurs de carbonatation augmentent avec le temps. La carbonatation accélérée des mortiers est le résultat de la réaction entre le dioxyde de carbone et l'hydroxyde de calcium, les hydrates de silicate de calcium produits lors de l'hydratation (Zhao, 2021), (Neville, 1995), (Johannesson, 2001). La teneur en WBP a légèrement augmenté la perméabilité du réseau de pores ouverts, ce qui devrait favoriser la pénétration de CO₂ et, par conséquent, une augmentation de taux de carbonatation (Schackow, 2015). Les

résultats obtenus avec la série de mortiers M-BPWA a montré une profondeur de carbonatation plus élevée que celle des séries de mortiers M - BP, ce qui est dû encore une fois à une plus grande porosité du mortier.

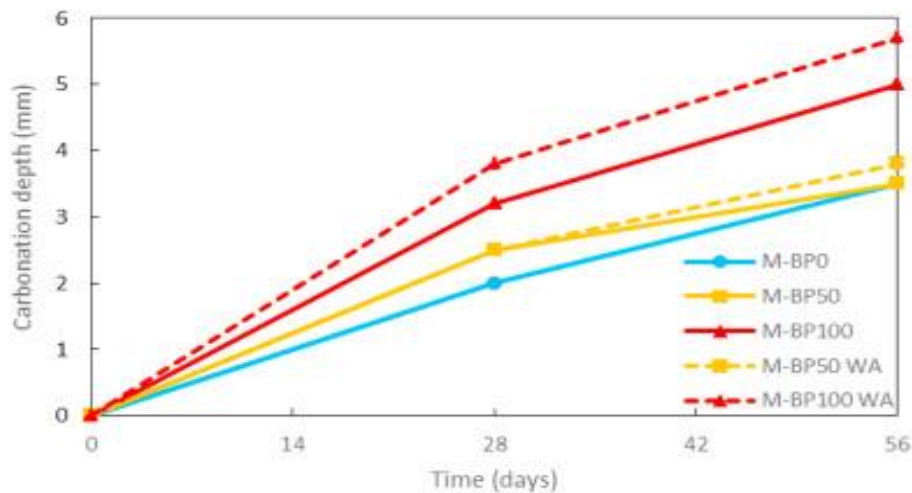


Figure 21: Profondeur de carbonatation des mortiers en fonction du temps (Zengfeng Zhao 2021).

I.6.2 Diffusion des ions chlorure :

Le coefficient de diffusion des ions chlorure des mortiers déterminé par (Courard, 2003) à l'aide de cellules de diffusion à deux compartiments [Figure 22](#). Après 28 jours de cure dans l'eau, des échantillons de mortier de $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ d'épaisseur ont été sciés à partir d'éprouvettes de 8 cm de diamètre et stockés dans une solution saturée de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Chaque échantillon a été poli avec du papier émeri de qualité 600, rincé à l'eau déionisée et la surface séchée avec un tissu avant d'être inséré dans la cellule de diffusion. Après montage avec de la résine époxy et scellement avec de la pâte de silicone, les cellules ont été remplies d'un côté avec du 3 MNaCl dans une solution saturée Solution de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (compartiment de gauche, par exemple en amont sur [la Figure 22](#), la concentration en chlorure du compartiment de gauche était notée C_{up}) et de l'autre côté avec une solution saturée de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (compartiment de droite, par exemple en aval sur [la Figure 22](#), la concentration en chlorure du compartiment droit a été notée C_{down}). A des intervalles périodiques (respectivement 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 et 16 semaines), la concentration de chlorure (C_{down}) a été déterminée dans le compartiment droit au moyen d'un titrage à partir d'un échantillon de 10 cm^3 de la solution. Le coefficient de diffusion des ions chlorure (D_c en m^2/s) a été déterminé selon [l'équation \(5\)](#) (où $C_{up} \gg C_{down}$).

$$D_c = \frac{C_{down}}{C_{up}} \times \frac{e^{V_{down}}}{A(t-t_0)} \dots\dots\dots \text{Équation 5}$$

Où (e) est l'épaisseur des échantillons en metre, (V_{down}) : est le volume du compartiment droit en m^3 , (A) est la surface des échantillons en m^2 et en m^3 , (A) est la surface des éprouvettes en m^2 et (t-t₀) correspond au temps de test en jours, respectivement.

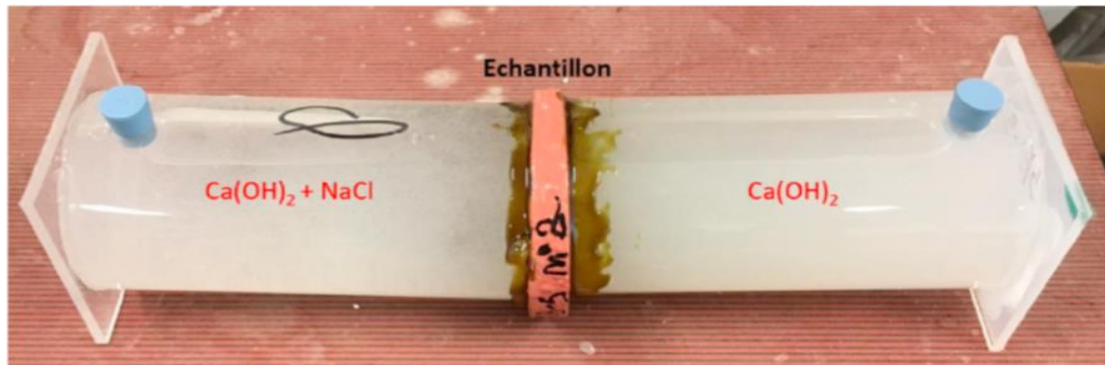


Figure 22: Montage expérimental de cellules de diffusion de chlorure (Zhao, 2021).

Les coefficients apparent de diffusion des ions de chlorure des mortiers trouvées par (Zhao, 2021), le tableau 11 et figure 23, montre que le transport à travers le mortier de référence observé après 16 semaines à un coefficient apparent de diffusion du chlorure de $4,01 \times 10^{-13} m^2/s$. Les coefficients de diffusion des mortiers avec WBP étaient similaires à ceux du mortier de référence (sauf pour le mortier M-BP100WA présentant une valeur légèrement supérieure, ce qui peut être dû à la plus grande porosité du mortier M-BP100WA, le mortier M-BP100 présentant la valeur la plus faible, ce qui peut être dû à l'effet pouzzolanique et à un raffinement des pores). Mais globalement, la substitution du filler calcaire par le WBP n'a pas semblé altérer significativement la résistance à la diffusion des ions chlorure des mortiers. (Zhao, 2021).

Tableau 11: Vitesses de diffusion des chlorures pour les mortiers avec filler calcaire et WBP. (Zengfeng Zhao2021).

Mortier	Coefficient de diffusion apparent des chlorures (m^2/s)	Écart-type (m^2/s)
M-BP0	4.01×10^{-13}	1.83×10^{-14}
M-BP50	4.00×10^{-13}	2.81×10^{-14}
M-BP100	3.69×10^{-13}	1.49×10^{-14}
M-BP50 WA	4.03×10^{-13}	6.89×10^{-15}
M-BP100 WA	4.94×10^{-13}	3.33×10^{-14}

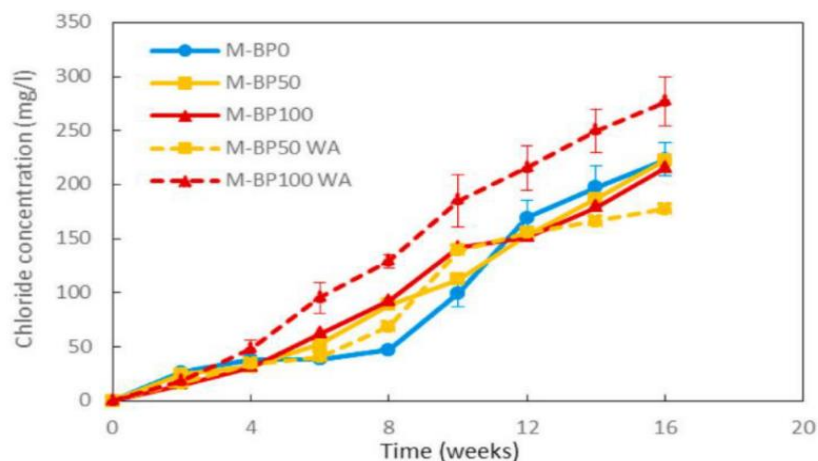


Figure 18 : Vitesses de diffusion des chlorures pour les mortiers avec filler calcaire et WBP. (Zengfeng Zhao2021).

