

N° 118



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur (ED-SDI)

Master de Recherche en Génie des Matériaux et Structures

Rapport de Stage

Thème :

Etude expérimentale des performances physico-mécaniques des mortiers composites a base des fibres de déchets plastiques du type polytéréphtalate d'éthylène (PET)

Présentée par :

ASSAGBAVI Koudzo

Ingénieur de Conception en Génie Civil

Sous la direction de :

Dr DOKO Kouandété Valéry

Maître de Conférences des Universités du CAMES

RESUME

Ces dernières années, des tonnes de déchets plastiques ont commencé à représenter un défi majeur et un problème environnemental. Les organismes et mécanismes de recyclage mis en place pour pallier ce problème ne sont pas assez efficaces malgré leurs efforts. La revalorisation de ces déchets constitue alors une solution intéressante pour contribuer à diminuer l'impact néfaste des déchets plastiques sur l'environnement.

L'objectif de cette étude est d'étudier les possibilités d'utilisation des déchets plastiques dans la construction. Pour ce faire, il est nécessaire dans une première phase de faire la lumière sur les travaux réalisés par d'autres chercheurs dans le cadre de l'utilisation des déchets plastiques dans la construction. Cette recherche documentaire a révélé qu'il est possible d'utiliser les déchets de plastiques sous forme de résine, de poudre et de fibres dans le béton ou le mortier.

Ensuite une étude expérimentale a été réalisée dans le but d'étudier la performance mécanique d'un composite de mortier à base de fibres plastiques issu du polyéthylène téréphtalate (PET). Pour ce faire, des fibres de plastique de proportions 0%, 0,5%, 1%, 1,5% et 2% ont été substituées au ciment afin d'étudier les caractéristiques mécaniques de ces composites. Les dimensions adoptées pour les fibres sont 40 mm pour la longueur et 2 mm pour la largeur. Il en ressort de cette étude que la proportion de fibre qui offre la meilleure performance mécanique est de 5%. Ainsi la résistance à la compression à 7 jours d'âge du composite avec 5% de PET dépasse celle du béton témoin de 10%. Par contre la résistance à la compression à 28 jours d'âge du composite avec 5% de PET dépasse celle du béton témoin de 2,21%. Quant à la résistance à la flexion, l'on observe une augmentation de 19,84% à 7 jours et 4,32% à 28 jours par rapport au mortier témoin.

Mots clés : Mortiers composites, fibres, déchets plastiques, PET, caractéristiques mécaniques, recyclage.

ABSTRACT

In recent years, tonnes of plastic waste have started to represent a major challenge and environmental problem. The recycling organisations and mechanisms put in place to address this problem are not efficient enough despite their efforts. The reuse of these wastes is therefore an interesting solution to help reduce the negative impact of plastic waste on the environment.

The objective of this study is to investigate the possibilities of using plastic waste in construction. In order to do so, it is necessary in a first phase to shed light on the work done by other researchers in the field of the use of plastic waste in construction. This literature search revealed that it is possible to use plastic waste in the form of resin, powder and fibres in concrete or mortar.

Next, an experimental study was carried out to investigate the mechanical performance of a plastic fibre-based mortar composite from polyethylene terephthalate (PET). Plastic fibres of proportions 0%, 0.5%, 1%, 1.5% and 2% were substituted for the cement in order to study the mechanical characteristics of these composites. The dimensions adopted for the fibres were 40 mm in length and 2 mm in width. It was found that the proportion of fibre that offered the best mechanical performance was 5%. Thus the 7-day compressive strength of the composite with 5% PET exceeds that of the control concrete by 10%. On the other hand, the compressive strength at 28 days of age of the composite with 5% PET exceeds that of the control concrete by 2.21%. As for the flexural strength, an increase of 19.84% at 7 days and 4.32% at 28 days was observed compared to the control mortar.

Key words : Composite mortars, fibres, plastic waste, PET, mechanical characteristics, recycling

DEDICACES

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- À ma très chère mère **Sotogbé AMEH**, pour tout l'amour qu'une mère peut avoir pour son enfant ;
- En mémoire de mon regretté père, où que tu sois j'espère que tu seras fier de moi ;
- En mémoire de ma très chère et regrettée grand-mère **Véronique Woméwoé AMÉGNON-ZUMADÉ**, qui fut une deuxième mère pour moi ;
- En mémoire de mon oncle **Toglo Adjévi Albert AMEH**, qui autre fois était l'un de mes grands soutiens ;
- À tous ceux et celles qui me sont chers, et qui de par leur présence dans ma vie ont contribué de diverses manières à mon évolution et à mon bien-être

REMERCIEMENTS

Je remercie infiniment Dieu Tout Puissant pour son assistance et sa protection Divine tout au long de ce travail. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à ceux qui ont contribué non seulement à l'élaboration de ce document mais aussi à ma formation. Je remercie particulièrement :

- Le Professeur **Eugène Koffi-Sa BEDJA**, Enseignant Chercheur, Professeur Titulaire des Universités, pour son soutien, ses encouragements et sa bienveillance. Que Dieu vous le rende incessamment ;
- Le Professeur **Dany AYITE**, Enseignant Chercheur, Professeur Titulaire des Universités, qui n'a ménagé aucun effort pour me soutenir depuis le début et qui continue d'en faire davantage. Puisse Dieu vous récompenser chaque jour qu'il fait ;
- Le Professeur **Valéry Kouandété DOKO**, Enseignant Chercheur au département de Génie Civil à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Maître de Conférences CAMES, Directeur du présent Rapport de Stage, pour sa disponibilité et son assistance malgré ses nombres préoccupations ;
- Le Professeur **Emmanuel OLODO**, Enseignant Chercheur, Professeur Titulaire des Universités, Coordonnateur du Master Recherche Génie des Matériaux et Structures pour ses conseils et sa disponibilité au cours de cette formation ;
- Le Professeur **Mohamed GIBIGAYE**, Enseignant Chercheur au département de Génie Civil à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Professeur Titulaire des Universités, Directeur de l'Ecole Doctorale Science de l'Ingénieur (ED-SDI) pour ses conseils et sa disponibilité au cours de cette formation ;
- Le Professeur **Antoine VIANOU**, Enseignant Chercheur, Professeur Titulaire des Universités, pour sa disponibilité et sa bienveillance ;
- Les Directeurs des laboratoires dans lesquels nos essais ont été effectués notamment LNBTP et CCL ;
- Tous les Enseignants Chercheurs de l'Ecole Doctorale Science de l'Ingénieur (ED-SDI) qui ont contribué à notre formation ;
- Mes camarades de promotion qui ont bien voulu partager avec moi la connaissance et aussi pour la convivialité qui a prévalu ;

REMERCIEMENTS

- Ma mère qui a toujours été d'un grand soutien moral dans tout ce que je fais ;
- Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à notre formation et à l'aboutissement de ce document.

Voyez par cet acte, l'expression de ma profonde gratitude.

Que Dieu vous bénisse !!!

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

RESUME	i
ABSTRACT.....	ii
DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ABREVIATIONS	xiii
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Généralités	4
1.1. Introduction	4
1.2. Généralités sur les matériaux composites	4
1.2.1. Définition	4
1.2.2. Matrice	5
1.2.3. Renfort.....	5
1.2.4. Classification des matériaux composites	6
1.2.4.1. Classification suivant la forme des constituants	6
1.2.4.2. Classification suivant la nature des constituants	7
1.3. Généralités sur le mortier	8
1.3.1. Définitions.....	8
1.3.2. Les différents types de mortier	8
1.3.3. Les composantes du mortier composite PET.....	9
1.3.3.1. Le ciment	9
1.3.3.1.1. Historique.....	9
1.3.3.1.2. Constitution du ciment.....	10
1.3.3.2. L'eau de gâchage	11

TABLE DES MATIERES

1.3.3.3.Le granulat	11
1.3.3.4.Classification des granulats	11
1.3.3.4.1.Les différents types de sables [17].....	13
1.3.3.4.2.Les caractéristiques des sables [10].....	13
1.4. Généralités sur le plastique.....	14
1.4.1.Impact des déchets plastiques sur l’homme et l’environnement	15
1.4.2.La problématique des déchets plastiques au Togo.....	17
1.4.2.1.Le système de gestion des déchets solides ménagers au Togo.....	17
1.4.2.2.Collecte.....	18
1.4.2.3.Traitement : le centre d’enfouissement d’Aképé.....	19
1.4.2.4.Le recyclage	19
1.4.3.L’état des lieux sur les déchets plastiques au Togo	20
1.4.3.1.Production	20
1.4.3.2.Impact sur l’environnement	20
1.4.3.3.Mode d’utilisation.....	21
1.4.3.4.Systèmes d’évacuation des déchets plastiques :	21
1.4.3.5.Les sachets biodégradables	22
1.4.3.6.Le recyclage	22
1.5. Conclusion.....	23
2. Synthèse bibliographique	25
2.1. Introduction	25
2.2. Usage des polymères dans la construction.....	25
2.3.Etude de la substitution d’agrégats naturels par des agrégats légers dans les composites de PET	29
2.4. Propriétés des composites à base des agrégats plastiques.....	33
2.4.1.Retrait.....	33
2.4.2.Maniabilité et affaissement	34

TABLE DES MATIERES

2.4.3.La densité	37
2.4.4.Propriétés mécaniques	40
2.4.4.1.Résistance à la compression	40
2.4.4.2.Résistance à la flexion	42
2.4.5.Porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.....	43
2.5. Conclusion.....	45
3. Caractérisation des matériaux.....	47
3.1. Introduction	47
3.2. Matériaux.....	47
3.2.1.Le sable.....	47
3.2.1.Le matériau PET	47
3.2.2.Le ciment	48
3.2.3.L'eau.....	48
3.3. Méthodologie.....	48
3.3.1.Caractérisation du sable	48
3.3.1.1.L'Analyse Granulométrique	48
3.3.1.1.1.Le coefficient d'uniformité.....	49
3.3.1.1.2.Le coefficient de courbure	49
3.3.1.1.3.Le module de finesse	50
3.3.1.2.Equivalent de sable	50
3.3.1.3.Densité absolue et densité apparente	51
3.3.1.4.Coefficient d'absorption d'eau	52
3.3.2.Caractérisation du ciment	52
3.3.2.1.Consistance normalisée du ciment (NF P 15-473)	52
3.3.2.2.Temps de prise (NF P 15-473).....	52
3.3.2.3.Stabilité (NF P 15-473).....	52
3.4. Résultats	53
3.4.1.L'Analyse Granulométrique	53

TABLE DES MATIERES

3.4.2.La densité de sable, coefficient d'absorption et équivalent de sable.....	55
3.4.3.Les essais liés au ciment	56
3.5. Conclusion.....	57
4. Etude de l'influence des fibres de plastiques sur les caractéristiques du mortier	59
4.1. Introduction	59
4.2. Fabrication du mélange	59
4.3. Méthodologie.....	60
4.3.1.Densité du mortier frais	60
4.3.2.Densité du mortier durci	60
4.3.3.Coefficient d'absorption d'eau	60
4.3.4.Essais mécaniques.....	61
4.3.4.1.Résistance à la flexion	61
4.3.4.2.Résistance à la compression	61
4.4. Résultats de l'étude	61
4.4.1.La densité.....	61
4.4.2.L'absorption d'eau	63
4.4.3.Caractéristiques mécaniques.....	65
4.4.3.1.Résistance à la flexion	65
4.4.3.2.Résistance à la compression	66
4.5. Conclusion.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	72
5. ANNEXES.....	80
5.1. Détails de calculs.....	80
5.2. Illustration des matériels	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Classification des composites par type de matrices [5].....	7
Tableau 1-2 : Classification des granulats en fonctions de leurs dimensions.....	12
Tableau 1-3 : Classification des plastiques.....	15
Tableau 2-1 : Propriétés de certains types des déchets plastiques utilisés comme agrégat	31
Tableau 3-1 : Classification des sables selon le module de finesse.....	50
Tableau 3-2 : Caractérisation des types de sables en fonction de la valeur de l'Equivalent de Sable.....	50
Tableau 3-3 : Résultat de l'analyse granulométrique sur le sable.....	53
Tableau 3-4 : Paramètres caractéristiques de l'analyse granulométrique.....	54
Tableau 3-5 : Résultats de la densité absolue, apparente et de coefficient d'absorption des matériaux.....	55
Tableau 3-6 : Evolution de la consistance.....	56
Tableau 3-7 : Evolution de la prise du ciment au cours de temps.....	56
Tableau 3-8 : Résultat de l'essai d'expansion.....	57
Tableau 4-1 : Résultat de la densité du composite de PET.....	62
Tableau 4-2 : Coefficient d'absorption à j jours dans l'eau.....	63
Tableau 4-3 : Résultat de la résistance à la flexion.....	65
Tableau 4-4 : Valeurs de la résistance à la compression.....	66
Tableau 5-1 : Densité apparente.....	80
Tableau 5-2 : Détails de calcul de l'équivalent de sable.....	81
Tableau 5-3 : Densité de mortier Durci à 28 jours.....	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Matériau composite [5]	4
Figure 1-2 : Une section polie de mortier au microscope optique (x500). (CXS) : les silicates et (CX (A, F)) : les aluminates [13]	11
Figure 1-3 : Schéma de Classification des granulats en fonctions de leurs dimensions	12
Figure 1-4 : Structure du polyéthylène téréphtalate.....	14
Figure 1-5 : Centre d'enfouissement technique d'Aképe	19
Figure 1-6 : Immondices sorties des canalisations qui empêchent l'écoulement des eaux/ ANASAP 2022 [29]	21
Figure 1-7 : Illustration de l'Entreprise AGR et ses produits	22
Figure 1-8 : Illustration de l'Entreprise GIP et ses produits.....	23
Figure 2-1 : La variation de l'affaissement du béton avec le niveau de la substitution des agrégats plastiques [108].....	35
Figure 2-2 : Etalement du béton en fonction du pourcentage de E-plastic [80]	37
Figure 2-3 : L'influence de l'incorporation des matières plastiques comme agrégat sur la densité du béton/mortier [105]	38
Figure 2-4 : La densité du béton en fonction du pourcentage d'E- plastique à 28 jours [80]	39
Figure 2-5 : La variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours [105].....	40
Figure 2-6 : La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours (83)	42
Figure 2-7 : Coefficients de sorptivité du mortier à différents volumes de granulats WPLA [70].....	44
Figure 3-1 : Echantillon du sable de Tchèkpo	47
Figure 3-2 : Différentes phases du plastique PET utilisés	48
Figure 3-3 : Courbe granulaire du sable	54
Figure 4-1 : Densité du mortier.....	62
Figure 4-2 : Coefficient d'absorption d'eau a saturation pour C=450g.....	64

LISTE DES FIGURES

Figure 4-3 : Evolution de la résistance en flexion du composite en fonction de la teneur en PET	65
Figure 4-4 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la teneur en PET	67
Figure 5-1 : Série normalisée de tamis AFNOR.....	81
Figure 5-2 : Pycnomètre.....	82
Figure 5-3 : Tare de contenance sur une balance électronique	82
Figure 5-4 : Eprouvettes graduées	83
Figure 5-5 : Moules prismatiques 40mmx40mmx160mm	83
Figure 5-6 : Malaxeur de mortier.....	84
Figure 5-7 : Table à chocs.....	84
Figure 5-8 : Machine de type Controls pour les essais de flexion et de compression..	84

LISTE DES ABREVIATIONS

A.G.R.	Africa Global Recycling
BTP	Bâtiment et des Travaux Publics
DEEE	Déchets d'Equipements Electroniques et Electriques
ES	Equivalent de Sable
ITZ	Zone de Transition Interfaciale
LDPE	Polyéthylène A Faible Densité
PC	Polycarbonate
PEBD	Polyéthylène à basse densité
PEHD	Polyéthylène à Haute Densité
PET	Polytéréphtalate d'Ethylène
PETW	Agrégats des déchets de PET
PP	Polypropylène
PSE	Polystyrène Expansé
PUR	Polyuréthane rigide
PVC	Polyvinyle de chlorure
UP	Unsaturated Polyester
WPLA	PET enrobé par le sable

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les matières plastiques sont devenues une partie intégrante et inséparable de nos vies. La quantité de plastique consommée chaque année n'a cessé d'augmenter. Sa faible densité, sa résistance, ses conceptions conviviales, ses capacités de fabrication, sa longue durée de vie, sa légèreté et son faible coût sont les facteurs qui expliquent cette croissance phénoménale. Les plastiques sont utilisés dans l'emballage, les applications automobiles et industrielles, les systèmes d'administration médicale, et d'autres applications de soins de santé, la conservation et la distribution des aliments, les systèmes de sécurité et d'autres utilisations. Avec des applications aussi vastes et variées, les plastiques contribuent à un volume toujours plus important dans le flux des déchets solides. La consommation annuelle de matières plastiques dans le monde est passée d'environ 5 millions de tonnes dans les années 1950 à près de 100 millions de tonnes en 2001 [1]. Aujourd'hui, elle représente aujourd'hui quelques 400 millions de tonnes par an [2].

L'augmentation incessante des quantités de plastique produites a entraîné un problème considérable de génération de déchets qui dépasse les capacités de la société à les gérer efficacement. Dans le monde entier, au moins 8,8 millions de tonnes de déchets plastique sont déversées chaque année dans les océans, soit l'équivalent d'un camion à chaque minute, a conclu un rapport de la National Academy of Sciences (NAS) [3].

Les graves problèmes environnementaux induits par les déchets plastiques ont attiré une attention considérable dans le monde entier et de nouvelles initiatives ont été adoptées pour recycler les déchets plastiques en matériaux de construction. L'une de ces initiatives prometteuses consiste à utiliser les déchets plastiques comme seule phase de liaison pour fabriquer des matériaux de construction de type béton/mortier [4].

Un vaste travail de recherche a été effectué sur l'utilisation des déchets plastiques dans la construction. Des efforts continuent d'être fournis afin d'explorer l'utilisation des déchets plastiques en béton et mortier cimentaire. Cependant, au Togo les travaux de recherches sur l'utilisation du plastique dans la construction est quasiment inexistant. Il serait donc nécessaire que des travaux de recherches s'intéressent à cette problématique

INTRODUCTION GENERALE

afin de développer des matériaux utiles pour la construction et aider ainsi à absorber le flux de déchets plastiques qui polluent les villes.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent rapport de stage intitulé : **Etude expérimentale des performances physico-mécaniques des mortiers composites à base des fibres de déchets plastiques du type polytéréphtalate d'éthylène (PET).**

Cette étude a pour objectif d'analyser l'influence des fibres de déchets plastiques sur les caractéristiques du mortier composite afin de déterminer une valeur optimale pour la teneur optimale.

Ainsi, le présent document sera structuré en trois (3) chapitres :

- Chapitre 1 : Généralités ;
- Chapitre 2 : Synthèse bibliographique ;
- Chapitre 3 : Etude expérimentale.

GENERALITES

1. Généralités

1.1. Introduction

Les déchets plastiques sont devenus un problème mondial. Ils s'accumulent sur la terre dans de gigantesque décharges à ciel ouvert et posent d'importants problèmes de santé publique et de pollution environnementale, faute de moyen pour les recycler.

Le domaine du Génie Civil est de plus en plus caractérisé par la recherche de nouveaux matériaux. Ainsi l'utilisation des polymères est donc considérée comme un signe de progrès et d'attitude moderne dans la construction.

Le présent chapitre a pour but de définir les notions relatives aux matériaux composites, de relever l'impact des déchets plastiques sur l'environnement et de montrer la gestion qui est fait.

1.2. Généralités sur les matériaux composites

1.2.1. Définition

Dans un sens large, le mot « composite » signifie « constituer de deux ou plusieurs parties différentes ». En fait, l'appellation « matériau composite » ou composite est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif.

Un matériau composite est constitué de l'assemblage d'au moins deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément [5]. De façon générale, il est composé d'une matrice et d'un renfort. La Figure 1-1 présente la structure d'un matériau composite.

