

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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



Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par : **KHELAIFA Hamad & TAGBA Maléki**

**Thème : Etude expérimentale sur les mortiers à base de
granulats de caoutchouc, de déchets de brique et
d'adjuvant résineux**

Sous la direction de : **Pr BENMALEK Mohamed Larbi**

Juin 2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACE

A la mémoire de ma mère KAROUGBE Pagamhidèdou.

A mon père, mes frères et sœur.

A toute ma famille.

TAGBA Maléki

DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à ma grande famille : mes parents, mes frères et sœurs.

Et aussi à ma petite famille : ma femme et mes enfants.

Et je suis très heureux de dédier ce modeste travail spécialement à ma mère qui a fait beaucoup de sacrifices pour que j'arrive à ce point.

KHELAIFA hamad

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au sein du laboratoire de recherche de génie civil et hydraulique de l'université 08 Mai 1945 de Guelma.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU miséricordieux qui nous a donné la vie, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Nous tenons à remercier le professeur Guenfoud Mohammed, Le Directeur du Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique de l'université 08 Mai 1945 de Guelma, de nous avoir permis d'effectuer notre travail au sein du laboratoire.

Nous tenons à remercier chaleureusement et à exprimer notre très grande reconnaissance au professeur BENMALEK Mohamed Larbi qui, en tant que notre encadreur, a permis l'aboutissement heureux de ce travail. Nous le remercions pour son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence nous a transmis sa passion pour ce sujet. Sans lui, ce projet de fin d'étude n'aurait jamais vu le jour.

A ces remerciements, nous souhaitons associer notre Co-encadreur, Mademoiselle BOUKOUR salima, doctorante à l'université 08 Mai 1945 de Guelma, pour sa direction scientifique, pour sa disponibilité, son accompagnement, ses conseils, et ses idées pour ce travail.

Nos remerciements vont également aux doctorants, Benzaid mehdi, Gherdaoui moufida et Adjabi souhila pour leurs aides et conseils et de nous avoir accueilli durant l'accomplissement de ce projet de fin d'étude au sein de leur équipe.

RESUME

Les matériaux cimentaires sont handicapés par leur faible résistance à la traction et par leur fragilité, qui les rendent particulièrement sensibles à la fissuration notamment la fissuration de retrait. Si la fragilité est souvent palliée par le renforcement par des armatures, leur mise en place est difficile voire impossible dans certains cas. Le renforcement par des fibres est une solution alternative qui reste perfectible dans ce sens où celle-ci n'empêche pas la fissuration mais en limite l'ouverture.

La solution idéale est un matériau cimentaire capable de supporter des déformations importantes avant localisation de la fissure. Pour cet objectif, nous avons opté pour l'incorporation de granulats déformables en substitution au sable et nous avons décidé d'utiliser des granulats de caoutchouc issus du broyage de pneus usagés. Ces granulats ont été introduits en substitution volumique partielle des granulats naturels. Nous avons également introduit des déchets de brique dans ce mortier afin d'obtenir un matériau cimentaire écologique.

Dans les deux cas, la dimension maximale du plus gros grain est de 4 mm (mortiers).

En contrepartie des chutes de résistances en compression et en traction, la capacité de déformation avant localisation de la macro fissuration est nettement plus élevée en présence de granulats caoutchouc.

Les variations dimensionnelles de retrait des mortiers de ciment incorporant des granulats caoutchouc sont plus élevées, les résultats ont démontré que le composite obtenu à une plus grande résistance à la fissuration de retrait.

Ainsi, lorsque la résistance à la fissuration est une priorité, l'incorporation de granulats caoutchouc dans les matériaux cimentaires est une réponse pour des applications plus durables et constitue une nouvelle voie de valorisation des pneumatiques usagés non réutilisables.

Mots clés : Déchets de caoutchouc, composite cimentaire, Mortier, propriétés physico-mécaniques, Matériaux cimentaires, Granulats en caoutchouc, Capacité de déformation, Recyclage.

ABSTRACT

The cementing materials are handicapped by their low tensile strength and their brittleness, which make them particularly sensitive to cracking in particular the cracking of withdrawal. If brittleness is often mitigated by the reinforcement by reinforcements, their installation is difficult even impossible in certain cases. The reinforcement by fibers is an alternative solution which remains perfectible in this direction where this one does not prevent cracking but in limit the opening.

The ideal solution is a cementing material able to support important deformations before localization of the fissure. This objective, we chose the incorporation of deformable aggregates in substitution of the sand and we decided to use rubber aggregates resulting from the crushing of worn tires. These aggregates were introduced in voluminal substitution partial of the natural aggregates. We have also introduced in this mortar a brick waste to obtain an ecological cementations material.

In both cases, the high limit of size of the most coarse grain is of 4 mm (mortars).

In the other hand falls of resistances in compression and traction, the capacity of deformation before localization of the macro cracking is definitely higher in the presence of aggregates rubber.

The dimensional variations of shrinking of the incorporating cement mortars of the aggregates rubber are higher; the results showed that the composite obtained with a greater resistance to the cracking of withdrawal.

Thus, when resistance to cracking is a priority, the incorporation of aggregates rubber in cementing materials is an answer for more durable applications and constitutes a new way of valorization of the no reusable worn tires.

Keywords: Scrap rubber, cementing composite, Mortar, properties physicomechanical, cementing Materials, rubber Aggregates, Capacity of deformation, Recycling.

ملخص

إنّ موادّ التّدعيم مُعاقبة بقوّتهم القابلة للشدّ المنخفضة وهشاشيتهم، الذي يجعلهم حسّاس جداً إلى تصدّع بشكل خاص تَصَدُّع الإنسحاب. ، إذا الهشاشة غالباً ما تدعم بالتسليح، تركيبهم صعب وفي بعض مستحيل إنّ التعزيز بالألياف حلّ بديلُ الذي يَبْقَى قابل للكمال في هذا الإتجاه حيث هذا لا يَمْنَعُ التصدّع لكن في الحدّ من الفتحات

إنّ الحلّ المثالي انها مادة اسمنتية قادرة على دَعْم تشويهاة مهمة قبل موضعة الشقّ. لهذا الهدف، إختارنا إندماج حبيبات يمكن ان يتغير شكلها ونحن قرّرنا إستعمال التجمعات المطاطية ننتج من سحق الإطارات البالية. هذه الحبيبات قُدِّمت في جزئية حجمية للحبيبات الطبيعية

في الحالتين، الحدّ العالي لحجم الحبيبات الأكثر خشونة من 4 مليمتر

إنّ الإختلافات البعدية لإنكماش هاونات إسمنت مدمج بحبيبات المطاط أعلى لكن وَضعت في المنافسة بقدرة التشويه، بإختبارات الإنكماش ، النتائج تقود الى ان التركيبية لها قدرة كبيرة لمقاومة تَصَدُّع الإنسحاب. هذا الأخير متأخرُ وعندما ..يَحْدُثُ، يَظْهَرُ على شكل تشققات متعددة وقصيرة ،يعني أقل ضررا

هكذا،متى مقاومة التشققات أولوية، إندماج مطاط التجمعات في تّدعيم المواد

الاسمنتية جوابُ للتطبيقات الأكثر متانة ويشكل نمط جديد لاستغلال المطاط البالي

والغير مستعمل

الكلمات الدليلية: بقايا المطاط، التركيبية الاسمنتية، الملائم ، الخصائص الفيزيو ميكانيكية،المواد الاسمنتية ،حبيبات المطاط، تجمعات مطاطية، قدرة التشويه، تكرار

SOMMAIRE

DEDICACE	I
DEDICACE	II
REMERCIEMENTS.....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT	V
ملخص	VI
SOMMAIRE	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX	XII
INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION GENERALE	1
CONTEXTE DU PROJET D'ETUDE.....	1
BUT DU PROJET D'ETUDE	2
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1.LES MORTIERS	3
I.1.1.GENERALITES SUR LES MORTIERS	3
I.1.2.ETYMOLOGIE DES MORTIERS.....	4
I.1.3.TYPOLOGIE DES MORTIERS	4
I.1.4.MORTIERS ANTIQUES.....	4
I.1.5.LA TERRE, LE PREMIER DES MORTIERS	5
I.1.6.MORTIER OBTENUS PAR CALCINATION DE LA PIERRE.....	5
I.1.7.MORTIER DE CHAUX	6
I.1.8.MORTIERS HYDRAULIQUES ET CEMENTS	8
I.2.MORTIER DE CIMENT	9
I.2.1.DEFINITION	9
I.2.2.COMPOSITION DU MORTIER DE CIMENT	9
I.2.3.LES CARACTERISTIQUES D'UN MORTIER DE CIMENT	12
I.2.4.LES UTILISATIONS DES MORTIERS DE CIMENT	13
I.3.LES MORTIERS DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC	15
I.3.1.GENERALITES SUR LES CAOUTCHOUCS.....	15
I.3.2.LES PNEUMATIQUES USAGES	15

Chapitre II : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES.....	23
II.1.INTRODUCTION	23
II.2.MATERIAUX UTILISES.....	23
II.2.1.CIMENT	23
II.2.2.SABLE.....	24
II.2.3.EAU DE GACHAGE	25
II-2-4.GRANULATS DE CAOUTCHOUC	25
II-2-5.LES DECHETS DE BRIQUES	25
II-2-5.LES ADJUVANTS	26
II-2-5-1.SIKALATEX.....	26
II.3.COMPOSITIONS DES MORTIERS	27
II.4.PROCEDURE EXPERIMENTALE	28
II.4.1.FABRICATION DU MORTIER.....	28
II.4.2.LES ESSAIS REALISES	33
CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	49
III.1.INTRODUCTION	49
III.2.MORTIER A L'ETAT FRAIS	49
III.2.1.LA MANIABILITE	49
III.2.1.LA MASSE VOLUMIQUE	50
III.3.MORTIER A L'ETAT SEC.....	53
III.3.1.LA MASSE VOLUMIQUE	53
III.3.2.LE RETRAIT.....	55
III.3.3.L'ABSORPTION D'EAU PAR IMMERSION TOTALE.....	57
III.3.4.L'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE	60
III.3.5.PERMEABILITE	63
III.3.6.COMPRESSION	65
III.3.7.TRACTION PAR FLEXION	68
CONCLUSION GENERALE.....	71
PERSPECTIVES.....	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	79

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1.STOCK DE PNEUS USAGES A CAMPSAS,TARN ET GARONNE EN 2007.....	16
FIGURE I.2.INCENDIE SUR LE SITE DE STOCKAGE DE PNEUS USAGES,STANISLAUS COUNTY,CA.....	17
FIGURE I.3.LES VOIES DE VALORISATION DES PNEUS USAGES.....	18
FIGURE I.4.REHABILITATION DE CARRIERE PAR L'UTILISATION DE PNEUS USAGES.....	19
FIGURE I.5.INFLUENCE DU DOSAGE EN POUDRE ISSUE DU DECHET DE CAOUTCHOUC SUR LA RESISTANCE EN TRACTION ET L'ELONGATION A LA RUPTURE	20
FIGURE I.6.POSE DES NAPPES DE PNEUS.....	21
FIGURE I.7.OUVRAGE VEGETALISE	21
FIGURE I.8.STABILITE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN-CAS DE TIZI GHENIF-WILLAYA DE TIZI OUZOU ALGERIE21	
FIGURE I.9.OUVRAGE DE MOSTAGANEM RN11 (ALGERIE)-STABILITE D'UN TALUS	22
FIGURE I.10.SUPERPOSITION ET ATTACHE DES PNEUS.....	22
FIGURE I.11.BETONNAGE DE LA 1IERE FILE DE PNEUS.....	22
FIGURE II.1.A.CIMENT CPA-CEM I 42,5 ES.....	24
FIGURE II.1.B.EMBALLAGE DU CIMENT CPA-CEM I 42,5 ES	24
FIGURE II.2.SABLE D'OUM ALI (0-4MM).....	25
FIGURE II.3.GRANULATS DE CAOUTCHOUC (0-4MM)	25
FIGURE II.4.DECHETS DE BRIQUE DE BENJAREH (<0,8MM)	26
FIGURE II.5.A.LIQUIDE LAITEUX ET CONCENTRE DU SIKALATEX	26
FIGURE II.5.B.CONDITIONNEMENT DU SIKALATEX (BIDON DE 5L.....	26
FIGURE II.6.A.MEDAPLAST	27
FIGURE II.6.B.CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE	27
FIGURE II.7.B.PESAGE DES COMPOSANTS DU MORTIER.....	28
FIGURE II.8.A.MALAXEUR A MORTIER DE CAPACITE 5L	29
FIGURE II.8.B.MALAXAGE DES COMPOSANTS DU MORTIER	29
FIGURE II.9.A.MOULE (4 X 4 X16) CM.....	30
FIGURE II.9.B.MOULE (15 X 15 X15) CM.....	30
FIGURE II.10.LUBRIFICATION DES MOULES.....	30
FIGURE II.11.REMPLISSAGE A MOITIER ET VIBRATION.....	31
FIGURE II.12..REMPLISSAGE TOTAL ET VIBRATION.....	31
FIGURE II.13.DERNIERE VIBRATION ET RASAGE	32
FIGURE II.14.A.DEMOULAGE DES EPROUVETTES APRES 24H	32
FIGURE II.14.B.PESAGE DES EPROUVETTES APRES DEMOULAGE.....	33
FIGURE II.15.TABLE A SECOUSSES UTILISEE	34
FIGURE II.16.MISE EN PLACE DE LA PREMIERE COUCHE	34
FIGURE II.17.MISE EN PLACE DE LA DEUXIEME COUCHE	35
FIGURE II.18.RETRAIT DU CONE ET APPLICATION DE 15 CHOCS.....	35

FIGURE II.19.MESURE DE L'ETALEMENT	36
FIGURE II.20.MISE EN PLACE DE LA PREMIERE COUCHE	36
FIGURE II.21.MISE EN PLACE DE LA DEUXIEME COUCHE	37
FIGURE II.22.RASAGE ET PESAGE.....	37
FIGURE II.23.CURE A L'EAU PENDANT 28 JOURS DES EPROUVETTES.....	38
FIGURE II.24.MISE A L'ETUVE DES EPROUVETTES A UNE TEMPERATURE DE 105°	38
FIGURE II.25.MESURE DU RETRAIT	39
FIGURE II.26.ESSAI D'ABSORPTION D'EAU PAR IMMERSION TOTAL	40
FIGURE II.27.A.DISPOSITIF DE L'ESSAI D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE	41
FIGURE II.27.B.ABSORPTION DE L'EAU PAR LES EPROUVETTES	42
FIGURE II.28.A.ESSAI DE PERMEABILITE A L'EAU.....	43
FIGURE II.28.B.PROFONDEUR DE PENETRATION SUITE A L'ESSAI DE PERMEABILITE A L'EAU.....	44
FIGURE II.29.A.DISPOSITIF DE L'ESSAI DE TRACTION	45
FIGURE 29.B.ESSAI DE TRACTION REALISE SUR LES EPROUVETTES (4 X 4 X 4) CM.....	46
FIGURE II.30.A.MACHINE D'ESSAI DE COMPRESSION	47
FIGURE II.30.B.ESSAI DE COMPRESSION REALISE SUR LES EPROUVETTES (4 X 4 X 16) CM.....	48
FIGURE III. 1. HISTOGRAMME DE L'ENSEMBLE DES VALEURS DE MANIABILITE DU MORTIER.....	50
FIGURE III. 2. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHETS DE BRIQUE ET LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT FRAIS POUR (GC=0%)	51
FIGURE III. 3. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULAT DE CAOUTCHOUC ET LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT FRAIS POUR (DB=0%)	52
FIGURE III. 4. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHETS DE BRIQUE ET LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT DURCI POUR (GC=0%)	53
FIGURE III. 5. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULAT DE CAOUTCHOUC ET LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT DURCI POUR (DB=0%).....	54
FIGURE III. 6. VARIATION DU RETRAIT DANS LE TEMPS.....	55
FIGURE III. 7. VARIATION DU RETRAIT DANS LE TEMPS.....	57
FIGURE III. 8. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHETS DE BRIQUE ET LA MASSE D'EAU ABSORBEE POUR (GC=0%)	58
FIGURE III. 9. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC ET LA MASSE D'EAU ABSORBEE POUR (DB=0%).....	59
FIGURE III. 10. EVOLUTION DU TAUX D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE EN FONCTION DE LA RACINE CARREE POUR (GC=0%)	60
FIGURE III. 11. EVOLUTION DU TAUX D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE EN FONCTION DE LA RACINE CARREE DU TEMPS POUR (DB=0%)	61
FIGURE III. 12. EVOLUTION DE LA SORPTIVITE EN FONCTION DU TAUX DE DECHETS DE BRIQUES POUR (GC=0%)	62
FIGURE III. 13. EVOLUTION DE LA SORPTIVITE EN FONCTION DU TAUX DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC POUR (DB=0%).....	63
FIGURE III. 14. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHETS DE BRIQUE ET LA HAUTEUR DE PENETRATION POUR (GC=0%)	64
FIGURE III. 15. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC ET LA HAUTEUR DE PENETRATION POUR (DB=0%).....	65

FIGURE III. 16. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHET DE BRIQUE ET LA RESISTANCE AA LA COMPRESSION A 28 JOURS POUR (GC=0%)	66
FIGURE III. 17. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC ET LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS POUR (GDB=0%)	67
FIGURE III. 18. RELATION ENTRE LE TAUX DE DECHETS DE BRIQUE ET LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION POUR (GC=0%).....	68
FIGURE III. 19. RELATION ENTRE LE TAUX DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC ET LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION A 28 JOURS POUR (DB=0%).....	69

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1.VALORISATION DE PNEUS USAGES DES PAYS DEVELOPPES.....	16
TABLEAU II.1.CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU CIMENT.....	24
TABLEAU II.2.CARACTERISTIQUES DES GRANULATS DE CAOUTCHOUC	25
TABLEAU II.3.CARACTERISTIQUES DES DECHETS DE BRIQUES	26
TABLEAU II.4.COMPOSITION DU MORTIER (KG/M ³).....	27
TABLEAU III.1.MESURES DE L'ETALEMENT.....	48
TABLEAU III.2.RESULTATS DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT FRAIS(GC=0%)	49
TABLEAU III.3.RESULTATS DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT FRAIS(DB=0%)	51
TABLEAU III.4.RESULTATS DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT DURCI(GC=0%)	52
TABLEAU III.5.RESULTATS DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT DURCI KG/M3) (DB=0%).....	54
TABLEAU III.6.VALEURS DU RETRAIT POUR LES MORTIERS SANS GRANULATS DE CAOUTCHOUC (GC=0%).....	55
TABLEAU III.7.VALEURS DU RETRAIT POUR LES MORTIERS DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC SANS DECHETS DE BRIQUE (DB=0%).....	56
TABLEAU III.8.RESULTATS DE LA MASSE D'EAU ABSORBE (GRAMME)	57
TABLEAU III.9.RESULTATS DE LA MASSE D'EAU ABSORBEE POUR (GRAMME).....	58
TABLEAU III.10.RESULTATS DU TAUX D'ABSORPTION D'EAU (I) AVEC LE TEMPS.....	60
TABLEAU III.11.RESULTATS DU TAUX D'ABSORPTION D'EAU (I) AVEC LE TEMPS.....	61
TABLEAU III.12.RESULTATS DE LA SORPTIVITE (S)	62
TABLEAU III.13.RESULTATS DE LA SORPTIVITE (S)	63
TABLEAU III.14.RESULTATS DE LA HAUTEUR DE PENETRATION EN (CM) SUR LES EPROUVETTES (15 X 15 X 15)CM.....	63
TABLEAU III.15.RESULTATS DE LA HAUTEUR DE PENETRATION EN (CM) SUR LES EPROUVETTES (15 X 15 X 15)CM.....	64
TABLEAU III.16.RESULTATS DE RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS EN (MPA)	65
TABLEAU III.17.RESULTATS DE RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS EN (MPA)	67
TABLEAU III.18.RESULTATS DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION A 28 JOURS EN (MPA).....	68
TABLEAU III.19.LE RAPPORT R_{C28}/R_{T28}	69
TABLEAU III.20.RESULTATS DE LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION A 28 JOURS EN (MPA)	69

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Contexte du projet d'étude

L'évolution des mentalités et de la technique, avec les exigences en termes de protection de l'environnement de plus en plus contraignantes ainsi que la révision des repères économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et la valorisation de sous-produits industriels constituent désormais un souci qui s'impose de plus en plus à l'homme. Dans le monde entier, s'agissant de l'industrie automobile, l'utilisation des pneus en caoutchouc augmente chaque année.

Par ailleurs Peu coûteux et faciles à mettre en œuvre, les matériaux cimentaires dominent le marché des matériaux de construction. Néanmoins, leur faible résistance en traction conjuguée avec leur faible capacité de déformation les rendent très fragiles et sensibles à la fissuration. Le cas de la fissuration due aux déformations imposées est un exemple limitant la durabilité des applications. Des essais mécaniques ont confirmé que l'incorporation de granulats à faible module de déformation, en l'occurrence des granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés est préjudiciable de la résistance en compression et en traction des matériaux cimentaires. En contrepartie, en traction, le composite obtenu à une plus grande capacité de déformation.