I.6.3 Résistance au sulfate :

La résistance aux sulfates des mortiers selon la norme ASTM C10126-04. Consiste en la détermination du changement de longueur d'échantillons prismatiques immergé dans une solution de sulfate standard (avec une concentration de sulfate de sodium de 50 g/ml).

La Figure 24 présente les résultats trouvés par (Zhao, 2021), la variation de longueur des mortiers immergés dans solution de Na_2SiO_4 . Tous les mortiers ont présenté une expansion similaire après seulement quelques jours. L'expansion des mortiers M-BP50 et M-BP100 après 11 semaines a été mesurée à $314 \mu\text{m/m}$ et $383 \mu\text{m/m}$, respectivement. L'expansion de la série de mortiers M-BPWA montre similaire comme mortier de référence (la dilatation a été mesurée en $388 \mu\text{m/m}$ pour le mortier de référence). Le mortier M-BP100 présenté variation de longueur légèrement supérieure après l'attaque au sulfate par rapport avec le mortier M-BP100WA, qui peut en raison de la faible porosité que celle du mortier M-BP100WA, et donc la plus faible porosité signifie la capacité inférieure à résister à l'expansion de l'ettringite formée (Colman, 2021). Selon la littérature, la résistance au sulfate est liée à la taille des pores, ainsi qu'à la porosité et a perméabilité totale du ciment matériaux à base. La substitution du filler calcaire par WBP légèrement augmenté la perméabilité du réseau de pores ouverts, ce qui a été compensée par l'effet pouzzolanique de WBP (RD Toledo Fiho 2007, A.Schackow 2015). Le remplacement de filler calcaire par WBP n'a pas semblé affecter le comportement de mortiers vis-à-vis de l'attaque au sulfate. (Zengfeng Zhao2021).

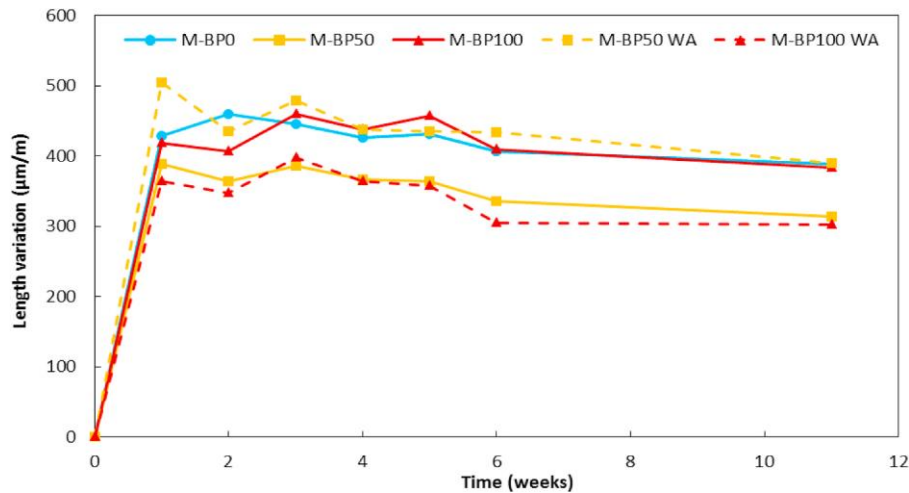


Figure 24: Variation de longueur des mortiers avec filler calcaire et WBP en solution sulfatée. (Zengfeng Zhao2021).

De même (Fernanda Brekailo 2021) a utilisé les additions minérales comme une substitution partielle au ciment du mortier. Ils ont été évalués quant à leur effet sur l'attaque sulfatique dans une solution de sulfate de sodium, selon NBR 13583 (ABNT, 2014). Les variations dimensionnelles (changement de longueur) de barres de mortier de 25 mm × 25 mm × 285 mm ont été évaluées dans ce test. Une proportion de mélange de 1 : 3,2 : 0,60 (ciment : granulats fin : rapport eau/liant) a été utilisé, tel que défini dans la norme en référence. Quatre des proportions de mélange de mortiers ont été utilisées pour chaque ajout, chacun avec différents pourcentages de substitution : 3, 5, 12 et 20 %, en gardant le même rapport eau/liant. Outre ces mélanges, des analyses ont également été faites à un mélange de référence (sans ajout), totalisant 13 mélanges. Ces proportions sont présentées dans le tableau 12. Ces valeurs de substitution étaient basées sur le contenu de matière pulvérulente que l'on trouve couramment dans les granulats d'origine naturelle (3 à 5%), granulats concassés (12%), et CDW (20%), selon aux normes brésiliennes NBR 7211 (ABNT, 2005) et NBR 15116 (ABNT, 2004). Huit échantillons par proportion de mélange ont été testés. Les procédures adoptées pour le moulage, le durcissement et l'immersion sont sous NBR 13583 (ABNT, 2014). Les barres de mortier étaient conservées dans le moules pendant 2 jours puis immergés dans de l'eau saturée de chaux (calcium hydroxyde) pendant 12 jours. Ils ont ensuite été soumis aux conditions finales de l'exposition. Dans cette phase, les échantillons de chaque mélange ont été divisés en deux groupes. Quatre spécimens ont été immergés dans une solution du sulfate de sodium (10% Na₂SO₄). Les quatre autres spécimens ont été immergés dans l'eau saturée de chaux, à une température contrôlée de 40 °C. Selon NBR 13583 (ABNT,

2014), l'expansion qui en résulte est calculé en fonction de la dilatation du barreau de mortier immergé dans sulfate de sodium, lié à l'expansion du même mortier lorsque immergé dans de l'eau saturée de chaux. Les mesures ont été effectuées dans le grand axe des échantillons tous les 7 jours jusqu'à 98 jours d'immersion. Les mesures ont été prises à l'aide d'une longueur électronique comparateur.

Tableau 12: Mélanger la proportion de mortiers pour évaluer le potentiel d'atténuation de l'attaque des sulfates dans une solution de sulfate de sodium. (Fernanda Brekailo 2021).

Mortier (% de substitution)	Ciment Portland (g)	sable (g)	Ajout minéral (g)	Eau (g)	Eau/liant
0 (Reference)	750	2400	-	450	0.60
03	727.5		22.5		
05	712.5		37.5		
12	660		90		
20	600		150		

I.6.4 Attaque sulfatique externe :

Après la période d'exposition aux sulfates, des analyses physiques et microstructuraux ont été faites dans les mortiers. Les spécimens ont été séchés dans une étuve à une température de 40 ± 5 °C pendant 24 h.

La masse volumique réelle des éprouvettes immergées dans de l'eau saturée de chaux a été déterminée par la méthode du pycnomètre à l'hélium dans un Quanta chrome Equipement Ultra-pycnomètre 1000. Il visait à comparer le conditionnement des différents mortiers avec différentes teneurs en addition minérale. L'analyse microstructurale a été faite pour le mortier de référence et pour les mortiers ayant des teneurs maximales en addition minérale (remplacement de 20%). Pour l'acquisition d'images, une microscopie FEG SEM, Tescan, Mira 3, avec des détecteurs SE/BSE, a été utilisé. Pour ce test, les spécimens ont été réduits et superficiellement métallisés à l'or. Ici la surface de fracture a été analysée. La porosité des échantillons était déterminée à l'aide d'un porosimètre à intrusion de mercure d'un Micromeritics. Appareil AutoPore IV 9500.

La figure 25 montre la dilatation résultante des barres de mortier de référence et les mortiers avec différents pourcentages de poudre de céramique rouge, déchets de béton et filler calcaire. A 98 jours, ce n'était pas possible pour évaluer l'expansion des mortiers avec substitution de céramique rouge.