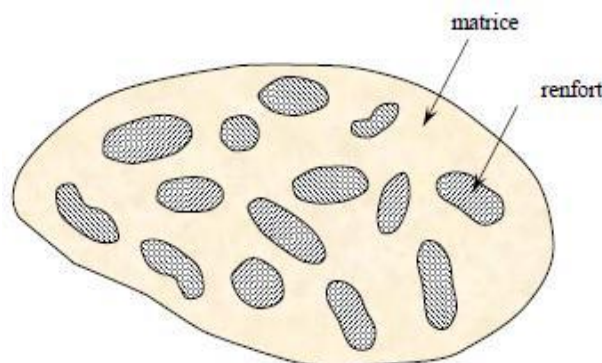
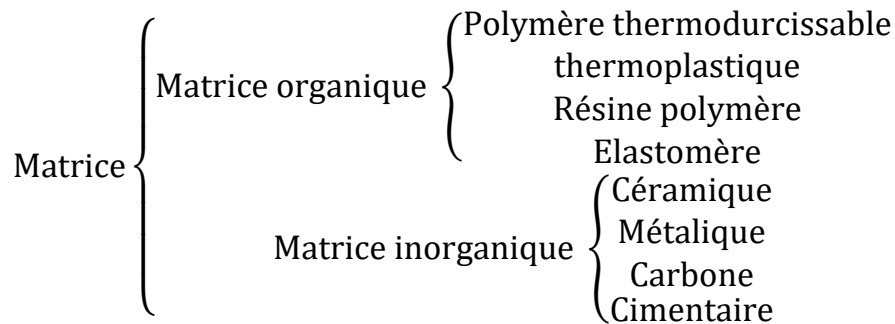


Figure 1-1 : Matériau composite [5]

1.2.2. Matrice

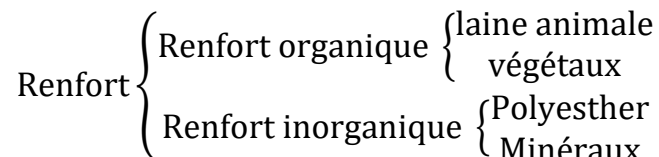
Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés. Dans le cas des matériaux en carbone, des températures de 2 200°C peuvent être atteintes. La classification des types de matrices couramment rencontrés est donnée comme suit :



1.2.3. Renfort

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéiques (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelles (tresse, tissus complexes, tissage tri-directionnel ou plus).

Il existe différents types de fibres. Elles peuvent être scindées en deux groupes, les fibres à haut module et les fibres à haute résistance. Les fibres à haut module ont une résistance faible et celles à forte résistance ont un module faible [6]. La classification des types de renforts couramment rencontrés est :



1.2.4. Classification des matériaux composites

1.2.4.1. Classification suivant la forme des constituants

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes : les matériaux composites à particules et les matériaux composites à fibres.

➤ **Composites à fibres**

On parle de matériau composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes, etc. L'arrangement des fibres et leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan [5].

Le concepteur possède donc là un type de matériau dont il peut modifier et moduler à volonté les comportements mécanique et physique en jouant sur :

- la nature des constituants,
- la proportion des constituants,
- l'orientation des fibres [6].

L'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques. Les fibres les plus utilisées sont les fibres naturelles, surtout les fibres végétales, car elles sont très disponibles. Leur utilisation valorise donc les ressources locales du pays, tout en respectant l'environnement [5].

➤ **Composites à particules**

On parle de matériau composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée.

Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer

les caractéristiques. Le choix de l'association matrice-particules dépend des propriétés souhaitées. Ainsi, les composites à particules recouvrent un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse [5].

1.2.4.2. Classification suivant la nature des constituants

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche [5]. Certaines possibilités sont énumérées dans le Tableau 1-1.

Tableau 1-1 : Classification des composites par type de matrices [5]

Type de composite	Type de matrice	Renforts possibles
Composites à matrice organique	Organique (résine, charges)	<ul style="list-style-type: none">• Fibres minérales : verre, carbone, etc.• Fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.• Fibres métalliques : bore, aluminium, etc.
Composites à matrice minérale	Minérale (céramique)	<ul style="list-style-type: none">• Fibres minérales : bore,• Fibres organiques : cemets,• Fibres métalliques : carures, nitrures, etc.
Composites à matrice métallique	Métallique (alliages légers et ultra-légers d'aluminium, de magnésium, de titane)	<ul style="list-style-type: none">• Fibres minérales : verre, carbone, etc.• Fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.• Fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas 200-300°C, alors que les matériaux

composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà : jusqu'à 600°C pour une matrice métallique, jusqu'à 1000°C pour une matrice céramique [7].

1.3. Généralités sur le mortier

1.3.1. Définitions

On appelle mortier [8] un matériau cimentaire composé de sables, d'eau et de ciment dont le comportement dépend de sa structure physique et de l'évolution de la matrice cimentaire.

La matrice cimentaire résulte d'un mélange d'eau et du ciment à des proportions volumiques bien définies capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées afin d'atteindre certaines performances physiques, mécaniques et chimiques.

Dans le cadre d'un matériau composite, on appelle mortier composite [9] un mortier en ajout de composants non miscibles (mais ayant une forte capacité de pénétration comme par exemple fibre, polymère, métal, etc.) dont les propriétés se complètent.

Cet ajout permet d'améliorer la qualité du mortier face une certaine utilisation (légèreté, rigidité a un effort, etc.).

1.3.2. Les différents types de mortier

Selon la composition on a :

- Le mortier maigre : le volume de liant est inférieur au volume des vides
- Le mortier normal : le volume de liant est égal à celui des vides
- Le mortier gras : le volume de liant est supérieur au volume des vides

Selon l'utilisation on peut citer :

- Le mortier de montage : il est utilisé pour sceller les briques entre elles lors du montage d'un mur par exemple.
- Le mortier de ragréage : c'est le type de mortier utilisé pour réaliser des enduits.
- Le mortier colle pour le carrelage : il sert pendant la pose des carreaux à assurer leur maintien sur les surfaces travaillées.

- Le mortier bâtard : il contient de la chaux et est utilisé pour la préparation du béton
- Le mortier d'imperméabilisation : comme son nom l'indique, il est utilisé à des fins d'imperméabilisation des surfaces.
- Le mortier réfractaire : sensé résister à des températures très élevées de l'ordre de 1000 °C.

1.3.3. Les composantes du mortier composite PET

De façon standard, le mortier comprend un liant hydraulique qui est le plus souvent le ciment, le sable et l'eau.

Selon les applications et les caractéristiques recherchées, on pourra incorporer au mortier des ajouts et adjuvants. Le but étant d'améliorer la plasticité, de retarder ou d'accélérer le temps de prise ou encore de rendre la structure imperméable.

1.3.3.1. Le ciment

1.3.3.1.1. Historique

Le ciment n'est pas une invention récente. Dès l'antiquité, les romains ont constaté qu'un mélange de chaux avec des cendres volantes de Pouzzoles était capable, une fois hydraté, de former un produit résistant et durable. Ce ciment dit pouzzolanique a servi à la construction d'ouvrages qui, 2000 ans après, sont très bien conservés : le Panthéon à Rome, le Pont du Gard ou le Colisée. Plus à l'ouest, les Mayas ont aussi l'idée d'utiliser un ciment à base de chaux pour lier les pierres formant les fameux toits en fausse voûte.

Dès le dix-huitième siècle, des recherches ont été menées en France et en Angleterre pour pouvoir fabriquer de la "pierre factice". John Smeaton, en 1759, conçoit, de manière empirique, une méthode pour produire un mélange recuit d'argile et de chaux, qui a servi à la construction du phare d'Eddystone. Cependant, le ciment artificiel, tel qu'on l'utilise actuellement, a été défini par Louis Vicat en 1818. Il est issu de la cuisson d'un mélange de 20% d'argile et de 80% de calcaire. Il prit en 1824 le nom de Ciment Portland Artificiel après que John Apsdin eut constaté une grande ressemblance avec le calcaire de l'île de Portland [10].

Le béton, et en conséquence le ciment, ont connu leur essor dès lors que le principe du béton armé a été maîtrisé, à la fin du XIXe siècle, afin d'améliorer la résistance en traction du matériau.

Les ciments ont un rôle essentiel dans le comportement des ouvrages en génie civil. Ils assurent une fonction mécanique, car ils lient le squelette granulaire, mais ils sont aussi en grandes parties responsables de la tenue à long terme du matériau béton ou mortier, si la qualité du liant évolue dans le temps.

1.3.3.1.2. Constitution du ciment

Le ciment Portland est une poudre minérale, dont la propriété est de durcir au contact de l'eau. De ce fait, il est appelé liant hydraulique. Ce dernier est obtenu par le broyage du clinker et de sulfate de calcium. Le clinker est issu de la cuisson à haute température (1450°C) d'un mélange de 20% d'argile et 80% de calcaire [11].

Le calcaire est constitué de la chaux (CaO) et l'argile constituée de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃) et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃).

Ces éléments, en réagissant, ont conduit à une structure moléculaire du clinker constituée principalement [12] :

- de silicate tri calcique Ca₃SiO₅ (C₃S) qui représente 50 à 70% du clinker,
 - de silicate bi calcique Ca₂SiO₄ (C₂S) qui représente 10 à 30% du clinker,
 - d'alumine tri calcique Ca₃Al₂O₆ (C₃A) qui représente 2 à 15% du clinker,
 - d'aluminoferrite tétra calcique Ca₄AlFeO₅(C₄AF) qui représente 5 à 15% du clinker. Le grain de ciment, obtenu par broyage du clinker, est en fait un matériau composite constitué de silicates agglomérés et d'aluminates placés en interstitiels
- Figure 1-2.

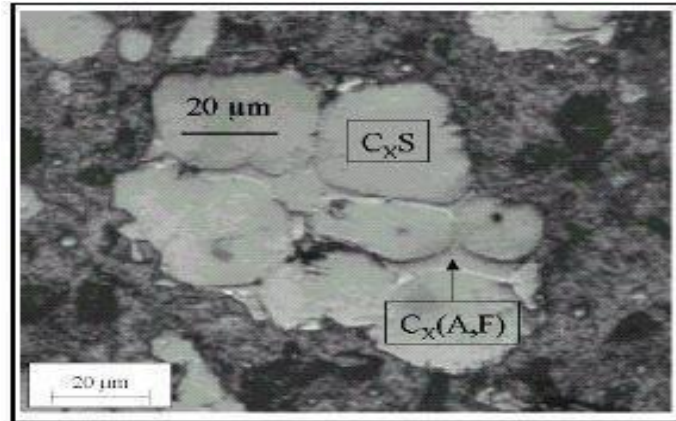


Figure 1-2 : Une section polie de mortier au microscope optique (x500). (CXS) : les silicates et (CX (A, F)) : les aluminates [13]

1.3.3.2. L'eau de gâchage

Le rôle de l'eau est d'abord d'hydrater le ciment pour donner un matériau cohésif. Elle sert aussi de lubrifiant lors de gâchage des constituants. Ainsi ajuste-t-on sa quantité afin d'obtenir une pâte homogène et facilement « ouvrable » [14].

De par ce rôle de lubrifiant, l'eau se trouve généralement en excès vis-à-vis de la réaction d'hydratation : On utilise couramment des quantités d'eau dans le voisinage de 0.5 en rapport massique (E/C), alors que l'hydratation complète ne nécessiterait qu'un E/C d'environ 0,35 [15]. Ce rapport prend en compte : les proportions stœchiométriques des réactions d'hydratations, qui indiquent que la proportion massique d'eau liées aux hydrates correspond environ à 20% de la masse initial de ciment, et la quantité d'eau nécessaire pour remplir l'espace interfeuillet des hydrates, soit environ 15% d'eau libre, sans laquelle la réaction d'hydratation est incomplète.

1.3.3.3. Le granulat

Le granulat qui entre dans la composition du mortier c'est le sable. Le sable est un élément naturel provenant du quartz et du silex. Le sable est le granulat le plus utilisé dans la confection du mortier.

1.3.3.4. Classification des granulats

On appelle granulat un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- des mortiers, des bétons,

GENERALITES

- des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées,
- des assises et des ballasts de voies ferrées.

Les granulats sont appelés fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions (Figure 1-3).

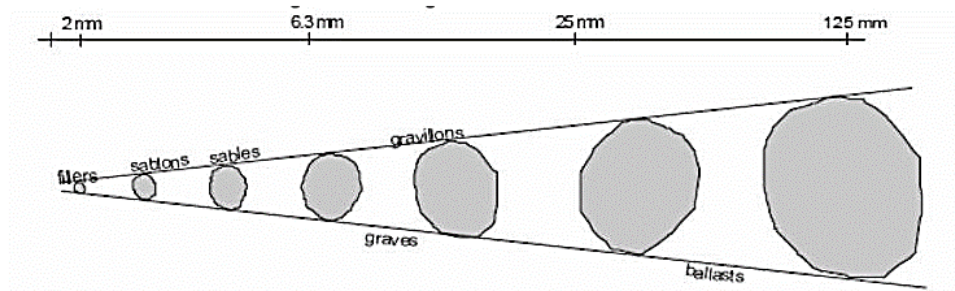


Figure 1-3 : Schéma de Classification des granulats en fonctions de leurs dimensions

Le Tableau 1-2 donne la classification des granulats en fonction de leurs dimensions conformément à la norme P 18-304 [16].

Tableau 1-2 : Classification des granulats en fonctions de leurs dimensions

Appellation		Ouvertures limites des tamis normalisés(mm)
Pierres concassés et cailloux	Gros	50
	Moyens	31,5
	Petits	20
Gravillons	Gros	12,5
	Moyens	8
	Petits	5
Sable	Gros	1,25
	Moyens	0,31
	Petits	0,08
Farines, fillers et fins		< 0,08

1.3.3.4.1. Les différents types de sables [17]

Il existe généralement deux types de sable dans la construction. On distingue :

- **Les sables naturels**

Généralement, il y a 4 sortes de sable naturel. Le premier est le sable issu des rivières souvent appelés sable des rivières ou sables alluvionnaires. Ils ont une forme arrondie et dure, due principalement à l'action de l'eau sur les rochers. Le second type est appelé sable de carrière. Cet élément est extrait des sablonnières et a une forme angulaire. La source de leur existence peut être définie par deux possibilités : ils sont extraits des roches de carrière, soit retirés du sol en masse. Le sable de mer représente le troisième type de sable naturel. Il provient des roches sous-marines et chargé en sel. Utiliser ce type de sable nécessite un rinçage minutieux. Enfin, le sable fin aussi nommé sable de feuilles, qui comporte de nombreux petits vides d'air.

Ces derniers sont associés avec d'autres sables lors de son utilisation. Ils sont issus des reliefs montagneux.

- **Les sables artificiels**

Ils sont fabriqués après concassage de blocs de laitier dans les hauts-fourneaux. Le laitier granulé subi un refroidissement rapide et puis broyé. On obtient par la suite du sable.

La notion de sable recyclé comme type de sable (sable issu du recyclage de blocs de béton et de gravats collectés sur nos chantiers de démolition) est de plus en plus utilisée dans la construction dans les pays développés et tend.

Dans la construction, le sable que ce soit naturel ou artificiel est utilisé dans la fabrication de béton et de mortier. Son rôle est d'augmenter l'ouvrabilité de ces derniers en les rendant plus dense. Cependant, les sables angulaires rendent le béton plus résistant. Par contre, les sables ronds sont malléables.

1.3.3.4.2. Les caractéristiques des sables [10]

- **La forme**

Les sables naturels provenant de la désintégration ou de l'abrasion naturelle du roc possèdent des grains ronds et demandent moins d'eau de mouillage.

Les sables de concassage issus du broyage des roches dures possèdent des grains vifs et donnent un portier moins compact et moins plastique que celui donné par les sables naturels.

- **La propreté**

La propreté d'un sable se détermine par la mesure de l'équivalent de sable (ES). Un sable parfaitement propre possède un ES égal à 100. Un sable pour béton ou mortier doit avoir un ES supérieur à 70.

- **La dureté**

La dureté des grains de sable est un facteur important pour l'obtention d'un béton ou mortier convenable. De ce point de vue les sables siliceux (quartz, quartzites) présentent une bonne résistance à l'abrasion et donc une meilleure dureté.

1.4. Généralités sur le plastique

Le plastique représente beaucoup de déchets. En effet, 91 % du plastique produit n'est pas recyclé. Si certains sont brûlés (et de ce fait, très polluants à cause du CO² qu'ils dégagent), d'autres sont enfouis sous terre. Ils mettront entre 100 et 1000 ans à se dégrader, et pollueront les eaux et les terres[18]. Le polyéthylène téréphtalate (PET) fait partie des plastiques les plus utilisés au quotidien.

Le polytéréphtalate d'éthylène [19] plus connu sous le nom anglais de polyéthylène téréphtalate (parfois francisé de manière impropre en « polyéthylène téréphtalate ») ou PET, que l'on trouve également avec l'abréviation PETE, est un polymère de type polyester saturé (Figure 1-4).

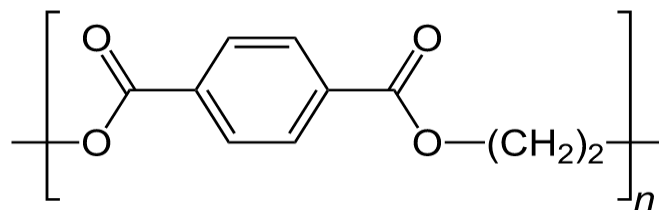


Figure 1-4 : Structure du polyéthylène téréphtalate








GENERALITES

Ce polymère est obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalique avec l'éthylène glycol. Le plastique PET fait partir de la grande famille des thermoplastiques.

Une matière thermoplastique est une matière ayant la propriété de se ramollir lorsqu'elle est chauffée suffisamment, mais qui se refroidissant redevient dure [20].

L'industrie a mis en place un système à 7 codes d'identification des plastiques qui permet généralement de les identifier. Le Tableau 1-3 présente la classification des sept (7) grandes familles de plastique.

Tableau 1-3 : Classification des plastiques

Code	Nom
	polyéthylène téréphtalate
	Polyéthylène Haute Densité
	Polychlorure de vinyle
	Polyéthylène à basse densité
	Polypropylène
	Polystyrène
	Autres thermoplastiques différents des 6 premiers plastiques : Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS), Polycarbonate (PC)...

1.4.1. Impact des déchets plastiques sur l'homme et l'environnement

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie. La quantité de plastiques consommés annuellement s'est développée considérablement. La légèreté,

la résistance, la conception facile, la durabilité et son coût bas sont les facteurs derrière une telle croissance phénoménale de leurs utilisations.

La plupart des types de plastiques ne sont pas biodégradables et sont chimiquement non réactifs dans l'environnement. Certains types de plastiques tels que le polychlorure de vinyle (PVC) et le polycarbonate (PC) peuvent libérer lentement des composés toxiques dans l'air.

La biodégradation des déchets peut prendre des années à des milliers d'années. Cela entraîne l'accumulation de déchets plastiques et provoque des graves problèmes environnementaux dus à leur mise en décharge et leur enfouissement illégal ou leur incinération.

Par conséquent, les déchets plastiques sont considérés comme un problème environnemental sérieux universellement. La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

Le plus grand composant de ces déchets plastiques est le polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17,3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18,5% de polypropylène (PP), 12,3% du polystyrène (PS), 10,7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8,5% polyéthylène téréphtalate (PET) et 9,7% d'autres types de déchets [21].

Actuellement, les produits polymères sont largement utilisés dans presque tous les domaines, en particulier dans les domaines de l'emballage, de l'automobile, de l'électricité, de la construction, de l'électronique, l'agriculture et d'autres industries. Subramanian [22] a signalé que les plastiques représentent un faible taux de la quantité des déchets mais qui est très significative.

Il a été démontré depuis que les produits alimentaires contenus dans des emballages en PET peuvent être contaminés par des perturbateurs endocriniens de type phtalate ou antimoine. Le dégagement de phtalate pourrait être dû aux sources utilisées dans le recyclage de PET et pourrait être plus élevé dans le cas des sodas en raison de leur PH bas. Le dégagement d'antimoine de bouteilles en PET, trouvé dans 132 marques de bouteilles d'eau provenant de 28 pays, pourraient être lié à la température de conservation, comme dans le cas d'une bouteille restée dans une voiture exposée au soleil.

1.4.2. La problématique des déchets plastiques au Togo

1.4.2.1. Le système de gestion des déchets solides ménagers au Togo

Au Togo, chaque année, 350 000 tonnes de déchets ménagers sont produites uniquement dans la capitale, Lomé, dont 10% à peine sont valorisés [23]. Les prestations de services privés de collecte des déchets ménagers restent à améliorer car elles couvrent moins de la moitié des besoins. A cela s'ajoute, la mauvaise gestion des déchets notamment par les populations civiles en manque de moyens financiers et même par les collecteurs primaires. Ceux-ci peuvent déverser les déchets en des endroits inappropriés à cause des raisons suivantes :

- panne des engins de collecte ;
- surcharge du point central de collecte ;
- ou simplement par mauvaise foi.