Ce composite cimentaire contient des particules, morceaux ou granulats en caoutchouc issus du broyage des pneus usagés. Les granulats en caoutchouc sont utilisés en remplacement partiel des granulats naturels. La présence des granulats en caoutchouc induit une relaxation des contraintes, confère au composite une capacité d'absorber l'énergie accompagnant la fissuration et une plus grande capacité de déformation du béton, réduisant ainsi fortement le risque de fissuration des dalles. En contrepartie, il a été observé une baisse des performances mécaniques comme les résistances en compression, en traction, etc. du matériau cimentaire.

Ce matériau est particulièrement intéressant pour les grandes surfaces tel que les dallages et chaussées en béton dans les travaux publics car il permet de limiter le nombre de joints de dilatation, de simplifier la mise en œuvre, tout en augmentant la durabilité de l'ouvrage. Nous nous proposons donc d'en évaluer l'intérêt technique en complétant leurs compositions et

caractéristiques. Cependant, en l'état actuel des travaux, l'optimisation de la formulation ainsi que le tableau des caractéristiques des composites cimentaires incorporant des granulats en caoutchouc sont incomplets. En particulier leur résistance à la fissuration aujourd'hui qualifiée reste à quantifier.

But du projet d'étude

Le but de ce travail est une contribution à l'étude de ce matériau innovant, cette étude est d'ordre expérimental. Elle consiste à évaluer les performances physiques et mécaniques de ce matériau. Pour cela nous allons varier des proportions de caoutchouc en mélange avec du sable (10%,20%,30%).les grains de caoutchouc varieront de 0 à 4mm.Nous caractériserons l'influence des granulats en caoutchouc sur les propriétés et les caractéristiques d'un mortier cimentaire afin de comparer les résultats obtenus à ceux d'un mortier classique. Afin de rendre le mortier de caoutchouc plus écologique et d'améliorer ses performances, nous avons introduit des déchets de brique préalablement broyés jusqu'à une granularité (0/4) mm ainsi qu'un adjuvant résineux SIKALATEX capable de doper la matrice cimentaire.

Nous présentons tout d'abord dans le premier chapitre, une synthèse bibliographie regroupant d'une part des généralités sur les mortiers classiques (définition, composition, composants, caractéristiques et utilisation) puis d'autre part, nous parlerons des mortiers à base de granulats de caoutchouc(le recyclage des pneus usagés de caoutchouc, définition, composition, composant, caractéristiques et utilisation des propriétés des mortiers Incorporant des Granulats en caoutchouc).

Dans le deuxième chapitre nous exposerons les composants de notre éco-mortier avec leurs caractéristiques : Sable, ciment, eau, granulats de caoutchouc, déchets de brique et adjuvant résineux ainsi que les procédures expérimentales adoptées.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des formulations de cet éco-mortier (20 compositions au total) et aux analyses des tests réalisés sur ce matériau.

A l'issue de ce travail nous exposerons une conclusion générale et montrerons les voies et perspectives pour la suite éventuelle de ce travail.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.LES MORTIERS

I.1.1.Généralités sur les mortiers

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un enduit.

On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc.

Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau (et éventuellement un adjuvant) pour obtenir un <<mortier>>, qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

Les mortiers bâtards sont constitués par des mélanges de ciment et de chaux avec du sable, dans les proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

Les mortiers peuvent être :

- Préparés sur le chantier en dosant et mélangeant les différents constituants, adjuvants compris,
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré-dosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire)
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24h.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains. Le marché du bricolage a profité du développement des mortiers pré mélangés.

On peut aujourd'hui trouver dans les surfaces de bricolages des mortiers répondant à tous les besoins non seulement par la nature du produit, mais aussi par son conditionnement plus adapté : sacs de 5 à 20 Kg.

Dans une première partie nous parlerons des mortiers classiques qui existent puis nous nous intéresserons principalement aux mortiers dont le liant est le ciment puis dans une seconde partie nous parlerons d'un type de mortier artificiel ou expérimental en occurrence le mortier à base de granulats de caoutchouc.

I.1.2.Etymologie des mortiers

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

I.1.3.Typologie des mortiers

Il existe plusieurs types de mortiers :

- Mortier de terre ;
- Mortier de chaux grasse ;
- Mortier de chaux hydraulique ;
- Mortier de plâtre ;
- Mortier de ciment Portland.

Le mélange d'un liant et d'eau sans agrégat s'appelle la barbotine ou eau de chaux.

Le mortier de ciment et de chaux hydraulique (10 à 15 %) s'appelle un mortier bâtard.

Si on ajoute du gravier à un mortier, on obtient du béton.

I.1.4.Mortiers antiques

Les témoignages historiques sont ceux qui ont défié le temps. Ce sont souvent des bâtiments de prestige réalisés en bonne maçonnerie, éventuellement réalisés à la chaux. La maçonnerie romaine antique réalisée à la chaux, a toujours suscité l'admiration mais c'est sans parler des innombrables maçonneries antiques de moindre qualité ou réalisées en terre, qui ont disparu.

I.1.5. La terre, le premier des mortiers

Le premier de tous les mortiers a été la terre, ou la terre argileuse, matériau gratuit, disponible à même le sol ne nécessitant pas de processus chimiques de transformation complexes. Viennent ensuite les matériaux produits par transformation thermique de la pierre (Plâtre, chaux et ciments) dont l'invention est très ancienne, mais l'usage discontinu dans le temps. La Rome antique préconisera de chaux grasses (aériennes) dans la confection des mortiers, en remplacement de la terre, ce qui donnera lieu à des mortiers de constitution variable. Dans les pays industrialisés, ce n'est toutefois qu'à partir de la révolution industrielle et plus particulièrement la fin du XIXe siècle que les chaux hydrauliques et les ciments s'imposeront sur tout autre moyen.

Début XIXe siècle on regroupait donc sous le nom de mortier toute espèce de mélange de terres crues ou cuites ou d'autres matières obtenues par calcination ou de chaux avec ou sans sable et de l'eau en suffisante quantité pour pouvoir le gâcher le porter et le mettre en œuvre convenablement à sa destination. Dans les campagnes où les fours à chaux étaient éloignés et la chaux rare et chère on se contentait souvent pour faire du mortier de terre crue mais franche et un peu grasse en la délayant avec de l'eau et il s'en trouvait qui avait beaucoup de ténacité. Quelquefois on y mélangeait de la paille ou du foin haché, du regain et même de la chaux, si on en avait pour lui donner plus de consistance, ou le rendre plus maniable. On s'en servait alors particulièrement pour la bauge et les torchis. Dans tous les cas le mortier fait avec du sable et de la chaux était à préférer pour les habitations si on pouvait s'en procurer facilement.

« Pour que le mortier soit bon, la chaux doit être bonne, de même que le sable et il ne doit y avoir trop ni de l'un ni de l'autre selon la destination; quant à l'eau il en faut toujours le moins possible: le mortier qui en a trop ne vaut rien. »

I.1.6. Mortier obtenus par calcination de la pierre

La fabrication de liants par calcination de la pierre (dans les fours à calcination) serait aussi ancienne que l'art du potier. Au néolithique déjà, l'homme s'est aperçu que certaines pierres constituant le foyer s'effritaient à cause de la chaleur en produisant une poudre se solidifiant une fois humide. Dans la ville de Çatal Höyük, fondée en 7000 avant J.-C. des enduits de plâtre ornaient les murs.

L'Égypte antique, du troisième millénaire emploie du plâtre pour assembler les pierres des édifices et pour réaliser des enduits. L'Égypte utilisait aussi en 2600 ans av. J.-C., comme

mortier, un mélange de chaux, d'argile, de sable et d'eau : un des mortiers les plus anciens est celui de la pyramide d'Abu Roasch, qui fut probablement érigée sous la IV^e dynastie¹¹. Plus généralement l'Orient est connu pour son emploi du plâtre et de la chaux. Si les grecs connaissent la chaux et le plâtre sous forme d'enduits, ils ne les utiliseront qu'épisodiquement comme mortier, préférant l'usage des crampons en plomb.

Ce n'est qu'à partir de la Rome antique que la chaux sera recommandée pour la confection des mortiers.

I.1.7.Mortier de chaux

La chaux est obtenue par calcination de pierre calcaire vers 1000°C, dans des fours à chaux, opération pendant laquelle elle abandonne son gaz carbonique. Le produit restant, un oxyde de calcium est appelé chaux vive et prend l'apparence de pierres pulvérulentes en surface que l'on va hydrater ou éteindre par immersion dans l'eau. Cette immersion, provoque la dislocation, un foisonnement, ainsi qu'une forte chaleur. Le résultat est une pâte, qui prend le nom de chaux éteinte. C'est ce matériaux plastique, qui mêlé à des agrégats va constituer les mortiers. Une fois incorporée dans la maçonnerie, un phénomène de cristallisation(en fait une carbonatation) s'opère au contact de l'air et plus particulièrement le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère qui fait retourner la chaux à l'état de calcaire. L'extinction de la chaux se faisait de préférence dans des fosses attenantes au chantier.

La présence d'argile associée au calcaire de calcination conduit à différents types de chaux: Il y a lieu de distinguer:

- La chaux aérienne: le phénomène de cristallisation s'opère en présence d'air. Les chaux aériennes se répartissent en:
 - Chaux grasses, obtenues à partir de calcaires très pures ou contenant de 0,1 à 1% d'argile
 - Chaux maigre, obtenues à partir de calcaires contenant de 2 à 8% d'argile
- Chaux hydraulique: le phénomène de cristallisation s'opère aussi en milieu aqueux, obtenues à partir de calcaires contenant plus de 8% d'argile.
- Au-delà de 20% d'argile, les calcaires sont impropres à la confection de la chaux. A partir de 35%, La roche devient tendre et friable. A partir de 50% on parle de marne calcaire, elle devient plastique. Avec 70% d'argile, elle devient marne argileuse.

La dénomination chaux grasse/chaux maigre vient de ce que les chaux maigres augmentent peu de volume lorsqu'on les réduit à l'état de pâte tandis que les chaux grasses donnent un volume plus important, on dit qu'elles foisonnent beaucoup plus. De même les chaux grasses forment avec la même quantité de sable un mortier plus gras que lorsqu'on emploie des chaux maigres.

Pendant longtemps on a appelé chaux maigres celles qui avaient la propriété de durcir dans l'eau et chaux grasses celles qui n'avaient pas cette propriété. La distinction, chaux aérienne/chaux hydraulique est venue du fait que certaines chaux maigres ne sont pas hydrauliques.

La présence d'argile comme d'autres corps, pouvant modifier la phase d'extinction, les Romains supposèrent, de manière erronée, que ces substances diminuaient la qualité de la chaux. Les romains n'utilisèrent donc que de la chaux aérienne. Cet état de connaissance perdurera jusqu'au XIXe siècle. En 1863, il suffit d'interroger les maçons et chaudronniers sur les diverses chaux du pays pour qu'ils désignent les chaux hydrauliques comme les plus mauvaises. Il fallait insister pour qu'ils en fassent mention. Les chaux hydrauliques sont alors recherchées activement car on connaît désormais leurs propriétés exceptionnelles

La chaux grasse entreposée et recouverte d'argile pouvait se conserver fort longtemps, à l'état de pâte, des années éventuellement. Cette caractéristique accompagnait donc les chaux grasses obtenues à partir de calcaires très pures, les marbres par exemple et était très prisée des romains car elle permettait aux maçonneries à mesure qu'on les élève, de se tasser progressivement, assurant au niveau du joint une répartition uniforme des efforts.

Vers l'1er siècle après J-C, la Rome antique améliore la technique de la chaux par l'incorporation de sable volcanique de Pouzzoles (la pouzzolane) ou de tuiles broyées. Comme le dit Vitruve dans son *De architectura* (Livre II, Chapitre 6), le mortier peut résister à l'eau et même faire prise en milieu très humide.

Cette vertu est due à la présence d'une grande quantité de silicate d'alumine. En ajoutant à la chaux aérienne de la pouzzolane ou des tuileaux, on la transforme artificiellement en chaux hydraulique. Ce n'est qu'en 1818 que Louis Vicat expliquera les principes de cette réaction, dans sa théorie de l'hydraulicité ouvrant la voie à la découverte du ciment Portland.

D'après Viollet-le-Duc, au Moyen Âge, les mortiers de chaux sont de qualités très différentes; ils sont de qualité médiocre pendant les IXe, Xe, et XIe siècles. Il semble qu'alors on avait

perdu les procédés de fabrication de la chaux, et ce n'est que par exception que l'on trouve, dans des édifices de cette époque, des mortiers offrant une certaine consistance. Au XIIe siècle, les mortiers commencent à reprendre de la force; pendant les XIIIe, XIVe et XVe siècles, on en fait d'excellents.

I.1.8.Mortiers hydrauliques et ciments

Jusqu'au début du XIXe siècle la manière de faire le mortier a presque toujours été abandonné aux ouvriers. En comparant les mortiers des anciens et surtout ceux qui ont été faits par les Romains, aux mortiers des temps modernes on suppose alors que les premiers étaient meilleurs. Plusieurs constructeurs annoncent alors avoir trouvé le secret des mortiers romains mais d'autres supposent avec raison qu'il n'a subsisté à travers le temps que les constructions faites avec de bonnes chaux dans de bons mortiers.

Avec le XIXe siècle, la chimie connaît un énorme progrès quantitatif, avec Antoine Lavoisier qui l'a promue en science exacte. Liés à la révolution industrielle, les progrès réalisés en métallurgie, la maîtrise des fours industriels, la diversification des combustibles, profite à tous les secteurs de l'industrie. On chauffe pour décomposer la matière, pour obtenir de nouveaux matériaux. Enfin la nécessité de grands travaux d'infrastructures (canaux, ports, urbanisme, fortification), aiguillonnée par un climat de concurrence pour la suprématie économique et politique entre l'Angleterre et la France conduit à rechercher de nouveaux mortier. On chauffe pour produire de manière effrénée.

La connaissance des réactions entrant dans la fabrication et dans la prise des chaux, dont l'usage n'a pas beaucoup évolué depuis l'antiquité, est acquise progressivement.

L'intérêt scientifique se porte sur les chaux faisant prise sous l'eau, que les romains obtenaient par adjonction de pouzzolane ou de tuileaux à de la chaux grasse. On leur donnera les noms successifs de ciment aquatique (et improprement le nom commercial de « ciment romain », par James Parker en 1796). C'est à Vicat que l'on doit le nom de chaux hydraulique.

Louis Vicat, ingénieur des ponts et chaussées, part de l'opinion généralement admise à cette époque que c'est l'argile qui donne à la chaux la propriété singulière de durcir dans l'eau. Il expérimente les chaux et parcourt la France à la recherche des calcaires contenant les quantités d'argile nécessaires à leur élaboration. Sous son impulsion l'usage des chaux hydrauliques se généralise.

Ses recherches visent également à produire des chaux factices (qui font prise sous l'eau très promptement) à partir des produits séparés: argiles et calcaire. Il expérimente différentes combinaisons de chaux et d'argile qu'il sèche et fait cuire. Les principes actifs des mortiers hydrauliques sont dit-il en 1828, la chaux, silice, alumine, oxyde de fer¹⁸, en 1856, la chaux, la silice, l'alumine et la magnésie: « La chaux en est toujours la base essentielle on la mêle selon sa nature tantôt avec le sable seul, tantôt avec le sable et la pouzzolane tantôt enfin avec la pouzzolane seule. Nous comprenons sous ce nom de pouzzolane non seulement les produits volcaniques de l'Italie et de la France mais aussi toutes les substances analogues que l'on modifie par le feu des fourneaux et auxquelles on parvient à donner à très peu près les qualités des pouzzolanes naturelles. Il suit de là que les argiles ferrugineuses, les ocres, les schistes bleuâtres, la houille, le basalte, les laves, le grès ferrugineux, etc. sont autant de matières que le feu peu ramener à l'état des pouzzolanes volcaniques. »

En 1796, James Parker découvre sur l'Île de Sheppey, Grande Bretagne, un calcaire suffisamment argileux pour donner après une cuisson à 900°C, un ciment naturel à prise rapide qui est commercialisé sous la marque Ciment romain. Le ciment prompt, est de même nature. Joseph Aspdin dépose en octobre 1824 le premier brevet et crée la marque « Ciment Portland ». C'est un jalon à partir duquel, la fabrication du ciment va devenir progressivement une industrie chimique.

La fabrication du clinker (Mélange de calcaire et d'argile) ingrédient principal des ciments est pointée du doigt, fin XXe siècle, comme responsable d'approximativement 5% des émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropiques à l'origine du récent réchauffement climatique.

I.2.MORTIER DE CIMENT

I.2.1.Définition

Le mortier de ciment est une poudre qui durcit au contact de l'eau pour devenir solide et résistante en séchant.

I.2.2.Composition du mortier de ciment

Par définition, les mortiers contiennent des liants, des granulats et de l'eau; des adjuvants ou des colorants peuvent aussi être ajoutés. Dans notre étude nous nous intéresserons au ciment comme liant, au sable comme granulats, de l'eau et d'éventuels adjuvants.

I.2.2.1. Le liant

Si les professionnels appellent le mortier la <<colle>>, c'est précisément grâce au liant qui joue le rôle d'adhésif et de liaison entre les différents éléments. Le plus courant des liants, le ciment, est employé pour la réalisation des mortiers et des bétons. Le liant peut être du ciment portland, ou du ciment de maçonnerie, ou un des divers mélanges de ces deux matériaux. Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier sa résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont mal aisés à travailler.

Le ciment blanc, s'emploie pour les enduits, les joints, le dallage visibles et peut être teinté par des colorants spéciaux ou par le sable utilisé en agrégat. Quand il est gris, il demande à être recouvert.

Ciment portland-ciment de maçonnerie :

Le ciment de maçonnerie est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air. Les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment et chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec en plus des adjuvants.

Les mortiers à ciment de maçonnerie ont en général une ouvrabilité excellente et une résistance mécanique modérée. Les microbulles d'air entraînées contribuent à créer l'effet de roulement à billes et à améliorer l'ouvrabilité du mortier malgré une mauvaise granulométrie des granulats. L'augmentation de la teneur en air est cependant accompagnée d'une diminution de la résistance à la compression et surtout d'une diminution de la force de liaison. Il est important de souligner que l'on n'a pas spécifié une valeur maximale pour la teneur en air. Les mortiers à ciment de maçonnerie peuvent supporter des quantités de sable élevées, ce dont on abuse souvent au détriment de la qualité de la maçonnerie. L'addition de ciment portland aux mortiers de ciment de maçonnerie augmente leur résistance mécanique de sorte qu'ils peuvent être classés dans les types M et S. Il est difficile de prévoir les propriétés des mortiers de ciment de maçonnerie parce que leur composition n'est pas connue et peut être modifiée sans préavis. On ne devrait les utiliser qu'en fonction de leur comportement sur place.

I.2.2.2.Granulats

Le sable est le granule employé le plus fréquemment. Il est inerte et sert tout d'abord à accroître la compacité. Ses limites granulométriques sont entre 0,080 mm et 4 mm. Malheureusement, la plupart des granulats sont choisis pour des raisons de coût et de disponibilité, et il est bien connu qu'en Afrique un grand nombre des granulats employés ne sont pas conformes aux exigences granulométriques puisqu'ils contiennent en général trop d'éléments fins. Il peut y avoir une certaine variation granulométrique sans que les propriétés du mortier soient fortement altérées, mais la qualité du mortier serait certainement améliorée si on choisissait le granulat avec plus de soin.

Le rôle du sable est de conférer masse et corps au mélange. Plus le sable est gros, moins est importante sa surface à lier.

Le sable gris, jaune ou blanc, de rivière ou de carrière donne la consistance du mortier.

Pour les mortiers grossiers on utilise du sable de calibre 0.5 mm.

Pour les Mortiers et bases d'enduits on utilise du sable de calibre 0/3 mm.

Pour les enduits de finition on utilise du sable de calibre : 0.3 à 0.8 mm.

Le sable est toujours humide, mais son taux d'humidité varie. Il faut augmenter la proportion de sable préconisé de 10 à 20% s'il est très humide.

I.2.2.3.L'eau de gâchage

L'eau remplit un double rôle:

Elle sert à hydrater le ciment, et, ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Dans le cas du béton un faible rapport eau-ciment est préférable. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser. Elle doit être la plus propre et la plus pure possible. Trop d'impuretés risquent de réduire la résistance de la maçonnerie. Une eau teintée (de rouille, par exemple, si elle est puisée dans un bidon métallique) risque de colorier l'ouvrage. La quantité d'eau (0.5 à 2.5 litre par kg de ciment) se dose en fonction de l'utilisation du mélange.

I.2.2.4. Les adjuvants ou additifs

De nombreux adjuvants sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé. Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide.

Une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants. La quantité des bétons et des mortiers et leurs ouvrabilités peuvent être améliorées par l'apport d'adjuvants. Les plus utilisées sont les plastifiants réduisant la quantité d'eau nécessaire et donc améliorant la cohésion, les antigels hydrofuges et autres accélérateurs ou retardateurs de prise.