À l'exception de la proportion de mélange de 5 %, les barres de mortier immergées dans la solution de sulfate du sodium, avec différents pourcentages de substitution, ont été remarqués avoir un effet cassant. Les barres avec ce matériau se sont cassées ou ont atteint des longueurs plus longues que celles qu'il est possible de mettre dans le comparateur de longueur, lectures impossibles jusqu'à 98 jours. Pour cette raison, l'expansion de la barre l'analyse a été faite jusqu'à 70 jours, comme la montre la Figure 25, puisque il existe des données pour tous les mélanges à cet âge. (Fernanda Brekailo 2021)

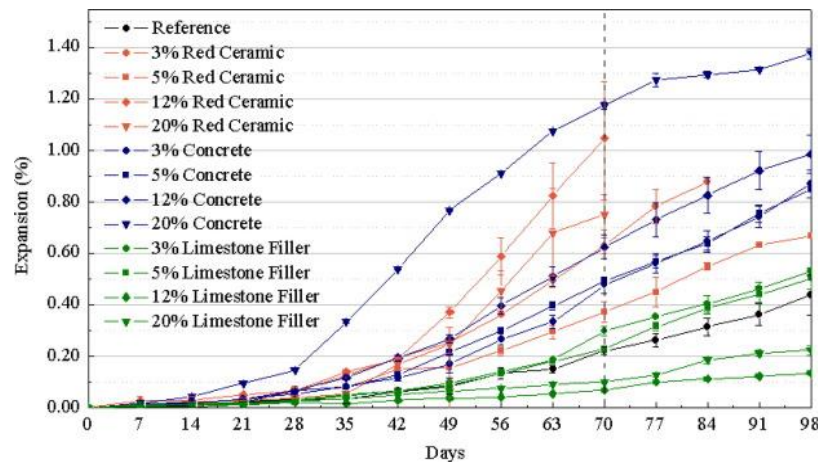


Figure 25: Expansion du mortier contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux en substitution au ciment Portland jusqu'à 98 jours. (Fernanda Brekailo 2021).

La densité réelle des mortiers immergés dans de l'eau saturée de chaux (Figure 26) montre les différences d'emballage, ce qui peut aider à expliquer l'expansion observées sur la Figure 25. Selon la Figure 25, seuls les mortiers avec 12 et 20% de remplacement de la charge calcaire ont montré des expansions plus courtes que les mortiers sans substitution à 70 jours d'immersion.

Tous les mélanges de mortier restants avaient des dilatations supérieures à la référence, montrant que le remplacement partiel de ciment Portland par les déchets de béton et ajout de céramique rouge augmenté la sensibilité de mortier à l'attaque du sulfate de sodium. Pour les déchets de béton, les expansions résultantes augmentaient avec le contenu de l'addition. Ce comportement peut être lié à la plus grande disponibilité des ions calcium qui peut réagir avec les ions sulfate lorsque la teneur en addition est augmentée.

Outre la présence d'oxyde de calcium (CaO) (Figure 27), considérant que le béton est un déchet et son âge est inconnu, une partie de son $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pourrait avoir carbonatée. Ainsi, il serait possible que la présence de calcium sous forme de calcite (CaCO_3) pour les réactions de dégradation. (Costa, 2018) Ont observé que les ciments à faible teneur en CaO avaient une

meilleure résistance à l'attaque des sulfates. Dans cet article, le ciment a été partiellement remplacé par l'addition contenant du CaO, qui aurait pu être la source d'ions calcium pour les réactions. Bien que des ajouts puissent améliorer le tassement des particules (Figure 26), l'effet d'une charge supplémentaire d'anciens composés de béton est prédominant.

Les dilatations n'augmentaient pas toujours (Figure 25) avec l'augmentation de la teneur des ajouts de fillers céramiques et calcaires. Les mortiers contenant 5 % d'ajout de céramique rouge avaient une dilatation significativement plus faible que les mortiers à 3 %. Les mortiers à 12 et 20 % de filler calcaire avaient des dilatations plus faibles que ceux à 3 et 5 % de ce même ajout. Cela pourrait s'expliquer par le fait que des valeurs proches de 5% de céramique et de 12% de charge calcaire ont créé un meilleur tassement des particules, comme le montre la Figure 26. Dans ce cas, les petites particules des ajouts pourraient avoir tamponné les pores. En plus de cela, les ajouts ont également favorisé les sites de nucléation lors du processus d'hydratation de la pâte (Ouyang, 2017).

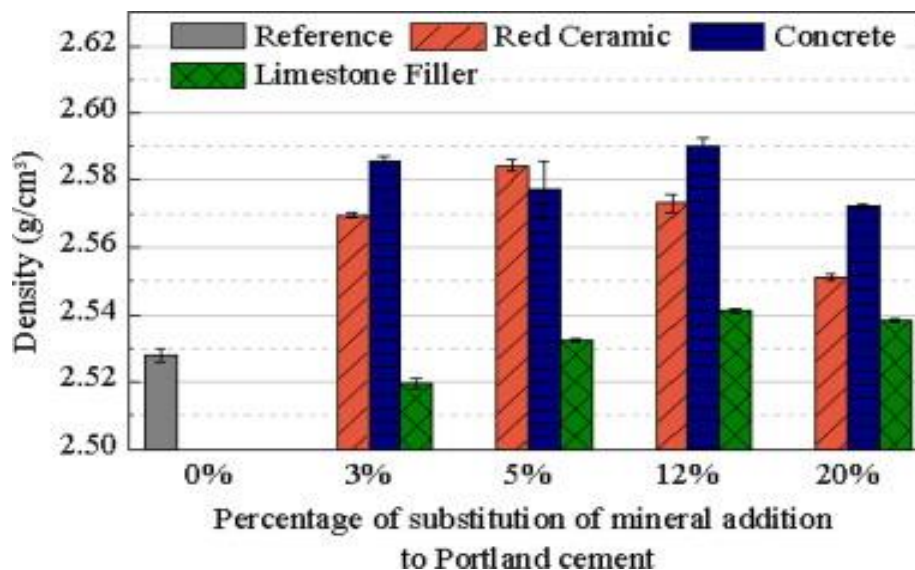


Figure 26: Densité du mortier contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux entrant dans la composition du ciment Portland. (Fernanda Brekailo 2021).

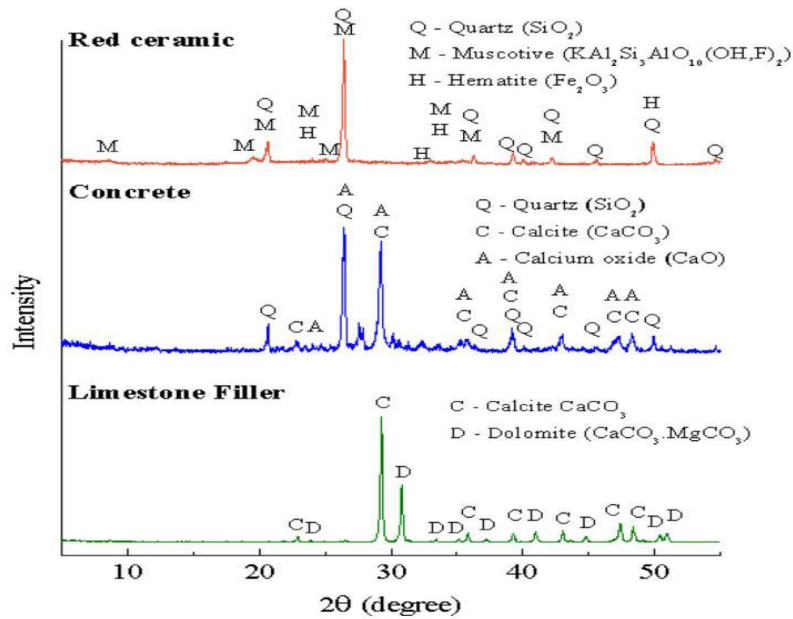


Figure 27: Diffractogrammes de rayons X des additions minérales. (Fernanda Brekailo 2021).

Avec l'ajout de céramique, le mortier à 5 % présentait un meilleur compactage. Ce mortier a également montré une disponibilité en aluminium plus faible que les teneurs plus élevées du même ajout, car ce matériau a de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) dans sa composition. L'oxyde d'aluminium, à son tour, pourrait agir comme source de réactions avec les ions sulfate. Par conséquent, le meilleur garnissage ainsi que la faible quantité d'aluminium ont permis à l'ajout de 5% d'obtenir la plus faible expansion entre les mortiers avec des teneurs différentes en addition de céramique. Lorsque l'on considère le filler calcaire, la disponibilité du calcium sous forme de calcite (CaCO_3) pour les réactions de dégradation ne ressort pas en ce qui concerne l'effet bénéfique du garnissage, permettant des dilatations plus faibles même avec des teneurs en ajout plus élevées.

Pour que le mortier soit considéré comme résistant à l'attaque des sulfates, l'expansion résultante à 42 jours est limitée à 0,030 %, selon les conditions d'essai utilisées (ABNT, 2018). Comme le montre la Figure 28, le mortier de référence n'est pas résistant à l'attaque des sulfates, puisque les valeurs d'expansion étaient supérieures à 0,030 % à 42 jours. Cette valeur limite de dilatation concorde également avec sa classification cimentaire, selon le Brésilien.

