الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة قاصدي مرباح- ورقلة

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE Civil et Hydraulique

THÈSE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLÔME

DE DOCTORAT TROISIEME CYCLE

Spécialité : GENIE CIVIL

Option : Géo-Matériaux

Intitulé

Etude d'un Matériau Composite à Base Polymère-Sable en Zone Aride

Présentée et Soutenue publiquement par :

SEGHIRI Mehdi

Le : 09 / 03/2020

Devant le jury composé de :

BEBBA Ahmed Abd Elhafid	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
BOUTOUTAOU Djamel	Professeur	U.K.M. Ouargla	Rapporteur
KRIKER Abdelouahed	Professeur	U.K.M. Ouargla	Co-Rapporteur
BENTABBA Mohammed Taher	Professeur	U.K.M. Ouargla	Examinateur
GUETTALA Salim	Professeur	UNIV. Djelfa	Examinateur

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Je remercie très sincèrement mon promoteur, Professeur **BOUTOUTAOU Djamel** et Co- promoteur Professeur **KRIKER Abdelouahed** pour mon encadré et dirige au cours de mon projet de recherche.

Je remercie le Professeur **BEBBA Ahmed Abd Elhafid** pour l'honneur qui m'a fait en acceptant de présider mon jury de thèse. Mes remerciements vont également aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner cette étude de recherche : **BENTABBA Mohammed Taher** et **GUETTALA Salim.**

J'adresse ma profonde gratitude à tous mes instituteurs et enseignants durant toute ma vie etudiantine, sans oublier les chefs et les membres du personnel des organismes ci-après :

- Laboratoire EVRNZA de l'université de Kasdi merbeh de la wilaya d'Ouargla.
- Laboratoire de POLYMED Sonatach de la wilaya de Skikda.
- Laboratoire nationale CETIM de la wilaya de Boumerdes.
- Laboratoire LTPS Ouargla.
- Département génie civil de l'université de Constantine 1
- Usine de Cirta céramique de la wilaya de Constantine.

Je tiens à remercie aussi Monsieur LOUCIF Med Lamine pour les nombreuses explications qu'il m'a patiemment donné, l'aide technique précieuse qu'il m'a apporté et en plus le grand bénéfice que m'a tiré au contact de leur expérience

Je remercie chaleureusement mes collègues pour leurs soutiens techniques et moraux, en particulier BOUFEDAH BADISSI Ahmed et HACHANI Ibrahim. J'aimerais remercier aussi tous mes amis en particulier : Boutbanta Hichem, Okba, Said et Mouhamed qui ont été à mes côtés dans les moments les plus difficiles.

A ma mère,

Pour tout le soutien que tu m'accordes. Puisse l'Eternel t'accordes une meilleure santé et une longévité, afin que tu jouisses pleinement des fruits de toutes ces années d'investissement et de sacrifice.

A mon père,

Ton fils te prouve, à travers ce travail, que tu peux une fois encore être fier de l'éducation que tu as donné à tes enfants, Alleh yarahmou.

A mes chers frères 'Chouaib et Abdeldjalil', qu'allah vous garde et vous protège.

Résumé

Le plastique est le matériau synthétique le plus utilisé dans le monde en raison de ses caractéristiques spécifiques. Il est très utile dans différents secteurs tels que la médecine, l'industrie et la construction. Malheureusement les produits en plastiques après utilisation sont rejetés dans la nature. Leur accumulation pose un problème écologique en raison que la durée de leur décomposition est très longue. Plusieurs solutions ont été proposées pour l'élimination des déchets plastiques, nous citons par exemple l'incinération. Malheureusement cette solution n'est pas écologique, puisqu'elle produise plusieurs types de produits toxiques dans la nature. Alors que la valorisation des déchets en plastique par les intégrer dans la fabrication des nouveaux matériaux composites est une solution environnementale partielle qui permettra de réduire le taux des déchets plastiques incinérés ou enterrés dans des sites d'enfouissement.