Couleurs – Colorants

On peut donner de la couleur au mortier par des granulats ou des pigments minéraux. Ces derniers devraient avoir la composition d'oxydes minéraux et ne pas représenter plus de 6 % du poids du ciment portland. Le noir de carbone ne devrait pas représenter plus de 2 %. On doit soigneusement choisir les pigments et ne pas en employer plus qu'il n'en faut pour obtenir la couleur désirée. Pour que la couleur ne varie pas beaucoup d'un lot à l'autre il est conseillé d'acheter des liants auxquels des colorants ont été ajoutés en usine et de gâcher de grandes quantités de mortier.

I.2.3. Les caractéristiques d'un mortier de ciment

D'après leurs propriétés, les mortiers se subdivisent en deux catégories:

- Les mortiers plastiques et
- les mortiers durcis.

I.2.3.1. Les mortiers plastiques

La propriété la plus importante du mortier plastique est son ouvrabilité.

On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie. En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant, la plasticité, la compacité et la cohérence. L'ouvrabilité ne se mesure pas avec précision en laboratoire mais le maçon peut l'évaluer en observant le comportement du mortier lorsqu'il l'étale avec sa truelle.

L'ouvrabilité est due à l'effet de « roulement à billes » résultant de la lubrification des granulats par le lait de ciment. Bien que la classe des granulats et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales du retrait et le maçon peut la contrôler à la mise en œuvre. La capacité d'un mortier à garder une certaine ouvrabilité sous l'influence de la succion des blocs dépend de son pouvoir de rétention d'eau mesuré lors d'essais en laboratoire. Une bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau sont essentiels à une qualité maximale du rejointoiment.

I.2.3.2.Mortier durci

Le mortier durci possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure. La solidité du rejointoiment entre le mortier et l'élément est très importante. Quant à l'ouvrabilité, il n'existe pas de méthode sûre pour la mesurer et par conséquent les mortiers sont évalués d'après les valeurs de résistance à la compression d'éprouvettes cubiques soumises à des conditions de moulage et de cure plus proche de celles que l'on rencontre avec le béton qu'avec le mortier. La méthode d'essai est simple, les résultats sont reproductibles, et au cours des années les ingénieurs en maçonnerie ont appris à établir le lien entre la résistance à la compression et les propriétés de maçonnerie recherchées. Peut-être surestime-t-on l'importance de la résistance du mortier à la compression à cause de la confusion entre béton et mortier notée précédemment. La solidité du rejointoiment, la bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau donnent au rejointoiment une force maximale et par le fait même ces qualités sont plus importantes que la résistance du mortier à la compression. La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration. Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées.

I.2.4.Les utilisations des mortiers de ciment

La fonction principale d'un mortier est de liaisonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène.

Le rejointoiment doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments. Le mortier est employé de diverses manières :

I.2.4.1. Les joints de maçonnerie

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il lie sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente.

I.2.4.2. Les enduits

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vaste débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans le DTU 26.1, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants considérés encore comme non traditionnels.

I.2.4.3. Les chapes

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique.

I.2.4.4. Les scellements et les calages

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués...

I.2.4.5. Les coulis

Le coulis est un mélange fluide, à base de charges fines inférieures à 0.3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Outre les liants classiques, il existe aussi des liants spéciaux pour coulis d'injection. Les charges sont constituées par des suspensions d'argile, de bentonite

(argile colloïdale). Les domaines d'utilisation des coulis sont les remplissages de cavités et fissures dans les roches, les sols ou les ouvrages béton ou maçonneries.

I.3.LES MORTIERS DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC

I.3.1.Généralités sur les caoutchoucs

Il existe deux grandes familles de caoutchoucs :

- Les caoutchoucs naturels qui proviennent de l'hévéaculture (hévéa : arbre qui produit du latex),
- Les caoutchoucs synthétiques fabriqués à partir de dérivés du pétrole.

Les caoutchoucs sont utilisés dans de nombreux secteurs : automobile/transport (pneumatiques, système de freinage, airbag, étanchéité, ..), équipement industriel, bâtiment et travaux publics (BTP), médical (préservatifs, gants, ...), alimentation (tétine...), colles et adhésifs...

Les déchets de caoutchouc ont quatre origines :

- Les déchets de caoutchouc industriel (8%),
- Les déchets de fabrication de pneumatiques et chambres à air (3,5%),
- Les pneumatiques usagés (86,6%),
- Les déchets du recyclage (poudrettes, copeaux) (2%).

I.3.2.Les pneumatiques usagés

I.3.2.1.Les pneumatiques

Même si la problématique concerne tous les pays sans exception, les données fiables disponibles ne concernent que les pays développés. Dans ce dernier cas, elles montrent que les pneus en caoutchouc représentent 60% de la production industrielle en caoutchouc.

Comme le montre le Tableau I-1 c'est en grande partie comme combustible (valorisation énergétique), essentiellement dans les fours des cimenteries que le pneu usagé termine sa course. De l'autre côté, la Figure I-1 montre que le stockage est important ce qui peut entraîner les risques associés (incendie, etc.).

Tableau I.1. Valorisation de pneus usagés des pays développés

<i>Méthode</i> <i>Pays</i>	Combustible (pour ciment)	Matières premières	Rechapage	Export	Décharge
Japon	35%	22%	15%	17%	11%
Allemagne	37%	11%	22%	-	30%
Etats-Unis	7%	2%	12%	4%	75%

Le caoutchouc est un élément indispensable dans la constitution d'un pneumatique : il représente environ 48% de son poids. En plus du latex, matière de base du caoutchouc naturel, les caoutchoucs synthétiques, dérivés de pétrole, ont permis d'améliorer les caractéristiques des pneumatiques. Les pneumatiques sont également renforcés d'armatures métalliques (15% de poids) afin d'augmenter le niveau de leur performance, mais aussi de fibres textiles (5% de poids) afin d'alléger leur poids tout en conservant leurs propriétés d'endurance.



Figure I.1. Stock de pneus usagés à Campsas, Tarn et Garonne en 2007.



Figure I.2. Incendie sur le site de stockage de pneus usagés, Stanislaus county, CA.

I.3.2.2. La filière de recyclage des pneumatiques usagés en France

Les Pneus Usagés proviennent du démontage des pneumatiques sur les points de vente, les distributeurs ou les garagistes. Ils sont ensuite collectés, puis triés par des collecteurs qui revendent les Pneus Usagés Réutilisables (P.U.R) aux sociétés de rechapage ou sur le marché de l'occasion. Une partie des Pneus Usagés Non Réutilisables (P.U.N.R) est envoyée en cimenterie, en centrales thermiques, en site de broyage et de fabrication de poudrette ou en application de Travaux Publics. La part de chacune de ces voies de valorisation a été illustrée par la Figure I-2.

Les plus importants producteurs de pneumatiques (Michelin, Dunlop, Bridgestone, Firestone, Goodyear, Continental, Kléber et Pirelli) ont choisi de confier la collecte et la valorisation des pneus en fin de vie à un organisme tiers. Ils ont donc créé une société (année 1993) pour assurer leur devoir de collecte et le retraitement de tonnages de pneumatiques usagés équivalents à leur vente de l'année précédente. Le pneu n'étant plus considéré comme un simple déchet mais plutôt comme un matériau ayant un fort potentiel de valorisation, la recherche de filières d'élimination, de réutilisation ou de nouvelles voies de valorisation est devenue ainsi un enjeu majeur.

La filière de recyclage se structure en quatre étapes :

- Collecte primaire sur les points de vente ;
- Transformation du produit ;
- Tri et revente des pneus réutilisables ;
- Valorisation finale.



Figure I.3. Les voies de valorisation des pneus usagés.

I.3.2.3. Les voies de valorisation des pneus usagés

Les voies de valorisation des pneus usagés sont de plus en plus objets de projets diversifiés, de recherche et développement. A titre d'exemples non exhaustifs on peut citer les axes suivants :

➤ **Sous forme de matières premières**

On a déjà utilisé essentiellement la poudrette de caoutchouc dans les revêtements de sols sportifs (pistes d'athlétisme ou sous couche dans les salles de sport). Actuellement, on a une nouvelle application de la poudrette : le sol équestre à base de granulats de pneus usagés. Ce revêtement de nouvelle génération est composé d'une couche de base de granulats liés par une résine, recouverte d'une couche de granulats libres.

➤ **Réhabilitation de carrière**

La méthode de comblement - qui fait l'objet d'un agrément pour les carrières en fin d'exploitation, consiste à alterner des couches de terre et des couches de pneus usagés de grande taille (génie civil et agraires) comme illustré à la Figure I-3. Cette procédure de réhabilitation du site doit faire l'objet d'une surveillance scientifique sanitaire et

environnementale. Sur la base de cette surveillance, il a été confirmé que l'utilisation des pneus en comblement de carrière est une application qui a toute sa place dans la valorisation des pneus usagés dès lors que cette technique est bien maîtrisée.



Figure I.4. Réhabilitation de carrière par l'utilisation de pneus usagés.

➤ Emploi dans les ouvrages de génie civil : Le Pneusol®

L'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED) classe le Pneusol® - une technique mise au point au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en 1974 comme une valorisation originale. Cette technique consiste à utiliser des pneus usagés entiers dans des applications géotechniques. Actuellement, plus de deux cent cinquante ouvrages en Pneusol® ont été construits en France et dans d'autres pays comme l'Algérie, les États-Unis, la Jordanie ou le Brésil, etc. dans différents domaines du Génie Civil (remblai léger, mur de soutènement, protection de pente et de berges, etc.). La Figure I-4, présente un chantier d'élargissement de la route Nationale No7 à Cannes- Mandelieu – un résultat typique de l'application du Pneusol.

I.3.2.4. La valorisation des déchets de caoutchouc au Vietnam

Dans les années 80, compte tenu d'une faible ressource de caoutchouc, le Vietnam a cherché des méthodes de collecte de matériaux polymère en général et déchet de caoutchouc en particulier. Pour les déchets de caoutchouc, il a été collecté pour rechaper les pneus de vélo, motorcycle, etc. Pour les pneus de voiture, après plusieurs rechapages ils ont été recyclés pour produire des bassins ou des seaux. Mais dans les vingt dernières années, le Vietnam a pu produire de plus en plus de matières premières en caoutchouc et

on n'a donc pas continué à rechercher des voies de valorisation de pneus usagés.

En 1995, au Vietnam, une première recherche réalisée par Do et al, permet de tirer la sonnette d'alarme sur l'augmentation du stock de déchet de caoutchouc et sur l'insuffisance des voies de valorisation. Nguyen et al, évaluent des propriétés du composite incorporant du caoutchouc naturel et de la poudre de caoutchouc de 0,4 mm de diamètre issus du déchet de caoutchouc. Les résultats illustrés à la Figure I-5 montrent que la résistance en traction et l'élongation à la rupture en traction diminuent avec le dosage de poudre en caoutchouc.

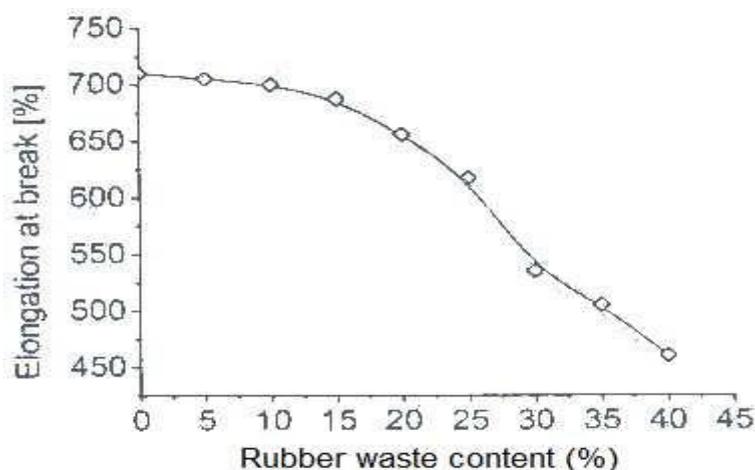


Figure I.5. Influence du dosage en poudre issue du déchet de caoutchouc sur la résistance en traction et l'élongation à la rupture

I.3.2.5. La valorisation des déchets de caoutchouc en Algérie

Aujourd'hui, les nombreuses possibilités de transformation ou d'élimination offertes par le pneu usagé non réutilisable en font un matériau à fort potentiel. Les chercheurs et les industriels découvrent ses nombreuses qualités: la résistance de sa structure lorsqu'il est conservé en entier, sa souplesse lorsqu'il est transformé en granulats, ou son pouvoir calorifique lorsqu'il est utilisé comme combustible.

Le problème des pneus usagés est non seulement Mondial mais aussi Maghrébin et Africain; des millions de tonnes sont jetés chaque année dans le monde (déchet encombrant et abondant).

Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie comme certains d'autres pays a compris que la technologie est la clé de l'évolution, sur des méthodes et des techniques nouvelles, tout en pensant à la protection et la conservation de l'environnement dans le cadre du

développement durable. Les photos des figures I.6 à I.11 montrent des applications pratiques avec des pneus de caoutchouc pour la stabilité des talus à l'aide de la technique pneu-sol.



Figure I.6. Pose des nappes de pneus
Projet pilote-Route de Bousmail



Figure I.7. Ouvrage végétalisé
Projet de Bousmail



Figure I.8. Stabilité d'un glissement de terrain-Cas de Tizi Ghenif-Willaya de Tizi Ouzou Algérie



Figure I.9.Ouvrage de Mostaganem RN11 (Algérie)-Stabilité d'un talus



Figure I.10.Superposition et attache des pneus



Figure I.11.Bétonnage de la 1ère file de pneus

CHAPITRE II

MATERIAUX UTILISES ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

CHAPITRE II : MATERIAUX UTILISES ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

II.1.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous étudierons dans la première partie, les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition du mortier incorporé des granulats de caoutchouc à savoir : la masse volumique, la granulométrie, la propreté, la composition chimique et minéralogique ainsi que d'autres propriétés physiques. Dans la deuxième partie, nous allons donner les modes opératoires des différents essais réalisés dans la partie expérimentale, dans le but d'une bonne interprétation des différents résultats expérimentaux sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc et des déchets de brique car en effet le mortier à base de granulats de caoutchouc est un matériau composite qui se compose de deux matériaux non homogènes à savoir le mortier et les granulats de caoutchouc. Les qualités fondamentales du mortier de granulats de caoutchouc sont largement marquées par divers facteurs tel que: la composition du mortier, le dosage et les dimensions des granulats de caoutchouc, la maniabilité, la vibration, ainsi que le mode et la vitesse de malaxage.

II.2.MATERIAUX UTILISES

II.2.1.Ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland CPA-CEM I 42,5 ES de provenance de la cimenterie de AIN TOUTA, voir fiche technique en annexe de ce mémoire.

Sa composition est :

- **Clinker** : au moins 97%.
- **Ajouts** : la proportion de constitutions secondaires est limitée à 03%.

Le ciment CPA-CEM I 42,5 ES de l'ERCE répond aux exigences de la norme NA 433 :2002.

Les photos des figures II.1.a et II.1.b ci-après représentent le ciment sous forme de poudre et dans son sac d'emballage respectivement.

Les résistances mécaniques à la compression font apparaitre une valeur moyenne des résultats à 28 jour voisine de 52,5 N / mm².

Les valeurs limitées garanties sont :

$\geq 10,0 \text{ N / mm}^2$ à 02 jours.

$\geq 40,0 \text{ N / mm}^2$ à 28 jours.

Les caractéristiques chimiques sont présentées dans le tableau II.1 suivant :

Tableau II.1.Caractéristiques chimiques du ciment

Ciment	SO3 (si C3A \leq 3%)	$\leq 3,5\%$
	SO3 (si C3A \leq 5%)	$\leq 2,5\%$
	PAF	$\leq 3,0\%$
	Rés.Ins	$\leq 0,75\%$
	MgO	$\leq 4,0\%$
Clinker	C3A	$\leq 5,0\%$
	C4AF+2(C3A)	$\leq 20,0\%$



Figure II.1.a.Ciment CPA-CEM I 42,5 ES



Figure II.1.b.Emballage CPA-CEM I 42,5 ES

II.2.2.SABLE

Le sable utilisé est un sable moyen de couleur jaunâtre, de provenance de la sablière d'Oum Ali, de la Willaya de Tébessa. (Voire figure II.2).Sa masse volumique apparente est : $1530,70 \text{ Kg/m}^3$ et sa masse volumique absolue est : 2565 Kg/m^3 .Sa granulométrie varie de 0 à 4 mm. La figure II.2 montre un tas de sable utilisé.



Figure II.2.Sable d'Oum Ali (0-4mm)

II.2.3.Eau de Gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage est de l'eau de robinet du laboratoire de recherche de Génie Civil et Hydraulique de l'université 08 Mai 1945 de Guelma. Elle est nécessaire à l'hydratation du ciment et facilite aussi la fluidification du mortier et sa mise en œuvre.

II-2-4.Granulats de caoutchouc

Les Granulats de caoutchouc proviennent d'une usine de broyage de pneus de caoutchouc située dans la ville de Batna. Ils ont une granulométrie de 0 à 4mm et une Masse Volumique de 940 Kg/m³. Ces granulats sont issus du broyage des pneus usagés et ne sont pas traités.

Tableau II.2.Caractéristiques des granulats de caoutchouc

Masse volumique	940 Kg/m ³
Granulométrie	0-4 mm



Figure II.3.Granulats de caoutchouc (0-4mm)

II-2-5.Les déchets de briques

Les déchets de briques proviennent de la briquerie de Benjareh, de la wilaya de Guelma et ont une granulométrie inférieure à 0.8 mm.la Masse Volumique des déchets de brique est de 2500 Kg/m³.

Tableau II.3.Caractéristiques des déchets de briques

Masse volumique	2500 Kg/m ³
Granulométrie	< 0.8 mm



Figure II.4.Déchets de brique de Benjareh (<0,8mm)

II-2-5.Les adjuvants

II-2-5-1.Sikalatex

Le sikalatex est une résine à mélanger à l'eau de gâchage des mortiers.

Le sikalatex est une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré. Parfaitement miscible, il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment. C'est un liquide laiteux (voir figure II.5.a) et il est conditionné dans des bidons de 5 litres (voir figure II.5.b).Sa densité est environ 1.



Figure II.5.a.Liquide laiteux et concentré du SIKALATEX



Figure II.5.b.Conditionnement du SIKALATEX (Bidon de 5l)

II-2-5-2.MEDAPLAST SP 40 : Conforme à la norme EN 934-2

Le MEDAPLAST SP 40 est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. Ses caractéristiques sont :

- Aspect → Liquide
- Couleur → Marron (Voir figure II-6-a)
- pH → 8.2
- Densité → 1.2 ± 0.01
- Teneur en chlore → $< 1 \text{ g/L}$
- Extrait sec → 40%

Il est conditionné dans des bidons de 12 Kg (voir figure II.6.b).



Figure II.6.a.MEDAPLAST



Figure II.6.b.Conditionnement et stockage

II.3.COMPOSITIONS DES MORTIERS

Les 20 compositions étudiées sont présentées dans le tableau II.4 suivant.

Tableau II.4.Composition du mortier (Kg/m^3)

Mortier	Ciment	Sable	Eau	G.C	D.B	Stab	SP	Sikalatex
GC0-DB0	500	1400	250	0	0	0.5	7	35
GC0-DB2.5		1365			34.11		12.5	
GC0-DB5		1330			68.23		12.5	
GC0-DB7.5		1295			102.34		12.5	
GC0-DB10		1260			136.45		12.5	
GC10-DB0	500	1260	250	51.14	0	0.5	11	35
GC10-DB2.5		1228.5			30.70		11.5	
GC10-DB5		1197			61.40		12	
GC10-DB7.5		1171.58			92.10		12.5	
GC10-DB10		1142.11			122.81		12.5	
GC20-DB0	500	1120	250	1028	0	0.5	11	35
GC20-DB2.5		1093.80			27.29		12	
GC20-DB5		1067.60			54.58		12.5	
GC20-DB7.5		1041.40			81.87		12.5	
GC20-DB10		1015.21			109.16		11.5	
GC30-DB0	500	980	250	153.34	0	0.5	11.5	35
GC30-DB2.5		957.08			23.88		10.5	
GC30-DB5		934.15			47.76		9.5	
GC30-DB7.5		911.23			71.64		9.5	
GC30-DB10		888.30			92.52		12.5	

:

II.4.PROCEDURE EXPERIMENTALE

II.4.1.Fabrication du mortier

II.4.1.1.Pesage des composants du mortier

Dans un premier temps nous avons pesés individuellement tous les composants du mortier pour chaque formulation du tableau II-4.