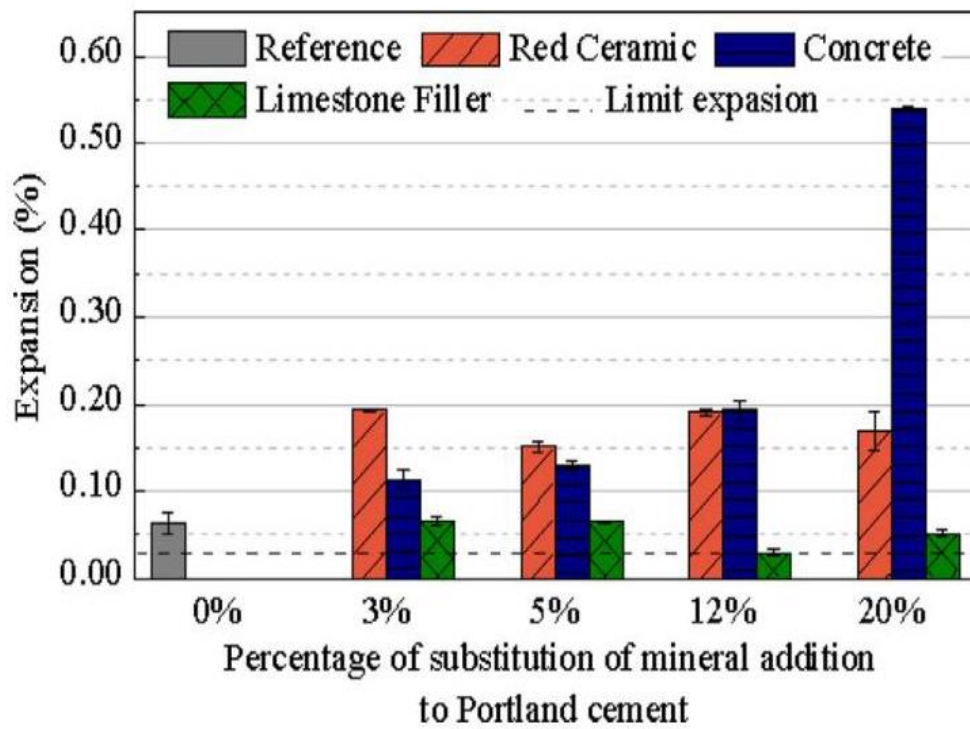


Figure 28: Expansion des mortiers contenant différents pourcentages d'ajouts minéraux dans la composition du ciment Portland jusqu'à 42 jours et l'expansion limite par NBR 16697 (ABNT, 2018). (Fernanda Brekailo 2021).

Chapitre II : Partie expérimentale

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on présente les résultats expérimentaux des matériaux utilisés dans ce travail (Sable et poudre de brique), ainsi que, les propriétés des différentes variantes étudiées (avec substitution à 12, 16, et 17 %) de ciment par les déchets de brique, à l'état frais et durcies, puis cette partie est suivie d'une analyse et interprétation des résultats, cette partie est réalisée au niveau du laboratoire pédagogique du département Génie Civil et la cimenterie de (Sour El Ghoulane) de Bouira.

II.2 Matériaux et méthodes utilisés :

II.2.1 Sable

Le sable utilisé dans notre travail est un sable siliceux provient d'une entreprise de Tebessa, nous avons étudié la qualité et les propriétés du sable, plusieurs essais ont été effectués à savoir :

II.2.1.1 Analyse granulométrique

Cet essai est effectué selon la norme (NF EN 933-1) avec la prise d'un échantillon de sable de 1000 g, qui sera tamisé avec une série de tamis.

Les résultats d'analyse granulométrique sont mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau 13. Analyse granulométrique de sable siliceux de Tebessa

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (R _i) (g)	Pourcentage de refus %	Pourcentage cumulé de tamisât %	Module de finesse MF
4	0	0	0	2.748
2	0	0	0	
1	334	33.4	66.6	
0.5	586	58.6	41.4	
0.25	864	86.4	13.6	
0.125	964	96.4	3.6	
0.063	966	96.6	3.4	
Fond de tamis	1000	100	0	

La figure 29 représente la courbe granulométrique du sable utilisé dans notre travail

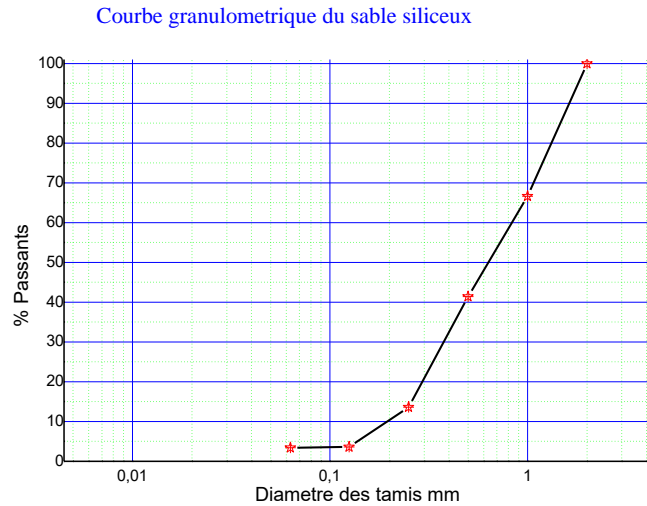


Figure 29 : Courbe granulométrique de sable siliceux

II.2.1.2 Module de finesse

Le module de finesse est déterminé selon la norme (NF EN 933-1) qu'est égale au 1/100^e de la somme de refus cumulés exprimé en pourcentage sur les tamis de la série suivante : 0.063 /0.125/0.25/0.5/1/2/4mm

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

Le module de finesse c'est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable pour béton doit avoir un module de finesse Mf compris entre 2,2 et 2,8,

Le module de finesse égale $MF=2.748$ donc permet de classer le sable siliceux de Tebessa comme un sable préférentiel

II.2.1.3 Essai d'équivalent de sable

Selon la norme (NF EN 933-8) L'essai a été effectué sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile, pour vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à 5mm par tamisage et vérifier que la masse sèche de l'échantillon soit 120 g, l'essai effectué par deux méthodes l'une est visuelle, l'autre par piston et effectué au niveau du Laboratoire-National de l'Habitat et de la Construction de la Wilaya de Brouira.

Tableau 14: Équivalent de sable pour le sable siliceux (NF EN 933-8)

	1 ^{ère} prise	2 ^{ème} prise
Hauteur totale H _T (cm)	9.8	10.1
Hauteur de sable H _P (cm)	9.1	9.5
Hauteur H _P (piston) (cm)	34.7	34.6
ESV (%)	92.85	94.05
ESP (%)	84.69	83.16
Moyenne	ESV =	93.45
	ESP =	83.92

On remarque que le sable siliceux de Tébéssa est un sable propre, à faible proportion de fines argileuses.

II.2.2 Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé **CPJ-CEMII / A42,5 N**, de provenance de la cimenterie de Sour el Ghoulane, dont les caractéristiques techniques sont données par la fiche technique de contrôle de qualité du ciment récupérée du laboratoire de contrôle de qualité de l'entreprise (Voir l'annexe), les propriétés essentielles du ciment sont résumées dans [les tableaux 15 et 16](#).

Tableau 15 : Composition chimique du ciment

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-	CaOl	PAF à 1000 C°
%	20,06	3,99	3,04	61,57	1,62	0,54	0,26	0,06	< 0,001	1,56	7,16

Tableau 16 : Les caractéristiques physicomécaniques du ciment

Désignations		Unité	Exigences	Moyenne
Poids spécifique		g/cm ³		03,09
SSB		cm ² /g		4000
Consistance Normale		% H ₂ O		26,11
Temps de prise	Début	min	≥ 60%	151
	Fin	min		322
Expansion à chaud		mm	≤10%	02,79
Chaleur d'hydratation à (41 h)		J/ g	270	238,8
Refus sur tamis 45 µm		%		15,58
Résistance à la Flexion	02 J	MPa		04,56
	07 J	MPa		06,12
	28 J	MPa		06,92
Résistance à la Compression	02 J	MPa	≥ 10	19,94
	07 J	MPa		34,92
	28 J	MPa	Li ≥ 42,50 Ls ≤ 62,50	43,53

II.2.3 Eau de Gâchage :

L'eau utilisée dans ce travail est celle du robinet de la ville de Bouira.

II.2.4 Les déchets utilisés :

Le déchet de brique utilisé dans cette partie, est issu de la récupération de débris de brique d'un parc de vente de matériaux de construction sis à Bouira, puis broyé jusqu'à une granulométrie inférieure à 80 µm, avec une finesse de 3800 cm²/g.