Cela entraîne des conséquences non seulement néfastes pour la santé publique mais aussi pour l'environnement et le développement économique des communautés. Concernant les déchets plastiques, le Décret N°2011-003/PR du 5 janvier 2011 [24] portant fixation des modalités de gestion des sachets et emballages plastiques énonce l'interdiction de la production, de l'importation, de la distribution, de la commercialisation, de l'usage, de la collecte et du recyclage des sachets et emballages plastiques et autorise la production, la distribution et la commercialisation des sachets et emballages plastiques biodégradables.

Ce décret vise essentiellement à prévenir et à réduire le volume des déchets plastiques et leur nocivité. Il veut valoriser les déchets plastiques par leur recyclage, et promouvoir l'utilisation progressive des sachets et emballages biodégradables. La gestion des déchets solides comprend leur collecte, le traitement et le recyclage.

1.4.2.2. Collecte

Dans la commune de Lomé, la mairie était en charge du service de collecte des déchets. Cette tâche a ensuite été confiée à une entreprise privée, la Société Togolaise d'Enlèvement des Ordures Ménagères et d'Assainissement, SOTOEMA. Mais suite à des bilans d'activité déficitaires, l'entreprise ne pouvait plus honorer ses engagements et le contrat a été rompu.

Depuis, des sociétés privées ont pris le relais dans les quartiers. Certaines se chargent de la pré-collecte en collectant et en déplaçant les déchets des ménages vers les points de décharge intermédiaires tandis que d'autres les acheminent de ces points vers les décharges principales ou centres de traitement. Ce qui explique que, à l'heure actuelle, le secteur n'est pas contrôlé par les autorités communales.

Les tarifs des prestations sont librement fixés. Les ménages se voient proposer un tarif mensuel variant de 1000 à 5000 FCFA en moyenne (en fonction de la quantité collectée et/ou du quartier de résidence). Tous ne peuvent pas souscrire au service de collecte de déchets à ce coût. Ce qui aboutit à des décharges sauvages et anarchiques dans les quartiers ou encore à des feux en plein air pour brûler les déchets.

Les équipements de protection de ces travailleurs ne sont pas au complet, leurs véhicules tombent souvent en pannes et sont mal entretenus, les déchets, dans certains cas n'arrivent pas à destination et sont juste déversés au milieu des zones d'habitation. Un autre élément qui peut expliquer ce travail inachevé réalisé par les sociétés de collecte des déchets est le débordement de déchets au niveau des points de collecte. C'est-à-dire, que ces déchets ne sont pas enlevés aussi fréquemment que nécessaires par les sociétés en charge.

1.4.2.3. Traitement : le centre d'enfouissement d'Aképé

Le centre d'enfouissement technique (CET) d'Aképé (préfecture de l'Avé, 25 km au Nord-Ouest de Lomé) a été créé en 2018 pour permettre le déchargement des déchets solides ménagers à la suite de la saturation de la décharge d'Agoe Nyive. Il est destiné à accueillir les ordures ménagères de la capitale et de sa banlieue. Le site s'étend sur près de 200 hectares.

Depuis 2018, il y a été traité un million de tonnes de déchets solides ménagers à raison de 20 000 tonnes de déchets mensuellement [25]. Un dispositif de pré-collecte, collecte, et d'acheminement a été mis en place.

Ce centre d'enfouissement a permis la fermeture de plusieurs décharges insalubres à Lomé. La Figure 1-5 illustre le site d'enfouissement technique d'Aképé.



Figure 1-5 : Centre d'enfouissement technique d'Aképé

1.4.2.4. Le recyclage

Plusieurs entreprises, associations pratiquent le recyclage des déchets au Togo souvent avec une commercialisation des produits et une sensibilisation des populations au tri de déchets, au maintien de la salubrité publique, à la protection de l'environnement.

Les produits sont le compost, le biogaz pour les matières organiques. Les produits électroniques sont également récupérés par des entrepreneurs togolais pour la réparation et la réutilisation. Les produits plastiques, pour leur part, donnent lieu à l'élaboration de

produits de tous genres comme les accessoires, les produits vestimentaires et de décoration, mobilier mais aussi comme matériaux de construction.

1.4.3. L'état des lieux sur les déchets plastiques au Togo

Les objets plastiques sont utilisés partout et dans de nombreuses situations de la vie quotidienne. Les sachets et contenants plastiques semblent répondre mieux aux besoins des uns et des autres. Leur utilisation expose, cependant l'environnement à de la pollution immédiate avec des conséquences sur le long terme.

1.4.3.1. Production

L'industrie du plastique s'est développée au Togo avec quelques entreprises spécialisées chacune dans un type particulier de produit. Plus de 25 sociétés produisent des objets plastiques au Togo. Mais l'importation d'objets plastiques est encore majoritaire.

1.4.3.2. Impact sur l'environnement

On peut remarquer leur impact sur l'environnement visuellement. Ce sont les sachets qui sont le plus utilisés lors des achats. Ils se retrouvent en fin de vie d'utilisation quelques heures voire quelques minutes après. La plupart des utilisateurs s'en débarrassent en les abandonnant à même le sol.

Ce qui explique la quantité importante de sachets sur les sols et dans les décharges.

Les bouteilles en plastiques, faits de PET, font partie du lot de déchets plastiques mal gérés.

Mais en plus de polluer directement l'environnement, ils mettent beaucoup de temps à se dégrader. En effet, dans l'eau, les bouteilles en PET mettraient 450 années à se dégrader. Leur élimination constituant pour les autorités locales un véritable enjeu et des dépenses importantes [26].

Après collecte, les objets en plastiques ne devraient pas être laissés à même le sol car ils le polluent non seulement visuellement mais aussi en empêchant les infiltrations d'eau, en constituant un danger pour les animaux. Ils peuvent également obstruer les ouvrages d'assainissement les rendant non opérationnels.

De nos jours, les questions environnementales sont au cœur des objectifs de développement durable du Togo et le plastique pose problème depuis l'étape de la fabrication jusqu'à celle de son évacuation en passant par le mode d'utilisation.

1.4.3.3. Mode d'utilisation

Il est recommandé de réutiliser les objets du quotidien qui peuvent l'être, c'est-à-dire pratiquer le recyclage. Non seulement, cela permet d'alléger les déchets collectés mais aussi de ne pas passer à l'utilisation d'un nouvel objet qui aurait nécessité une pollution certaine de l'environnement. Dans ce contexte, l'usage qui est fait des plastiques est contraire au principe du recyclage. Les utilisateurs se débarrassent, parfois en pleine rue, des sachets plastiques juste après utilisation.

1.4.3.4. Systèmes d'évacuation des déchets plastiques :

Il existe un centre d'enfouissement au Togo. Il est déconseillé d'enfouir soi-même et sans expertise technique des objets plastiques pour éviter de surcharger les sols et de contaminer la nappe phréatique si elle est proche.

Mais la pire des pratiques serait de brûler des objets plastiques [27] car les gaz émis sont potentiellement cancérigènes et agressifs envers l'environnement [28]. C'est pourquoi il est difficile d'assurer la fin de cycle d'utilisation des objets plastiques qui sont pourtant, très pratiques dans la vie quotidienne. La Figure 1-6 illustre Immondices sorties des canalisations.



Figure 1-6 : Immondices sorties des canalisations qui empêchent l'écoulement des eaux/ ANASAP 2022 [29]

1.4.3.5. Les sachets biodégradables

Depuis 2011, la constitution togolaise a adopté le décret N° 2011-03 portant gestion des déchets et emballages plastiques. Ce décret avait pour but d'encourager à l'utilisation des sachets biodégradables en remplacement de ceux non biodégradables [30]. Cependant, les sachets non biodégradables restent toujours les plus utilisés et loin devant ceux biodégradables.

1.4.3.6. Le recyclage

Dans le monde, 91% des déchets plastiques ne sont pas recyclés [31]. Le domaine du recyclage des plastiques semble aujourd'hui florissant au Togo. De nombreux entrepreneurs, organismes indépendants et programmes nationaux s'y consacrent.

De nombreux entrepreneurs ont entrepris de valoriser les déchets produits sur le territoire togolais. Les Figure 1-7 et Figure 1-8 montrent quelques entreprises avec leurs produits recyclés.



Figure 1-7 : Illustration de l'Entreprise AGR et ses produits



Figure 1-8 : Illustration de l'Entreprise GIP et ses produits

1.5. Conclusion

Ce chapitre a eu pour objectif de faire une généralité sur les matériaux composites en générale, et leur application avec l'utilisation des déchets plastiques. Ensuite il a été question de faire un état des lieux sur la gestion des déchets plastiques. Il en ressort que les efforts qui sont faits en matière de recyclage et de réutilisation des déchets plastiques ne résorbe qu'une infirme partie du problème environnemental engendré par ces derniers. Il convient alors de rechercher d'autres alternatives afin de contenir efficacement la pression environnementale engendré par l'utilisation des déchets plastiques. Ainsi le chapitre suivant aura pour but de montrer les efforts qui ont été réalisé dans le cadre de la revalorisation des déchets plastiques pour le développement de nouveaux matériaux.

**SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE**

2. Synthèse bibliographique

2.1. Introduction

La consommation croissante du plastique et leur caractère non biodégradable créent sur l'environnement une pression de plus en plus grandissante. Il devient alors urgent de trouver des moyens pour absorber les déchets plastiques afin de pallier les problèmes environnementaux engendrés par l'usage du plastique.

Plusieurs études antérieures ont montré la possibilité d'utiliser des déchets plastiques dans le mortier et le béton tels que : les bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) [34]–[36], le latex [37], le polypropylène (PP) [38], les tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC) [39], le polyéthylène haute densité (HDPE) [40], [41], les plastiques thermodurcissables [42], déchets plastiques broyés et recyclés [43], mousse de polystyrène expansé (EPS) [44], plastique renforcé de verre (GRP) [45] et polycarbonate comme agrégat, charge ou fibre [46].

Ce chapitre aura pour objectif de présenter quelques travaux antérieurs liés à cette étude.

2.2. Usage des polymères dans la construction

Les déchets plastiques notamment le PET fait partie des matériaux les plus utilisés dans le domaine du flaconnage alimentaire. Au terme de leur utilisation, les bouteilles en plastique (PET) deviennent un facteur de dégradation de l'environnement. Il devient alors urgent de trouver d'autres moyens de gérer le flux de déchets plastiques provenant des ménages.

Plusieurs chercheurs [47]–[53] ont étudié la possibilité d'utiliser des agrégats légers à base de déchets polymères comme matériau permettant de réduire le poids unitaire, le coût, la fragilité et les propriétés d'isolation thermique des matériaux de construction tels que le béton ou les mortiers [54].

Soroushian et al. [55] ont montré que les systèmes de renforcement discrets dérivés de flux de déchets de plastique mélangés avec du papier peuvent, à des dosages appropriés, produire des effets de renforcement positifs dans le béton. Ils ont mis en évidence des fibres gaufrées, rectilignes et ondulées. Il en résulte que la forme de la fibre de PET à une influence sur le comportement mécanique du composite obtenu.

Au cours de leur travaux, certains auteurs [56], [57] ont utilisé des résines de polymères insaturés produites à partir du PET recyclé qui est principalement récupéré des bouteilles de boisson, pour la production des composites de Béton-Polymère. La résine liquide est mélangée aux agrégats inorganiques et on la laisse durcir. Des initiateurs et des promoteurs sont ajoutés à la résine juste avant son mélange avec les agrégats inorganiques pour initier la réaction de polymérisation. A la suite de leurs travaux, ils ont conclu que les résines de polymères insaturés basées sur du PET recyclé plutôt que sur des matériaux vierges peuvent être utilisées pour produire des Béton-Polymère et des Mortiers-Polymères de bonne qualité à moindre coût. Ils ont obtenu des résultats intéressants sur le comportement mécanique et la durabilité du composite obtenu. Par exemple l'on note qu'un rapport agrégat/résine élevé est souhaitable non seulement pour des raisons d'économie, mais aussi parce qu'il améliore les propriétés du Béton-Polymère en augmentant le module, en diminuant l'expansion thermique et le retrait, et en fournissant une meilleure résistance à la chaleur et aux flammes. Ainsi la réutilisation du PET recyclé dans les composites de Béton-Polymère, aiderait à atténuer le phénomène de pollution de l'environnement et à économiser de l'énergie [57], [58].

Asokan et al. [59] ont montré que l'ajout des déchets plastiques renforcé avec des fibres de verre (GRP) détériore les performances mécaniques du composite obtenu ; les proportions de GRP étant 5%, 15%, 30% et 50%. Cependant avec une cure de longue durée, l'on parviendrait à améliorer les performances mécaniques du composite obtenu. Les résultats de cette étude ont montré que la température aurait une influence positive sur le nouveau matériau compte tenu de la présence de polymère les déchets de GRP. Il en résulte qu'une cure de longue durée (180 jours) à l'étuve pour une substitution de 5% de GRP permettrait d'améliorer la performance mécanique du composite obtenu jusqu'à atteindre une valeur dépassant celle du spécimen de contrôle. Ainsi le composite à 5% de GRP avec une cure à l'étuve, aurait une hausse de 1,99% par rapport au spécimen témoin avec cure sous l'eau et 20,33% par rapport au spécimen témoin avec cure à l'étuve. La température étant un facteur défavorable pour le spécimen de contrôle. Sur le plan technique, cette étude a prouvé que l'utilisation de la poudre de déchets de GRP dans les composites de béton est bénéfique pour l'amélioration de la liaison et de l'adhésion du béton en raison de la présence de composés polymères.

Kim et al. [4] ont étudié l'effet des conditions de durcissement et de la taille du matériau granulaire sur les propriétés mécaniques d'un mortier avec des déchets plastiques fondus tels que le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polyéthylène basse densité (PEBD) comme seul liant. Le mortier avec liant de déchets plastiques fondus (MPB) a été utilisé pour la fabrication des pavés autobloquants destinés à être utilisés sur des zones non circulées dans des projets de construction résidentiels. Cette étude a mis en évidence deux conditions de séchage à savoir le séchage à l'air à température ambiante et le séchage à l'eau. Les résultats ont montré que la taille du matériau granulaire et les conditions de durcissement ont un impact significatif sur les résistances mécaniques du matériau obtenu. En outre les pavés autobloquants au MPB présentent de meilleures performances mécaniques ainsi qu'un coût avantageux par rapport aux pavés autobloquants à base de ciment Portland disponibles sur le marché.

En 2006, un chercheur a effectué ses travaux sur les composites de mortier de PET et a trouvé que l'utilisation du polymère en substitution au ciment a permis aussi d'améliorer les propriétés mécaniques de nos mortiers. Les performances mécaniques en particulier les résistances à la flexion [60, p. 144].

Un autre chercheur a fait dans cette même lancée mais a utilisé comme polymère de substitution le latex et a obtenu des résultats significatifs. Les corps d'essai ont été préparés avec différents contenus en latex tout en remplaçant partiellement le ciment par le latex polyacrylique styrol (SPA) où le taux de l'incorporation de SPA allant de 0% à 20% en poids du ciment [61, p. 26].

Les travaux précédemment cités montrent qu'on peut palier les problèmes de résistances en traction du mortier ordinaire par substitution du ciment par des granulats de polymères.

D'autres chercheurs [38], [62]–[64] ont étudiés les effets d'ajout des bouteilles du PET récupérés, réutilisées en tant qu'agrégats légers dans le béton. Le premier [38] a utilisé des proportions de 10 %, 15%, 20% et 30 % de PET tandis que le second [62] a utilisé des proportions de 25%, 50% et 75% de PET en substitution avec le ciment. Des résultats positifs sont prévus concernant les propriétés mécaniques du béton léger conçu. Les résultats témoignent d'une amélioration de l'ouvrabilité du nouveau matériau

capable de réduire la teneur en eau de ce dernier. Par contre Marzouk et al. [64] ont utilisé une substitution des pourcentages volumétriques de sable allant de 2% à 100% par des agrégats de PET recyclé de différentes tailles. Les résultats témoignent d'une performance mécanique acceptable et mettent en exergue une réduction importante (de l'ordre de 50%) de la conductivité thermique du nouveau matériau par rapport au béton témoin pour une substitution de 50%. Ces différentes études consistent en une solution de plus contre le problème des déchets solides à base plastiques.

Les PET sont également utilisés comme fibre de renforcement de la matrice cimentaire d'un mortier et du béton à base de déchets plastiques [54], [65]. Dans leurs travaux, Guendouz et al. [54] ont utilisé quatre pourcentages différents de fibres de PET (0,5%, 1%, 1,5%, 2%) en fonction du volume du mélange comme renforcement d'un mortier composite à base de Polyéthylène Base Densité (PEBD) formulé en substituant fractions volumiques de sable (10%, 20%, 30% et 40%). Ces expérimentations ont conduit à des résultats satisfaisants tel que la réduction de la densité apparente, la diminution de la teneur en air, une augmentation de la résistance à la compression et à la flexion, en particulier pour 1,5% et 20% de remplacement. Par contre, Benimam et al. [65] ont procédé d'une façon différente. Trois familles de béton à base de déchets plastiques (respectivement grains de PEBD, fibres ondulées de PET et fibres rectilignes de PET) ont été étudiés. Les pourcentages de substitution du gravier par rapport au grains plastiques sont de (5%, 10%, 15% et 20%) et ceux du ciment par rapport aux fibres sont de (0,5%, 1%, 1,5%, 2%). D'après les résultats expérimentaux on peut conclure que le renforcement de la matrice cimentaire avec des fibres plastiques ondulées montrent une nette amélioration de la résistance à la traction du béton ainsi qu'une diminution remarquable de sa capacité d'absorption de l'eau lorsqu'on utilise des grains plastiques.

L'utilisation des polymères dans l'industrie du bâtiment se développe solidement. Cette action synergique des polymères, sur le mortier et béton offre de grandes occasions à l'amélioration des différentes propriétés et un large éventail de nouvelles applications innovatrices. La société et l'environnement exigent des modalités de correction sans interruption.

Les polymères ne sont plus des matériaux de construction spéciaux qui remplacent le minéral classique ou les matériaux de construction organiques. Ils sont devenus un essentiel dans la production soutenable des matériaux composites de construction [66]. Ils permettront d'aller plus loin dans le développement de nouvelles et durables constructions, et des techniques de restauration adéquates.

Benosman et al. [74] ont évalué l'influence de l'ajout du polymère PET sur les caractéristiques du mortier vis-à-vis des milieux agressifs tels que les acides. Le béton de ciment portland est durable dans la plupart des milieux naturels ; cependant, il est occasionnellement exposé à des substances qui le détériorent. La plupart des solutions acides le rongent selon le type d'acide et de sa concentration.

Les premiers résultats obtenus ont mis en évidence l'effet bénéfique de l'ajout du PET comme substituant au ciment CPJ-CEM II/A sur la durabilité. Le ciment a été substitué avec quatre pourcentages (0%, 2,5%, 5% et 7,5%) du PET en poids.

Au Togo, dans le cadre de la valorisation des déchets plastiques, AMEY et al. [101] ont recherché une formulation optimale de mortier à base de sable silteux du Togo et de liant sachets plastiques fondus du type « Voltic » à des dosages variant de 7% à 28%.

Les résultats ont montré que la teneur en liant comprises entre 16 et 22 % permettent d'avoir des résistances optimales à la compression (~10,3 MPa), à la traction par flexion (~5,3 MPa) et par fendage (~1,4 MPa) ; aussi la résistance au cisaillement par fendage est de 2,2 MPa au taux de 16%.

Les modules d'élasticité longitudinale (E_c) en compression et transversale (G_d) au fendage sont optima (~3800 MPa et ~60 MPa) et celui en flexion (E_f) est d'environ 700 MPa au taux de liant de 22%. Le comportement à l'eau a montré que le matériau devient étanche à partir du taux de liant de 18%. Il peut donc être utilisé dans la production des pavés, des revêtements et des produits d'étanchéité des toitures.

2.3. Etude de la substitution d'agrégats naturels par des agrégats légers dans les composites de PET

Les substitutions partielles ou totales des granulats naturels par des granulats plastiques ont été signalées dans différentes références. Le Tableau 2-1 met en évidence les types

et les quantités de substitution de granulats naturels par les agrégats plastiques dans la préparation de mortier et béton.