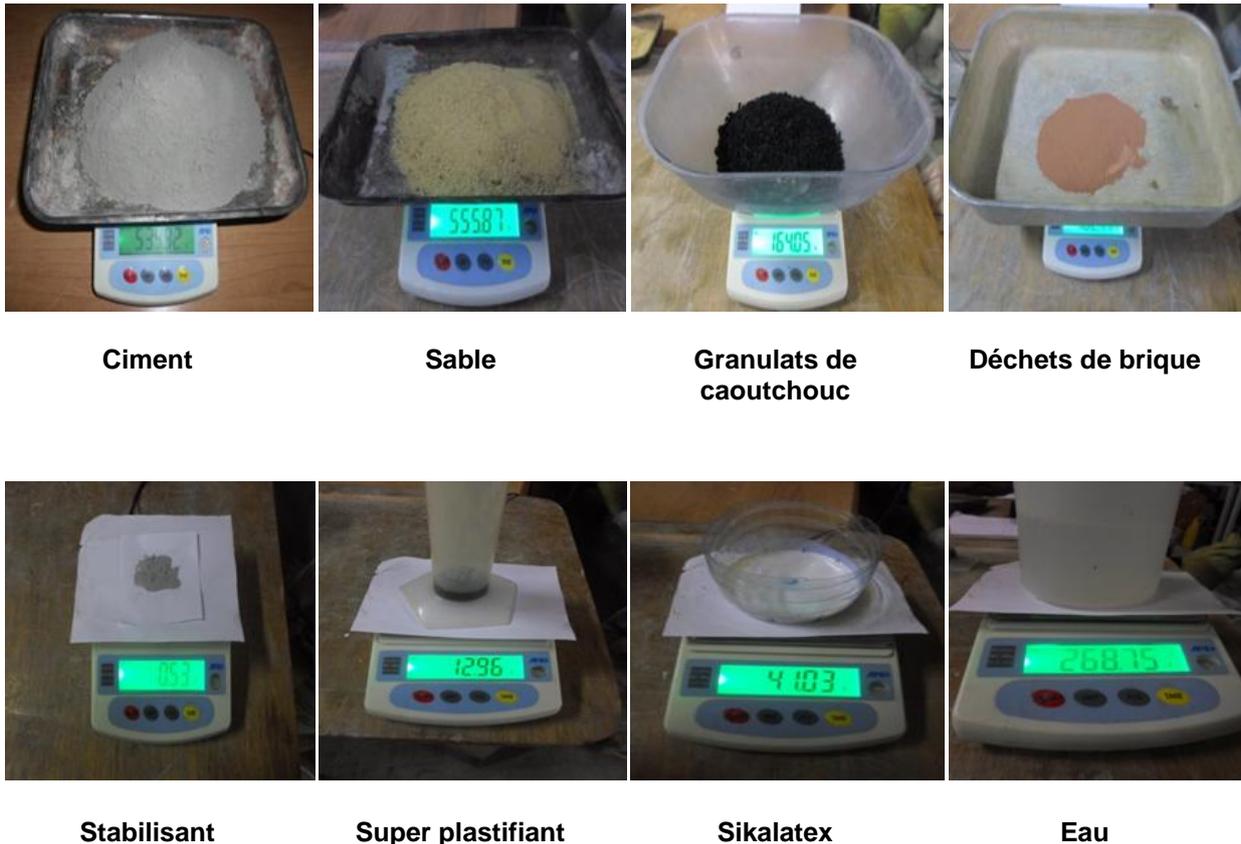


Figure II.7.Pesage des composants du mortier

II.4.1.1.Malaxage des composants du mortier

Pour le malaxage des constituants, un malaxeur à mortier de capacité 5 litres a été utilisé avec le séquençage suivant :

- Introduction dans un premier temps de tous les composants solides et secs dans le malaxeur (ciment, sable, déchet de brique, granulats de caoutchouc) puis malaxage pendant trois (3) minutes à vitesse lente (1) afin d'assurer une bonne dispersion des G.C. parmi les éléments traditionnels du mortier.
- Introduction dans un second temps du mélange contenant 80% d'eau, du stabilisant et des autres composants liquide (S.P, Sikalatex) puis malaxage pendant deux (2) minutes à vitesse lente.

- Introduction dans un troisième temps éventuellement les 20% restant d'eau puis malaxage pendant 2 minutes à vitesse lente.
- Dans un quatrième temps malaxage de tout le mélange pendant trois à quatre (3-4) minutes à vitesse rapide (6).



Figure II.8.a. Malaxeur à mortier de capacité 5l



Figure II.8.b. Malaxage des composants du mortier

II.4.1.3. Coulage des éprouvettes

Dans ce travail nous avons confectionnés 60 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm et 20 éprouvettes de dimensions (15 x 15 x 15) cm dans des moules de dimensions respectives. (Voir figures II.10.a et II.10.b).



Figure II.9.a.Moule (4 x 4 x 16) cm



Figure II.9.b.Moule (15 x 15 x 15) cm

II.4.1.4.Étapes de coulage des éprouvettes

Le coulage des éprouvettes s'est fait en quatre (4) tapes ci-dessous :

- **Première étape**

Dans un premier temps nous avons mis en place les moules puis les avons lubrifié avec de l'huile à moteur 40 afin que le mortier ne se colle pas aux parois des celles-ci. (Voir figure II.10).



Figure II.10.Lubrification des moules

- **Deuxième étape**

Dans un deuxième temps nous avons rempli l'éprouvette à moitié puis vibrer le tout pendant trente (30) secondes afin d'éliminer les vides. (Voir figure II.11)



Figure II.11. Remplissage à moitié et vibration

- **Troisième étape**

Dans un troisième temps nous avons rempli totalement l'éprouvette puis vibrer le tout une deuxième fois pendant trente (30) secondes. (Voir figure II.12)



Figure II.12. Remplissage total et vibration

- **Quatrième étape**

Dans un quatrième temps nous avons vibré une troisième fois l'éprouvette et tout son contenu pendant vingt(20) secondes puis rendu uniforme sa face supérieure en la rasant avec la truelle.(Voir figure II.13)



Figure II.13. Dernière vibration et rasage

II.4.1.5. Démoulage et pesage des éprouvettes après 24h

En effet pour chaque formulation, le démoulage des éprouvettes s'est fait après 24h puis pesée. (Voir figure II.14.a et II.14.b)

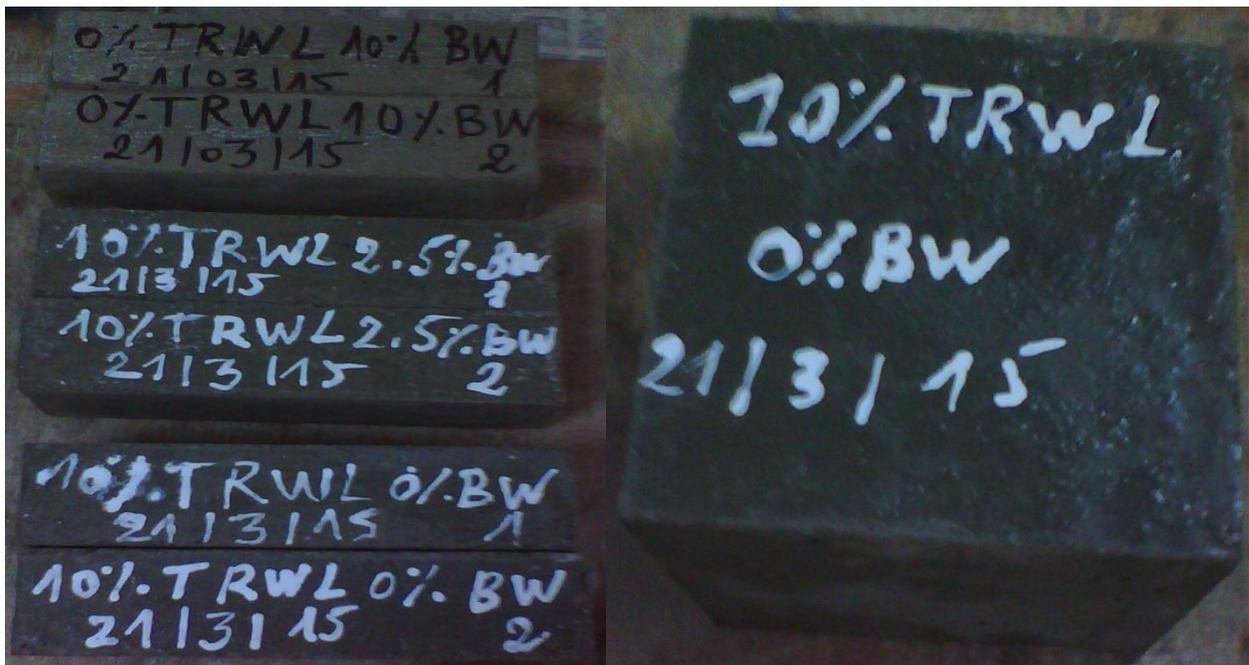


Figure II.14.a. Démoulage des éprouvettes après 24h



Figure II.14.b. Pesage des éprouvettes après démoulage

II.4.2. Les essais réalisés

II.4.2.1. Essais réalisés à l'état frais

II.4.2.1.1. Essai de maniabilité : étalement à la table à secousses

La maniabilité du mortier s'est mesurée sur la table à secousse. Selon la norme EN12-358, cet essai d'étalement est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du mortier à s'étaler par écoulement.

L'essai est exécuté sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales à l'aide d'une manivelle (Figure II-15).

Un cône de dimensions ($D_0 = 10$ cm ; $d_0 = 7$ cm ; $h = 6$ cm) a été rempli en deux couches.

Après chaque couche nous avons donné 10 coups avec la tige de piquage.

On démoule ensuite, sur la table, le cône et on la soumet à une série de 15 secousses, en suite on mesure le diamètre d'étalement "d".

L'Essai s'est déroulé en 5 étapes :

- **Première étape**

Lubrification de la table à secousse et du cône. (Voir figure II.15)



Figure II.15. Table à secousses utilisée

- **Deuxième étape**

Mise en place d'une première couche jusqu'à la moitié du cône et application de 10 coup de pilon. (Voir figure II.16)



Figure II.16. Mise en place de la première couche

- **Troisième étape**

Mise en place d'une deuxième couche jusqu'à remplissage du cône et application de 10 coup de pilon. (Voir figure II.17)



Figure II.17.Mise en place de la deuxième couche

- **Quatrième étape**

Retrait du cône et application de 15 chocs (secousses). (Voir figure II.18)



Figure II.18.Retrait du cône et application de 15 chocs

- **Cinquième étape**

Mesure de l'étalement à l'aide du pied à coulisse. (Voir figure II.19)



Figure II.19. Mesure de l'étalement

II.4.2.1.2. Détermination de la masse volumique

Cette mesure détermine le rendement volumique de la composition du mortier frais et permet de vérifier la validité de la formulation théorique.

Pour effectuer cette mesure, on utilise un récipient de volume et de masse connus. Ce récipient est rempli entièrement de mortier et sa surface libre est ensuite arasée. On pèse alors le récipient plein. Le rapport entre la masse du mortier (masse du récipient plein à laquelle on soustrait la masse du récipient vide) sur le volume du récipient correspond à la masse volumique du mortier frais exprimée en kg/m^3 .

Notre un récipient à une contenance d'un (1) litre

Cette mesure s'est faite en effet en trois étapes :

- **Première étape**

Mise en place de la première couche du mortier jusqu'à la moitié du récipient suivi de Vingt-cinq coup avec la tige de piquage. (Voir figure II.20)



Figure II.20. Mise en place de la première couche

- **Deuxième étape**

Mise en place de la deuxième couche du mortier jusqu'à remplissage du récipient suivi de Vingt-cinq coup avec la tige de piquage. (Voir figure II.21)



Figure II.21.Mise en place de la deuxième couche

- **Troisième étape**

Uniformisation de la surface du mortier puis pesage sur la balance en gramme. (Voir figure II.22)



Figure II.22.Rasage et pesage

II.4.2.2.Essais réalisés à l'état sec

Les essais sur le mortier à l'état sec ont tous débuté lorsque les éprouvettes ont subi une cure de 28 jours dans l'eau.

En effet les éprouvettes ont subi une cure de 28 jours dans l'eau pour les permettre de bien sécher dans un milieu naturelle dont le ph est sensiblement égale à 7 sans être influer par des facteurs externes.(Voir figure II.23)



Figure II.23.Cure à l'eau pendant 28 jours des éprouvettes

II.4.2.2.1.Détermination de la masse Volumique

Après la cure à l'eau, les éprouvettes ont été saturées d'eau. Afin de pouvoir réaliser d'éventuelle essais il a fallu sécher les éprouvette dans l'étuve à la température optimum de 105 degré.

Ainsi pour déterminer la masse volumique à l'état sec. Nous avons dans un premier temps séché les éprouvettes dans l'étuve jusqu'à la masse constante.

En effet, les mesures de la masse ont été faites après chaque 24h de mise des éprouvettes à l'étuve. Nous n'avons obtenu une masse constante qu'après 120h c'est-à-dire 5 jours.

Une fois la masse constante obtenue, nous avons mesuré les dimensions des éprouvettes pour déterminer le volume. La masse constante trouvée et le volume calculé, nous avons pu déterminer la masse volumique de chaque éprouvette à l'état sec.



Figure II.24.Mise à l'étuve des éprouvettes à une température de 105°

II.4.2.2. Le retrait

En absence de toute charge, le mortier se déforme spontanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte de l'eau libre, par évaporation, qui se traduit par diminution du volume.

L'évaporation d'eau est facilitée par une forte perméabilité du mortier due aux vides d'air. Ces vides d'air sont beaucoup plus important en présence des granulats poreux qui absorbent une quantité importante d'eau provoquant ainsi des retrait importants lors du durcissement ; d'où l'intérêt de l'étude du retrait.

Le retrait est, par définition, la différence entre la longueur de l'éprouvette aussitôt après démoulage et sa longueur, après séchage consécutif, dans des conditions spécifiées.

La longueur initiale (longueur de référence) est celle prise un jour après sa fabrication.

Cet essai a pour but de mesurer, en fonction du temps, les variations dimensionnelles de retrait des éprouvettes à l'état durci, dues aux effets de l'hydratation et de la dessiccation des matériaux cimentaires, conservées après démoulage dans une salle à l'air libre selon la normalisation en vigueur.

En effet Le phénomène de retrait est un facteur très important dans la pratique. Il correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant et après la prise de mortier, ces variations dimensionnelles entraînent souvent l'apparition de fissures précoces, d'ouverture consécutive ce qui peut nuire à la durabilité du mortier.

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment utilisé sur des éprouvettes du mortier. On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette (4 x 4 x 16) cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine. Pour la mesure du retrait on a utilisé une salle dans laquelle sont mises les éprouvettes (cure à l'air). Les mesures ont été faites à l'aide de pied à coulisse. Voir (figure II.25)



Figure II.25. Mesure du retrait

II.4.2.2.3. Essai d'absorption d'eau par immersion totale

L'absorption se mesure habituellement en faisant sécher une éprouvettes jusqu'à la masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimé en pourcentage de la masse sèche.

L'essai d'absorption par immersion a été effectué effectivement, en séchant des éprouvettes (4 x 4 x 16) cm du mortier à l'étuve jusqu'à masse constante, ensuite en les immergeant totalement dans l'eau pendant 72h jusqu'à saturation des matériaux.

L'Objectif de cet essai est de déterminer la masse d'eau que peut absorber les éprouvettes après immersion total durant une période donnée.

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

En effet, les mesures de la masse ont été faites après chaque 24h d'immersion totale des éprouvettes dans l'eau. Nous n'avons obtenu une saturation complète qu'après 72h c'est-à-dire 3 jours.

Une fois la mase saturée obtenue et la masse à sec préalablement connu, nous avons déterminé la masse d'eau absorbée.

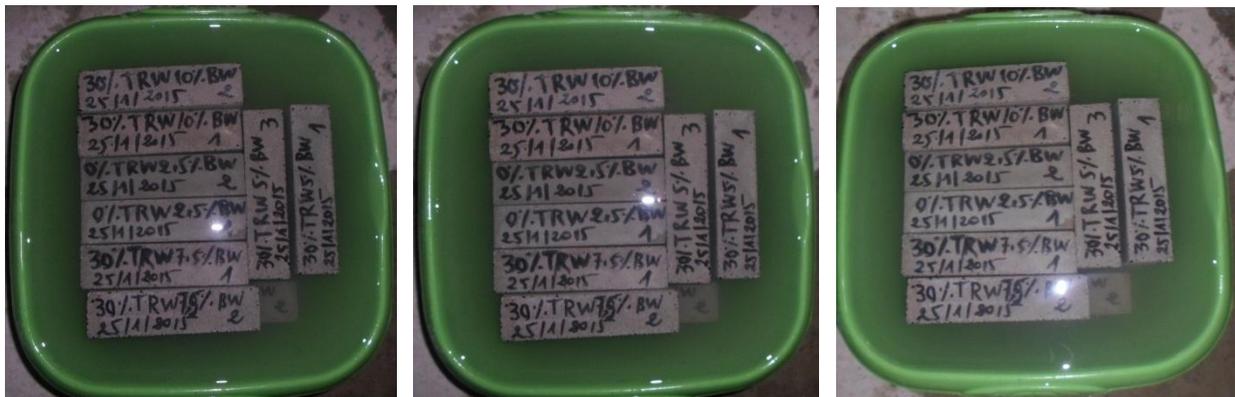


Figure II.26. Essai d'absorption d'eau par immersion total

II.4.2.2.4. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Les essais d'absorption capillaires sont également intéressants et faciles à effectuer. Ils renseignent globalement sur la structure et sur l'importance du réseau capillaire. Ils sont aussi utilisés en complément d'autres essais pour caractériser la durabilité du mortier.

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5. Il consiste à déterminer le taux d'absorption par remontée capillaire, due à la force de succion, d'une éprouvette de dimension (4 x 4 x 16) cm du

mortier posée à sa base sur de petits supports de telle manière que seuls les 5 premiers millimètres du bas de l'éprouvette soient immergés, (Figure II.27.a et II.27.b).

On mesure alors l'augmentation de la masse de l'éprouvette en fonction du temps jusqu'à 24h. A chaque échéance, l'éprouvette est sortie du récipient, pesée (M) et replacée dans le récipient en position vertical.

Les résultats obtenus à chaque échéance sur trois éprouvettes de chaque type de mortier sont exprimés sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.



Figure II.27.a. Dispositif de l'essai d'absorption d'eau par capillarité



Figure II.27.b. Absorption de l'eau par les éprouvettes

II.4.2.2.5. Essai de perméabilité à l'eau

En effet, la perméabilité est la facilité avec laquelle les fluides peuvent pénétrer et se déplacer à l'intérieur du mortier. Elle dépend plus particulièrement, des pores de la masse interne de la pâte de ciment, qui représente la seule phase continue dans le mortier. D'ailleurs les granulats peuvent aussi contenir des pores, Mais habituellement ceux-ci ne sont pas interconnectés. De plus, les granulats sont enrobés par la pâte de ciment de sorte que les pores des granulats ne participent pas à la perméabilité du mortier.

a) Domaine d'application

La présente norme européenne (EN 12390-8 :2000) spécifie une méthode de détermination de la profondeur de pénétration d'eau sous pression dans un béton durci conservé dans l'eau.

b) Principe

De l'eau est appliquée sous pression sur la surface du béton durci.

Après rupture de l'éprouvette par fendage, on mesure la profondeur de pénétration de l'eau.

c) Appareillage

Il doit permettre de placer l'éprouvette, de dimensions données de telle façon que la pression d'eau puisse s'exercer sur la zone d'essai, et de lire en continu la valeur de la pression.

Note 1 : il est préférable que le dispositif d'essai donne la possibilité d'observer les autres faces de l'éprouvette.

Note 2 : la pression d'eau peut être exercée sur la surface de l'éprouvette par fond ou par le dessus.

Il doit comporter un joint en caoutchouc ou en matériau similaire.

Il doit offrir une zone d'essai mesurant environ la moitié de la longueur de l'arête ou diamètre de la surface d'essai.

d) Eprouvette

L'éprouvette doit être cubique, cylindrique ou prismatique. Son arête ou son diamètre ne doit pas être inférieur à 150mm. (Voir figure II.28.b)

e) Mode opératoire

-Préparation d'éprouvette

La surface de l'éprouvette qui reçoit la pression d'eau doit être rendue rugueuse à l'aide d'une brosse métallique, immédiatement après le démoulage.

-Application de la pression d'eau

L'essai doit être pratiqué sur des éprouvettes âgées de 28 jours au moins. Ne pas appliquer la pression d'eau sur la surface d'une éprouvette arasée à la truelle. Placer l'éprouvette dans le dispositif d'essai et appliquer une pression d'eau de $(500+50)$ kpa pendant $(72+2)$ h. Au cours de l'essai, observer régulièrement l'apparence des surfaces de l'éprouvette d'essai non exposées à la pression d'eau pour noter l'éventuelle présence d'eau. En cas de fuite, s'interroger sur la validité de l'essai et consigner l'événement.



Figure II.28.a.Essai de perméabilité à l'eau



Figure 28.b.Profondeur de pénétration suite à l'essai de perméabilité à l'eau

II.4.2.2.6.Essais mécaniques

a)Essai de traction par flexion

Des éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm ont été utilisées pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes en vigueur, munie d'un banc de flexion à 3 points. Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du mortier étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette.

Les résistances à la traction du mortier durci ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 20 KN, pourvue d'un dispositif de flexion à 3 points (Figure II.29.a). La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.