La poudre de brique a subi un contrôle et absorption d'eau), afin de prévoir l'effet de l'introduction de cette dernière dans nos mélanges.

II.2.4.1 L'absorption d'eau :

La brique est connue pour son caractère absorbant, on a jugé important de déterminer cette propriété (absorption d'eau) de la poudre de brique utilisée dans notre étude, cet essai est effectué au niveau du laboratoire, par l'immersion d'une quantité de 200 g de poudre de brique dans l'eau durant 24 heures, puis séchée jusqu'à une masse constante, L'absorption de l'eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Abs} = ((M_{\text{humide}} - M_{\text{sèche}}) / M_{\text{sèche}}) * 100\%$$

$$\text{Abs} = 54,86\%$$



Figure30 : Essai d'absorption d'eau.

II.2.5 Les fibres utilisées :

Les fibres utilisées dans notre travail sont des fibres métalliques en acier inoxydable de diamètre de 15 mm ; leur présence dans ces produits augmente leur résistance aux chocs thermiques et leur résistance mécanique, réduisant ainsi la formation de fissures et la tendance à l'écaillage.



Figure 31: Fibres métalliques de type dramix

II.3 Conception des mortiers :

Afin de cerner notre étude, concernant l'effet de la poudre de brique sur les propriétés physicomécaniques et potentiel de substitutions des déchets de brique dans la formulation des

mortiers à des fins de constructions en génie civil, on a procédé à l'élaboration de 4 séries des mortiers :

- Un mortier témoin sans substitution d'une quantité de ciment par la poudre de brique rouge.
- Un mortier à différent substitution d'une quantité du ciment par la poudre de brique rouge par différent pourcentage de 12% et 16% et 17%.
- Une série de mortier à différent substitution a été confiné à l'aide d'un appareil de la compression pour minimiser les vides.
- Une autre série des mortiers à substitution de WBP a été mélangé avec une quantité des fibres métalliques, la quantité de ces dernies égale à 1% de la quantité de ciment utilisé, après le moulage le mortier a été confiner a l'état frais.

Deux rapport E/C sont utilisé pour chaque série de mortier (E/C=0.38 et E/C=0.4)

II.3.1 La formulation des mortiers

Les mortiers sont préparés selon les modalités de la norme **NF P15-403**, qui prend en considération une partie de liant et trois partie de sable, avec un rapport (E/C=0.38 et E/C=0.4).

II.3.2 Malaxage

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié, ce dernier est muni d'un axe vertical, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre, les mélanges sont

Préparés selon le protocole suivant :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, ensuite verser le ciment.
- Mettre le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 30s.
- Après 30s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes.
- Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s. Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans [le tableau 17](#).

Tableau 17: Opérations de malaxage du mortier normal

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment		Introduction du sable	Raclage de la cuve		
Durée			30s	30s	15s	1min 15s	60
Etat du malaxeur	Arrêt		Arrêt	Vitesse Rapide			

II.3.3 Conservation des éprouvettes :

- ✓ Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées dans un milieu humide (eau) à 20 °C.
- ✓ Après cette période de conservation on tire après chaque période de 03 et 07 jours, 14 jours et 28 jours les éprouvettes pour mesurer l'absorption.
- ✓ Après la période de 28 jours les éprouvettes vont soumises aux essais mécaniques (flexion et compression).

II.4 Les essais physiques :

II.4.1 La masse volumique des mortiers à l'état frais et durci :

La masse volumique apparente des mortiers étudiés sont déterminer par la pesé des masses correspondantes par apport à leurs volumes, en utilisant la loi suivantes :

$$Mv = \frac{m}{v} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Où : **M** : la masse en kg, **V** : le volume en m³

Les résultats des essais physiques des différents échantillons élaborés, notamment les masses volumiques à l'état frais et durci à 3jours, 7 jours, 14jours et 28 jours sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 18: Résultats des masses volumiques des variantes étudiées

Variantes	Masse volumique (kg/m ³)			
	03jours	07jours	14jours	28jours
Mortier témoin	2174.47	2175.78	2180.98	2180.98
12 % sub	2029.29	2037.10	2043.94	2052.73
16% sub	2155.27	2157.22	2161.13	2170.89
17% sub	2134.11	2134.11	2138.02	2152.34

On remarque que la masse volumique augmente en fonction des âges (3jours – 07jours – 14jours et 28 jours).

II.4.2 L'absorption :

C'est la quantité d'eau absorbé par les échantillons de mortier, après le démoulage des éprouvettes en les pèse, puis en les émerge dans un bassin d'eau pendant 3 jours à 20 ± 2 °C. Après 3 jours on tire les éprouvettes et à l'aide d'un chiffon on les essuyés et les pesons. Ensuite on remet les échantillons dans l'eau, les mêmes procédures ont été faite à 07jours, 14 jours et 28jours, l'absorption a été calculées selon la loi suivantes :

$$\text{Abs} = ((M_{\text{humide}} - M_{\text{sèche}}) / M_{\text{sèche}}) * 100\%$$



Figure 32 : Essai d'absorption

Les résultats des absorptions des échantillons sont présentés dans les figures 33,34 ,35 :

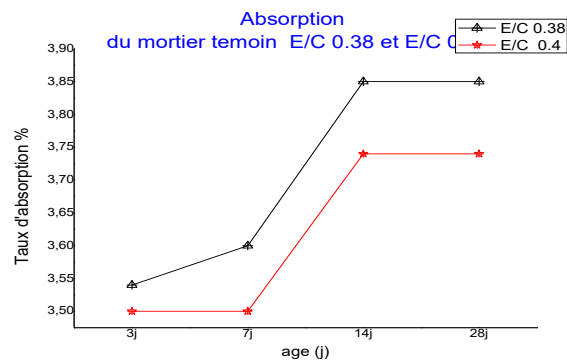


Figure 33 : Absorption de mortier témoin

En remarque que l'absorption des mortiers réalisées avec un rapport $E/C = 0.38$ est plus élevés par rapport aux mortiers réalisées avec $E/C = 0.40$ et augmentes en fonction du temps (3jours ,7jours, 14jours et 28jours).

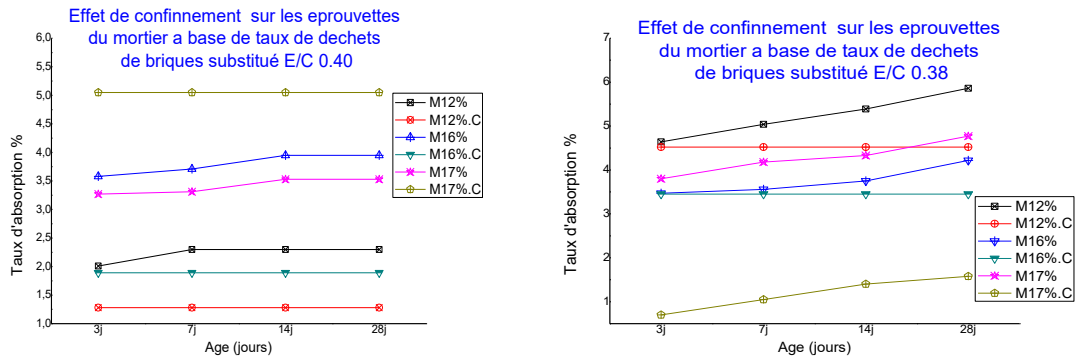


Figure 34 : Absorption des mortiers à base de taux des déchets de briques confinées et non confinées

Le confinement des échantillons a réduit la capacité d'absorption des échantillons par rapport à celles non confinées (difficulté d'infiltration).

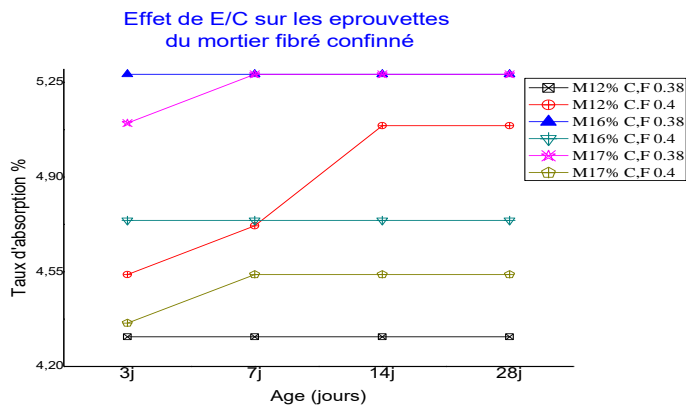


Figure 35 : Absorption des échantillons à base de taux des déchets de briques fibrées confinées

Les mortiers réalisés avec E/C=0.38 ont absorbés une quantité d'eau supérieur à celle absorbés dans les échantillons réalisés avec un E/C= 0.40, l'eau nécessaire pour l'humidification des déchets de briques a été compensé.