Tableau 2-1 : Propriétés de certains types des déchets plastiques utilisés comme agrégat

Références	Type de granulats	Taille des particules	Origine de granulats	Densité	Composite	Type et taux de substitution
Benazzouk et al. [67]	Caoutchouc	≤ 1 mm	Pneus usagers	0,180	Mortier	Agrégat fin, 25%, 50% 75% et 100% du volume
Corinaldesi et al. [68]	Caoutchouc	≤ 8 mm	Semelles en caoutchouc	0,58	Mortier	Agrégat, 10% et 30% du volume
Kou et al. [39]	PVC	≤ 5 mm	Plastique	1,4	Béton	Agrégat, 5%, 15%, 30% et 45% du volume
Senhadji et al. [69]	PVC	$3\text{mm} \leq d \leq 8\text{mm}$	Tuyaux de PVC	1,44	Béton	Agrégat, 30%, 50%, et 70% du volume
Choi et al. [70]	WPLA	≤ 0.15 mm	Bouteilles en PET	1,39	Mortier/Béton	Agrégat, 25%, 50%, et 75% du volume
Albano et al. [71]	PET	$0.26\text{cm} \leq d \leq 1.14\text{cm}$	Bouteilles en PET	-	Béton	Agrégat fin, 10% et 20% du volume
Saikia et al. [72]	PET	$4\text{mm} \leq d \leq 11,2\text{mm}$	Bouteilles en PET	1,34	Béton	Agrégat, 5%, 10%, et 15% du volume
Akçaözoğlu et al. [73]	PET	≤ 4 mm	Bouteilles en PET	1,27	Béton	Agrégat, 20% -100% du volume
Benosman et al. [74]	PET	≤ 1 mm	Bouteilles en PET	1,35	Mortier	Agrégat, 2.5%, 5.0% et 7.5%
Babu et al. [75]	EPS	$4,75\text{mm} \leq d \leq 6,3\text{mm}$	Polystyrène expansé	0,029	Béton	Agrégat grossier, 16.3 –66.5% du volume
Herki et al. [76]	EPS	≤ 8 mm	Polystyrène expansé	0,8	Béton	Agrégat fin, 60% et 100% du volume

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Références	Type de granulats	Taille des particules	Origine de granulats	Densité	Composite	Type et taux de substitution
Ismail et al. [77]	PEHD	$\leq 2,36$ mm	PEHD	1,04	Béton	Agrégat fin 2%, 4% et 6% du volume
Kumar et al. [78]	PEHD	≤ 3.15 mm	Tuyaux (PEHD)	0,922	Mortier	Agrégat, 15%, 30%, 45% et 60% du volume
Matos et al. [79]	Liège	-	Bouchons de bouteille.	0,079	Béton	1.06 - 8.57% du volume de ciment
Senthil Kumar et al. [80]	E-plastic	≤ 12.5 mm	Déchets des pièces électroniques	0,595	Béton	Agrégat, 10%, 20%, 30%, 40% et 50% du volume
Usahanunth et al. [81]	Bakélite	≤ 5 mm	Déchets de bakélite	1,30-1,40	Mortier	Agrégat, 20%, 40%, 60%, 80% et 100% du volume
Asokan et al. [59]	GRP	-	Plastique et verre	-	Mortier/béton	Agrégat, 5%, 15%, 30% et 50% du volume
Kim et al. [82]	PET	-	Bouteilles en PET	-	Mortier	Agrégat, 0,1%, 0,25%, 0,50%, 0,75% et 1% du volume

2.4. Propriétés des composites à base des agrégats plastiques

Les propriétés des déchets plastiques, pour être utilisé comme un agrégat dans les préparations des bétons et mortiers telles que la distribution granulométrique, la densité apparente, et l'absorption de l'eau ont été généralement évaluée dans la majorité des études publiées. L'évaluation de la distribution granulométrique des agrégats en plastique a été faite en général par des méthodes classiques de tamisage [39], [77], [83].

Toutefois, dans certaines études, des approches légèrement différentes ont été adoptées [71], [84]. A partir des expériences des auteurs [72], on peut affirmer que les procédures standards utilisées pour évaluer les propriétés telles que la densité absolue et l'absorption d'eau des fines et grossières granulats naturels peuvent être utilisés pour évaluer les propriétés des agrégats en plastique avec des légères modifications. D'autre part, d'autres propriétés telles que la résistance à la traction et de compression, le module d'élasticité des granulats en plastique, la température de décomposition, les températures de fusion et de dégradation initiales, la capacité calorifique et la conductivité thermique ont également été signalées.

La maniabilité, la densité du béton/mortier à l'état frais, les propriétés des différentes résistances du béton/mortier à l'état durci sont évalués.

2.4.1. Retrait

Kim et al. [82] ont travaillé sur l'influence qu'aurait la géométrie des fibres de renforcement en PET recyclé sur la fissuration due au retrait plastique des composites à base de ciment. Trois géométries différentes de fibre ont été utilisé lors de cette étude (gaufrées, droites et serties). Des essais de fissuration par retrait plastique ont été réalisés pour les différentes géométries de fibres et fractions volumiques de fibres (0,1% ; 0,25% ; 0,50% ; 0,75% et 1%). Cette étude a supposé que toute la perte d'humidité résulte de l'évaporation des composites à base de ciment renforcés par les fibres de PET recyclés en raison du caractère hydrophobe de ce dernier. Les résultats montrent que la perte d'humidité par évaporation est assez rapide pendant les premières heures (6 ou 7 h) qui suivent la fabrication du composite, mais ralentit considérablement par la suite. On constate également que la proportion de fibre

affecte le contrôle de la fissuration par retrait plastique indépendamment de la géométrie de la fibre. En particulier, des proportions de fibre relativement faibles, jusqu'à 0,25 % en volume, avaient une capacité significative à contrôler la fissuration par retrait plastique, tandis que les proportions de fibre supérieures à 0,5 % avaient des caractéristiques presque identiques, quelle que soit la géométrie de la fibre. La géométrie des fibres crée une force de liaison mécanique et affecte ainsi le contrôle de la fissuration par retrait plastique à des proportions de fibres relativement faibles (en deça de 0,25 %). Ainsi les fibres de type gaufré, qui présentait une résistance de liaison mécanique supérieure, ont également conféré la meilleure résistance à la fissuration par retrait plastique.

2.4.2. Maniabilité et affaissement

La maniabilité désigne l'aptitude plus ou moins grande d'un béton ou d'un mortier en état frais, à remplir de façon homogène et sans défauts les vides des coffrages. Elle est en fonction d'une multitude de facteurs et donne lieu à des recettes spécifiques de formulations en fonction de l'ouvrage à construire avec l'emploi de granulats et d'adjuvants sévèrement dimensionnés et sélectionnés. Mais l'ajout d'autres mélanges, soit des minéraux ou des déchets affectent la maniabilité de béton.

La maniabilité du béton et de mortier contenant un agrégat de plastique a été étudiée de façon approfondie, quelques résultats trouvés dans diverses études sont représentés dans la Figure 2-1.

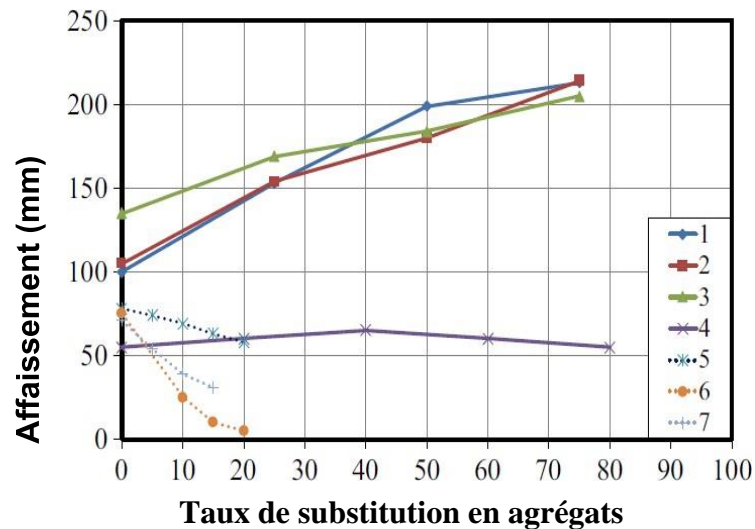


Figure 2-1 : La variation de l'affaissement du béton avec le niveau de la substitution des agrégats plastiques [108]

L'examen de la littérature laisse apparaître des points de vue différents sur l'effet des déchets légers sur la maniabilité. Dans la majorité des études précédentes, L'ajout de déchets légers affecte la quantité d'eau disponible dans le béton et, par conséquent, l'ouvrabilité de béton. Une valeur inférieure d'affaissement du béton frais a été observée lorsque le taux de substitution en matière plastique est plus important. Les raisons pour lesquelles l'abaissement de l'affaissement du béton contenant des agrégats en plastique sont les bords aiguisés et la granulométrie des granulats angulaires en plastique.

D'autre part, dans quelques études une augmentation de la valeur de l'affaissement due à l'incorporation des granulats en plastique est également observée [70], [71].

L'augmentation de l'affaissement de béton en raison de l'incorporation des agrégats plastiques est due à la présence d'une quantité importante de l'eau libre dans les mélanges contenant du plastique que dans le mélange de béton contenant des agrégats naturels, donc à la différence des granulats naturels, les agrégats en plastique ne peuvent pas absorber de l'eau lors du gâchage.

Batayneh et al. [85] ont rapporté que la matrice préparée par le remplacement de 20% d'agrégats fins par du plastique affecte la maniabilité jusqu'à 25%.

Ismail et Al-Hashmi [86] ont rapporté les effets de l'utilisation de déchets mixtes de fer et des plastiques dans le béton. Dans ce cas, des déchets plastiques granulaires ont été ajoutés dans le mélange de sable à 5% du poids. Le déchet en plastique granulaire utilisé dans le béton avait une large distribution, les dimensions avec des longueurs et des largeurs de 0,15 à 12 mm et de 0,15 à 4 mm, respectivement. L'ajout de 5% de déchets plastiques a diminué l'ouvrabilité de 25%, tandis que l'ajout de 30% de fer entraîne une augmentation de l'ouvrabilité de 50%.

Choi et al. [62] ont constaté que la valeur d'affaissement du béton augmente avec la croissance de la teneur de deux types d'agrégats de bouteilles traités de PET dans le béton. Selon ces auteurs, cette tendance est due à la forme sphérique de l'agrégat de PET ainsi que la texture de la surface glissante, ce qui diminue le contact interne entre la matrice et l'agrégat de PET et par conséquent augmente la valeur de l'affaissement.

Saikia et de Brito [72] ont trouvé deux types de comportement de la maniabilité dans les mélanges de béton contenant deux agrégats de forme différente de PET ; un agrégat de PET en forme granulé, sa surface de texture très lisse et deux fractions granulométriques différentes d'un agrégat de PET feuilletée ont été utilisés pour remplacer partiellement les classes grossières et fines des agrégats naturels. Tous les agrégats ont été obtenus à partir du même type de déchets plastiques du PET.

Rai et al. [87] ont signalé les effets de l'utilisation de déchets de plastique dans le béton. Dans cette étude, 5% à 15% des déchets de plastique ont remplacé le sable avec un module de finesse de 3,2. Les résultats ont indiqué que l'ouvrabilité a diminué jusqu'à 37% au fur et à mesure que la quantité des déchets augmente.

Senthil et al. [80] ont étudié les effets de l'ajout des déchets des pièces électroniques (E-plastique) sur la maniabilité du béton. Des E-plastiques ayant des proportions de 10, 20, 30, 40 et 50 % ont été utilisés. Ils ont montré que la maniabilité du béton a diminué jusqu'à un rapport d'aspect de 50% (Figure 2-2).

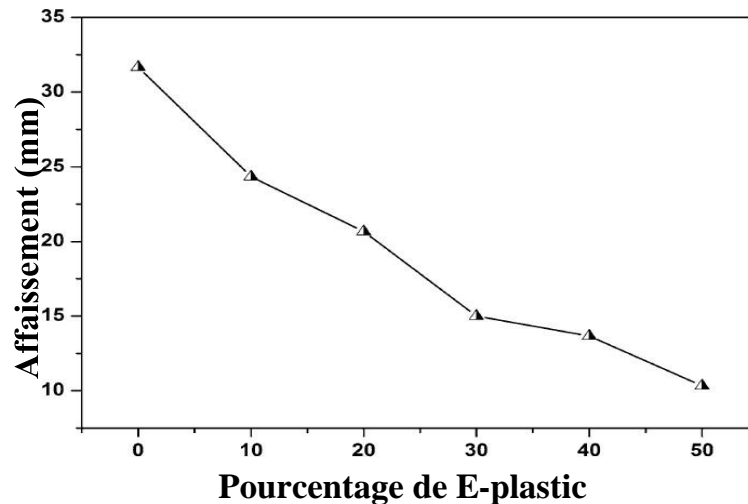


Figure 2-2 : Etalement du béton en fonction du pourcentage de E-plastic [80]

(1), (2), (3) : agrégats fins ;

(4) : agrégats grossiers ;

(5) : agrégats fins ;

(6) : agrégats fins ;

(7) : agrégats fins.

Guendouz et al. [54] ont rapporté que l'utilisation des déchets plastiques de type LDPE en remplacement partiel du sable contribue à augmenter l'ouvrabilité du béton de sable d'environ 40%. Selon eux, la présence de plus d'eau libre dans les mélanges contenant du plastique que dans d'autres contenant uniquement des agrégats naturels serait la cause. Ceci s'explique par le fait que contrairement aux agrégats naturels, les agrégats plastiques n'absorbent pas l'eau pendant le mélange. Ils ont également montré que l'ouvrabilité du béton de sable diminue jusqu'à 60% pour 2% de fibres plastiques PET. Plusieurs articles ont rapporté que l'introduction de n'importe quel type de fibres dans le composite, implique une réduction significative de l'ouvrabilité du béton [4].

2.4.3. La densité

Le plastique a une densité inférieure à celle des agrégats naturels et on s'attend donc à ce que leur incorporation dans les mélanges cimentaires conduit à une diminution de cette propriété. Les résultats montrent que l'incorporation de matières plastiques comme

agrégat diminue généralement la densité du béton/mortier résultant du fait de la légèreté de l'agrégat en plastique. Certains résultats sont présentés dans la Figure 2-3.

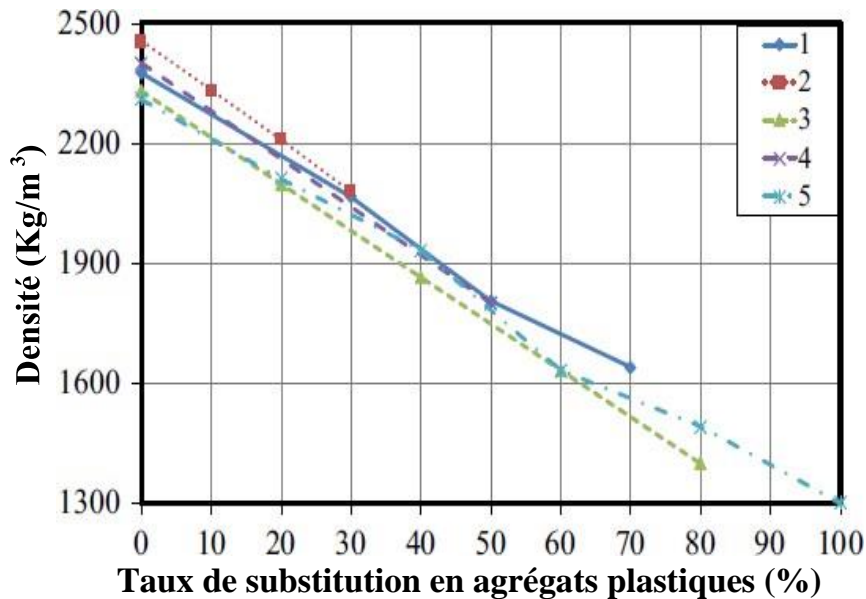


Figure 2-3 : L'influence de l'incorporation des matières plastiques comme agrégat sur la densité du béton/mortier [105]

Corinaldesi et al. [88] ont observé une diminution considérable de la densité des mortiers durcis avec de la poussière de plastique renforcé PET (GFRP) et de fibres de verre comme des agrégats substituants le sable naturel. L'incorporation de 62% de GFRP a entraîné une diminution de densité d'environ 50% (de 2,06 à 1,05 g / cm³). Les mêmes résultats ont été montrés par Hannawi et al. [46] sur la variation des densités de béton contenant des déchets de PET et des déchets de polycarbonate (PC) comme agrégats à l'état frais et durcie. Leurs résultats montraient qu'il y avait une diminution dans les densités à l'état frais et durcie au fur et à mesure que le contenu en agrégats plastiques augmente. La densité à l'état durcie a diminué, de 2173 kg/m³ pour le béton ordinaire à 1755 et 1643 kg/m³, respectivement, pour les mélanges contenant 50% d'agrégats en plastique PET et PC. Ainsi, Saikia et de Brito [72] ont observé une réduction de la densité du béton frais dès que le volume d'agrégats en PET incorporés augmente.

Fraj et al. [89] ont observé une réduction significative de la densité à l'état frais et à l'état durci à 28 jours du béton contenant des agrégats de déchets de mousse polyuréthane par rapport au béton conventionnel.

Coppola et al. [90] ont produit des mortiers à base des agrégats légers de PP et de PE. Ils ont observé que l'incorporation de 25% d'agrégats plastiques légers en remplacement du sable a entraîné une diminution de la densité de près de 20% (de 2143 à 2212 kg / m³ à 1756 à 1809 kg / m³). Senthil et al. [80] ont étudié la densité du béton contenant des agrégats de déchets en pièces électroniques (E-plastique). Les résultats représentés sur la Figure 2-4 montrent que la densité du béton contenant l'agrégat E- plastique par substitution en volume de 10%, 20%, 30%, 40% et 50 % de granulats naturel tend à diminué.

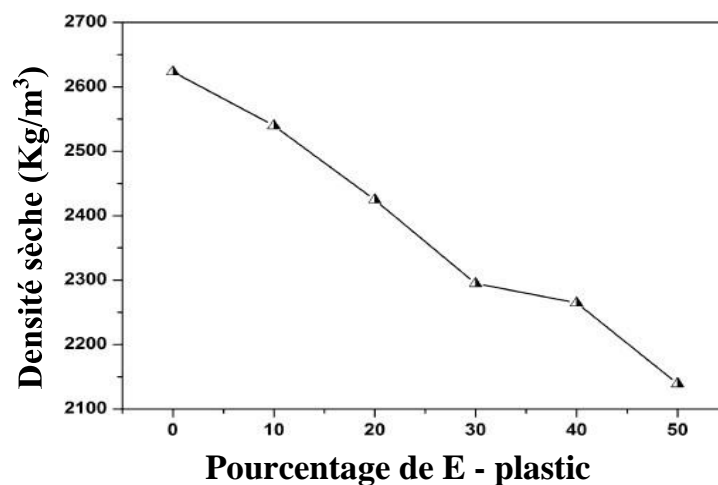


Figure 2-4 : La densité du béton en fonction du pourcentage d'E- plastique à 28 jours [80]

Kismi et al. [91] ont travaillé sur l'incorporation des déchets de mousse de polyuréthane rigide (PUR) et des déchets de polystyrène expansé (PSE) comme granulat dans les mortiers, ils ont également constaté une diminution de la densité de 45% et 11% des mélanges de mortier contenant 50% des agrégats en PSE et PUR, respectivement.

Guendouz et al. [54] ont étudié la possibilité d'utiliser des déchets des bouteilles plastiques en PET et des citernes (PEBD - polyéthylène à basse densité) dans le béton de sable sans aucune transformation sauf le broyage. Les résultats trouvés montrent que la substitution du sable par la poudre en plastique mène à des diminutions remarquables de la densité de tous les mélanges réalisés.

Asokan et al. [59] ont montré que l'ajout des déchets plastiques renforcé avec des fibres de verre (GRP) dans les composites de ciment a une influence sur la densité du composite obtenu. Les déchets de GRP contribuent à une augmentation de la densité des

composites de ciment tandis qu'ils provoquent une diminution de la densité au niveau des composite de ciment fabriqué en panneau de 8 et 12mm. La densité moyenne des composites en ciment des panneaux de 12 mm et 8 mm d'épaisseur développés avec 5% de déchets de GRP fibre est plus élevée que celle des spécimens de contrôle respectivement de 18% et 15 %. Ils ajoutent également que l'utilisation d'un superplastifiant a également eu une influence sur la densité. Le superplastifiant aurait réduit la teneur en eau et aurait contribué à un plus grand compactage, augmentant ainsi la quantité de composites de ciment, résultat d'une densité plus élevée. Quant au composite de béton, l'augmentation des proportions de déchets de GRP dans le béton entraîne une diminution de la densité d'environ 12%. Ceci est dû au fait que la densité du polymère est inférieure à celle du ciment et des agrégats utilisés dans le béton mélangé aux déchets de GRP.