Figure II.29.a. Dispositif de l'essai de traction

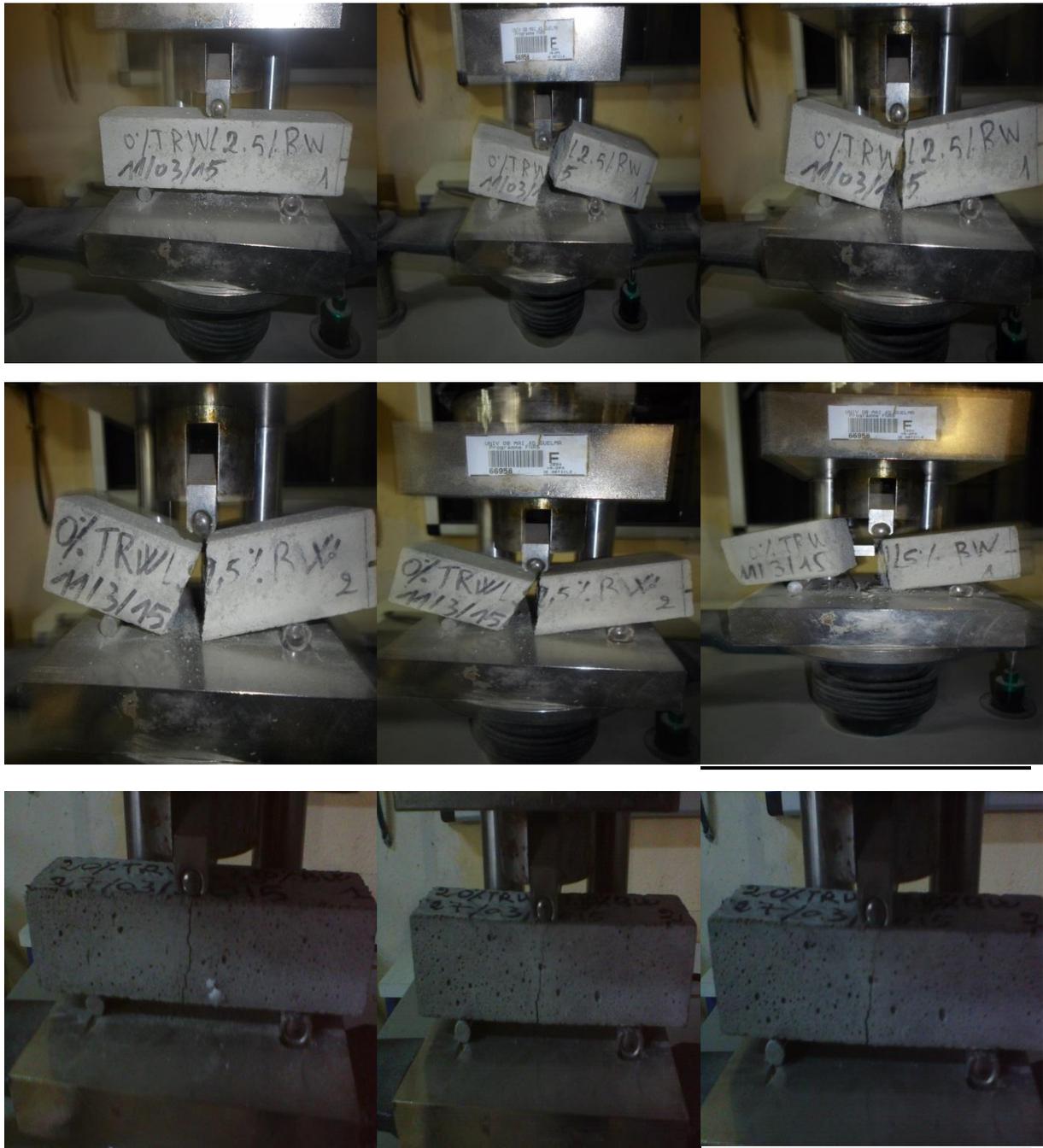


Figure II.29.b. Essai de traction réalisé sur les éprouvettes (4 x 4 x 4) cm

b). Essai de compression

La résistance à la flexion d'un mortier est déterminée par chargement en trois points jusqu'à la rupture d'éprouvettes moulées en mortier durci.

La résistance à la compression du mortier est déterminée sur les deux parties résultant de l'essai de résistance à la flexion.

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression.

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

Les résistances en compression ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN, pourvue d'un dispositif de compression pour les moules de mortiers (figure II.30.a). La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.



Figure II.30.a .Machine d'essai de compression

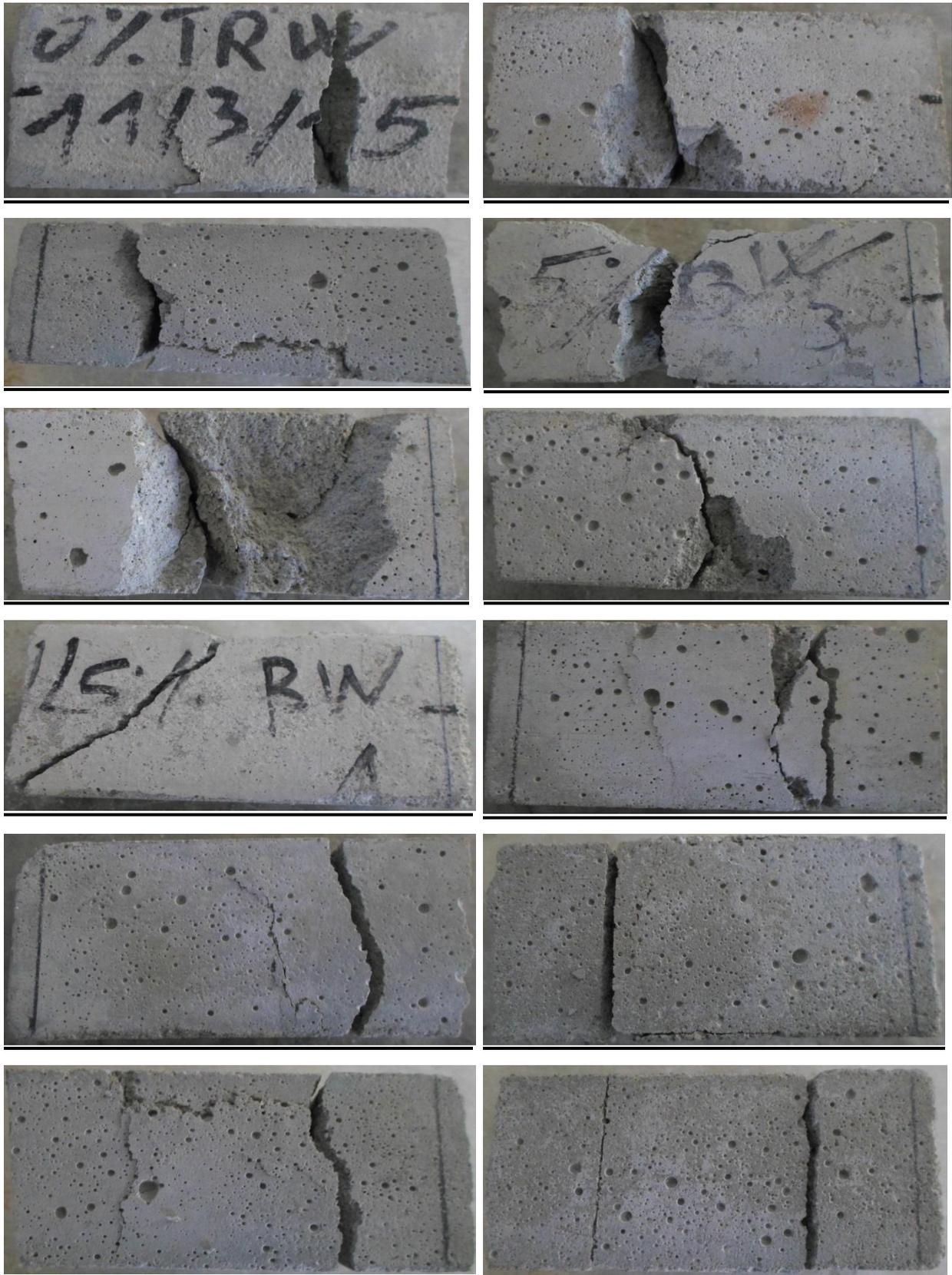


Figure II.30b. Essai de compression réalisé sur les éprouvettes (4 x 4 x 16) cm

CHAPITRE III

ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1.INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, nous exposons les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les mortiers incorporant les granulats de caoutchouc traité et les déchets de brique, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre II. Une analyse et une discussion des résultats, suivies d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, y seront également présentées.

III.2.MORTIER A L'ETAT FRAIS

III.2.1.La maniabilité

Dans cette partie, nous avons étudié la maniabilité des mortiers d'étude à l'aide de la table à secousses conformément à la norme EN 12-358. Le tableau III.1 résume les valeurs de la mesure de l'étalement et l'histogramme de la figure III.1 présente l'ensemble des valeurs de la maniabilité.

Tableau III.1.Mesure de l'étalement

Formulation	Etalement(E) en cm	Moyenne en cm
GC0-DB0	14,35	16±2
GC0-DB2,5	16	
GC0-DB5	15,1	
GC0-DB7,5	15,35	
GC0-DB10	15,15	
GC10-DB0	15,15	
GC10-DB2,5	15,75	
GC10-DB5	15,9	
GC10-DB7,5	16,1	
GC10-DB10	17,1	
GC20-DB0	17,7	
GC20-DB2,5	17,25	
GC20-DB5	17,95	
GC20-DB7,5	16,4	
GC20-DB10	16	
GC30-DB0	16,3	
GC30-DB2,5	17,55	
GC30-DB5	16,9	
GC30-DB7,5	17,05	
GC30-DB10	17,5	

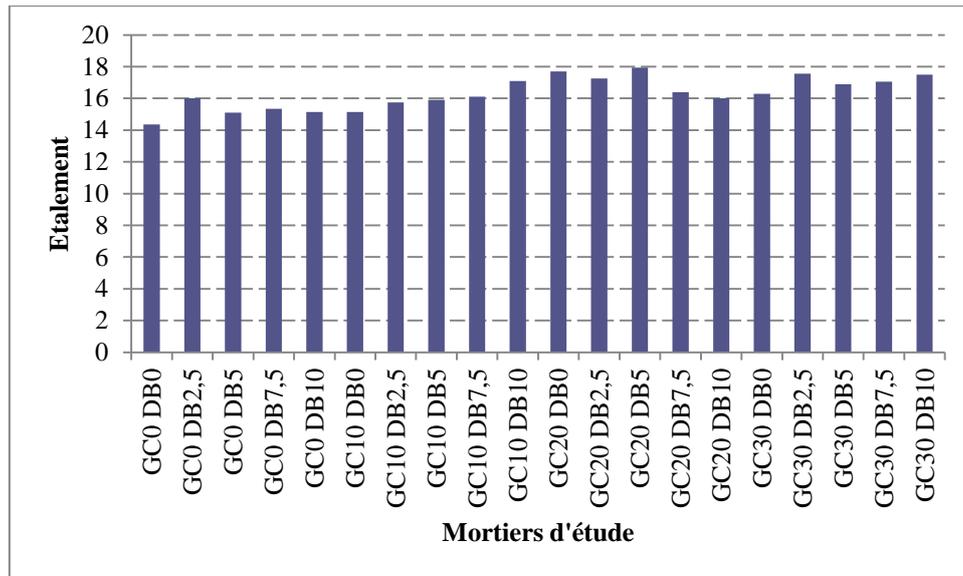


Figure III. 1. Histogramme de l'ensemble des valeurs de maniabilité du mortier

La moyenne $E \approx 16 \pm 2 \text{ cm}$ correspond à des mortiers plastiques. Tous les mortiers d'étude ont la même consistance plastique.

III.2.1. La masse volumique

Le sable de masse volumique ($M_v = 2565 \text{ kg/m}^3$) est remplacé par des Granulats de caoutchouc (G.C) de masse volumique ($M_v = 940 \text{ kg/m}^3$) et des déchets de brique (D.B) de masse volumique plus faible ($M_v = 2500 \text{ kg/m}^3$). Les tableaux III.2 et III.3 ainsi que les figures III.2 et III.3 donnent une indication sur la variation de la masse volumique en fonction du taux de granulats de caoutchouc et des déchets de brique incorporés.

a) Taux de granulat de caoutchouc (GC=0%)

Nous nous sommes intéressés à la variation de la masse volumique des mortiers sans granulats de caoutchouc (GC=0%) en fonction du taux de déchets de briques mis en œuvre (0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%) voir le tableau III-2 et les figures III-2 et III.3.

Tableau III.2. Résultats de la masse volumique à l'état frais

Formulation(%)	masse volumique (kg/m^3)
GC0-DB0	2185
GC0-DB2,5	2165
GC0-DB5	2140
GC0-DB7,5	2120
GC0-DB10	1833

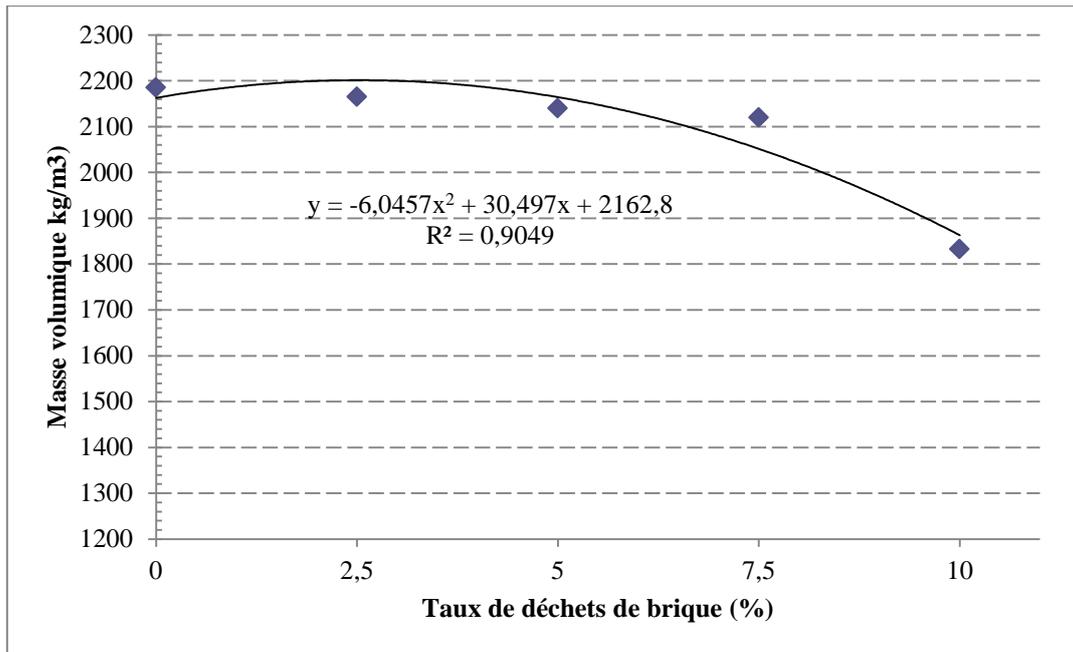


Figure III. 2. Relation entre le taux de déchets de brique et la masse volumique à l'état frais pour (GC=0%)

La courbe de la figure III.2 présente la variation de la masse volumique des mortiers d'étude sans granulats de caoutchouc (GC=0%) en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre.

On remarque que les mortiers d'études deviennent de plus en plus allégés avec l'introduction progressive des déchets de brique. La masse volumique maximum est celle ne contenant pas de déchets de brique (mortier de référence), elle est égale à 2185 kg/m³, la masse volumique minimum est celle du mortier avec le maximum de déchets de brique (10%), les autres valeurs sont intermédiaires.

On remarque également que la régression de la masse volumique des mortiers étudiés n'est pas très sensible pour la quasi-totalité des taux déchets de brique. Cependant, au-delà de 7,5% de substitution, la tendance devient plus remarquable.

Cette régression peut être expliquée par le fait que la masse volumique du sable utilisée (Mv=2565 kg/m³) est supérieure à la masse volumique des déchets de brique de substitution (Mv=2500 kg/m³).

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Nous nous sommes ensuite intéressés à la variation de la masse volumique du mortier de granulat de caoutchouc sans déchets de brique (DB=0%) pour évaluer l'apport des granulats

de caoutchouc à cette variation. Ceux-ci ont été introduits comme substituant au sable siliceux avec les taux de 0%,10%,20% et 30%.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.3 et présentés sur la figure III.3 qui suit.

Tableau III.3.Résultats de la masse volumique à l'état frais

Formulation (%)	La masse volumique (kg/m ³)
GC0-DB0	2185
GC10-DB0	1647
GC20-DB0	1545
GC30-DB0	1460

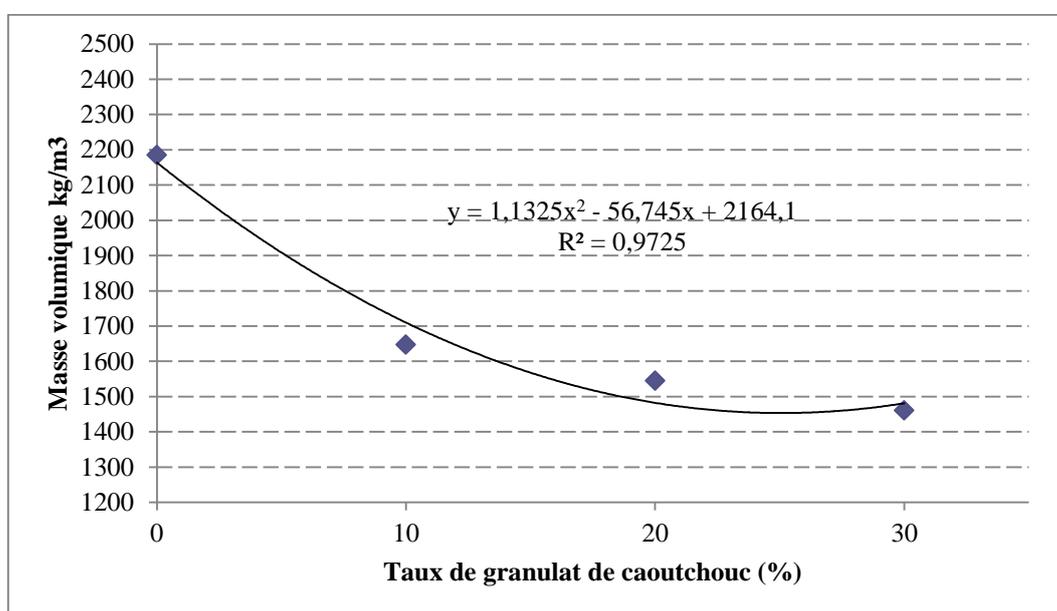


Figure III. 3. Relation entre le taux de granulat de caoutchouc et la masse volumique à l'état frais pour (DB=0%)

La courbe de la figure III.3 tend à prouver que les déchets de granulats de caoutchouc apportent un allègement aux mortiers étudiés. la masse volumique varie en effet de 2185 à 1460 kg/m³. La relation entre la masse volumique et le pourcentage (%) de granulats de caoutchouc peut être modélisée par la relation mathématique suivante :

$$y = 1,1325x^2 - 56,745x + 2164,1$$

Avec un coefficient de régression très acceptable égal à 0,9725, c'est-à-dire $R^2 = 0,9725$

y : représente la masse volumique (en kg/m³).

x : représente le pourcentage de granulats de caoutchouc (%).

Cet allègement peut s'expliquer par la faible masse volumique des granulats de caoutchouc utilisés ($M_v=940 \text{ kg/m}^3$) par rapport à celle du sable siliceux remplacé ($M_v=2565 \text{ kg/m}^3$).