II.4.3 Mesure d'ultrasons des mortiers :

Le contrôle par ultrasons est l'un des contrôles non destructifs effectués sans endommager le mortier et sans affecter ses propriétés afin d'évaluer les éléments structurels existant et de

surveiller rapidement la qualité et la sécurité du mortier avant de terminer les travaux successifs dans les projets en construction.

Dans cette méthode, des impulsions ultrasonores sont générées pour traverser la section de mortier et mesurer leurs temps de transmissions. Cette dernière est liée à la densité du matériau, ou il a été constaté que la vitesse des impulsions à travers un corps solide reflète l'état de l'élément en mortier (les pores), ce qui entraîne la réflexion des ondes dans leurs limites et une augmentation de leur temps de transmission, quant aux zones à grandes vitesses, elles témoignent de la qualité et de l'homogénéité du mortier, et donc le temps de transmission de ses ondes est moindre.

Les figures 36, 37, 38, 39, 40 présentent les résultats de test d'ultrason des mortiers étudiés :

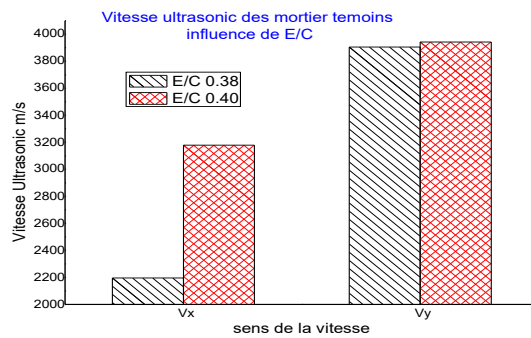


Figure 36 : Résultats d'ultrason du mortier témoin

D'après la figure 36 on remarque que la vitesse d'ultrason des éprouvettes réalisées avec un rapport E/C=0.4 est plus grande par rapport à celle des éprouvettes réalisées avec un E/C=0.38 dans les deux sens de transmission (Vx et Vy).

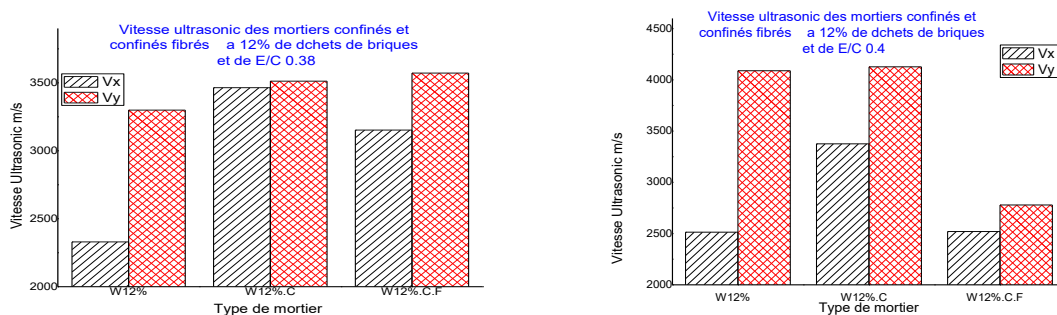


Figure 37 : Vitesse ultrasonique des mortiers à 12% de substitution des déchets de brique

La figure 37 montre que la vitesse ultrasonique du mortier de 12% de substitution des déchets de brique dans les deux cas (non confiné et confiné) de rapport constant $E/C=0.4$ est plus élevée que dans les éprouvettes réalisées avec un $E/C=0.38$ par contre dans le cas des éprouvettes confinés fibrés on a remarqué que la vitesse d'ultrason a diminué dans les deux sens de transmission (V_x et V_y).

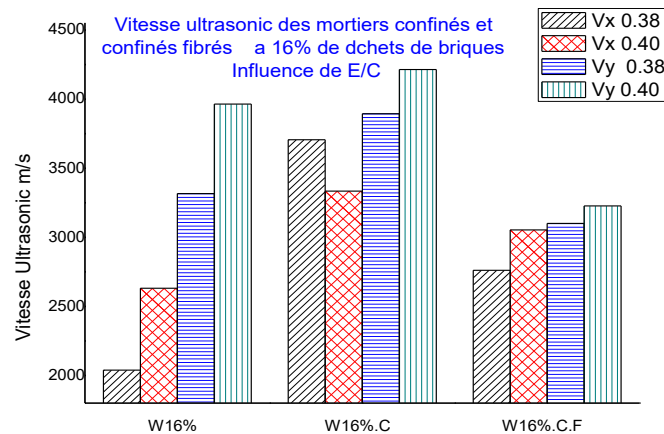


Figure 38: Vitesse ultrasonique des mortiers à 16% de substitution des déchets de brique.

Dans le cas de substitution de 16% des déchets de brique en remarque que V_y elle est toujours supérieure a V_x , elle est liée à la distance de transmission (le sens $y = 4\text{cm}$ et $x=16\text{cm}$) en plus elle est augmenté dans le mortier réalisé avec un $E/C=0.40$ (la quantité d'eau nécessaire pour l'hydratation du ciment).

Dans les éprouvettes confiné une amélioration de vitesse a été remarqué dans les deux sens (V_x et V_y) notamment dans le mortier réalisé avec un $E/C = 0.40$, par contre la vitesse a été diminué dans les mortiers fibré confiné (l'emplacement des fibres à créer des micros pores)

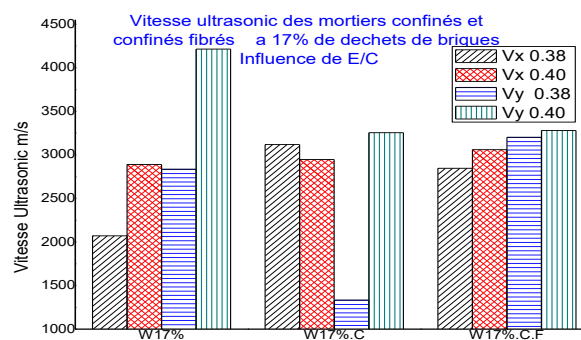


Figure 39 : Vitesse ultrasonique des mortiers à 17% de substitution des déchets de brique

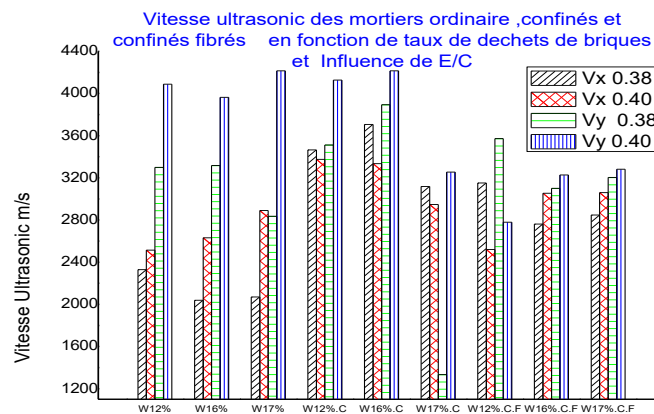


Figure 40 : Vitesse ultrasonique des mortiers à ordinaire et confiné et confiné fibré en fonction du taux de la substitution de déchets de brique

II.5 Les essais mécaniques :

II.5.1 Essai de résistance à la flexion :

Cet essai est basé sur le placement des prismes (4×4×16cm) dans le dispositif de flexion (figure 41), avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaires a ceux-ci, une charge verticalement est appliqué sur la face latérale opposé de prisme et l'augmenter jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



Figure 41 : Dispositif de l'essai de flexion

Les figures 42, 43,44 Présentent les résultats des résistances à la flexion des mortiers (mortier ordinaire, mortier a substitution des déchets de briques, mortiers à substitution des déchets de brique confiné et les mortiers à substitution fibré confiné).