2.4.4. Propriétés mécaniques

2.4.4.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression du béton et du mortier est une propriété de base qui a été vue en détails dans presque tous les travaux de recherches concernant les agrégats en plastique. Il a été constaté que l'incorporation des agrégats plastique a diminuée la résistance à la compression du béton / mortier résultant.

La Figure 2-5 montre quelques résultats à 28 jours de la performance des résistances à la compression du béton/mortier contenant des déchets plastiques par la substitution partielle des agrégats naturels.

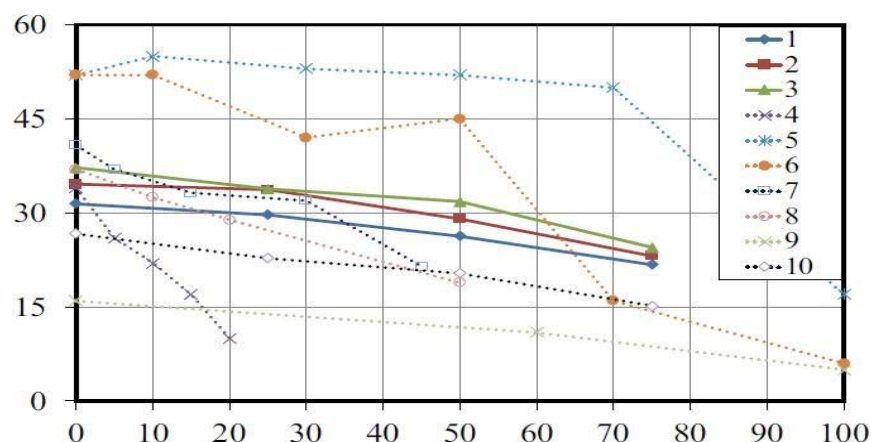


Figure 2-5 : La variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours [105]

(1) (2), (3) : WPLA ; (4) : Mélange de plastique ; (5), (6) : PET ; (7) : PVC ; (8) : HIPS ; (9) : PSE ; et (10) : PET

Frigione [83] a signalé que la résistance à la compression du béton préparé par la substitution de 5% en poids de granulats fin naturel par les agrégats des déchets de PET (PETW) est légèrement inférieur que celui du béton contenant des granulats naturels. Dans une autre étude, Hannawi et al. [46] ont rapporté que les résistances à la compression à 28 jours de mortier contenant des agrégats en PET et le polycarbonate (PC) préparés par le remplacement de 3%, 10%, 20% et 50% de sable, ont diminué lorsque la teneur des agrégats en plastique dans le mortier augmente. Pour le même taux de substitution, la réduction de la résistance à la compression du mortier contenant un agrégat de PET est plus importante par rapport à celle du mortier contenant un agrégat PC. Des résultats similaires [80] ont confirmé que l'incorporation des agrégats plastiques (E-plastique) a diminué la résistance à la compression. Une perte d'environ 47,41% est enregistrée pour la résistance à la compression à un taux du remplacement de 50%.

Usahanunth et al. [81] ont signalé que la résistance à la compression des mortiers contenant des granulats de déchets de bakélite (WBFA : 20%, 40%, 60%, 80% et 100%) a diminué avec l'augmentation de la teneur de ce dernier.

Fraj et al. [89] ont détecté une diminution de 57% à 78% des résistances à la compression à 28 jours du béton contenant comme agrégats la mousse de polyuréthane (PUR) de la classe de 8-20 mm, par rapport au béton témoin. Cela est dû à la nature du béton léger, ainsi que pour les faibles propriétés mécaniques et la grande porosité de la mousse PUR.

D'autres travaux de Mounanga et al. [84], ont signalé que le béton contenant des granulats de la mousse PUR et celui de l'agrégat naturel normal améliorent légèrement la résistance à la compression par rapport à la valeur correspondante à l'état durcie et après séchage.

Asokan et al. [59] ont montré que l'augmentation de la concentration de déchets plastiques renforcé avec des fibres de verre (GRP) diminue la résistance à la compression du composite de béton. Cependant, l'augmentation de la durée de la cure (14-180 jours) permet d'améliorer la résistance à la compression du composite de béton.

Les résultats de cette étude ont montré que la température a une influence positive sur la résistance en compression du composite de béton obtenu. La résistance à la compression à 14 jours du béton fabriqué avec 5% de déchets de GRP en cure sous l'eau est 25% inférieure à celle des spécimens de contrôle. Cependant, la substitution de 5% de déchets GRP dans le cadre d'une cure au four a entraîné une diminution de 13% de la résistance à la compression du béton par rapport aux spécimens de contrôle. Néanmoins, la résistance à la compression était supérieure d'environ 9% avec la cure en étuve par rapport à la cure à l'eau. Ceci est principalement dû à l'effet de la température sur la teneur en polymères présents dans les déchets de GRP.

2.4.4.2. Résistance à la flexion

De manière similaire au comportement de la résistance à la compression, les résultats présentés sur la Figure 2-6, montre que l'incorporation de tel type d'agrégat plastique abaisse la résistance à la traction par flexion du béton/mortier.

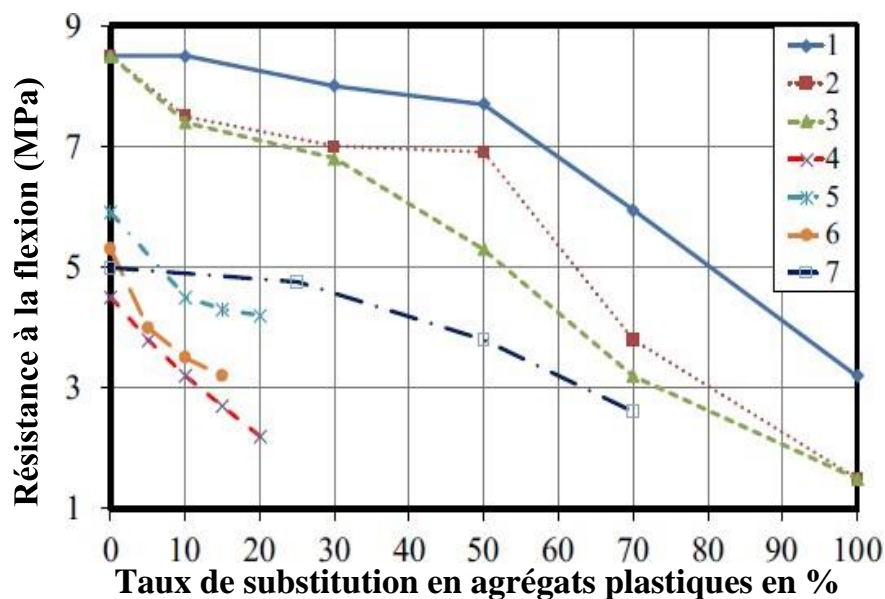


Figure 2-6 : La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours (83)

(1), (2), (3) : PET ; (4) : plastique mixte ; (5) : plastique mixte (80% PET) ; (6) : plastique mixte ; et (7) : PET

Kou et al. [39] et Harshad et al. [95], ont signalé que la résistance à la traction par flexion a diminué avec l'augmentation de la teneur en PVC d'une manière similaire à celle observé pour la résistance à la compression. Selon eux, la résistance à la traction par flexion du béton est influencée par les propriétés de la zone de transition interfaciale (ITZ). Selon Albano et al. [71] la diminution de la résistance à la traction par flexion est due à la porosité accrue dans le béton causée par l'incorporation des granulats de PET.

Kan et Demirbog [96] ont montré également des chutes de la résistance à la flexion du béton contenant du polystyrène expansé modifié thermiquement (PSEM). Batayneh et al. [85] ont indiqué que la tendance de décroissement de la résistance à la traction par flexion n'était pas aussi importante que celle de la résistance à la compression.

Hannawi et al. [46] ont déclaré une diminution de la résistance à la flexion des mortiers contenant des granulats de PET et de PC par rapport au mortier témoin. Une diminution de 9,5% et 17,9% pour les mortiers contenant 20% et 50% des granulats de PET, respectivement. Pour les mortiers contenant 50% des agrégats de PC, une baisse de 32,8% a été enregistrée. Les résultats présentés par Haghghatnejad et al. [97] ont montré des légères chutes de la résistance à la flexion du béton à base des agrégats de PVC par rapport au béton témoin.

2.4.5. Porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire

Chidiac et Mihaljevic [98] ont évalué le comportement de béton préparé avec la substitution des agrégats naturels par des agrégats de LDPE (polyéthylène à faible densité) et des agrégats de PEHD (polyéthylène à haute densité). Ils ont observé que les échantillons contenant des agrégats légers présentent une absorption d'eau plus élevée que le béton témoin. Dans le même contexte, Albano et al. [71] ont signalé que l'absorption d'eau est plus élevée pour les bétons contenant des granulats de PET par rapport aux bétons contenant uniquement des granulats naturels. Selon ces auteurs, la différence de la distribution granulométrique ainsi que la forme des granulats de plastique, en comparaison avec l'agrégat fin naturel, étaient responsables sur ce comportement.

Marzouk et al. [64] ont constaté des diminutions de la sorptivité pour les mortiers contenant du PET comme agrégat par rapport aux mortiers ne contenant pas de déchets

de plastique. Ainsi, leurs résultats suggèrent une meilleure performance de la durabilité pour les mortiers contenant des agrégats de PET que pour les mortiers contenant des agrégats naturels lorsque ceux-ci entrent en contact avec des solutions agressives.

Choi et al. [70] ont mesuré le coefficient de sorptivité des mortiers durcis après 28 jours, qu'ils ont préparés en remplaçant 0%, 25%, 50% et 75% des granulats naturels par le WPLA (PET enrobé par le sable). Leurs résultats ont indiqué que la sorptivité des mortiers contenant un agrégat de WPLA à 25% de substitution était inférieure à celui du mortier témoin, tandis que pour 50% et 75% de substitution, elle était plus élevée (Figure 2-7). De même, Hannawi et al. [46], Akçaözöğlü et al. [99] et Saikia et al. [72] ont trouvé que l'absorption d'eau et la porosité était plus élevées pour un mortier contenant un agrégat de PET en comparaison avec un mortier témoin.

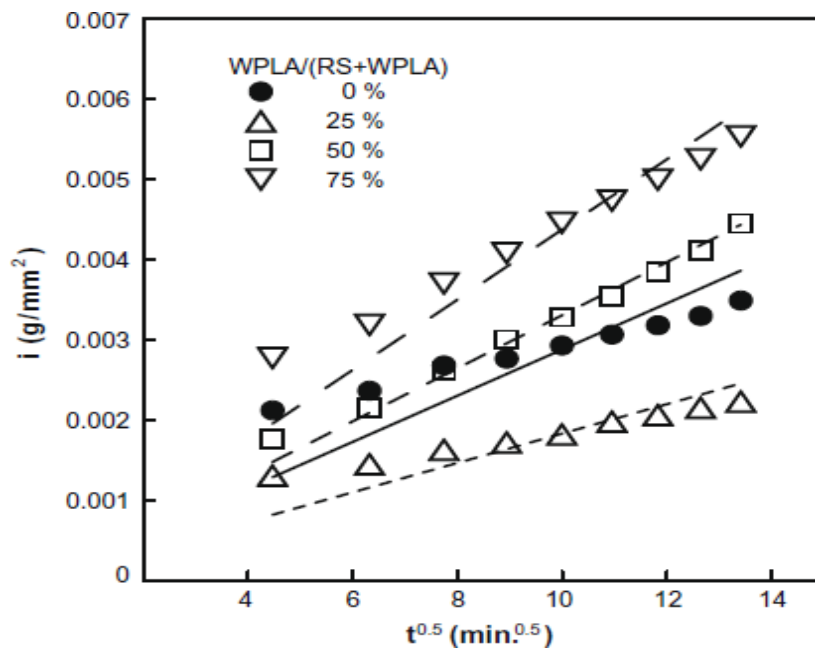


Figure 2-7 : Coefficients de sorptivité du mortier à différents volumes de granulats WPLA [70]

Fraj et al. [89] ont enregistré une valeur plus élevée de la porosité accessible à l'eau du mortier contenant un agrégat des mousses de polyuréthane (PUR) à celle de mortier témoin. Les auteurs ont également rapporté que le pré-mouillage des granulats de mousse de polyuréthane (PUR) a augmenté la porosité.

Corinaldesi et al. [88] ont également observé une augmentation significative de l'absorption d'eau par capillarité dans des mortiers à base de PET et de poussière de

GFRP en tant que sable. Ils ont constaté que l'incorporation de 62% de GFRP a entraîné une augmentation de l'absorption d'eau d'environ 80%.

Contrairement aux résultats précédents, Tittarelli et Shah [100, p. 1] ont observé que le l'incorporation de 5% et 10% de poussière de GFRP a diminué l'absorption capillaire d'eau (respectivement, d'environ 60% et 40%) en dépit de la porosité totale plus élevée des mortiers.

2.5. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est d'établir pour montrer les travaux qui ont été fait en vue de la revalorisation des déchets plastiques à travers le développement de nouveaux matériaux. Il en résulte que les déchets plastiques peuvent être utilisé sous forme de résine, de fibre et d'agrégats dans le béton ou le mortier. Les déchets plastiques à des pourcentages donné permettent d'améliorer les caractéristiques du nouveau matériau (béton ou du mortier).

**CARACTERISATION DES
MATERIAUX**

3. Caractérisation des matériaux

3.1. Introduction

La conception des matériaux composites passe par une étude préliminaire et il est nécessaire de choisir les matériaux tels que le type de sable et la classe de ciment, le rapport eau sur ciment, et le mode opératoire. Ce chapitre a donc pour but de présenter les matériaux utilisés pour la confection du mortier ainsi que leurs caractéristiques.

3.2. Matériaux

Cette section du document aura pour but de présenter les différents matériaux utilisés lors de cette étude ainsi que leurs caractéristiques.

3.2.1. Le sable

Le sable utilisé lors de cette étude est un sable de rivière de classe granulaire est de 0/5 et provenant de la localité Tchékpo-Dédékpoè au Togo. Cette localité est située à 55 km au nord de la ville de Lomé. La Figure 3-1 illustre un échantillon du sable de Tchékpo.



Figure 3-1 : Echantillon du sable de Tchèkpo

3.2.1. Le matériau PET

Le plastique PET (polyéthylène téréphtalate) utilisé dans ce travail comme substituant provient de bouteilles usagées. Ces plastiques sont des bouteilles d'eau provenant de la marque « Vitale » de la société BB Lomé. Ils sont découpés en fibres de 40 mm (± 1 mm) de longueur et 2 mm ($\pm 0,5$ mm) de largeur. Le découpage s'est fait par découpe des côtés latéraux de bouteilles de PET à l'aide de ciseaux tout en écartant les goulots

et le fond des bouteilles. La Figure 3-2 présente une illustration des différentes phases du plastique PET utilisé.



Figure 3-2 : Différentes phases du plastique PET utilisés

3.2.2. Le ciment

Le liant hydraulique utilisé dans cette étude est un ciment Portland **DANGOTE** de type **CEM II/A-L 42.5R** produit par le Nigéria. Cette marque de ciment a été retenue en raison de sa disponibilité dans la zone de l'étude.

3.2.3. L'eau

L'eau utilisée pour les essais provient de la Société Togolaise des Eaux (**TdE**).

Ces différents matériaux ont été soumis à des essais préliminaires avant la réalisation des éprouvettes.

3.3. Méthodologie

Cette section du document a pour but d'expliquer la démarche suivie lors de la phase de caractérisation des matériaux de la présente étude. Elle est composée de deux (2) étapes dont :

- les essais de caractérisation du sable ;
- les essais de caractérisation du ciment.

3.3.1. Caractérisation du sable

3.3.1.1. L'Analyse Granulométrique

Elle permet de déterminer la granularité des grains des matériaux qui constitue la distribution dimensionnelle du matériau. L'essai s'effectue conformément à la norme

NF EN 933-1. Il consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

A partir de la courbe granulométrique, on détermine certains indicateurs permettant de caractériser le matériau. Il s'agit notamment des coefficients d'uniformité C_u et de courbure C_c .

3.3.1.1.1. Le coefficient d'uniformité

Encore appelé coefficient de HAZEN, il permet de mettre en évidence la notion de granulométrie étalée ou granulométrie serrée. Il est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

D_{10} , D_{60} représentent les diamètres des éléments correspondant respectivement à 10%, et 60% de tamisât cumulé.

Si $C_u < 2$, la granulométrie est uniforme (ou serrée)

Si $C_u > 2$, la granulométrie est étalée (ou variée)

3.3.1.1.2. Le coefficient de courbure

Encore appelé coefficient de classement, il permet de décrire la forme de la courbe granulométrique. Il fait appel à la notion de diamètre effectif correspondant au pourcentage de passants placés en indice déterminé à l'aide de la courbe granulométrique. Lorsque $1 < C_u < 3$, la courbe granulométrique descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres [102]. Ce qui montre que le sol est bien gradué et qu'il présente une grande variété de diamètres. Il est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (2)$$

D_{10} , D_{30} , D_{60} représentent les diamètres des éléments correspondant respectivement à 10%, 30% et 60% de tamisât cumulé.

3.3.1.1.3. Le module de finesse

C'est une caractéristique qui permet de savoir si le sable est à majorité de grains fins. Le module de finesse est égal au 1/100^{ème} de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5mm.

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulé en \% des tamis } \{0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5\text{mm}\} \quad (3)$$

Conformément à la norme NF-EN-13139, on peut classier les types de sables comme étant fins (F), moyens (M) ou grossiers (G) en fonction du module de finesse (Tableau 3-1) :

Tableau 3-1 : Classification des sables selon le module de finesse

MODULE DE FINESSE		
3,6 à 2,4	2,8 à 1,5	2,1 à 0,6
Sable grossier	Sable moyen	Sable fin

3.3.1.2. Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable (ES) est réalisé conformément à la norme **EN 933-8** [103]. Cet essai permet de connaître la teneur en fines ou en argile du sable et de déterminer s'il contient des éléments organiques, des impuretés. Il consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable des éléments sableux plus grossiers. L'équivalent de sable s'effectue sur du sable passant le tamis de diamètre 5mm. Le Tableau 3-2 permet d'interpréter les résultats.

Tableau 3-2 : Caractérisation des types de sables en fonction de la valeur de l'Equivalent de Sable

Equivalent de sable (ES)	Nature	Qualité du sable
ES < 60	Sable argileux	Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ ES < 70	Sable légèrement argileux	De propreté admissible pour le béton de qualité

Equivalent de sable (ES)	Nature	Qualité du sable
$70 \leq ES < 80$	Sable propre	Convenant parfaitement pour les bétons de qualité
$ES > 80$	Sable très propre	Risque d'entraîner un défaut de plasticité

3.3.1.3. Densité absolue et densité apparente

La densité absolue est le rapport de la masse spécifique à la masse d'un égal volume d'eau à + 4 °C soit 1 000 kg. La densité absolue est donc égale au millième de la masse spécifique, c'est un simple rapport sans dimension. Elle peut être déterminée à l'aide du pycnomètre sur un matériau sec mais n'ayant pas été exposé à de fortes températures.

La densité apparente est le rapport de la masse volumique à la masse d'un égal volume d'eau à + 4 °C soit 1 000 kg. C'est donc un rapport sans dimension dont la valeur est égale au millième de la masse volumique. La densité apparente est mesurée avec l'aide d'un contenant taré. Le principe est de remplir le récipient (taré au préalable) dont on connaît le volume du matériau, les mains en entonnoir placées à 10 cm environ du bord du récipient. On pèse la masse du matériau seul et on peut alors calculer sa masse volumique apparente.

La densité apparente notée est déterminée sur la connaissance de la masse volumique apparente. La norme **EN 1097-3** préconise de fixer une hauteur de chute des grains constant en utilisant un cône normalisé afin d'avoir un tassement constant à tous les essais réalisés sur l'échantillon.

La détermination de la masse volumique absolue et du coefficient d'absorption d'eau sur les granulats se font conformément à la norme **EN 1097-6**.

Les granulats doivent être échantillonnés conformément à la norme **EN 932-1**, puis réduits conformément à la norme **EN 932-2**.

3.3.1.4. Coefficient d'absorption d'eau

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme étant le rapport de l'augmentation de masse d'un échantillon de granulats à sa masse sèche, après passage à l'étuve, du fait de la pénétration de l'eau dans les pores accessibles à l'eau.