III.3.MORTIER A L'ETAT SEC

III.3.1.La masse volumique

a)Taux de granulats de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.4.Résultats de la masse volumique à l'état durci kg/m^3

Formulation(%)	masse volumique (kg/m^3)
GC0-DB0	1958
GC0-DB2,5	1865
GC0-DB5	1851
GC0-DB7,5	1863
GC0-DB10	1824

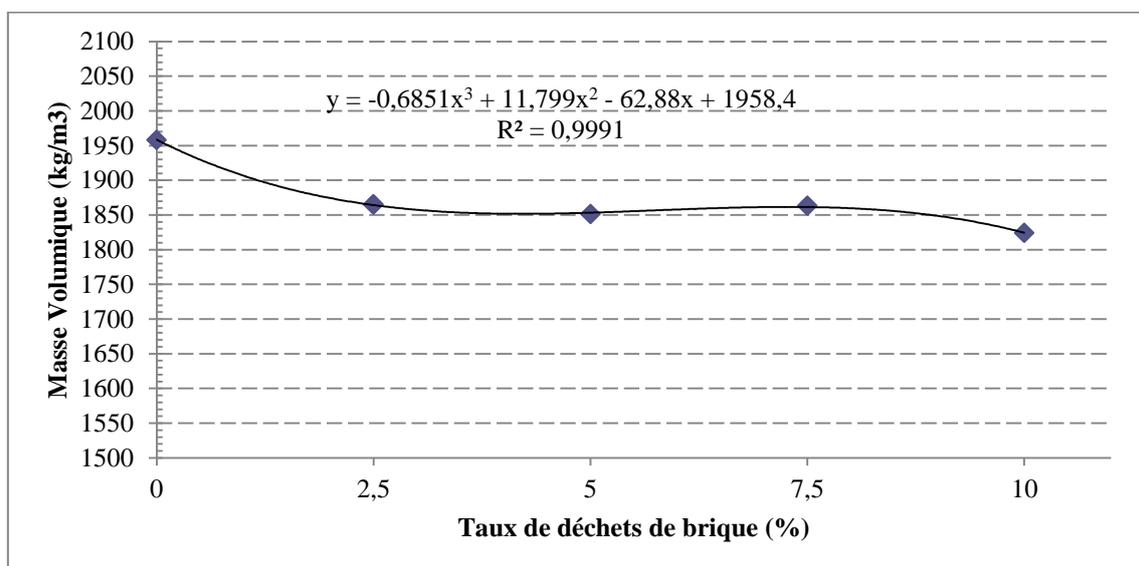


Figure III. 4. Relation entre le taux de déchets de brique et la masse volumique à l'état durci pour (GC=0%)

La masse volumique est stable pour les pourcentages de déchets de brique compris entre 2,5 et 7,5, elle est maximale pour le mortier de référence (GC0% DB%) et elle est minimale pour 10% d'incorporation de déchets de brique. Cette variation peut être décrite par la relation mathématique suivante :

$$y = -0,6851x^3 + 11,799x^2 - 62,88x + 1958,4$$

Avec $R^2 = 0,9991$

Cet allègement est dû à la plus faible masse volumique des déchets de brique par rapport à celle du sable substitué. La masse volumique des déchets de brique $= 2500 \text{ kg/m}^3$ contre celle du sable $= 2565 \text{ kg/m}^3$.

b) Taux de déchets de brique (DB=0)Tableau III.5. Résultats de la masse volumique à l'état durci (kg/m³)

Formulation (%)	La masse volumique (kg/m ³)
GC0-DB0	1958
GC10-DB0	1800
GC20-DB0	1697
GC30-DB0	1663

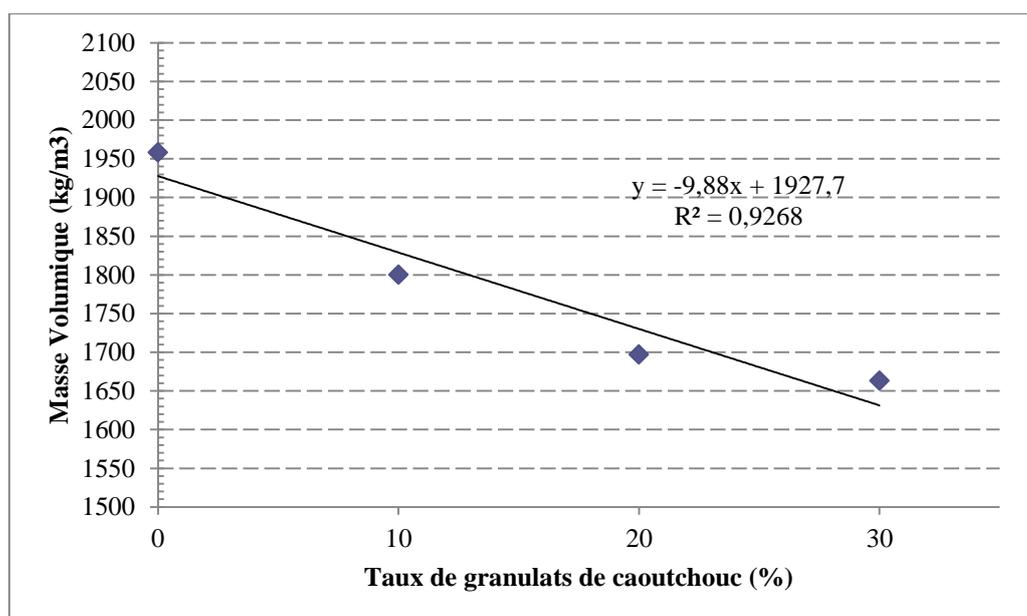


Figure III. 5. Relation entre le taux de granulats de caoutchouc et la masse volumique à l'état durci pour (DB=0%)

Sans déchets de brique les mortiers d'études deviennent de plus en plus légers avec l'augmentation du taux de granulats de caoutchouc incorporés. La variation de la Masse volumique avec le taux de granulats de caoutchouc semble être inversement proportionnelle et l'équation suivante décrit la relation entre les deux paramètres :

$$y = -9,88x + 1927,7$$

Avec $R^2 = 0,9268$

Ce résultat attendu est lié à la plus grande masse volumique du sable ($M_v = 2565 \text{ kg/m}^3$) par rapport à celle des granulats de caoutchouc ($M_v = 2565 \text{ kg/m}^3$).

III.3.2. Le retrait

Les mesures de retrait sont déterminées uniquement sur des éprouvettes conservées à l'air libre. Le retrait est mesuré à différents âges. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux de III.6 et III.7 et illustré sur les figures III.6 et III.7. Nous avons examiné l'influence des granulats de caoutchouc et des déchets de brique sur le retrait.

a) Mortiers sans granulats de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.6. Valeurs du retrait pour les mortiers sans granulats de caoutchouc (GC=0%)

Temps(jours)	GC0%				
	DB0%	DB2,5%	DB5%	DB7,5%	DB10%
1	1,99	-	0,12	0,12	0,12
2	2,98	2,36	0,37	0,24	0,62
3	3,6	3,12	0,8	0,6	1
5	4,73	4,24	2,24	1,49	1,63
6	4,98	4,62	2,62	1,74	1,8
7	5,1	4,87	2,37	1,99	1,87
8	5,35	4,87	2,4	1,99	1,9
12	5,48	4,87	2,62	1,99	2
13	5,48	5	2,49	1,62	2,12
35	5,98	5,87	3	2,37	2,12

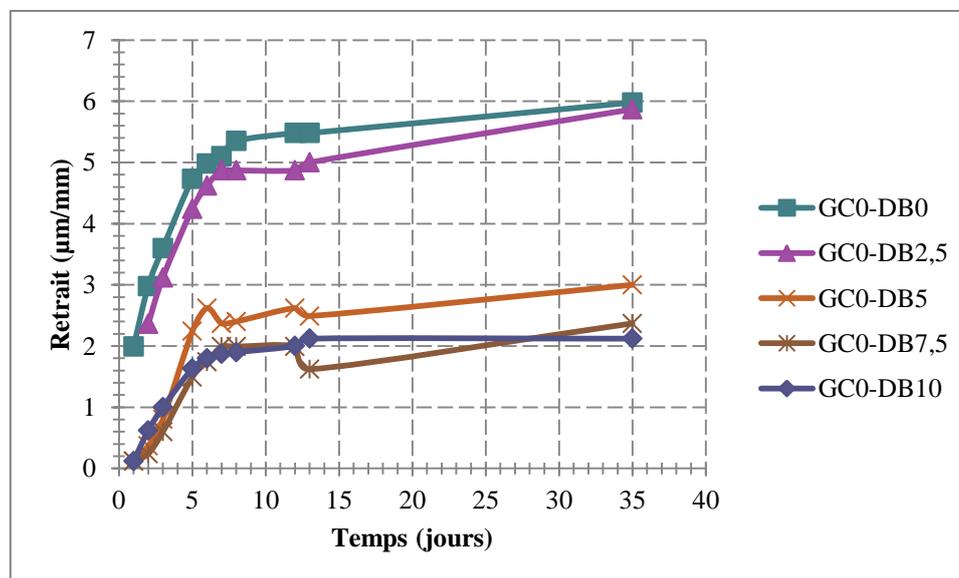


Figure III. 6. Variation du retrait dans le temps

Nous pouvons constater que globalement, la tendance de l'évolution est la même pour l'ensemble des mortiers d'étude : aux premiers âges (jusqu'au 7^{ème} jour), le retrait progresse rapidement, puis lentement et presque d'une manière stable.

On peut également constater que les déchets de brique semblent être avantageux vis-à-vis du retrait puisque l'augmentation du pourcentage de déchets de brique contribue à diminuer le retrait.

Ceci peut être dû à la capacité liante de l'argile formant les déchets de brique. En effet, les mortiers élaborés deviennent de plus en plus compacts, empêchant ainsi le retrait de continuer à progresser.

Un tel résultat n'est pas surprenant car d'autres auteurs (F.Bektas et al, 2009) ont trouvé un résultat similaire.

b) Mortiers de granulats de caoutchouc sans déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.7.Valeurs du retrait pour les mortiers de granulats de caoutchouc sans déchets de brique (DB=0%)

Temps(jours)	DB0%		
	GC10%	GC20%	GC30%
1	0,12	0,37	1,87
2	0,37	0,8	2,1
3	0,74	1,25	2,25
4	1,37	1,6	2,26
5	1,6	2,1	2,27
6	1,8	2,1	2,28
7	1,99	2,11	2,29
8	1,99	2,11	2,3
9	1,99	2,12	2,31
10	1,99	2,12	2,32
35	2,12	2,13	2,5

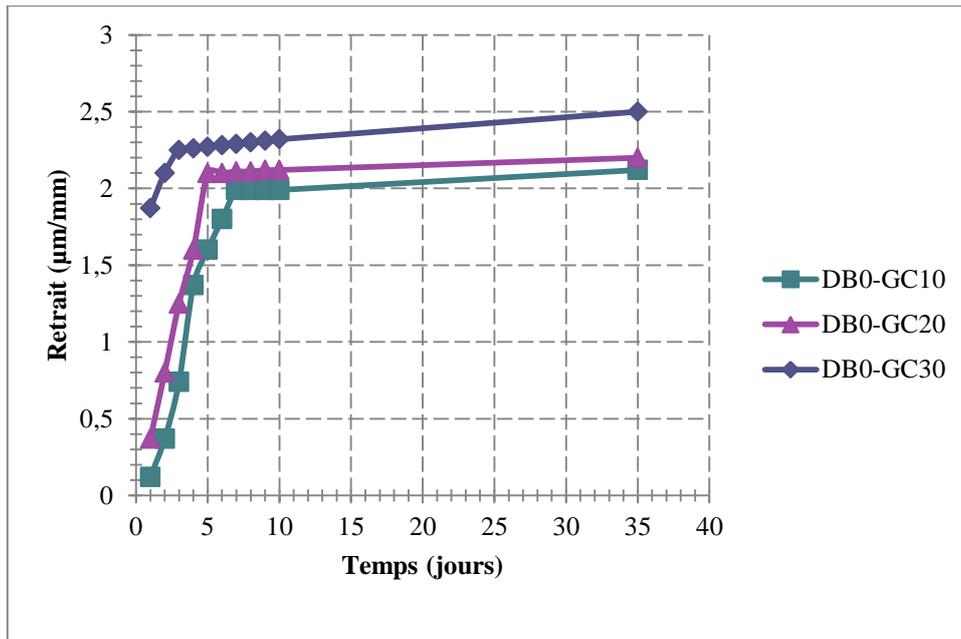


Figure III. 7. Variation du retrait dans le temps

Le tableau III.7 et la figure III.7 montrent l'évolution du retrait des mortiers élaborés dans le temps.

On constate la même évolution dans le temps quel que soit le pourcentage de granulats de caoutchouc utilisé.

Par ailleurs, on note que l'introduction des granulats de caoutchouc génère le phénomène de retrait au fur et à mesure que le pourcentage de granulats de caoutchouc utilisé est plus fort. Ce résultat reste valable quel que soit la mesure dans le temps conformément à la conclusion de l'étude menée par Turatsinze et al.

III.3.3.L'absorption d'eau par immersion totale

a) Taux de granulats de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.8. Résultats de la masse d'eau absorbée en gramme

Formulation (%)	Masse d'eau absorbée(g)
GC0 DB0	49,97
GC0 DB2,5	49,22
GC0 DB5	48,98
GC0 DB7,5	47,5
GC0 DB10	46,9

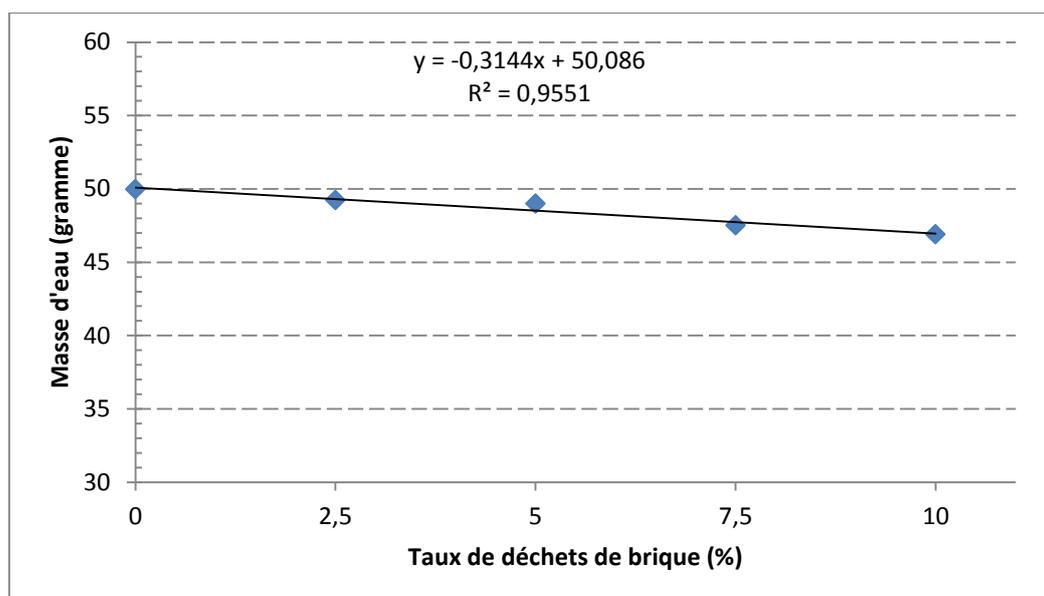


Figure III. 8. Relation entre le taux de déchets de brique et la masse d'eau absorbée pour (GC=0%)

Le tableau III.8 et la figure III.8 montrent la variation de la masse d'eau absorbée par rapport aux déchets de brique utilisés. L'absorption d'eau par immersion semble diminuer d'une façon peu sensible avec l'introduction progressive du pourcentage de déchets de brique.

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.9. Résultats de la masse d'eau absorbée (gramme)

Formulation (%)	Masse d'eau absorbée(g)
GC0-DB0	49,58
GC10-DB0	49,7
GC20-DB0	54,48
GC30-DB0	56,69

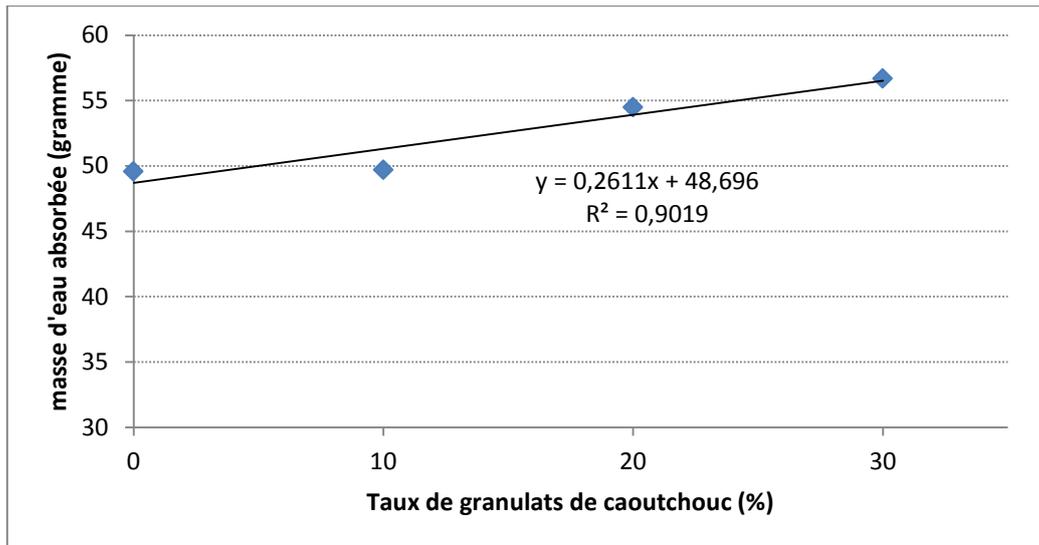


Figure III. 9. Relation entre le taux de granulats de caoutchouc et la masse d'eau absorbée pour (DB=0%)

Le tableau III.9 et la figure III.9 montrent la variation de la masse d'eau absorbée par rapport aux taux de granulats de caoutchouc utilisés (0%,10%,20%,30%).

Les granulats de caoutchouc semblent affecter la masse d'eau absorbée par les mortiers d'étude d'une façon proportionnelle si l'on tient compte de l'équation mathématique reliant les deux paramètres

$$y=0,2611x+48,696$$

Avec $R^2=0,9019$

Avec ces seules informations, nous ne sommes pas encore en mesure de donner des explications pertinentes, mais d'autres investigations sont nécessaires et notamment en microscopie.

III.3.4.L'absorption d'eau par capillarité

➤ Evolution de taux d'absorption d'eau (i)

a) Taux granulat de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.10. Résultats du taux d'absorption d'eau (i) avec le temps

Formulation(%)	1min	4min	9min	25min	36min	49min
GC0DB0	0,032	0,093	0,145	0,26	0,322	0,433
GC0 DB2,5	0,032	0,062	0,064	0,14	0,187	0,215
GC0 DB5	0,042	0,075	0,102	0,14	0,169	0,198
GC0 DB7,5	0,027	0,047	0,073	0,12	0,147	0,183
GC0 DB10	0,033	0,055	0,081	0,13	0,152	0,187

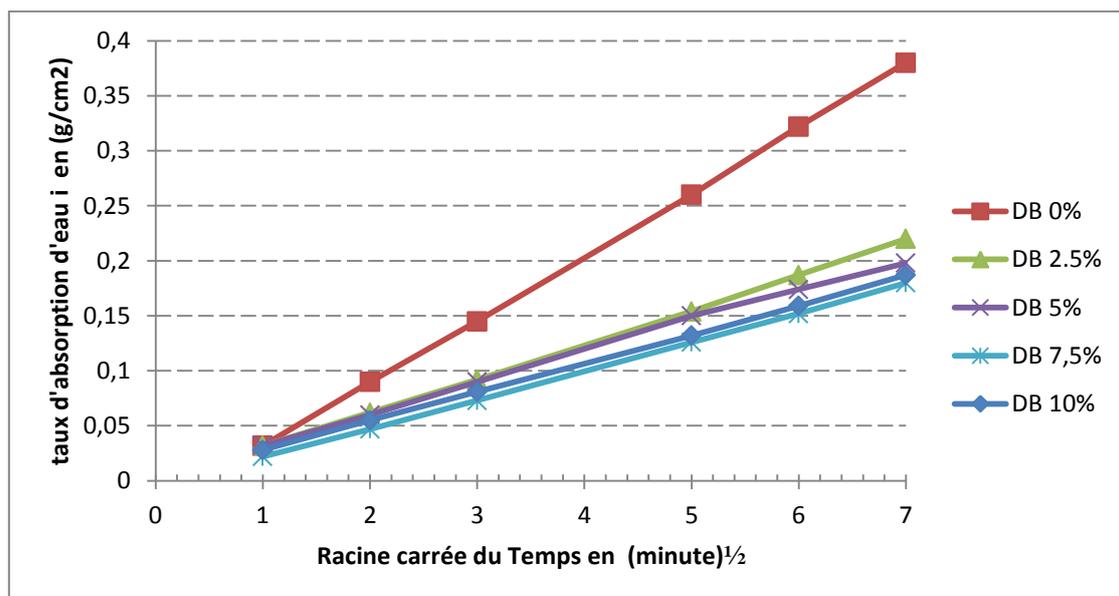


Figure III. 10. Evolution du taux d'absorption d'eau par capillarité en fonction de la racine carrée pour (GC=0%)

Les résultats d'essais réalisés sur les éprouvettes 4 cm x 4 cm x 16 cm sont présentés dans le tableau II.10 et la figure II.10.

De ces résultats, on peut constater que les déchets de brique ralentissent la progression de l'eau dans les éprouvettes de mortiers étudiés. Un grand pourcentage de déchets de brique implique un grand ralentissement de l'absorption d'eau, sauf dans le cas de GC0-DB7, 5 et GC0-DB10 où l'absorption semble être la même (0,183 contre 0,187 g/cm²).

Ce résultat peut être dû éventuellement à une diminution de la porosité des mortiers étudiés avec l'introduction progressive des déchets de brique.

Cette analyse logique doit cependant être confirmée par une étude microscopique (des images au Microscope Electronique à Balayage, MEB).