L'objectif de cette thèse est de préserver l'environnement à travers l'utilisation du polyéthylène à haute densité recycle comme liant dans la production des carreaux polymère/ tuiles polymère de toiture destinées à remplacer les matériaux de construction classiques tels que l'argile et le ciment toute en répondant aux exigences des normes en vigueur. Ce nouveau carreau polymère/ tuile polymère de toiture se compose du polyéthylène à haut densité recycle et sable de dune, où le polyéthylène haut densité recyclé a été fusionné et mélangé à une proportion variable de sable de dune (variation entre 20% et 70% en poids).

Un programme d'essais expérimentaux a été mené pour évaluer les propriétés physiques, mécaniques et durabilité des carreaux polymères composite et tuiles polymères composite de couverture. Les résultats montrent que le taux d'absorption d'eau varie de 1,11 à 1,57%, le composite polymère ayant une densité légère, une résistance à la flexion acceptable, une bonne résistance à l'abrasion et une résistance chimique parfaite. Cette recherche a démontré avec succès que ce type de polymère composite pourrait s'avérer être un revêtement de sol et de toiture présentant les caractéristiques souhaitées. Le polymère composite avec 70% de (HDPE$_R$) polyéthylène à haute densité recycle donne les meilleurs résultats que l'autre proportion (meilleure qualité).

Il est bien connu que le polyéthylène à haute densité noble porte des caractéristiques plus performantes qu'un polyéthylène à haute densité recycle. Un travail expérimentale additif est réalisé pour étudier l'influence de remplacer le Polyéthylène haute densité

recyclé ($PEHD_R$) par Polyéthylène haute densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 sur les caractéristiques physiques et mécaniques des carreaux polymères composites / tuiles polymères composite de couverture. Les résultats obtenus montrent que Le remplacement total de polyéthylène haute densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haute densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des tuiles polymères n'améliore que la résistance à la charge de rupture.et la résistance à l'abrasion.

Mot de clé : sable de dune, déchets plastiques, Valorisation, Tuile polymère de toiture, Carreau polymère.

Abstract:

The plastic is the most used man-made material in the world through their specific characteristics. It is very useful in different areas such as medicine, industry and construction. Unfortunately after the use are thrown in nature. Their accumulation poses an environmental problem because the duration of their decomposition is very long. Several solutions have been proposed for the disposal of plastic waste for example the incineration. Unfortunately this solution is not ecological, because these burned quantities produce several types of toxic products. While the valorization of plastic waste by the integrated in the manufacture of new composite materials is a partial environmental solution that will reduce the rate of plastic waste incineration or landfill.

The objective of this thesis is the preservation of the environment through the use of high density polyethylene recycled as a binder in the production of polymer tiles / polymer roof tiles intended to replace traditional construction materials such as clay and cement while meeting the requirements of the standards. This new polymer tile / polymer roof tile consists of a recycled high density polyethylene melted and mixed with a variable proportion of dune sand (variation between 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% by weight).

An experimental test program was conducted to evaluate the physical properties (the density and the water absorption), mechanical properties (the flexural strength) and durability properties (the resistance to abrasion of unglazed composite and the chemical resistance).The results show that the water absorption ratio varies from 1.11 and 1.57%, the polymer composite has a light density, an acceptable flexural strength, a good resistance to abrasion resistance, a perfect chemical resistance. This research has demonstrated that this type of composite polymer could prove to be a flooring and wall covering with the desired characteristics. The composite polymer with 70% of ($HDPE_R$) gives the better results than the other proportion (best quality).

It is well known that high density polyethylene has higher performance characteristics than recycled high density polyethylene. An additive experimental work is designed to study the influence of replacing the recycled high-density polyethylene ($HDPE_R$) by Polyethylene noble high density ($HDPE_N$) 5502 degree on the physical and

mechanical characteristics of the composite tile polymer / polymer composite roof tiles. The results obtained show that the total replacement of recycled high-density polyethylene ($HDPE_R$) by high-grade polyethylene ($HDPE_N$) grade 5502 in the manufacture of polymer tiles / polymer composite roof tiles improves only the resistance to breaking load and the abrasion resistance.

Key world: Dune sable, plastic waste, Valoziation, polymer roof tile, polymer tile.