3.3.2. Caractérisation du ciment

3.3.2.1. Consistance normalisée du ciment (NF P 15-473)

Ce test a pour objectif de déterminer la demande en eau du ciment. Elle s'effectue sur la pâte de ciment suivant la norme NF P 15-473 avec l'aide de l'appareil de Vicat. On mesure la quantité d'eau nécessaire pour que la sonde de consistance s'arrête à $d = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$. Le ratio E/C pour la pâte de ciment varie de 28 à 33% pour les ciments courants.

3.3.2.2. Temps de prise (NF P 15-473)

L'essai est effectué sur la pâte pure de ciment à consistance normalisée, il permet d'évaluer le temps de prise ; les éléments reportés sont le début et la fin de prise. Plusieurs facteurs peuvent accélérer ou retarder le temps de prise.

Le début de prise est le temps au bout duquel l'aiguille de Vicat s'arrête à $d = 4\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ du fond. La fin de prise correspond au temps au bout duquel l'aiguille muni de son accessoire annulaire s'enfonce de seulement 0,5 mm dans la pâte.

3.3.2.3. Stabilité (NF P 15-473)

La stabilité est déterminée par l'observation de l'expansion volumique d'une pâte de ciment de consistance normalisée, mesurée par un mouvement relatif de deux aiguilles solidaires d'un moule rempli de la pâte à ciment à tester. Le ciment doit être stable pour être durable et résistant aux agressions extérieures. Pour l'essai d'expansion, l'aiguille après durcissement (24h) est mesurée (A) puis placée à l'intérieur du bouilloire (expansion à chaud) rempli d'eau pour 3 h de temps. Au bout de cette durée, on reprend à nouveau la mesure de l'aiguille (B), puis une dernière fois lorsque l'aiguille s'est refroidie (C). La valeur obtenue doit être inférieure à 10mm. La valeur de la stabilité (S_t) est donnée par la relation :

$$S_t = C - A \quad (4)$$

3.4. Résultats**3.4.1. L'Analyse Granulométrique**

Le Tableau 3-3 présente les résultats de l'analyse granulométrique sur le sable.

Tableau 3-3 : Résultat de l'analyse granulométrique sur le sable

Module AFNOR	Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus Cumulés (g)	Cumulés (%)	Passants Cumulés (%)
38	5	0,58	0,58	0,23	99,77
37	4	0,48	1,06	0,42	99,58
36	3,15	0,6	1,66	0,67	99,33
35	2,5	1,28	2,94	1,18	98,82
32	1,25	7,9	10,84	4,34	95,67
29	0,63	27,91	38,75	15,53	84,47
28	0,5	30,08	68,83	27,58	72,42
27	0,4	37,84	106,67	42,74	57,26
26	0,315	46,61	153,28	61,42	38,58
23	0,16	80,72	234	93,76	6,24
22	0,125	11,46	245,46	98,353	1,65
20	0,08	3,52	248,98	99,76	0,24
18	0,05	0,44	249,42	99,94	0,06
17	0,04	0,15	249,57	100	0

La Figure 3-3 illustre la courbe granulaire obtenue. Les paramètres caractéristiques de cette courbe sont résumés dans le Tableau 3-4.

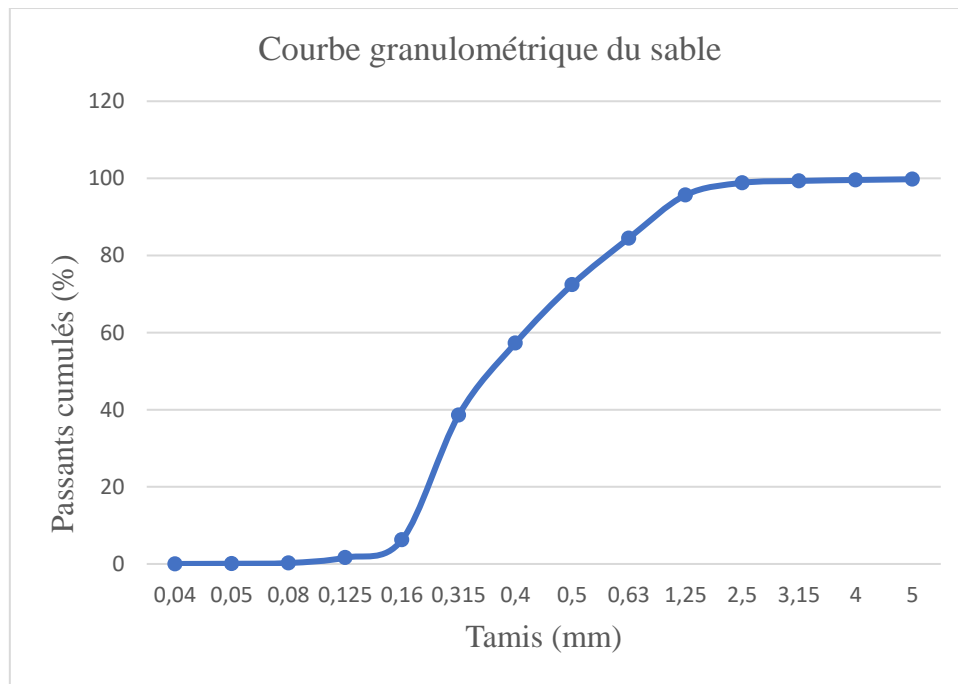


Figure 3-3 : Courbe granulaire du sable

Tableau 3-4 : Paramètres caractéristiques de l'analyse granulométrique

Module de finesse	1,8
D10	23
D30	25
D60	27
Cc	1,01
Cu	1,17

Les résultats de cette analyse granulométrique montrent que les grains de taille 0,16mm, 0,315mm, 0,4mm, 0,5mm et 0,63mm sont les plus importantes et représentent respectivement 32,34%, 18,68%, 15,16%, 12,05% et 11,2% en masse de la prise d'essai de 250g. Ce sable présente un coefficient d'uniformité $Cu = 1,17 < 2$ ce qui traduit une granulométrie uniforme ou serrée et un facteur de courbe $Cc = 1,01$ compris entre 1 et 3, ce qui traduit un sable bien gradué.

CARACTERISATION DES MATERIAUX

Le module de finesse de ce sable est égal à 1,8 et est compris entre 1,8 et 2,2 caractéristiques d'un sable préférentiel, garantissant une bonne ouvrabilité et une bonne résistance. Ce sable peut être utilisé si l'on recherche la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

Ce sable a une majorité d'éléments fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau.

3.4.2. La densité de sable, coefficient d'absorption et équivalent de sable

Les valeurs de ces différents coefficients sont présentées dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5 : Résultats de la densité absolue, apparente et de coefficient d'absorption des matériaux

Désignations	Sable	PET	Ciment
Equivalent de sable	77,06	-	-
Densité apparente	1,88	0,08	0,88
Densité absolue	2,66	1,25	2,94
Coefficient d'absorption	0,14	0	-

L'essai d'équivalent de sable (ES) est réalisé conformément à la norme **EN 933-8** [103]. Il consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable des éléments sableux plus grossiers. Les résultats de l'équivalent de sable sont présentés dans le Tableau 3-5.

$75 \leq ES_v < 85$ Ce pourcentage permet de qualifier ce sable de sable propre à faible pourcentage de fines argileuse. Ce sable convient parfaitement pour des bétons de qualité.

Le sable utilisé est un sable de rivière que ne contient pas la poussière d'où le faible coefficient d'absorption.

Le ciment une fois en contact avec l'eau, son aspect change. Il prend prise (durci et devient un bloc) donc n'a pas de coefficient d'absorption.

Le PET est un matériau léger, imperméable et lisse à la surface. C'est un matériau qui n'absorbe d'eau. Les résultats font état de son aspect léger.

3.4.3. Les essais liés au ciment

Les résultats présentés dans cette section concernent la consistance, le temps de prise et l'expansion volumique de la pâte de ciment.

Le Tableau 3-6 présente les valeurs concernant l'évolution sur la consistance du ciment.

Le résultat de l'essai est le rapport E/C qui permet d'obtenir une consistance normale.

Un ciment normal a une consistance normalisée d'un rapport E/C de 0,24 à 0,26.

Tableau 3-6 : Evolution de la consistance

Essai	Ciment (Mc) en g	Eau (Me) en g	Résultat St (mm)
E1	500	141,10	8
E2	500	142,88	7
E3	500	144,22	$6 < S_t < 7$

Ces résultats montrent que la consistance diminue au fur à mesure que la quantité d'eau augment et la consistance normale est obtenue avec une valeur E/C égale à 0,29.

Les résultats concernant le temps effectif de prise du ciment sont résumés dans le Tableau 3-7.

Tableau 3-7 : Evolution de la prise du ciment au cours de temps

Heure de début de confection de gâchée (To)	Heure de début de prise (T1)	Heure de fin de prise (T2)	Début de prise (DP)	Fin de prise (FP)	Temps de prise (TP)
11h05	13h05	15h20	2h15	2h00	4h15

CARACTERISATION DES MATERIAUX

Ces résultats montrent que la qualité du ciment DANGOTE TYPE 42.5R fournit par la société de production de ciment DANDOTE est acceptable selon la Norme Européenne **NF EN 197-5**.

Le Tableau 3-8 présente l'évolution de l'expansion de la stabilité à chaux.

Tableau 3-8 : Résultat de l'essai d'expansion

Expansion Chaud	Ecartement initial	Ecartement définitif	Résultat (mm)	Masse du ciment (g)	Masse d'eau (g)	Valeur de consistance
E1	32,5	33	0,5	500	141,10	8
E2	50	50,5	0,5	500	144,22	$6 < S_t < 7$

3.5. Conclusion

L'objectif de chapitre est de caractériser les différents matériaux qui entrent dans la composition du mortier composite qui fait l'objet de la présente étude. Il en ressort que les matériaux étudiés ont les caractéristiques nécessaires pour la fabrication du mortier composite.

**ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES
DE PLASTIQUES SUR LES
CARACTERISTIQUES DU MORTIER**

4. Etude de l'influence des fibres de plastiques sur les caractéristiques du mortier

4.1. Introduction

La mise en évidence des caractéristiques mécaniques des différents composites de mortier nécessite des essais expérimentaux. Ainsi, ce chapitre a pour but de présenter l'étude expérimentale du mortier composite fabriqué.

4.2. Fabrication du mélange

Le dosage et le rapport E/C sont maintenus constant. Ce dernier vaut 0,5. La formulation du mortier témoin est faite en tenant compte des exigences minimales de confection de mortier normal et suivant la norme EN 196-1.

Chaque gâchée de mortier témoin comporte :

- 450 g \pm 2 g de ciment ;
- 1350 g \pm 2 g de sable.

Le rapport E/C étant 0,5.

Quatre (4) proportions de fibres de PET (0%, 0,5%, 1%, 1,5% et 2%) ont été utilisé en substitution avec le ciment.

La masse absolue du mélange frais des différents constituants du composite avec x% de ciment est donné par la relation suivante :

$$M^x = M_s + M_{PET} + M_c^x + M_{eau} \quad (5)$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} M_{PET} = M_c \cdot \frac{x}{100} \\ M_c^x = M_c \cdot \frac{1-x}{100} \end{cases} \quad (6)$$

M^x : étant la masse du mélange ;

M_s : la masse du sable tenant compte du dosage normal (1350g) ;

M_c : la masse du ciment tenant compte du dosage normal (450g) ;

M_c^x : la masse du ciment dans le composite.

Les éprouvettes ont été réalisés en suivant la norme NF 196-1.

Les dimensions du moule sont : 40mm \times 40mm \times 160mm.

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

Le moule est couvert d'un couvercle de protection ayant une surface non absorbante et non susceptible de réagir avec le composé cimentaire et transféré dans la chambre froide dont la température est contrôlée et doit être égale à 20 °C (+ ou- 2°C) pendant 24 h. A la fin de ces 24h, on procède au démoulage des éprouvettes. Celles-ci sont conservées dans de l'eau jusqu'au moment des tests mécaniques auxquels elles seront soumises.

Après la réalisation des éprouvettes, il faut ensuite passer aux différents essais sur le composite obtenu.

4.3. Méthodologie

Cette section du document présente les différents essais effectués sur le matériau composite obtenu. Il s'agit d'effectuer des essais sur les mortiers composites obtenus afin de les comparer avec les résultats du mortier témoin.

4.3.1. Densité du mortier frais

La densité de mortier frais est obtenue avec le rapport de la masse volumique du mortier avec celle de l'eau. La détermination de la masse du mortier frais se fait par déduction de la masse du moule à vide de la masse totale (Moule + Mortier frais).

Le volume correspond au volume normalisé des moules utilisés.

4.3.2. Densité du mortier durci

La densité de mortier sec est déterminée suivant le même principe que précédemment, à la différence qu'avec le mortier sec, on peut relever les masses des 3 éprouvettes individuellement et considérer comme valeur de densité, la moyenne de leurs densités.

4.3.3. Coefficient d'absorption d'eau

L'objectif de ce test est de quantifier la quantité d'eau absorbée par surface du matériau. La détermination du taux d'absorption d'eau par capillarité des mortiers CA_j après j jours d'immersion dans l'eau des mortiers se mesure en pesant chaque 24h les éprouvettes. Les résultats de coefficient d'absorption sont une moyenne de 3 éprouvettes considérées pour la même formulation.

4.3.4. Essais mécaniques

Il s'agit notamment des essais de flexion et de compression réalisés sur des éprouvettes prismatiques 40mm × 40mm × 160mm. Ses essais ont été effectués selon la norme EN 196-1 pour caractériser les mortiers à 7 jours et 28 jours d'âge.

Les essais mécaniques sont réalisés sur une machine de type Controls pourvu d'un dispositif de flexion par trois points et d'un dispositif de compression.

4.3.4.1. Résistance à la flexion

Elle a été déterminée par un essai de flexion par trois points. L'éprouvette est placée sur deux appuis et un troisième point est destiné à appliquer une charge au milieu de l'éprouvette jusqu'à rupture afin d'atteindre le moment fléchissant maximal.

4.3.4.2. Résistance à la compression

Les deux demi-morceaux de chaque éprouvette, obtenues après l'essai de flexion sont testés en compression. L'éprouvette est placée au milieu du plateau de la presse et on agit l'effort de compression jusqu'à l'écrasement.

4.4. Résultats de l'étude

Cette section du document a pour but de présenter les résultats des différents essais réalisés sur le mortier composite à base du PET.

4.4.1. La densité

La densité de mortier frais est déterminée après son passage sur une table à choc et celui du mortier durci sur des composites à 7 jours et à 28 jours âge de durcissement dans l'eau. L'essai a été réalisé par pesée hydrostatique. Les résultats sont présentés dans le Tableau 4-1.

**ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES
CARACTERISTIQUES DU MORTIER**

Tableau 4-1 : Résultat de la densité du composite de PET

Composition	E/C =0,5		
	Densité		
	Etat frais	Etat durci	
		7 jours	28 jours
0%	2,147	2,199	2,220
0,5%	2,139	2,181	2,197
1%	2,132	2,151	2,168
1,5%	2,123	2,088	2,095
2%	2,085	2,015	2,023

La Figure 4-1 : Densité du mortier représente la variation des différentes densités.

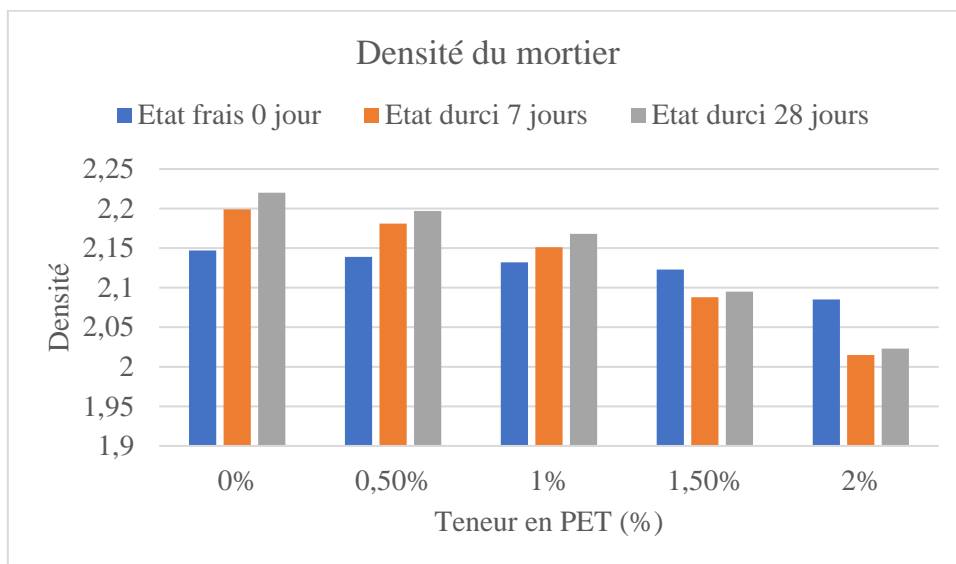


Figure 4-1 : Densité du mortier

D'après les résultats, l'on peut dire que la densité de mortier frais et durci (7et 28 jours d'âge) diminue avec l'augmentation de la quantité de la teneur en PET incorporés.

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

En admettant que la densité de mortier dépend de la densité intrinsèque de ces composants et de l'aptitude au compactage du mélange, la faible densité des fibres de PET a de l'influence sur cette diminution. En effet le sable ayant une densité de 2,66 et les fibres de PET une densité de 1,25 ; en substituant le ciment par les fibres de PET, on procède à un remplacement des particules fines (ciment) par des particules plus légères (fibre de PET).

Aussi il a été observé à l'état frais que l'augmentation de la teneur en PET implique également une augmentation des espaces vides dans les mortiers frais ce qui entraîne une difficulté pour compacter le mortier ainsi qu'une difficulté de réarrangement des composants du mortier.

On remarque de façon générale que la densité de mortier diminue avec l'augmentation de la quantité de fibres de PET incorporés. L'utilisation de la fibre de plastique en remplacement partiel du ciment contribue à réduire la densité du mortier composite en moyenne de 2%. Les travaux de Guendouz et al. [54] aboutissent à la même conclusion.

4.4.2. L'absorption d'eau

Le Tableau 4-2 présente les résultats d'absorption d'eau à j jours d'immersion dans l'eau pour chaque mortier composite.

Tableau 4-2 : Coefficient d'absorption à j jours dans l'eau

Composition	Durée d'immersion (j jrs)						
	1	2	3	4	5	6	7
PET 0	1,67	1,67	1,67	1,71	1,71	1,71	1,71
PET 0,5	1,57	1,59	1,59	1,58	1,58	1,58	1,58
PET 1	1,42	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41	1,41
PET 1,5	1,37	1,37	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
PET 2	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31

On remarque qu'à partir du troisième jour tous les mortiers arrivent à saturation et sont à masse plus ou moins constante. La Figure 4-2 illustre l'évolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la teneur en PET à trois (3) jours d'immersion dans l'eau.

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

Pour une quantité de ciment $C=450g$, le coefficient d'absorption d'eau décroît puis atteint sa valeur minimale autour des teneurs en PET de 1,5% et croit ensuite.

De façon générale on remarque que :

- Le coefficient d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de PET, sauf pour la teneur en PET de 2%. Cette diminution s'explique par le fait qu'il y a un renforcement de la matrice cimentaire donnant lieu à un matériau plus compact ce qui le rend moins absorbant.
- Les composites ayant des fortes teneurs en PET présentent des valeurs importantes d'absorption. Cette augmentation du coefficient s'explique par le fait que ces matériaux sont poreux en raison de leur faible teneur en sable.

Marzouk et al. [104] sont arrivés à la même conclusion sur les agrégats de PET dans le mortier. Il est à noter que les composites qui correspondent aux valeurs minimales d'absorption d'eau sont plus saturés en liant, c'est-à-dire que le liant a fermé les pores de mortier le rendant moins poreux. Il s'agit dans cette étude des teneurs pour les composites PET de pourcentage de substitution allant généralement de 0 à 1,5%. Cette propriété peut justifier des caractéristiques mécaniques avantageuses à faible pourcentage de substitution.