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.11. Résultats du taux d'absorption d'eau (i) avec le temps

Formulation(%)	1min	4min	9min	25min	36min	49min
GC0 DB0	0,032	0,093	0,145	0,26	0,322	0,433
GC10 DB0	0,028	0,055	0,095	0,141	0,185	0,251
GC20 DB0	0,046	0,098	0,145	0,22	0,273	0,329
GC30 DB0	0,062	0,126	0,196	0,303	0,375	0,329

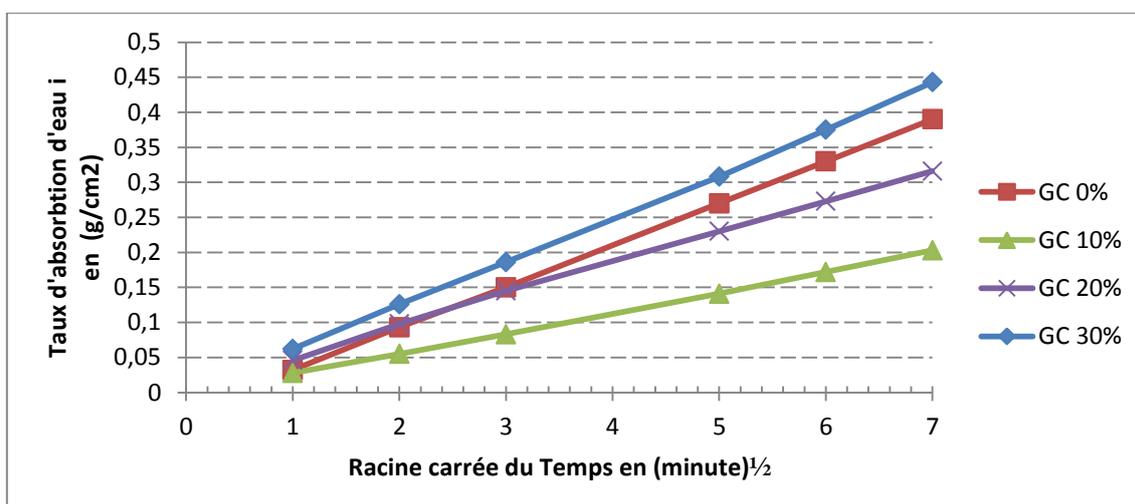


Figure III. 11. Evolution du taux d'absorption d'eau par capillarité en fonction de la racine carrée du temps pour (DB=0%)

Les résultats sont présentés dans le tableau III.11 et la figure III.11.

On peut constater que, en dehors de la courbe relative au GC0-DB0, les granulats de caoutchouc provoquent de l'absorption d'eau proportionnelle au taux mis en œuvre.

Donc leur apport est contraire à celui des déchets de brique (comme il va être montré dans la figure III.10).

Ce résultat pourrait être expliqué par l'éventuel vide généré par les granulats de caoutchouc, dû à leur hydrophobicité (avec la matrice cimentaire).

Cette hydrophobicité à l'eau a été déjà signalée par plusieurs chercheurs, dont N.Segre (2003).

➤ **Evolution de la sorptivité (S)**

a) Taux granulat de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.12. Résultats de la sorptivité (S)

Formulation(%)	Sorptivité (cm/min ^{1/2})
GC0 DB0	0,062
GC0 DB2,5	0,048
GC0 DB5	0,033
GC0 DB7,5	0,027
GC0 DB10	0,022

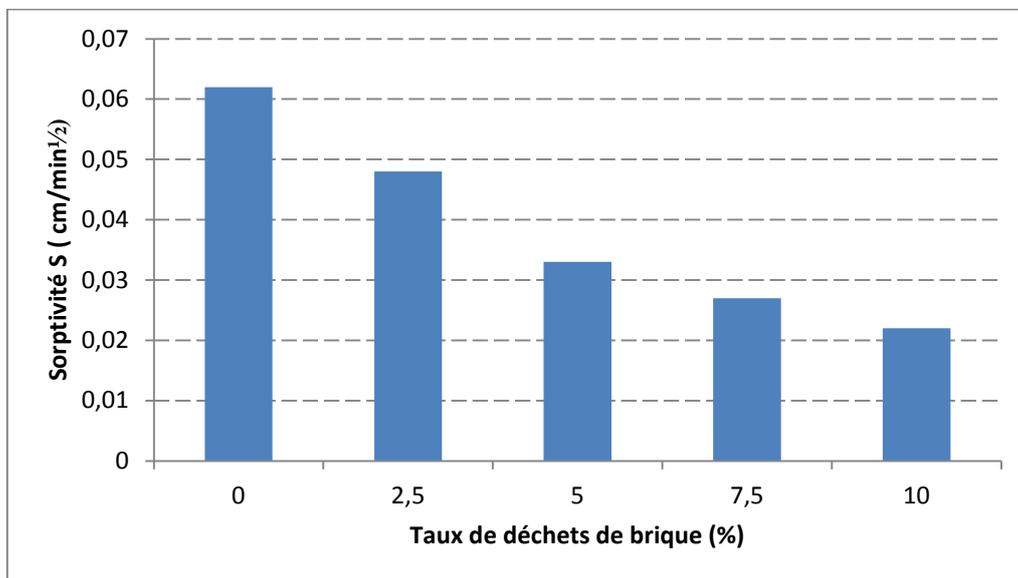


Figure III. 12. Evolution de la sorptivité en fonction du taux de déchets de brique pour (GC=0%)

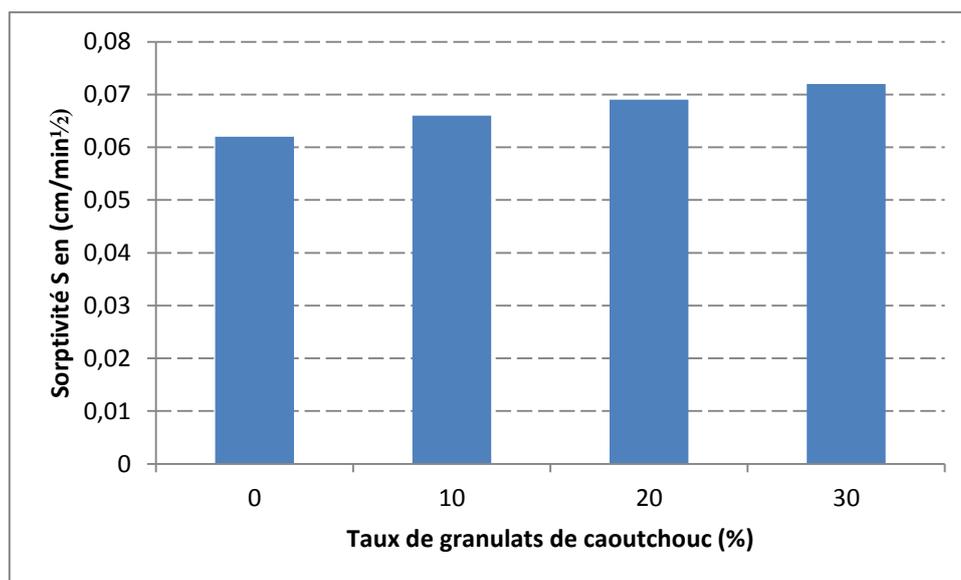
La sorptivité a été déterminée par la relation mathématique de C.Hall :

$$i=S(t)^{1/2} \text{ donc } S=\frac{i}{t^{1/2}}$$

Les valeurs de la sorptivité (voir histogramme de la figure III.12) ont été déterminées directement à partir des courbes de la figures III.10. Les déchets de brique apportent une contribution positif à la sorptivité des mortiers étudiés. Ceci est conforme aux résultats signalés dans le tableau III.10 et la figure III.10 précédents.

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)**Tableau III.13. Résultats de la sorptivité (S)**

Formulation (%)	Sorptivité (cm/min ^{1/2})
GC0-DB0	0,062
GC10-DB0	0,066
GC20-DB0	0,069
GC30-DB0	0,072

**Figure III. 13. Evolution de la sorptivité en fonction du taux de granulats de caoutchouc pour (DB=0%)**

Du tableau III.13 et la figure III.13, on peut constater que les granulats de caoutchouc rendent les mortiers étudiés de plus en plus sorptifs. L'explication est la même que celle donnée précédemment (figure III.11)

III.3.5. Perméabilité**a) Taux granulat de caoutchouc (GC=0%)****Tableau III.14. Résultats de la hauteur de pénétration en (cm) sur les éprouvettes (15 x 15 x 15) cm**

Formulation(%)	Hauteur de pénétration (cm)
GC 0 DB0	12,6
GC 0 DB2,5	11
GC 0 DB5	9,1
GC 0 DB7,5	7,7
GC 0 DB10	8

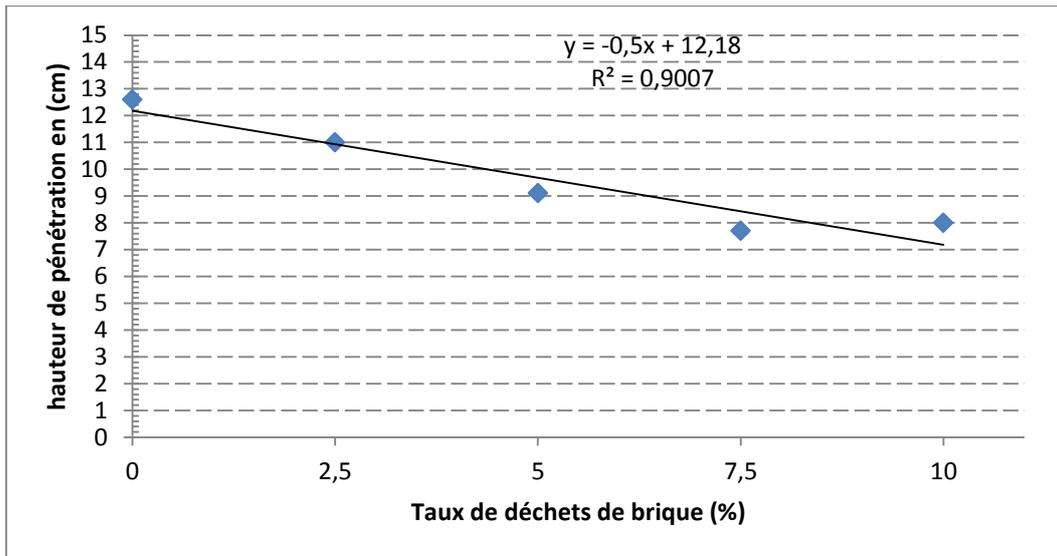


Figure III. 14. Relation entre le taux de déchets de brique et la hauteur de pénétration pour (GC=0%)

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.14 et la figure III.14.

Ils montrent une diminution de la hauteur de pénétration d'eau avec l'augmentation du pourcentage de déchets de brique. Cette relation peut être décrite selon la formule mathématique qui suit :

$$y = -0,5x + 12,18$$

$$\text{Avec } R^2 = 0,9007$$

Les déchets de brique semblent freiner la pénétration de l'eau dans les mortiers étudiés. Plus le pourcentage des déchets de brique est important et plus le freinage est important.

Comme dans le cas de l'absorption d'eau décrit précédemment, les déchets de brique semblent diminuer la porosité des mortiers d'étude.

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.15. Résultats de la hauteur de pénétration en (cm) sur les éprouvettes (15 x 15 x 15) cm

Formulation (%)	Hauteur de pénétration (cm)
GC0 DB0	12,6
GC10 DB0	11,9
GC20 DB0	13,6
GC30 DB0	15

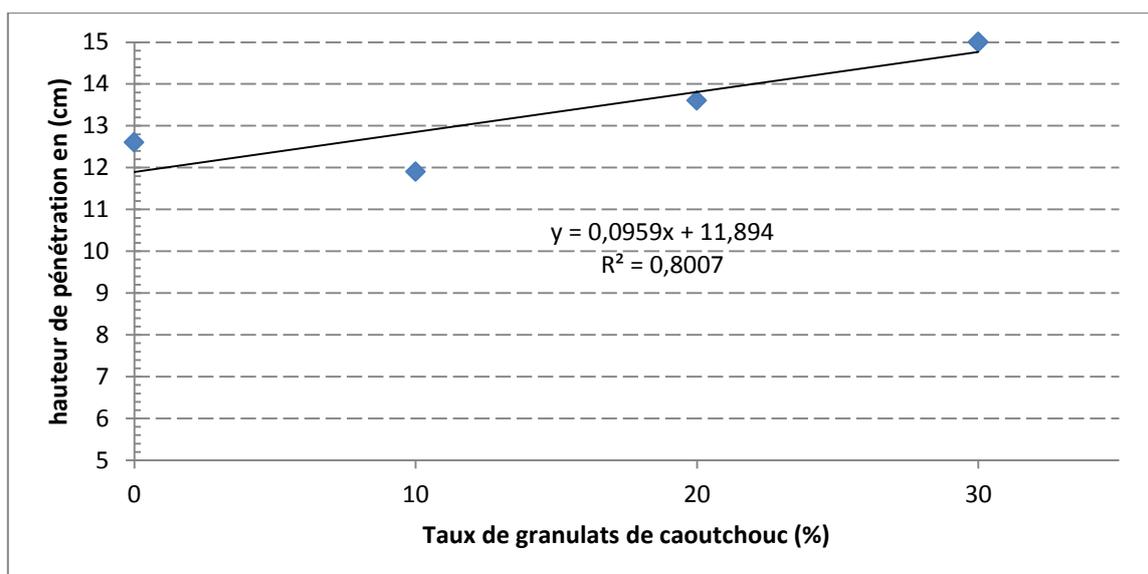


Figure III. 15. Relation entre le taux de granulats de caoutchouc et la hauteur de pénétration pour (DB=0%)

Les résultats présentés dans le tableau III.15 et la figure III.15 tendent à prouver que l'introduction des granulats de caoutchouc génère de plus en plus de vide entre les granulats de caoutchouc et la matrice cimentaire (à cause de l'hydrophobicité). Ces vides pourraient être la cause, de la pénétration d'eau avec l'augmentation de l'évolution du pourcentage de granulats de caoutchouc.

III.3.6.compression

a)Taux granulat de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.16.Résultats de résistance à la compression à 28 jours en (MPA)

Formulation(%)	Résistance à la compression (MPA)
GC0-DB0	49,92
GC0-DB2,5	42,706
GC0 DB5	40,368
GC0-DB7,5	40,721
GC0-DB10	43,566

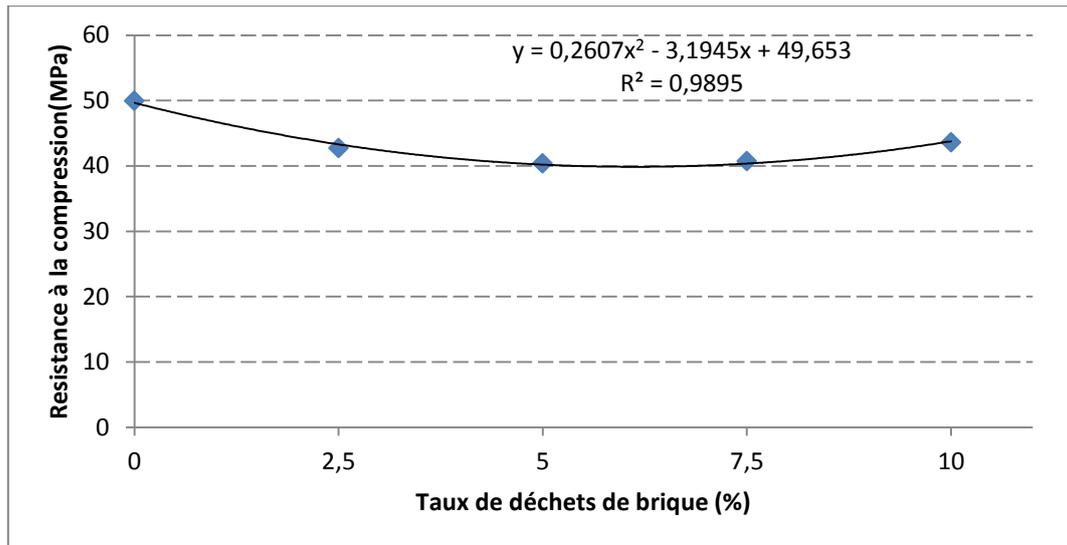


Figure III. 16. Relation entre le taux de déchet de brique et la résistance à la compression à 28 jours pour (GC=0%)

Les résultats sont consignés dans le tableau III.16 et la figure III.16.

On peut constater que la résistance diminue jusqu'à 5% d'incorporation de déchets de brique pour ensuite remonter jusqu'à 10%.

Ceci montre que le taux de 5% de déchets de brique est le plus défavorable.

On peut noter également que quel que soit le pourcentage de déchets de brique utilisé, la résistance à la compression à 28 jours (R_{c28}) est toujours supérieure de 40 MPA, qui est une résistance à la compression (R_{c28}) considérable pour les mortiers. L'introduction du SIKALATEX est probablement la cause de ces résultats. La relation entre le pourcentage de déchet de brique et la R_{c28} peut être décrite (avec un fort coefficient de régression $R^2=0,9895$) par l'équation du deuxième degré suivante :

$$y=0,2607x^2-3,1945x+49,653$$

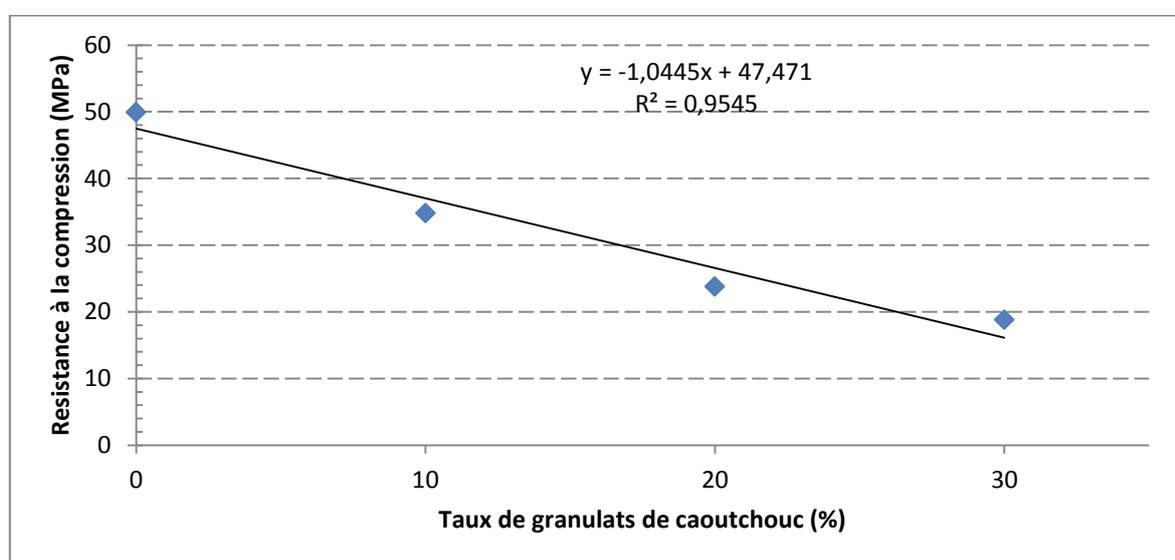
y : représente la R_{c28} (MPa)

x : représente le pourcentage des déchets de brique mis en œuvre.

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.17. Résultats de résistance à la compression à 28 jours en (MPa)

Formulation(%)	résistance à la compression (MPa)
GC0-DB0	49,92
GC10-DB0	34,765
GC20-DB0	23,757
GC30-DB0	18,772

**Figure III. 17. Relation entre le taux de granulats de caoutchouc et la résistance à la compression à 28 jours pour (DB=0%)**

Des résultats du tableau III.17 et de la figure III.17, on peut conclure que les granulats de caoutchouc font chuter la résistance à la compression (R_{C28}) des mortiers étudiés et que la relation est inversement proportionnelle.

$y = -1,0445x + 47,471$, avec $R^2 = 0,9545$, est une relation qui lie les deux paramètres.

C'est un résultat attendu, qui a été obtenu par l'ensemble des chercheurs ayant travaillé sur la question. On peut noter : M.HO Ahn (2010), F.Bektas (2009), turatzing et al (2007), N.Segre (2003). Ce résultat est expliqué par l'élasticité de granulats de caoutchouc beaucoup plus impotente que celle du sable substitué.