ملخص

البلاستيك هو المادة الاصطناعية الأكثر استخدامًا في العالم نظرًا لخصائصها المختلفة. إنه مفيد للغاية في قطاعات مختلفة مثل الطب والصناعة والبناء. للأسف المنتجات البلاستيكية بعد الاستخدام يتم رميها في الطبيعة. يشكل تراكمها مشكلة بيئية لأن مدة تحللها طويلة جدًا. تم اقتراح عدة حلول للتخلص من النفايات البلاستيكية، على سبيل المثال حرقها. مع الأسف، هذا الحل ليس بيئيًا، لأن هذه الكميات المحروقة تنتج عدة أنواع من المنتجات السامة في الطبيعة. في حين يعد استرداد النفايات البلاستيكية من خلال دمجها في صناعة المواد المركبة الجديدة حلاً بيئيًا جزئيًا من شأنه تقليل معدل نفايات البلاستيك المحترقة أو المدفونة في مراكز الردم التقني.

الهدف من هذه الاطروحة هو الحفاظ على البيئة من خلال استخدام البولي إيثلين عالي الكثافة المعاد تدويره ليكون بديلا للروابط التقليدية (الطين والإسمنت) في إنتاج بلاطات البوليمر / بلاطات الأسقف البوليمرية مع تلبية متطلبات المعايير المعمول بها دوليا. يتكون البلاط البوليمري / بلاط الأسقف البوليمر الجديد من البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره و رمل الكثبان الرملية، حيث يتم تذويب البولي إيثيلين و مزجه بنسب متفاوتة من الرمل (التباين بين 20٪ الى غية 70٪ من الوزن الاجمالي للعينة).

تم إجراء برنامج اختبار تجريبي لتقييم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والمتانة لبلاط البوليمر المركب وبلاط التسقيف البوليمري المركب. أظهرت النتائج أن معدل امتصاص الماء يتراوح من 1.11 إلى 1.57٪ ، ومركب البوليمر له كثافة خفيفة وقوة انثناء مقبولة ومقاومة جيدة للتآكل ومقاومة كيميائية مثالية . لقد أثبت هذا البحث بنجاح أن هذا النوع من البوليمر المركب يمكن أن يكون غطاء أرضي وسقفي و يلبي متطلبات المعايير الدولية المعمول بها. يعطي البوليمر المركب ذو المحتوى 70 ٪ من البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره (PEHDR) أفضل نتائج من باقي المركبات (جودة أفضل).

من المعروف أن البولي إثيلين عالي الكثافة له خصائص أداء أعلى من البولي إثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره. تم القيام بعمل تجريبي إضافي لدراسة تأثير استبدال مادة البولي إيثيلين المعاد تدويرها عالية الكثافة (HDPER) ببولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHDN) الصافي ذو الدرجة 5502 على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبلاط البوليمر المركب / بلاط تسقيف البوليمر المركب. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الاستبدال الكلي للبولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره (PEHDR) بالبولي إيثيلين عالي الكثافة الصافي (PEHDN) ذو الدرجة 5502 في تصنيع بلاطات البوليمر يحسن فقط التحمل المستعرض (معيار الكسر) ومقاومة التآكل.

الكلمات المفتاحية: الكثبان الرملية، نفايات البلاستيك، تشمين، بلاطات البوليمر، بلاطات الأسقف البوليمرية

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure 1.1 : Usine d'incinération des déchets d'ordures ménagères de Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis) (futura, 2009) 19

Figure 1.2 : Codes de recyclage des plastiques ((Josk Aguado, 1999)) 30

Figure 1.3 : Cycle du recyclage du plastique (lizinne, 2009) 30

Chapitre II :

Figure 2.1 : Procédés de fabrication des carreaux céramiques (BOUGRINAT, 2014) 51

Figure 2.2 : Stockage de la matière premier (BOUGRINAT, 2014) 52

Figure 2.3 : Représentation schématique de l'essai de la résistance à l'abrasion profonde (Van Laecke, 2009) 62

Figure 2.4 : Aspect d'un échantillon de dureté (Van Laecke, 2009) 63

Figure 2.5 : Tuile canal (Edilians, 2009) 67

Figure 2.6 : Procédé de fabrication des tuiles en terre cuite (Jérémie, 2014) 68

Figure 2.7 : Essai de la résistance à la flexion des tuiles (EN 538) 74

Chapitre III :