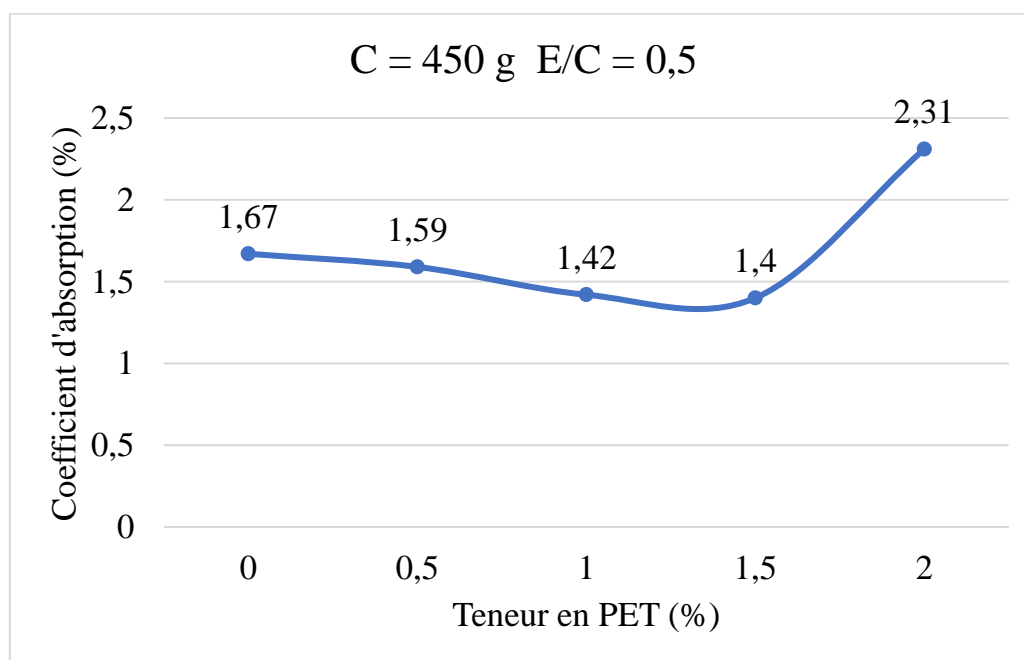


Figure 4-2 : Coefficient d'absorption d'eau à saturation pour $C=450g$

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

4.4.3. Caractéristiques mécaniques

4.4.3.1. Résistance à la flexion

Les résultats de l'essai de la résistance en flexion à 7 et 28j ours sont présentés dans le Tableau 4-3.

Tableau 4-3 : Résultat de la résistance à la flexion

C(g)	Composite	E/C= 0.5	
		Résistance en flexion	
		7 jours	28 jours
450	0%	2,573	3,917
	0,50%	3,21	4,094
	1%	2,993	3,946
	1,50%	2,567	3,938
	2%	2,513	3,608

La Figure 4-3 illustre l'évolution de la résistance en flexion du composite en fonction de la teneur en PET à 7 et 28 jours.

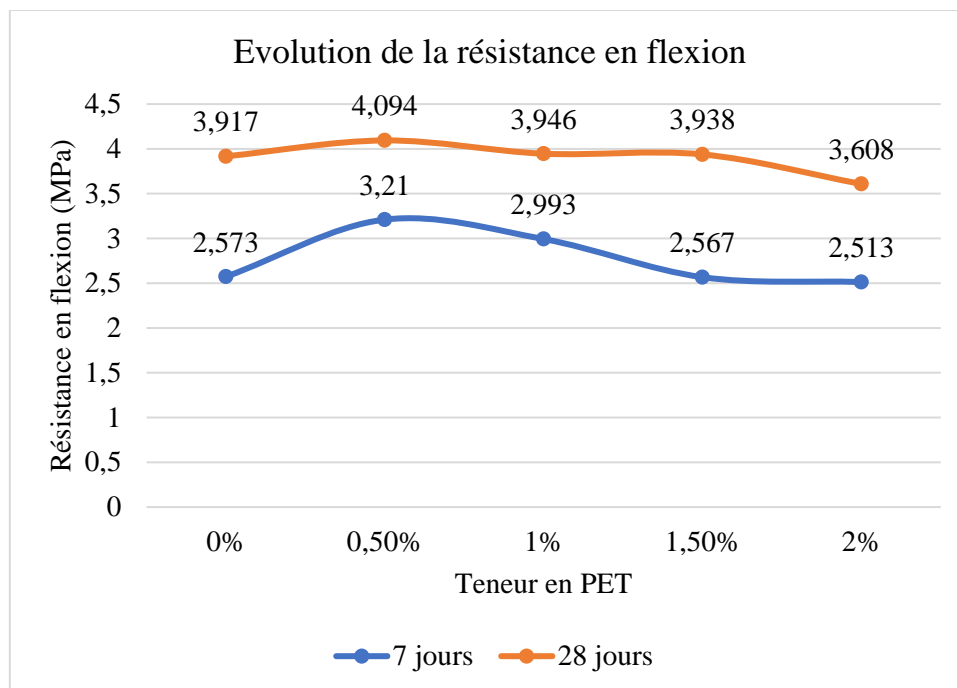


Figure 4-3 : Evolution de la résistance en flexion du composite en fonction de la teneur en PET

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

Pour une quantité de ciment $C = 450\text{g}$, la résistance à la flexion croit puis décroît en fonction du taux de PET.

La valeur optimale de résistance à la flexion est $3,21\text{MPa}$ à 7 jours âge et $4,094\text{MPa}$ à 28 jours d'âge obtenue pour une teneur en PET de $0,5\%$. L'on observe une augmentation de $19,84\%$ à 7 jours et $4,32\%$ à 28 jours par rapport au mortier témoin.

De façon générale, les résultats montrent qu'une augmentation de la teneur en fibre entraîne une diminution de la résistance à la flexion. Les travaux de Benimam et al. [65] valide cette étude en rapportant une diminution de la résistance à la flexion des mortiers contenant des fibres plastiques de PET au fur et à mesure que l'on augmente la proportion de PET.

On peut clairement observer que la résistance à la flexion du mortier augmente de $4,32\%$ avec $0,5\%$ de fibres plastiques en PET. Les travaux de Guendouz et al. [54] rapportent une augmentation jusqu'à 40% avec 1% de fibres (PET). Cette meilleure performance serait due à l'utilisation d'un superplastifiant dans le mélange de composite.

4.4.3.2. Résistance à la compression

Les résultats de l'essai de la résistance en compression à 7 et 28 jours sont présentés dans le Tableau 4-4.

Tableau 4-4 : Valeurs de la résistance à la compression

C (g)	E/c = 0,5		
	Composition	Résistances à la compression (MPa)	
		7 jours	28 jours
450	0%	11,313	15,437
	0,50%	12,443	15,778
	1%	10,987	15,661
	1,50%	11,048	15,718
	2%	10,995	15,665

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

Pour une quantité de ciment C=450g et pour un rapport E/C de 0,5 :

- la valeur optimale de résistance à la compression à 7 jours d'âge est de 12,443 MPa pour une teneur en PET de 0,5% et avec une augmentation de 10 % par rapport au mortier témoin.
- la valeur optimale de résistance à la compression à 28 jours d'âge est de 15,778Mpa pour une teneur en PET de 0,5% et avec une légère augmentation de 2,21 % par rapport au mortier témoin.

La Figure 4-4 illustre l'évolution de la résistance en compression du composite en fonction de la teneur en PET à 7 et 28 jours.

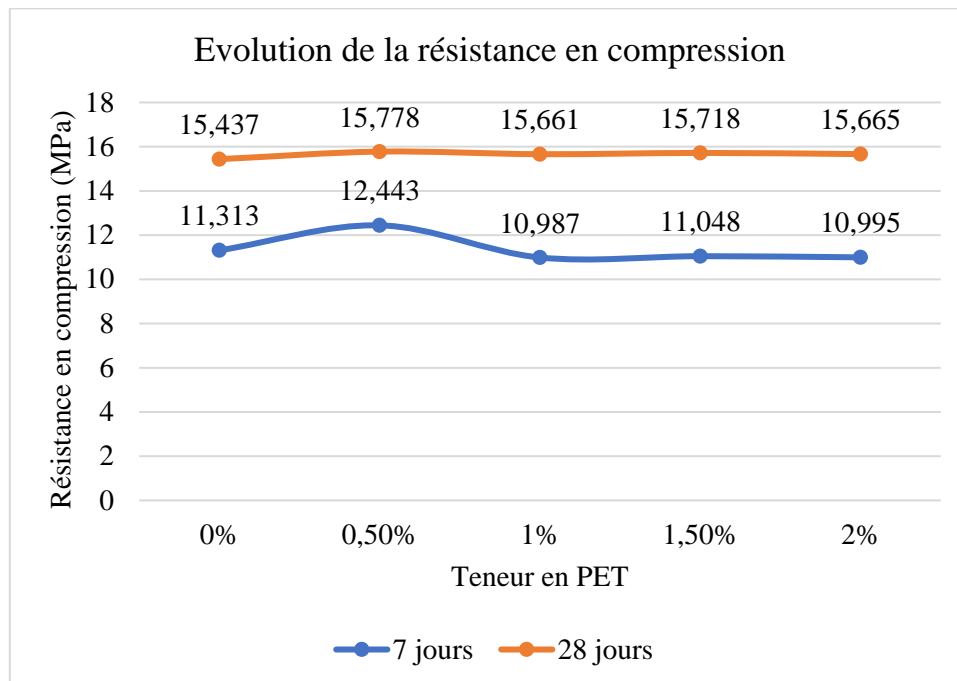


Figure 4-4 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la teneur en PET

De façon générale la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la teneur en PET sauf pour une valeur de 0,5% de substitution par rapport au ciment considérée comme valeur optimale.

Il est à noter que pour les mortiers de maçonnerie (norme EN 998-2), la résistance à la compression doit être supérieure à 1 MPa. Ce qui rend utilisables déjà à 7 jours tous les composites PET au vu de leur résistance à la compression.

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES DE PLASTIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MORTIER

La plus faible résistance en compression est obtenue pour une teneur en PET de 1%. Ceci peut bien être expliquer par plusieurs facteurs comme par exemple la disposition non uniforme des fibres dans la matrice cimentaire.

Il apparait clairement que la résistance à la compression augmente très vite lors des premiers jours avant de subir une progression lente pour atteindre sa valeur caractéristique à 28 jours d'âge. A 28 jours d'âge la résistance à la compression avec une proportion de 0,5% dépasse celle du mortier témoin de 2,21%. Guendouz et al. [54] sont parvenus à une augmentation de 30% pour une teneur en PET de 1,5%. Cette performance assez élevée serait due à l'utilisation d'un superplastifiant. Asokan et al. ont montré qu'une longue durée de cure sous l'eau ou à l'étuve permet d'améliorer la résistance à la compression des composites de polymère.

4.5. Conclusion

Il a été question dans ce chapitre de présenter les essais réalisés dans le but de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers pour les différentes teneurs en PET. Il en ressort que la densité du mortier diminue avec l'augmentation de la teneur en PET, la proportion optimale de PET qui offre une meilleure performance mécanique est de 5%, les caractéristiques mécaniques du mortier composite croient plus vite que celles du mortier témoin.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est de valoriser les déchets plastiques et étudier leurs effets sur le comportement du mortier. Cette étude a examiné l'influence des fibres plastiques de PET sur les performances mécaniques du mortier. Dans le but de bien mener ce travail, une recherche documentaire a été faite. Des essais ont été réalisés sur les matériaux qui entrent dans la composition du matériau composite afin de déterminer leurs caractéristiques physique et mécanique. L'étude a consisté en la mise en œuvre des composites de différentes teneur en PET afin de déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

Les résultats de recherches antérieures ont conduit aux conclusions suivantes :

- le plastique notamment le PET peut être utilisé en substitution dans le béton/mortier sous forme de résine [56], d'agrégats [38] et de fibres [54] ;
- les polymères utilisés comme substitution dans le béton/mortier permettent d'obtenir une meilleure performance mécanique du nouveau matériau [54], [65];
- l'augmentation de la température a une influence positive sur les composites à base de polymère et permet d'améliorer leur performance mécanique [59] ;
- les fibres plastiques permettent de contrôler de la fissuration par retrait plastique [82].

De façon, générale les auteurs ont plus travaillé sur les caractéristiques mécaniques du composite à base de plastique, quelques-uns ont étudié la densité, le retrait plastique. Cependant les études portant sur l'aspect de transfert thermique et acoustique n'existent quasiment pas. Il serait donc intéressant de les envisager.

Les principaux résultats de cette étude expérimentale sont les suivant :

- la densité de mortier diminue avec l'augmentation de la teneur en PET ;
- tous les composites PET au vu de leur résistance à la compression sont utilisables déjà à 7jours ;
- la proportion de fibre qui offre une meilleure performance mécanique est de 0,5% ;
- la résistance à la flexion pour une substitution de 0,5 % à 7 jours d'âge est de 3,21MPa soit une augmentation de 19,84 % par rapport au mortier témoin ;

CONCLUSION GENERALE

- la valeur optimale de résistance à la compression à 7 jours d'âge est atteinte à une résistance de 12,443 MPa pour une teneur en PET de 0,5% et avec une augmentation de 10 % par rapport au mortier témoin ;
- la valeur optimale de résistance à la compression à 28 jours d'âge est de 15,778Mpa pour une teneur en PET de 0,5% et avec une légère augmentation de 2,21 % par rapport au mortier témoin.

En considérant les résultats issus de la présente étude, il serait intéressant d'envisager comme perspective d'étudier :

- l'effet de la variation d'eau sur le composite ;
- d'étudier l'effet de la température à long ou moyen terme ;
- l'impact de la dimension des fibres sur les fissurations dues au retrait ;
- les caractéristiques thermique, acoustique et hygrométrique des composites ;
- la possibilité de renforcement des caractéristiques physico-mécaniques avec des composites de PET par ajout d'autres matériaux ;
- le comportement du composite vis-à-vis des différents milieux agressifs ;
- la diffractométrie aux rayons X.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] « Oceaneye - Consommation de plastique », 20 avril 2015. <https://www.oceaneye.ch/problematique/consommation-de-plastique/> (consulté le 26 septembre 2022).
- [2] « Depuis 1950, l'homme a fabriqué 8,3 milliards de tonnes de plastiques », *Le Monde.fr*, 19 juillet 2017. Consulté le: 26 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.lemonde.fr/pollution/article/2017/07/19/depuis-1950-l-homme-a-fabriquer-8-3-milliards-de-tonnes-de-plastiques_5162660_1652666.html
- [3] L. Rédaction, « Les États-Unis, champions du monde de pollution plastique », *Social Mag*, 20 décembre 2021. <https://www.socialmag.news/20/12/2021/etats-unis-champions-monde-pollution-plastique/> (consulté le 26 septembre 2022).
- [4] S. B. Kim, N. H. Yi, H. Y. Kim, J.-H. J. Kim, et Y.-C. Song, « Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, n° 3, p. 232-240, mars 2010, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002.
- [5] « Berthelot Jean-Marie Mécanique des Matériaux et Structures Composites [Ouvrage]. - Le Mans : Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés, 2013. - p. 667 ».
- [6] L. Gornet, « Généralités sur les matériaux composites », p. 52, 2008.
- [7] S. Soulama, « Caractérisation mécanique et thermique de biocomposites à matrice polystyrène recyclé renforcée par des coques de cotonnier (*Gossypium Hitsutum* L.) ou des particules de bois de Kéna (Hibiscus Cannabinus L.) », p. 213, 2014.
- [8] C. Ramadji, « Influence du rapport E/C sur les propriétés mécaniques du mortier à base du sable de mâchefer », p. 68, 2015.
- [9] « Matériau composite », *Wikipédia*. 22 octobre 2020. Consulté le: 10 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mat%C3%A9riau_composite&oldid=175810030
- [10] « CIMBÉTON, 2005 ; « Les constituants des bétons et des mortiers » ».
- [11] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th edition. Harlow, England ; New York: Trans-Atlantic Publications, Inc., 2012.
- [12] *Granulats, sols, ciments et bétons - Raymond Dupain , Raymond... - Librairie Eyrolles*. 1995. Consulté le: 10 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eyrolles.com/BTP/Livre/granulats-sols-ciments-et-betons-9782713520648/>
- [13] J. Baron, R. Sauterey, G. Darmois, J.- Maso, et M. Regourd, *LE BETON HYDRAULIQUE - CONNAISSANCE ET PRATIQUE*. 1982. Consulté le: 10 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://trid.trb.org/view/1039958>
- [14] M. Vénuat et P. Angoulvent, « Ciments et bétons », p. 15, 1978.
- [15] M. Regourd *et al.*, *LE BETON HYDRAULIQUE - CONNAISSANCE ET PRATIQUE - 3EME PARTIE : DE LA PATE MOULABLE A LA PIERRE ARTIFICIELLE*. 1982. Consulté le: 11 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://trid.trb.org/view/1039971>
- [16] « AFNOR, NF P 18-540, Granulats - définitions, conformité, spécifications, 1997.pdf ».