III .3.7.traction par flexion

a)Taux granulat de caoutchouc (GC=0%)

Tableau III.18.Résultats de résistance à la traction par flexion à 28 jours en (MPa)

Formulation(%)	résistance à la traction par flexion (MPa)
GC0 DB0	8,49
GC0 DB2,5	7,72
GC0 DB5	7,43
GC0 DB7,5	7,17
GC0 DB10	7,68

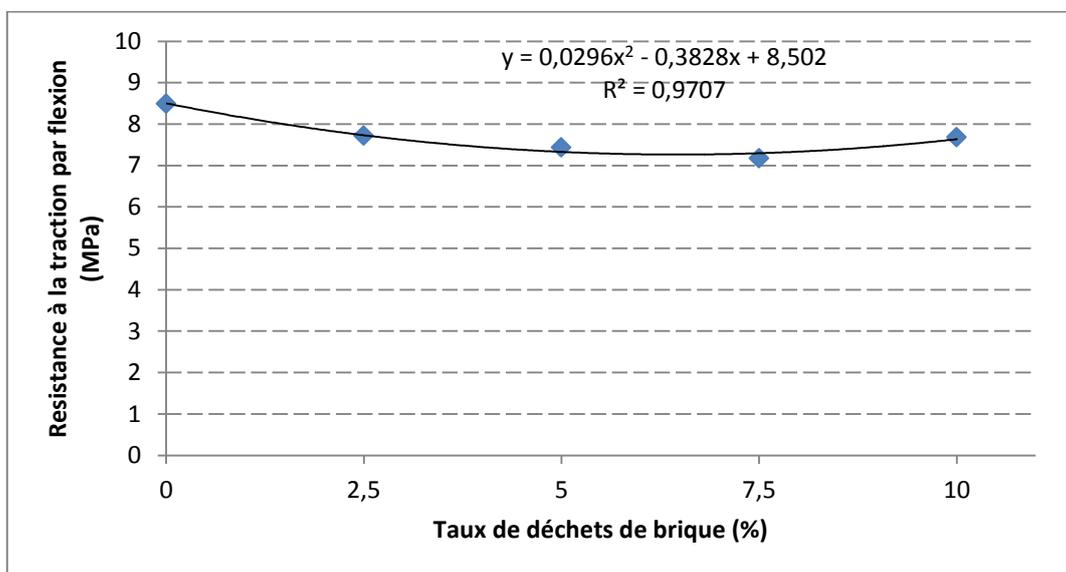


Figure III. 18. Relation entre le taux de déchets de brique et la résistance à la traction par flexion pour (GC=0%)

Les résultats sont consignés dans le tableau III.18 et la figure III.18.

On peut constater la même évolution que la résistance à la compression.

C'est un résultat habituel avec les mortiers et les bétons. Pour les mêmes raisons, le SIKALATEX doit être la cause de cette évolution.

On note également une proportionnalité entre la résistance à la compression à 28 jours (R_{c28}) et la résistance à la traction à 28 jours (R_{t28}), (voir tableau III.19 qui suit)

Tableau III.19. Le rapport R_{c28}/R_{t28}

Mortier	R_{c28}	R_{t28}	R_{c28}/R_{t28}
GC0 DB0	49,920	8,49	5,879
GC0 DB2,5	42,706	7,72	5,530
GC0 DB5	40,368	7,43	5,433
GC0 DB7,5	40,721	7,17	5,679
GC0 DB10	43,566	7,68	5,670

En moyenne le rapport $R_{c28}/R_{t28} = 5,638$

On rappelle que le rapport R_{c28}/R_{t28} pour les bétons est de l'ordre de 10.

b) Taux de déchets de brique (DB=0%)

Tableau III.20. Résultats de la résistance à la traction par flexion à 28 jours en (MPa)

Formulation(%)	résistance à la traction par flexion (MPa)
GC0 DB0	9,27
GC10 DB0	6,6
GC20 DB0	4,61
GC30 DB0	2,93

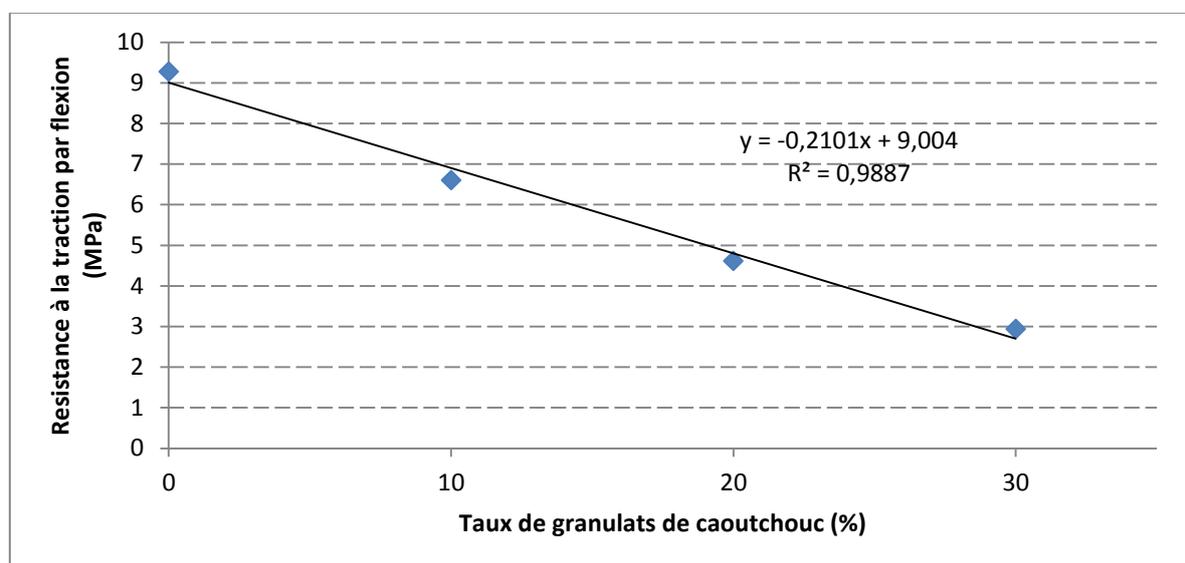


Figure III. 19. Relation entre le taux de granulats de caoutchouc et la résistance à la traction par flexion à 28 jours pour (DB=0%)

Les résultats en traction par flexion à 28 jours suivent celles des résultats en compression à 28 jours .On signalera enfin la rupture ductile des éprouvette soumises aux essais de traction qui est la conséquence des granulats de caoutchouc qui possèdent une grande élasticité par rapport aux sable de substitution (voir photos des figures II-31 du chapitre II qui a précédé).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail expérimental sur les mortiers cimentaires avec les granulats de caoutchouc, déchets de brique et Latex résineux, nous a permis de trier les enseignements suivants :

➤ **La maniabilité**

La moyenne $E \approx 16 \pm 2 \text{ cm}$ correspond à des mortiers plastiques. Tous les mortiers d'étude ont la même consistance plastique.

➤ **La masse volumique à l'état frais**

• **GC=0%**

La courbe de la figure III.2 présente la variation de la masse volumique des mortiers d'étude sans granulats de caoutchouc (GC=0%) en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre.

On remarque que les mortiers d'études deviennent de plus en plus allégés avec l'introduction progressive des déchets de brique. La masse volumique maximum est celle ne contenant pas de déchets de brique (mortier de référence), elle est égale à 2185 kg/m^3 , la masse volumique minimum est celle du mortier avec le maximum de déchets de brique (10%), les autres valeurs sont intermédiaires.

On remarque également que la régression de la masse volumique des mortiers étudiés n'est pas très sensible pour la quasi-totalité des taux déchets de brique. Cependant, au-delà de 7,5% de substitution, la tendance devient plus remarquable.

Cette régression peut être expliquée par le fait que la masse volumique du sable utilisée ($M_v = 2565 \text{ kg/m}^3$) est supérieure à la masse volumique des déchets de brique de substitution ($M_v = 2500 \text{ kg/m}^3$).

• **DB=0%**

La courbe de la figure III.3 tend à prouver que les déchets de granulats de caoutchouc apportent un allègement aux mortiers étudiés. la masse volumique varie en effet de 2185 à 1460 kg/m^3 . La relation entre la masse volumique et le pourcentage (%) de granulats de caoutchouc peut être modélisée par la relation mathématique suivante :

$$y = 1,1325x^2 - 56,745x + 2164,1$$

Avec un coefficient de régression très acceptable égal à $0,9725$, c'est-à-dire $R^2 = 0,9725$

y : représente la masse volumique (en kg/m^3).

x : représente le pourcentage de granulats de caoutchouc (%).

Cet allègement peut s'expliquer par la faible masse volumique des granulats de caoutchouc utilisés ($M_v=940 \text{ kg/m}^3$) par rapport à celle du sable siliceux remplacé ($M_v=2565 \text{ kg/m}^3$).

➤ **La masse volumique à l'état durci**

• **GC=0%**

La masse volumique est stable pour les pourcentages de déchets de brique compris entre 2,5 et 7,5, elle est maximale pour le mortier de référence (GC0% DB%) et elle est minimale pour 10% d'incorporation de déchets de brique. Cette variation peut être décrite par la relation mathématique suivante :

$$y = -0,6851x^3 + 11,799x^2 - 62,88x + 1958,4$$

Avec $R^2=0,9991$

Cet allègement est dû à la plus faible masse volumique des déchets de brique par rapport à celle du sable substitué. La masse volumique des déchets de brique = 2500 kg/m^3 contre celle du sable = 2565 kg/m^3 .

• **DB=0%**

Sans déchets de brique les mortiers d'études deviennent de plus en plus légers avec l'augmentation du taux de granulats de caoutchouc incorporés. La variation de la Masse volumique avec le taux de granulats de caoutchouc semble être inversement proportionnelle et l'équation suivante décrit la relation entre les deux paramètres :

$$y = -9,88x + 1927,7$$

Avec $R^2=0,9268$

Ce résultat attendu est lié à la plus grande masse volumique du sable ($M_v=2565 \text{ kg/m}^3$) par rapport à celle des granulats de caoutchouc ($M_v=940 \text{ kg/m}^3$).

➤ **Le retrait**

• **GC=0%**

Nous pouvons constater que globalement, la tendance de l'évolution est la même pour l'ensemble des mortiers d'étude : aux premiers âges (jusqu'au 7 ième jour), le retrait progresse rapidement, puis lentement et presque d'une manière stable.

On peut également constater que les déchets de brique semblent être avantageux vis-à-vis du retrait puisque l'augmentation du pourcentage de déchets de brique contribue à diminuer le retrait.

Ceci peut être dû à la capacité liante de l'argile formant les déchets de brique. En effet, les mortiers élaborés deviennent de plus en plus compacts, empêchant ainsi le retrait de continuer à progresser.

Un tel résultat n'est pas surprenant car d'autres auteurs (F.Bektas et al, 2009) ont trouvé un résultat similaire.

- **DB=0%**

Le tableau III.7 et la figure III.7 montrent l'évolution du retrait des mortiers élaborés dans le temps.

On constate la même évolution dans le temps quel que soit le pourcentage de granulats de caoutchouc utilisé.

Par ailleurs, on note que l'introduction des granulats de caoutchouc génère le phénomène de retrait au fur et à mesure que le pourcentage de granulats de caoutchouc utilisé est plus fort.

Ce résultat reste valable quel que soit la mesure dans le temps conformément à la conclusion de l'étude menée par Turatsinze et al.

➤ **L'absorption d'eau par immersion totale**

- **GC=0%**

Le tableau III.8 et la figure III.8 montrent la variation de la masse d'eau absorbée par rapport aux déchets de brique utilisés. L'absorption d'eau par immersion semble diminuer d'une façon peu sensible avec l'introduction progressive du pourcentage de déchets de brique.

- **DB=0%**

Le tableau III.9 et la figure III.9 montrent la variation de la masse d'eau absorbée par rapport aux taux de granulats de caoutchouc utilisés (0%,10%,20%,30%).

Les granulats de caoutchouc semblent affecter la masse d'eau absorbée par les mortiers d'étude d'une façon proportionnelle si l'on tient compte de l'équation mathématique reliant les deux paramètres

$$y=0,2611x+48,696$$

Avec $R^2=0,9019$

Avec ces seules informations, nous ne sommes pas encore en mesure de donner des explications pertinentes, mais d'autres investigations sont nécessaires et notamment en microscopie.

➤ **L'absorption d'eau par capillarité**

• **GC=0%**

Les résultats d'essais réalisés sur les éprouvettes 4 cm x 4 cm x 16 cm sont présentés dans le tableau II.10 et la figure II.10.

De ces résultats, on peut constater que les déchets de brique ralentissent la progression de l'eau dans les éprouvettes de mortiers étudiés. Un grand pourcentage de déchets de brique implique un grand ralentissement de l'absorption d'eau, sauf dans le cas de GC0-DB7, 5 et GC0-DB10 où l'absorption semble être la même (0,183 contre 0,187 g/cm²).

Ce résultat peut être dû éventuellement à une diminution de la porosité des mortiers étudiés avec l'introduction progressive des déchets de brique.

Cette analyse logique doit cependant être confirmée par une étude microscopique (des images au Microscope Electronique à Balayage, MEB).

• **DB=0%**

Les résultats sont présentés dans le tableau III.11 et la figure III.11.

On peut constater que, en dehors de la courbe relative au GC0-DB0, les granulats de caoutchouc provoquent de l'absorption d'eau proportionnelle au taux mis en œuvre.

Donc leur apport est contraire à celui des déchets de brique (comme il va être montré dans la figure III.10).

Ce résultat pourrait être expliqué par l'éventuel vide généré par les granulats de caoutchouc, dû à leur hydrophobicité (avec la matrice cimentaire).

Cette hydrophobicité à l'eau a été déjà signalée par plusieurs chercheurs, dont N.Segre (2003).

• **GC=0%**

La sorptivité a été déterminée par la relation mathématique de C.Hall :

$$i=S(t)^{1/2} \text{ donc } S= \frac{i}{t^{1/2}}$$

Les valeurs de la sorptivité (voir histogramme de la figure III-12) ont été déterminées directement à partir des courbes de la figures III-10. Les déchets de brique apportent une contribution positive à la sorptivité des mortiers étudiés. Ceci est conforme aux résultats signalés dans le tableau III-10 et la figure III-10 précédents.

• **DB=0%**

Du tableau III.13 et la figure III.13, on peut constater que les granulats de caoutchouc rendent les mortiers étudiés de plus en plus sorptifs. L'explication est la même que celle donnée précédemment (figure III.11)

➤ **La perméabilité**

• **GC=0%**

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.14 et la figure III.14.

Ils montrent une diminution de la hauteur de pénétration d'eau avec l'augmentation du pourcentage de déchets de brique. Cette relation peut être décrite selon la formule mathématique qui suit :

$$y=0,5x+12,18$$

Avec $R^2=0,9007$

Les déchets de brique semblent freiner la pénétration de l'eau dans les mortiers étudiés. Plus le pourcentage des déchets de brique est important et plus le freinage est important.

Comme dans le cas de l'absorption d'eau décrit précédemment, les déchets de brique semblent diminuer la porosité des mortiers d'étude.

• **DB=0%**

Les résultats présentés dans le tableau III.15 et la figure III.15 tendent à prouver que l'introduction des granulats de caoutchouc génère de plus en plus de vide entre les granulats de caoutchouc et la matrice cimentaire (à cause de l'hydrophobicité). Ces vides pourraient être la cause, de la pénétration d'eau avec l'augmentation de l'évolution du pourcentage de granulats de caoutchouc.

➤ **Compression**

• **GC=0%**

Les résultats sont consignés dans le tableau III.16 et la figure III.16.

On peut constater que la résistance diminue jusqu'à 5% d'incorporation de déchets de brique pour ensuite remonter jusqu'à 10%.

Ceci montre que le taux de 5% de déchets de brique est le plus défavorable.

On peut noter également que quel que soit le pourcentage de déchets de brique utilisé, la résistance à la compression à 28 jours (R_{c28}) est toujours supérieure de 40 MPA, qui est une résistance à la compression (R_{c28}) considérable pour les mortiers. L'introduction du SIKALATEX est probablement la cause de ces résultats. La relation entre le pourcentage de

déchet de brique et la Rc28 peut être décrite (avec un fort coefficient de régression $R^2=0,9895$) par l'équation du deuxième degré suivante :

$$y=0,2607x^2-3,1945x+49,653$$

y : représente la Rc28 (MPa)

x : représente le pourcentage des déchets de brique mis en œuvre.

- **DB=0%**

Des résultats du tableau III.17 et de la figure III.17, on peut conclure que les granulats de caoutchouc font chuter la résistance à la compression (Rc28) des mortiers étudiés et que la relation est inversement proportionnelle.

$y=1,0445x+47,471$, avec $R^2=0,9545$, est une relation qui lie les deux paramètres.

C'est un résultat attendu, qui a été obtenu par l'ensemble des chercheurs ayant travaillé sur la question. On peut noter : M.HO Ahn (2010), F.Bektas (2009), turatzing et al (2007), N.Segre (2003). Ce résultat est expliqué par l'élasticité de granulats de caoutchouc beaucoup plus impotente que celle du sable substitué.

➤ **Traction par flexion**

- **GC=0%**

Les résultats sont consignés dans le tableau III.18 et la figure III.18.

On peut constater la même évolution que la résistance à la compression.

C'est un résultat habituel avec les mortiers et les bétons. Pour les mêmes raisons, le SIKALATEX doit être la cause de cette évolution.

On note également une proportionnalité entre la résistance à la compression à 28 jours (Rc28) et la résistance à la traction à 28 jours (Rt28), (voir tableau III.19 qui suit)

Tableau III-19 : le rapport R_{c28}/R_{t28}

Mortier	Rc ₂₈	Rt ₂₈	Rc ₂₈ / Rt ₂₈
GC0 DB0	49,920	8,49	5,879
GC0 DB2,5	42,706	7,72	5,530
GC0 DB5	40,368	7,43	5,433
GC0 DB7,5	40,721	7,17	5,679
GC0 DB10	43,566	7,68	5,670

En moyenne le rapport $R_{c28}/R_{t28} = 5,638$

On rappelle que le rapport R_{c28}/R_{t28} pour les bétons est de l'ordre de 10.

- **DB=0%**

Les résultats en traction par flexion à 28 jours suivent celles des résultats en compression à 28 jours .On signalera enfin la rupture ductile des éprouvette soumises aux essais de traction qui est la conséquence des granulats de caoutchouc qui possèdent une grande élasticité par rapport aux sable de substitution (voir photos des figures II-31 du chapitre II qui a précédé).

PERSPECTIVES

PERSPECTIVES

Et comme perspective d'avenir, une étude sur ce matériau vis-à-vis du comportement au feu serait intéressante dans la mesure où les granulats de caoutchouc sont inflammables plus facilement que les sables de substitution.

On pourra également étudier ces matériaux innovants en microstructure pour valider les résultats macroscopiques trouvés dans ce travail et raffiner si nécessaire.





REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Anaclet Turatsinze et Mathieu Garros, <<Une nouvelle génération de matériaux à base cimentaire par incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés>> INSA date : 16 Octobre 2007.

AYACHI Amor Mohamed, << Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes >>, Université KASDI Merbah de Ouargla, mémoire de master, année 2011.

A.Turatsinze, S.Bonnet et J.L.Granjur. <<Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based mortars'>>, Construction and Building Materials N°21, pp 176-181.année 2007.

B

BARKAT ABDEREZZAK, << Valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton>>, université Kasdi Merbah Ouargla, mémoire de magister, date : 05 novembre 2006.

BOUDCHICHA Abdelaziz, <<utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons>>, université mentouri constantine, Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat d'état en Génie Civil, date : 17 décembre 2007.

D

G.DREUX, J.FESTA, Nouveau guide du béton, Édition EYROLLES Paris, Mai 1998.

F

F. BELABDELOUAHAB, Z. DJIDJELI, recherche-valorisation des pneumatiques usagés dans la protection de l'environnement Marseille, date : 24-28 août 2009.

F.Bektas, K.Wang, H.Ceylan,<<Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability>> Construction and Building Materials N°23,pp 199-1914,2009.

Faten SADAKA, <<Etude de la dégradation contrôlée de poly diènes : Application au recyclage des déchets pneumatiques>>, Université du Maine, thèse de doctorat date : 23 novembre 2010.

G

GUERMITI LAID, Ingénieur d'état en Génie Civil – C.U.Z.A Djelfa, << contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques>>, université kasdi merbah ouargla, Présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister, *Année 2013*.

H

Habib Trouzinea, Aissa Asrouna, Nasser Asrouma, Farid belabelouhab, Nguyen Thanh Long, <<Problématique des pneumatiques usagés en Algérie>>, université de Djilali Liabes, et Ecole Nationale Supérieur des Travaux Publics, date : 25 Avril 2011.

M

M. HO Anh Cuong, <<Optimisation de la composition et caractérisation d'un béton incorporant des granulats issus du broyage de pneus usagés : Application aux éléments de grande surface. >>, université de Toulouse, Thèse de doctorat, date : 20 juillet 2010.

Mme BENTALHA née MALOU MALIKA, << Influence de l'introduction de Fibres Métalliques sur le Comportement Différé d'une Matrice Cimentaire.

MOKHTARI ABDESSAMED, <<Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier >>, Université Kasdi Merbah de Ouargla, mémoire de magistère, année 06 novembre 2006.

N

Notice Technique MEDAPLAST SP 40, Super plastifiant-haut réducteur d'eau.

Notice technique : Adjuvant pour bétons et mortiers coulés dans l'eau.

Notice technique, édition avril 2009, numéro 9.00, version n° 086.2009, **SIKALATEX**. SIKALATEX résine à mélanger à l'eau de gâchage des mortiers.

Nadia Segre et al, <<Use of tyro rubber partials in slag-modified cement mortars>>., In proceedings of the 11th international congress on the chemistry of cement 11-16 may 2003 ,Durban, south Africa.

O

OUZIR Malika, <<Gestion Ecologique Des Déchets Solides Industriels'>>, université de M'sila, mémoire de magister, année 2008.

S

Saadani Sabrina, <<Comportement des bétons à base de granulats recyclés>>, Université Mentouri de Constantine, Mémoire de magister, année 2000.

SCIMAT société des ciments d'Ain Touta filiale du groupe GICA ; fiche technique.

ANNEXE