Figure 3.1 : Sable de dune (SD) 79

Figure 3.2 : Courbe granulométrique du sable de dune 79

Figure 3.3 : Equivalent du sable 80

Figure 3.4: Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) 81

Figure 3.5 : Polyéthylène haut densité noble 5502 ($PEHD_N$) 85

Figure 3.6 : Étapes de fabrication des tuiles polymères /carreaux polymères 87

Figure 3.7 : Différents proportion des tuiles/ carreaux polymères à base de (SD) et ($PEHD_R$) 90

Figure 3.8: Proportion des tuiles/ carreaux polymères à base de (SD) et ($PEHD_N$) 90

Chapitre IV :

Figure 4.1 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du PEHD recyclé 93

Figure 4.2: Charge de rupture des tuiles polymères en fonction de la quantité du $PEHD_R$ 94

Figure 4.3 : Essai de l'imperméabilité des carreaux/ tuiles polymères à base du SD et $PEHD_R$ 96

Figure 4.4 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du $PEHD_R$ 98

Figure 4.5 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du $PEHD_R$ recyclé 99

Figure 4.6: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du $PEHD_R$ 100

Figure 4.7 : Essais de la résistance chimique des carreaux polymères à base du $PEHD_R$ 105

Figure 4.8 : Résultats d'essai chimique sur les différentes proportions du carreau polymères à base du $PEHD_R$ 106

Figure 4.9 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du $PEHD_N$ 107

Figure 4.10 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 108

Figure 4.11 : Charge de rupture des tuiles polymères en fonction du $PEHD_N$ 109

Figure 4.12 : Charge de rupture des tuiles polymères en fonction du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 109

Figure 4.13 : Essai de l'imperméabilité des carreaux/ tuiles polymères à base du SD et $PEHD_N$ 111

Figure 4.14 Mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du $PEHD_N$ 113

Figure 4.15 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du $PEHD_N$ 113

Figure 4.16 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 114

Figure 4.17 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du $PEHD_N$ 115

Figure 4.18 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 115

Figure 4.19 : Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du $PEHD_N$ 117

Figure 4.20: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 117

Figure 4.21 : Boite de visualisation 119

Photo 4.22 : Mesure de la longueur de la corde du carreau polymère à base du $PEHD_N$ 119

Figure 4.23 : Essai de la résistance chimique des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 121

Figure 4.24 : Résultats d'essai chimique sur les différentes proportions du carreau polymère à base de PEHD noble 122

Figure 4.25: Carreau polymère fabriqué à partir du Polyéthylène haute densité, sable de dune et pigment 124

Liste des photos :

Chapitre I :

Photo 1.1 : Cycle de production des matières plastiques (Michel, 2009) 9

Photo1.2 : Déchets jetés dans l'espace publique 24

Photo1.3 : Décharge du déchet de ménage de la wilaya de Constantine (photo prise le 15/03/2017) 25

Photo 1.4 : Vue aérienne sur le centre d'enfouissement technique (CET) ville nouvelle de Hassi Messaoud wilaya d'Ouargla (photo prise par considère le 08/04/ 2019) 26

Photo 1.5 : Enfouissement des déchets (Nawal ,2019) 27

Photo 1.6 : Première étape du recyclage des déchets plastiques la collecte 31

Photo 1.7 : Centre de tri des déchets de ménage de la ville nouvelle de Hassi Messaoud wilaya d'Ouargla d'une capacité de 25 tonnes / jours (photo prise le 05/06/2019) 32

Photo 1.8 : Vue en 3D du broyage des déchets plastiques 32

Photo 1.7 : Vue en 3D du lavage des déchets plastiques 33

Chapitre II :

Photo 2.1 : Préparation de la barbotine (Ceratec, 2010) 52

Photo 2.2 : Séchage de la barbotine (Ceratec, 2010) 53

Photo 2.3 : Presse du carrelage (Lietti, 2010) 54

Photo 2.4 : Séchage du carrelage (Ceratec, 2010) 55

Photo 2.5: Emaillage du carrelage (Ceratec, 2010) 56

Photo 2.6: Cuisson du carrelage (Ceratec, 2010) 56

Photo 2.7: Contrôle du carrelage (Ceratec, 2010) 57

Photo 2.8: Mise en boite d'emballage du carrelage (Ceratec, 2010) 57

Photo 2.9: Zone de stockage du carrelage (Ceratec, 2010) 58

Photo 2.10 : Maison construite par des tuiles Plates (mccharpente, 2010) 66

Photo 2.11 : Extraction d'argile (Maghrébine, 2015) 69

Photo 2.12: Le mélange d'argile (Maghrébine, 2015) 70

Photo 2.13: Préparation d'argile (Maghrébine, 2015) 71

Photo 2.14 : Extrusion et pressage du mélange argileux (Lamaber, 2013) 72

Photo 2.15 : Tuile dans la phase du séchage 72

Photo 2.16 : Cuisson des tuiles en terre cuite 73

Chapitre III :