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [17] « Le guide de la construction, Travaux maçonnerie gros oeuvre, Zoom sur les différents types de sables et granulats », 18 septembre 2019. <https://www.travaux-gros-oeuvre.com/zoom-sur-les-differents-types-de-sables-et-granulats/> (consulté le 11 septembre 2022).
- [18] S. Mehmood, A. Khaliq, et S. A. Ranjha, « The use of post consumer plastic waste for the production of wood plastic composites: A Review », p. 12, 2010.
- [19] « Polytéréphtalate d'éthylène », *Wikipédia*. 6 novembre 2020. Consulté le: 11 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Polyt%C3%A9r%C3%A9phtalate_d%27%C3%A9thyl%C3%A8ne&oldid=176304863
- [20] « Thermoplastique ». 21 novembre 2019. Consulté le: 11 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermoplastique&oldid=164726840>
- [21] R. Siddique, « Recycled/Waste Plastic », in *Waste Materials and By-Products in Concrete*, R. Siddique, Éd. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, p. 93-120. doi: 10.1007/978-3-540-74294-4_3.
- [22] P. M. Subramanian, « Plastics recycling and waste management in the US », *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 28, n° 3-4, p. 253-263, 2000.
- [23] Mélanie, « Entrepreneuriat et gestion des déchets à Lomé », *Entrepreneurs du Monde*, 1 février 2022. <https://www.entrepreneursdumonde.org/fr/afd-gestion-dechets-lome/> (consulté le 28 août 2022).
- [24] « Togo/Emballages plastiques non-dégradables: Pour une mise en œuvre de la réglementation, MOUGUE Pacôme propose - VERT TOGO | Au coeur de l'information ». <https://vert-togo.com/togo-emballages-plastiques-non-degradables-pour-une-mise/> (consulté le 22 septembre 2022).
- [25] RTG, « Centre d'enfouissement technique d'Aképé : un million de tonnes de déchets ménagers traités depuis 2018 », *Site officiel du Togo, République Togolaise*. <https://www.republiquetogolaise.com/services-publics/0812-6367-centre-d-enfouissement-technique-d-akepe-un-million-de-tonnes-de-dechets-menagers-traites-depuis-2018> (consulté le 6 septembre 2022).
- [26] « C'est quoi le problème avec le plastique? », *écoconso*, 13 mars 2019. <https://www.ecoconso.be/fr/content/cest-quoi-le-probleme-avec-le-plastique> (consulté le 28 août 2022).
- [27] « What's worse, burning plastic or sending it to a landfill? », *Grist*, 23 juin 2016. <https://grist.org/living/whats-worse-burning-plastic-or-sending-it-to-a-landfill/> (consulté le 28 août 2022).
- [28] « What Chemicals Are Released When Plastic is Burned? », *AZ Chemistry*, 28 juin 2019. <https://azchemistry.com/what-chemicals-are-released-when-plastic-is-burned> (consulté le 28 août 2022).
- [29] « Anasap Togo - Immondices sorties des canalisations qui empêchent l'écoulement des eaux | Facebook ». <https://www.facebook.com/Anasap.Togo/photos/a.1679581268727199/5622630461088907/> (consulté le 1 septembre 2022).
- [30] « Gestion efficace des déchets ménagers », *République Togolaise*. <https://www.republicoftogo.com/toutes-les-rubriques/environnement/gestion-efficace-des-dechets-menagers> (consulté le 27 août 2022).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [31] @NatGeoFrance, « 91% des déchets plastiques ne sont pas recyclés », *National Geographic*, 29 août 2017. <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/91-des-dechets-plastiques-ne-sont-pas-recycles> (consulté le 28 août 2022).
- [32] « Expert de l'ensemble du cycle de gestion de l'environnement et du cycle déchet », *Expert de l'ensemble du cycle de gestion de l'environnement et du cycle déchet*. <http://www.africaglobal-recycling.com/> (consulté le 28 août 2022).
- [33] « A propos de nous – Le portail du déchet au Togo par GIP ». <https://giprecyclage.org/a-propos-de-nous/> (consulté le 28 août 2022).
- [34] B. Harini et K. V. Ramana, « Use of recycled plastic waste as partial replacement for fine aggregate in concrete », *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 4, n° 9, p. 8596-8603, 2015.
- [35] R. Siddique, J. Khatib, et I. Kaur, « Use of recycled plastic in concrete: A review », *Waste Manag.*, vol. 28, n° 10, p. 1835-1852, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.011.
- [36] Z. Ge, D. Huang, R. Sun, et Z. Gao, « Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate », *Constr. Build. Mater.*, vol. 73, p. 682-687, déc. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.10.005.
- [37] S. Pascal, « Comportement mécanique de composites mortier-polymère », These de doctorat, Châtenay-Malabry, Ecole centrale de Paris, 2002. Consulté le: 27 août 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2002ECAP0851>
- [38] S. Yang, X. Yue, X. Liu, et Y. Tong, « Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles », *Constr. Build. Mater.*, vol. 84, p. 444-453, juin 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038.
- [39] S. C. Kou, G. Lee, C. S. Poon, et W. L. Lai, « Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes », *Waste Manag.*, vol. 29, n° 2, p. 621-628, févr. 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.06.014.
- [40] W. Mouats, A. Abdelouahed, H. Hebhoub, et W. Boughamsa, « THE EFFECT OF PLASTIC WASTE FIBERS ON MORTAR PERFORMANCE », p. 9, 2021.
- [41] T. R. Naik, S. S. Singh, C. O. Huber, et B. S. Brodersen, « Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites », *Cem. Concr. Res.*, vol. 26, n° 10, p. 1489-1492, oct. 1996, doi: 10.1016/0008-8846(96)00135-4.
- [42] P. Panyakapo et M. Panyakapo, « Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete », *Waste Manag.*, vol. 28, n° 9, p. 1581-1588, janv. 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.08.006.
- [43] A. A. Al-manaseer et T. r Dalal, « Concrete Containing Plastic Aggregates », *Concr. Int.*, vol. 19, n° 8, p. 47-52, août 1997.
- [44] A. Kan et R. Demirboğa, « A novel material for lightweight concrete production », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 31, n° 7, p. 489-495, août 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.05.002.
- [45] P. Asokan, M. Osmani, et A. Price, « Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete », *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, n° 4, p. 448-460, avr. 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.017.
- [46] K. Hannawi, S. Kamali-Bernard, et W. Prince, « Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates », *Waste Manag.*, vol. 30, n° 11, p. 2312-2320, nov. 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.03.028.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [47] H. U. Ahmed, R. H. Faraj, N. Hilal, A. A. Mohammed, et A. F. H. Sherwani, « Use of recycled fibers in concrete composites: A systematic comprehensive review », *Compos. Part B Eng.*, vol. 215, p. 108769, juin 2021, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.108769.
- [48] S. Yalameli, M. S. Dandargi, S. N. S. Sundar, et H. L. Shabdhana, « Experimental Investigation on Strength of Light Weight Concrete Using Plastic Waste – A Review », *Int. J. Recent Adv. Multidiscip. Top.*, vol. 1, n° 4, Art. n° 4, 2020.
- [49] S. D. Kore, « Sustainable Utilization of Plastic Waste in Concrete Mixes - a Review », *J. Build. Mater. Struct.*, vol. 5, n° 2, p. 212-217, janv. 2019, doi: 10.34118/jbms.v5i2.59.
- [50] M. Thiam, M. Fall, et M. S. Diarra, « Mechanical properties of a mortar with melted plastic waste as the only binder: Influence of material composition and curing regime, and application in Bamako », *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, p. e00634, déc. 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00634.
- [51] A. Remadnia, A. Goullieux, M. Q. t’Kint, et R.-M. Dheilly, « Physical Properties of Composites Manufactured with Two Wastes from Food-Processing Industry », *Waste Biomass Valorization*, vol. 11, n° 6, p. 2995-3005, juin 2020, doi: 10.1007/s12649-018-0525-1.
- [52] B. A. Soufiane, « Performances Mécaniques et Durabilité des Matériaux Cimentaires Modifiés par Ajout de Polymère (PET) », p. 277, 2011.
- [53] C. Vipulanandan et E. Paul, « Characterization of Polyester Polymer and Polymer Concrete », *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 5, n° 1, p. 62-82, févr. 1993, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:1(62).
- [54] M. Guendouz, F. Debieb, O. Boukendakdji, E. Kadri, M. Bentchikou, et H. Soualhi, « Use of plastic waste in sand concrete », p. 8, 2016.
- [55] P. Soroushian, J. Plasencia, et S. Ravanbakhsh, « Assessment of Reinforcing Effects of Recycled Plastic and Paper in Concrete », *Mater. J.*, vol. 100, n° 3, p. 203-207, mai 2003, doi: 10.14359/12620.
- [56] T. Kitamura, « Market development for recycling thermoset in Japan », 1994.
- [57] K. S. Rebeiz, D. W. Fowler, et D. R. Paul, « Polymer concrete and polymer mortar using resins based on recycled poly(ethylene terephthalate) », *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 44, n° 9, p. 1649-1655, mars 1992, doi: 10.1002/app.1992.070440919.
- [58] K. S. Rebeiz, S. P. Serhal, et D. W. Fowler, « Structural Behavior of Polymer Concrete Beams Using Recycled Plastic », *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 6, n° 1, p. 150-165, févr. 1994, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1994)6:1(150).
- [59] P. Asokan, M. Osmani, et A. D. F. Price, « Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites », *J. Clean. Prod.*, vol. 17, n° 9, p. 821-829, juin 2009, doi: 10.1016/j.jclepro.2008.12.004.
- [60] M. Belbachir, M. Belhadji, et M. Mouli, « Comportement mécanique et durabilité des matériaux Composites Mortier-Polymère (PET) », p. 147, sept. 2006.
- [61] B. Hichem, M. Zoubir, et M. Bederina, « Comportement Mécanique Des Mortiers Composites à Base De Ciment-Polymère », vol. 7, p. 26-32, déc. 2018.
- [62] Y.-W. Choi, D.-J. Moon, J.-S. Chung, et S.-K. Cho, « Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete », *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, n° 4, p. 776-781, avr. 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.05.014.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [63] Y. W. Choi, J. S. Jung, D. J. Moon, H. C. Shin, et Y. T. Hwang, « An experimental study on the properties of lightweight aggregate concrete using waste PET bottles », in *2002 Korea Concrete Institute Conference*, 2002, n° 11, p. 211-216.
- [64] O. Y. Marzouk, R. M. Dheilily, et M. Queneudec, « Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites », *Waste Manag.*, vol. 27, n° 2, p. 310-318, janv. 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.03.012.
- [65] S. Benimam, F. Debieb, M. Bentchikou, et M. Guendouz, « Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton », *MATEC Web Conf.*, vol. 11, p. 01033, 2014, doi: 10.1051/mateconf/20141101033.
- [66] Y. Ohama, *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars: Properties and Process Technology*. William Andrew, 1995.
- [67] A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, et M. Quéneudec, « Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, n° 7, p. 650-657, août 2006, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2006.05.006.
- [68] V. Corinaldesi, A. Mazzoli, et G. Moriconi, « Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles », *Mater. Des.*, vol. 32, n° 3, p. 1646-1650, mars 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2010.10.013.
- [69] Y. Senhadji, G. Escadeillas, A. S. Benosman, M. Mouli, H. Khelafi, et S. Ould Kaci, « Effect of incorporating PVC waste as aggregate on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete », *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 29, n° 7, p. 625-640, avr. 2015, doi: 10.1080/01694243.2014.1000773.
- [70] Y. W. Choi, D. J. Moon, Y. J. Kim, et M. Lachemi, « Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles », *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, n° 8, p. 2829-2835, août 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.036.
- [71] C. Albano, N. Camacho, M. Hernández, A. Matheus, et A. Gutiérrez, « Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios », *Waste Manag.*, vol. 29, n° 10, p. 2707-2716, oct. 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2009.05.007.
- [72] N. Saikia et J. de Brito, « Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete », *Mater. Res.*, vol. 16, n° 2, p. 341-350, févr. 2013, doi: 10.1590/S1516-14392013005000017.
- [73] S. Akçaözoğlu et C. Ulu, « Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends », *Constr. Build. Mater.*, vol. 58, p. 31-37, mai 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.011.
- [74] A. S. Benosman *et al.*, « L'effet de l'ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux Composites Mortier-PET (Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials) », p. 13, 2015.
- [75] D. S. Babu, K. G. Babu, et T. H. Wee, « Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash », *Cem. Concr. Res.*, p. 6, 2005.
- [76] B. A. Herki, J. M. Khatib, et E. M. Negim, « Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash », p. 6, 2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [77] Z. Z. Ismail et E. A. Al-Hashmi, « Validation of using mixed iron and plastic wastes in concrete », in *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Ancona*, 2010, p. 393-403.
- [78] K. B. V. Kumar et P. Prakash, « Use of waste plastic in cement concrete pavement », *Adv Mater Res J*, vol. 15, p. 1-21, 2006.
- [79] A. M. Matos, S. Nunes, et J. Sousa-Coutinho, « Cork waste in cement based materials », *Mater. Des.*, vol. 85, p. 230-239, nov. 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2015.06.082.
- [80] K. Senthil Kumar et K. Baskar, « Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries », *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 17, n° 4, p. 718-724, oct. 2015, doi: 10.1007/s10163-014-0303-5.
- [81] N. Usahanunth et S. Tuprakay, « The transformation of waste Bakelite to replace natural fine aggregate in cement mortar », *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 6, p. 120-133, juin 2017, doi: 10.1016/j.cscm.2017.01.005.
- [82] J.-H. J. Kim, C.-G. Park, S.-W. Lee, S.-W. Lee, et J.-P. Won, « Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites », *Compos. Part B Eng.*, vol. 39, n° 3, p. 442-450, avr. 2008, doi: 10.1016/j.compositesb.2007.05.001.
- [83] M. Frigione, « Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete », *Waste Manag.*, vol. 30, n° 6, p. 1101-1106, juin 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.030.
- [84] P. Mounanga, W. Gbongbon, P. Poullain, et P. Turcry, « Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, n° 9, p. 806-814, oct. 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.06.007.
- [85] M. Batayneh, I. Marie, et I. Asi, « Use of selected waste materials in concrete mixes », *Waste Manag.*, vol. 27, n° 12, p. 1870-1876, janv. 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.07.026.
- [86] Z. Z. Ismail et E. A. AL-Hashmi, « Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement », *Waste Manag.*, vol. 28, n° 11, p. 2041-2047, nov. 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.08.023.
- [87] B. Rai, S. T. Rushad, B. Kr, et S. K. Duggal, « Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer », *ISRN Civ. Eng.*, vol. 2012, p. 1-5, mai 2012, doi: 10.5402/2012/469272.
- [88] V. Corinaldesi, « Lightweight plasters containing plastic waste for sustainable and energy-efficient building », *Constr. Build. Mater.*, p. 9, 2015.
- [89] A. Ben Fraj, M. Kismi, et P. Mounanga, « Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete », *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, n° 6, p. 1069-1077, juin 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.11.010.
- [90] B. Coppola, « Investigation on the use of foamed plastic waste as natural aggregates replacement in lightweight mortar », p. 21, 2016.
- [91] M. Kismi et P. Mounanga, « Comparaison performantielle à court et à long termes de mortiers légers à base de déchets de mousse de polyuréthane rigide et de billes de polystyrène expansé », *MATEC Web Conf.*, vol. 2, p. 01019, 2012, doi: 10.1051/matecconf/20120201019.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [92] B. Sabaa et R. S. Ravindrarajah, « ENGINEERING PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE CONTAINING CRUSHED EXPANDED POLYSTYRENE WASTE », p. 11, 1997.
- [93] R. Wang et C. Meyer, « Performance of cement mortar made with recycled high impact polystyrene », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, n° 9, p. 975-981, oct. 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.06.014.
- [94] M. I. Juki *et al.*, « Relationship Between Compressive, Splitting Tensile and Flexural Strength Of Concrete Containing Granulated Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles as Fine Aggregate », vol. 795, p. 5, 2013.
- [95] H. G. Patel et S. P. Dalal, « An Experimental Investigation on Physical and Mechanical Properties of Concrete with the Replacement of Fine Aggregate by Poly Vinyl Chloride and Glass Waste », *Procedia Eng.*, vol. 173, p. 1666-1671, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.191.
- [96] A. Kan et R. Demirboğa, « A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates », *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, n° 6, p. 2994-3000, mars 2009, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.07.017.
- [97] N. Haghghatnejad, S. Y. Mousavi, S. J. Khaleghi, A. Tabarsa, et S. Yousefi, « Properties of recycled PVC aggregate concrete under different curing conditions », *Constr. Build. Mater.*, vol. 126, p. 943-950, nov. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.047.
- [98] S. E. Chidiac et S. N. Mihaljevic, « Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates », *Cem. Concr. Compos.*, vol. 33, n° 8, p. 855-863, sept. 2011, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.05.004.
- [99] S. Akçaözöğlü, C. D. Atiş, et K. Akçaözöğlü, « An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete », *Waste Manag.*, vol. 30, n° 2, p. 285-290, févr. 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2009.09.033.
- [100] F. Tittarelli et S. P. Shah, « Effect of low dosages of waste GRP dust on fresh and hardened properties of mortars: Part 1 », *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, p. 1532-1538, oct. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.043.
- [101] K. B. Amey, K. Neglo, et A. Y. Kouto, « Étude expérimentale de la formulation de mortier a base de sable silteux du Togo et de liant de sachets plastiques type « voltic » », p. 12, 2014.
- [102] « Thior M., Sane T., SY O., Descroix L., Ndiaye L. G. ; CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES ET DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ENTRE LES DIFFERENTES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES DU LITTORAL DE LA CASAMANCE (SENEGAL) ; 2019 ».
- [103] « NF EN 933-8/IN1 », *Afnor EDITIONS*. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-9338-in1/essais-pour-determiner-les-caracteristiques-geometriques-des-granulats-part/fa059661/45461> (consulté le 8 septembre 2022).
- [104] O. Y. Marzouk, R. M. Dheilly, et M. Queneudec, « Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites », *Waste Manag.*, vol. 27, n° 2, p. 310-318, janv. 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.03.012.
- [105] L. Gu et T. Ozbakkaloglu, « Use of recycled plastics in concrete: A critical review », *Waste Manag.*, vol. 51, p. 19-42, mai 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.005.

ANNEXES

5. ANNEXES

5.1. Détails de calculs

Tableau 5-1 : Densité apparente

Matériau	Unité	Sable			PET			Ciment		
Volume(V_app)		1000	1000	1000	900	900	900	900	900	900
Masse du matériau (m)	g	1873,46	1880,73	1888,93	80	73,1	73,7	1247,3	1265	1264,8
Masse volumique	Kg/m3	1,873	1,881	1889	0,089	0,081	0,082	1,386	1,406	1,405
Moyenne de masse volumique	Kg/m3	1,881			0,084			1,399		
Densité		1,88			0,08			1,4		

Tableau 5-2 : Détails de calcul de l'équivalent de sable

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Hauteur total	8,9	9,15	9,05	9,1	9,35
Hauteur de sable	6,7	6,95	7,1	7,3	7,05
ESv (%)	75,28	75,96	78,45	80,22	75,40
Moyen ESv (%)	77,06				

Tableau 5-3 : Densité de mortier Durci à 28 jours

C (g)	E/C	Composite	Masse			Moyenne	Densité
			M ₁	M ₂	M ₃		
450	0,5	0%	540,88	555,99	541,82	546,23	2,133
		0,50%	552,01	572,74	564,5	563,08	2,199
		1%	557,19	564,21	567,87	563,09	2,199
		1,50%	553,88	573,44	558,7	562,01	2,195
		2%	556,24	602,38	588,64	582,42	2,275

5.2. Illustration des matériels

Les figures suivantes illustre l'essentiel des matériels qui ont servi pour les essais.



Figure 5-1 : Série normalisée de tamis AFNOR



Figure 5-2 : Pycnomètre



Figure 5-3 : Tare de contenance sur une balance électronique



Figure 5-4 : Eprouvettes graduées



Figure 5-5 : Moules prismatiques
40mmx40mmx160mm



Figure 5-6 : Malaxeur de mortier

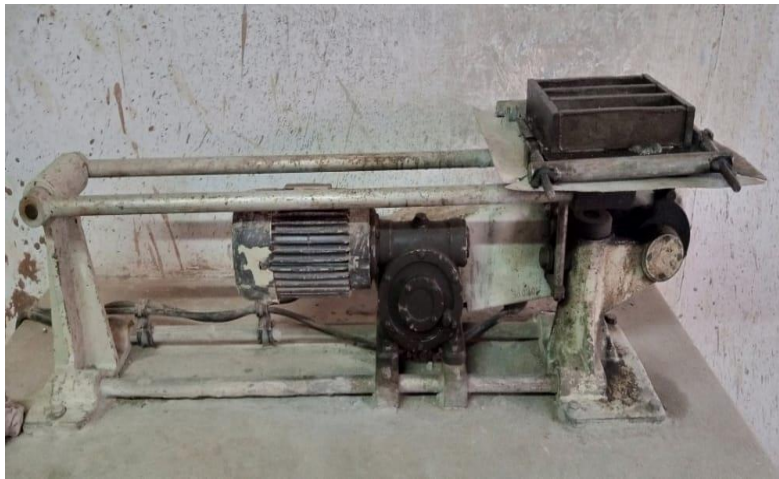


Figure 5-7 : Table à chocs



Figure 5-8 : Machine de type Controls pour les essais de flexion et de compression

RESUME

Ces dernières années, des tonnes de déchets plastiques ont commencé à représenter un défi majeur et un problème environnemental. Les organismes et mécanismes de recyclage mis en place pour pallier ce problème ne sont pas assez efficaces malgré leurs efforts. La revalorisation de ces déchets constitue alors une solution intéressante pour contribuer à diminuer l'impact néfaste des déchets plastiques sur l'environnement.

L'objectif de cette étude est d'étudier les possibilités d'utilisation des déchets plastiques dans la construction. Pour ce faire, il est nécessaire dans une première phase de faire la lumière sur les travaux réalisés par d'autres chercheurs dans le cadre de l'utilisation des déchets plastiques dans la construction. Cette recherche documentaire a révélé qu'il est possible d'utiliser les déchets de plastiques sous forme de résine, de poudre et de fibres dans le béton ou le mortier.

Ensuite une étude expérimentale a été réalisée dans le but d'étudier la performance mécanique d'un composite de mortier à base de fibres plastiques issu du polyéthylène téréphtalate (PET). Pour ce faire, des fibres de plastique de proportions 0%, 0,5%, 1%, 1,5% et 2% ont été substituées au ciment afin d'étudier les caractéristiques mécaniques de ces composites. Les dimensions adoptées pour les fibres sont 40 mm pour la longueur et 2 mm pour la largeur. Il en ressort de cette étude que la proportion de fibre qui offre la meilleure performance mécanique est de 5%. Ainsi la résistance à la compression à 7 jours d'âge du composite avec 5% de PET dépasse celle du béton témoin de 10%. Par contre la résistance à la compression à 28 jours d'âge du composite avec 5% de PET dépasse celle du béton témoin de 2,21%. Quant à la résistance à la flexion, l'on observe une augmentation de 19,84% à 7 jours et 4,32% à 28 jours par rapport au mortier témoin.

Mots clés : Mortiers composites, fibres, déchets plastiques, PET, caractéristiques mécaniques, recyclage.

ABSTRACT

In recent years, tonnes of plastic waste have started to represent a major challenge and environmental problem. The recycling organisations and mechanisms put in place to address this problem are not efficient enough despite their efforts. The reuse of these wastes is therefore an interesting solution to help reduce the negative impact of plastic waste on the environment.

The objective of this study is to investigate the possibilities of using plastic waste in construction. In order to do so, it is necessary in a first phase to shed light on the work done by other researchers in the field of the use of plastic waste in construction. This literature search revealed that it is possible to use plastic waste in the form of resin, powder and fibres in concrete or mortar.

Next, an experimental study was carried out to investigate the mechanical performance of a plastic fibre-based mortar composite from polyethylene terephthalate (PET). Plastic fibres of proportions 0%, 0.5%, 1%, 1.5% and 2% were substituted for the cement in order to study the mechanical characteristics of these composites. The dimensions adopted for the fibres were 40 mm in length and 2 mm in width. It was found that the proportion of fibre that offered the best mechanical performance was 5%. Thus the 7-day compressive strength of the composite with 5% PET exceeds that of the control concrete by 10%. On the other hand, the compressive strength at 28 days of age of the composite with 5% PET exceeds that of the control concrete by 2.21%. As for the flexural strength, an increase of 19.84% at 7 days and 4.32% at 28 days was observed compared to the control mortar.

Key words : Composite mortars, fibres, plastic waste, PET, mechanical characteristics, recycling