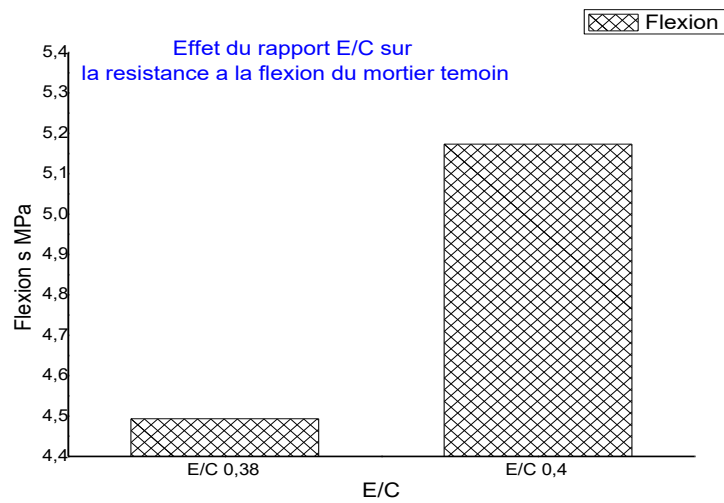


Figure 42 : Résultats de la résistance à la flexion de mortier ordinaire

Le rapport E/C a influencé sur la résistance a la flexion comme elle montre la figure 42, le mortier réalisé avec un rapport E/C=0.4 a une bonne résistance par rapport à celle de mortier réalisé avec E/C0.38

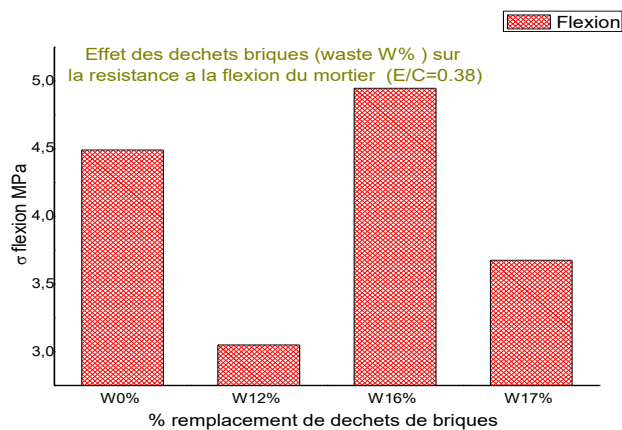


Figure 43 : Résultats de la résistance à la flexion de mortier a substitution de poudre de brique E/C=0.38

D'après la figure 43 remarque que les éprouvettes à substitution de 16% à une résistance à la flexion supérieure à la résistance des éprouvettes à substitution de 12 et 17%

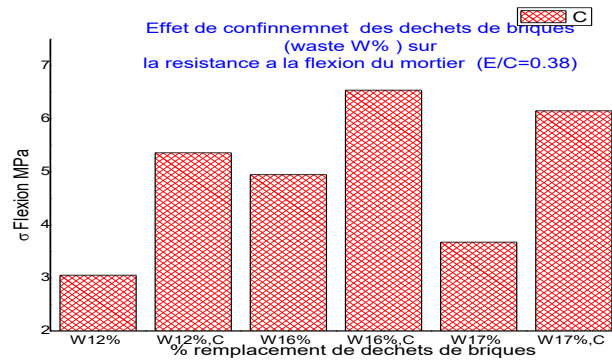


Figure 44: La résistance à la flexion de mortier à base de poudre de brique (non confiné, confiné) (E/C=0.38).

En remarque que la résistances a flexion des mortiers confinés a substitution des déchets de brique rouge confiné dans la figure 44 est élevé par rapport aux mortiers non confiné (le confinement des éprouvettes a réduit la porosité ce qui améliore la résistance).

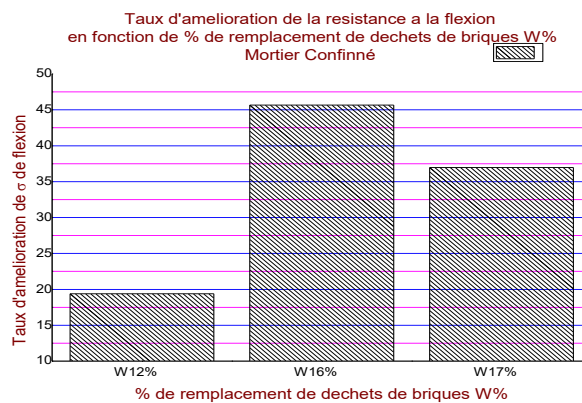


Figure 45 : Taux d'amélioration de la résistance à la flexion en fonction de % de remplacement de déchets de brique W% de mortier confiné

Les mortiers réalisés avec un taux de substitution des déchets de brique égale à 16% ont une bonne résistance à la flexion que les éprouvettes à une substitution égale 17 % et 12 % comme il est montré dans la figure 45.

II.5.2 Essai de résistance à la compression :

Cet essai consiste à appliquer sur les demi-prismes latéralement par apport aux plateaux de la presse, la machine applique des efforts perpendiculaires à la surface des éprouvettes de différentes variantes étudiées avec une vitesse constante jusqu'à l'écrasement de l'éprouvette testé. Les résultats de la résistance à la compression sont présentés dans les figures si dessus.

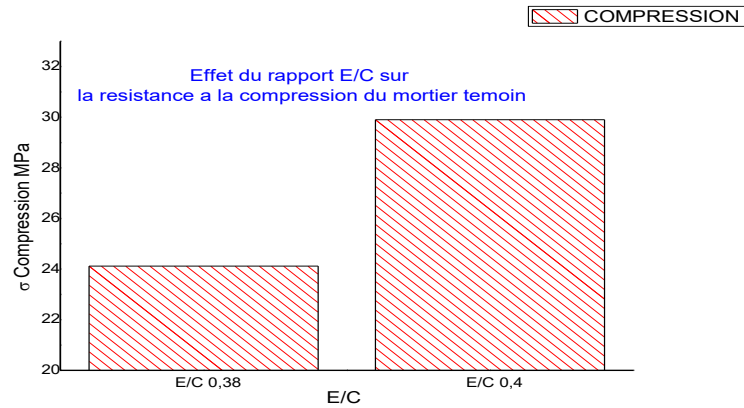


Figure 46 : Résistance à la compression de mortier ordinaire vis à vis le rapport E/C.

D'après la figure 46 en remarque que le mortier réalisé avec un $E/C = 0.40$ a une bonne résistance par rapport au mortier réalisé avec un $E/C = 0.38$ comme en flexion.

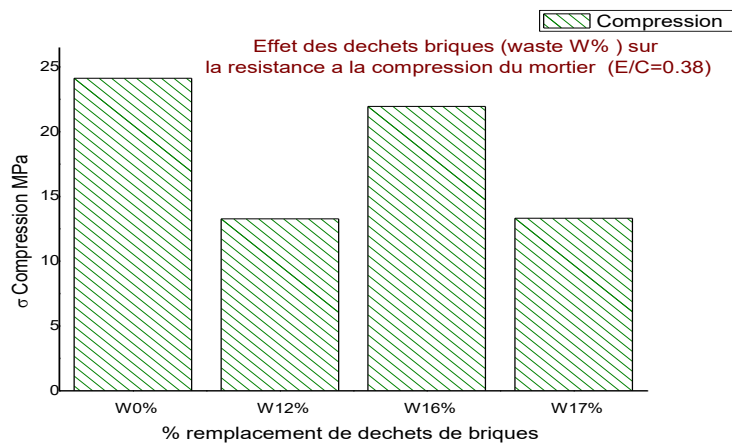


Figure 47 : Résistance à la compression de mortier vis-à-vis la substitution des déchets de brique ($E/C = 0.38$)

La résistance à la compression atteint sa limite maximale à 16 % de substitution puis elle diminue à 17% (figure 47).

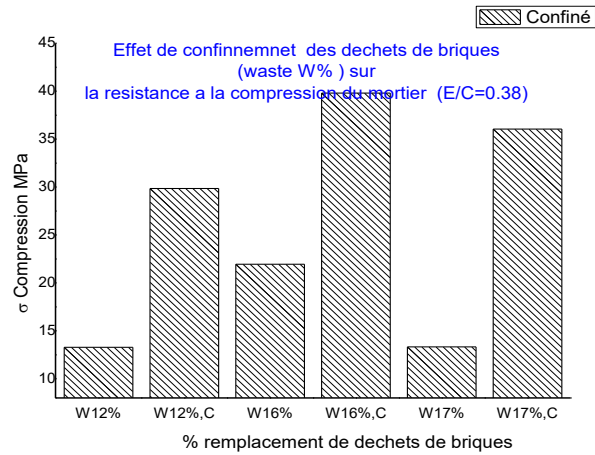


Figure 48 : Résistance à la compression des échantillons vis-à-vis le confinement (E/C=0.38)

Le confinement des éprouvettes à un effet sur la résistance à la compression, la figure 48 montre que la résistance des éprouvettes confinées est augmentée (réduction des pores) et atteint sa limite maximale à 16% de substitution.

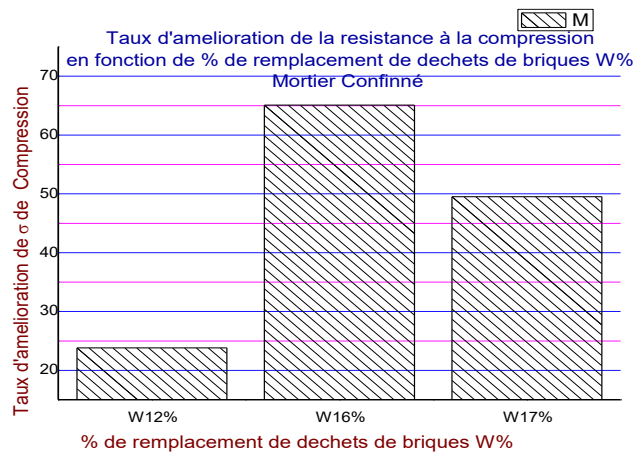


Figure 49 : Taux d'amélioration des résistances a la compression de mortier confiné vis-à-vis le % de remplacement de déchets de brique W%.

Le taux d'amélioration de la résistance à la compression augmente en fonction de la substitution des déchets de brique jusqu'à elle atteint 65 MPA (limite maximale) dans le mortier à 16 % de substitution confiné puis elle diminue dans le mortier à 17% de substitution (figure 49).

Conclusion générale :

La valorisation des déchets de briques sous forme de poudre dans les matériaux de construction, peut être envisagée notamment dans les mortiers, étant donnée des avantages technico-économiques et environnementaux, telles que l'amélioration des résistances mécaniques. Les résultats obtenus au cours de ce travail nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

-La réalisation des essais au laboratoire permettant l'étude expérimentale du mortier à plusieurs mélanges.

-L'étude de l'influence de certains paramètres sur le comportement du mortier :

Dans la première partie du travail, on a essayé d'étudier l'effet de certains paramètres sur le comportement du mortier tel que : le rapport E/C, taux de déchet de brique ajouté.

Dans la deuxième partie on a commencé par l'identification des matériaux utilisés dans la préparation des différents mélanges des mortiers [Ciment (88%, 84% ,83%) + déchet de brique [12%, 16%, 17%] + sable siliceux +eau)) , et procédure de confinement et renforcement, on a ensuite réalisé un ensemble d'essai d'absorption (3, 7 ,14 et 28jours) et d'écrasement à l'âge (28jours).

-Les mortiers préparés par déchets de brique et confinés sont plus résistants que le mortier normal.

- Une amélioration des résistances mécaniques en compression et en flexion, en fonction des pourcentages de la substitution des quantités de ciment par la poudre de brique fine (inférieure à 80 μm), à des taux de 12 % et 16 %.

-L'absorption très peu sensible aux paramètres de rapport E/C, vu que les deux rapports est proches.

-La résistance mécanique (flexion, compression) augmente avec l'augmentation du rapport E/C et diminue avec l'augmentation du taux de déchet de brique, Supérieure à 16% de substitution.

- Un gain économique lors du remplacement des quantités de ciment par la poudre de brique, ce qui va influencer positivement les coûts de réalisation des projets.

- L'introduction de la poudre de brique dans les différentes variantes étudiées a montré un

effet réducteur d'écoulement des mortiers étudiés d'une manière non significative, ce qui ne va pas influencer les propriétés rhéologiques des mortiers.

- Une participation réelle au développement durable, avec la valorisation des déchets de produits rouge sous forme de poudre, réduisant ainsi les quantités de ce type de déchet.
- Une possible amélioration de la durabilité des mortiers, sous l'effet d'activité pouzzolanique des poudres de brique, qui produisent des C-S-H supplémentaires.

Bibliographies

- A. Grellier. (2021). Alternative hydraulic binder development based on brick fines: influence of particle. *journal of building engineering*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102263>
- Akinship. (2017). Chemical and thermodynamic processes in clay brick firing technologies and associated atmospheric. *ournal of Pollution Effects & Control*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4172/2375-4397.1000190>
- Artelt, C. (2008). Impact of superplasticizer concentration and of ultra-fine. *cement and concrete research* . Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.01.010>
- Bhavikatti. (2018). *basic civil engineering*.
- Bouarroudj, M. (2021). Intra granular porosity of grinded hardened cement paste and bricks:. *materials construction*. Retrieved from <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01670-5>
- Brekailo, F. (2021). Red ceramic and concrete waste as replacement of portland cement:.. *Cleaner Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100034>
- Chindaprasirt, P. (2004). nfluence of fly ash fineness. *cement and concrete research*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.021>
- Colman, C. (2021). nternal sulfate. *construction and building materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121851>
- Costa, L. (2018). Sodium sulfate attack on Portland cement structures: Experimental and analytical. *International engineering journal*. Retrieved from Sodium sulfate attack on Portland cement structures: Experimental and analytical
- Courard, L. (2003). *Durability of mortars modified with metakaolin, ement Concr*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00090-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00090-5)
- Debnath, A. (2019). Effect of processed rice husk ash on the production of conventional. *JOURNAL CALL FOR PAPER*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.14299/ijser.2019.06.04>
- Dubale, M. (2021). An investigation of demolished floor and wall ceramic tile. *elsevier*.
- Dubale, M. (2021). An investigation of demolished floor and wall ceramic tile. *Elsevier*.
- Dubale, M. (2021). An investigation of demolished floor and wall ceramic tile waste utilization in fired brick production. *Environmental Technology & Innovation*. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Dubale, M. (2021). une enquete sur l'utilisation des déchets de carreaux de céramique de sol et de mur démolis dans la production de briques cuites. *elsevier*, 2,4,5,7,8,9,10,11,12,17,22,23,24.
- duggal. (2012). *utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.003>
- E. Navrátilová. (2016). ozzolanic properties of brick powders and their. *construction and building materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.062>

- Filho, R. T. (2007). Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material. *cement and concrete research*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.06.005>
- H.Okamura. (1993). *high performance concrete*.
- Johannesson, B. (2001). Microstructural changes caused by carbonation of. *cement and concrete research*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00498-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00498-7)
- Johari.al. (2011). chemical and physical properties of fired-clay brick at different type of rice husk ash. *elsevier*.
- Liu, Q. (2014). Investigation of using hybrid recycled. *construction buikding materiels*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.066>
- Mukherjee, S. (2013). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *The Science of Clays*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-6683-9>
- Muñoz, P. (2019). Thermal and mechanical properties of fired clay bricks made by using grapevine shoots. *construction building materials*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.066>
- Neville, A. (1995). *proprieties so concrete*. Retrieved from [http://refhub.elsevier.com/S2352-7102\(21\)00756-7/sref54](http://refhub.elsevier.com/S2352-7102(21)00756-7/sref54)
- Nzeukou, A. (2013). Industrial Potentiality of Alluvial Clays Deposits from Cameroon: Influence of Lateritic Clayey Admixture for Fired Bricks Production. *journal of minerales and materiales caractirisation and engineering*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4236/jmmce.2013.15037>
- Ortega, J. (2018). effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties. *construction building materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.161>
- Ouyang. (2017). . Insights into the mechanisms of. *materials and construction*. Retrieved from <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1082-y>
- P.Domone. (1997). testing of binders for high performance concrete. *cement and concrete research*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884697001075>
- Pacheco-Torgal. (2014). . Eco-efficient masonry bricks and block. *Properties*.
- Pfeifer, G. (2001). Masonry construction manual.
- Rebel, H. (2001). Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks sedat. *central european history*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1163/15691610152959154>
- Schackow, A. (2015). Influence of fired. *cement and concrete composites*.
- Schwartzentrube, A. (2000). La méthode du mortier de béton équivalent. *materials construction*. Retrieved from [http://refhub.elsevier.com/S2352-7102\(21\)00756-7/sref34](http://refhub.elsevier.com/S2352-7102(21)00756-7/sref34)
- Subaş, S. (2017). tilizing of waste ceramic powders as filler. *Construct. Build. Mater*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.180>
- Tabarelli, E. (2018). *the recucling of crushed waste bricks in the self-compacting mortar*. master's thesis.
- ukherjee, S. (2013).

- Vejmelková, E. (2011). Properties of high performance concrete containing fine-ground ceramics as. *cement and concrete composites*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.018>
- Z. Ge, Y. W. (2015). Influence of ground waste clay brick on. , *Construct. Build. Mater.* Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.100>
- Zhao, Z. (2021). Substitution of limestone filler by waste brick powder in self-compacting. *Journal of Building Engineering*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102898>