Photo 3.1 : Appareil de la mesure de l'indice de fluidité 81
Photo 3.2 : Appareil de la dureté (ASTM D2240) 82
Photo 3.3 : Appareil de la mesure la densité (ASTM D1505) 82
Photo 3.4 : Appareil de l'élongation à la rupture, résistance à la traction (ASTM D 882) 83
Photo 3.5 : Appareil de la résistance à L'impact Izod (ASTM D256) 84
Photo 3.6 : Matériel de fabrication 86

Chapitre IV :

Photo 4.1 : Tuile / carreau polymère 97
Photo 4.2 Mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du PEHDR 97
Photo 4.3: Mesure des dimensions de l'échantillon du carreau polymère à base du PEHDR avant le teste 100
Photo 4.4: Essai de la résistance à la flexion du carreau polymère à base du PEHDR 100
Photo 4.5 : Appareil abrasimètre 102
Photo 4.6 : Boite de visualisation du carreau polymère à base du PEHDR 102
Photo 4.7 : Carreau polymère à base du PEHDR après l'essai de l'abrasion profonde 103
Photo 4.8 : Mesure de la longueur de la corde du carreau polymère à base du PEHDR 103
Photo 4.9 : Essai de la résistance à la flexion des carreaux polymères à base du PEHDN 114
Photo 4.10 : Appareil abrasimètre 119

Liste des Tableaux :

Chapitre I :

Tableau 1.1 : Caractéristiques principales des polyéthylènes basse densité et des copolymères (Füzesséry, 1980) 11

Tableau1.2 : Caractéristiques de divers types de polyéthylène haute densité pour différents types d'application (Reynald, 1995) 13

Tableau 1.3 : Résistances mécaniques pour différentes masses volumiques apparentes de PSE moulé (BÉGHIN, 1990) 18

Tableau 1.4 : Propriétés principales des PET. (FÜZESSÉRY, 1997) 20

Chapitre II :

Tableau 2.1 : Classification des carreaux céramiques en fonction de l'absorption d'eau et de la méthode de fabrication selon la norme EN 14411 59

Tableau 2.2 : Caractéristiques requises pour différents types d'applications selon la norme (EN 14411 :2006) 61

Tableau 2.7: Classe de résistance à la rayure Mohs 63

Tableau 2.6 : Classe de la résistance des carreaux aux produits chimiques 64

Tableau 2.8 : Caractéristique des différents types de tuiles 68

Chapitre III :

Tableau 3.1 : Caractéristiques physiques et mécaniques du $PEHD_R$ 84

Tableau 3.2 : Caractéristique physique et mécanique du $PEHD_N$ grade 5502 (fiche technique) 85

Tableau 3.3: Compositions des carreaux / tuiles à étudier à base de SD et $PEHD_R$ 88

Tableau 3.5: Compositions des carreaux / tuiles à étudier à base de SD et $PEHD_N$ 89

Chapitre IV :

Tableau 4.1: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_R$ 95

Tableau 4.2: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du $PEHD_R$ 101

Tableau 4.3 : Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_R$

Tableau 4.4: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_N$ 111

Tableau 4.5: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_N$ 111

Tableau 4.6 : Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ 120

Tableau 4.7 : Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ et $PEHD_R$ 120

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE **1**

Premier partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 6

CHAPITRE I **7**

Géneralites sur les Déchets Plastique **7**

1.1 Introduction: 8

1.2 Définition : 8

1.3 Classification : 10

1.3.1 Les thermoplastiques : 10

1.3.1.1 Définition : 10

1.3.1.2 Polyéthylène Base Densité (PEBD) : 10

1.3.1.3 Polyéthylène haute densité (PEHD) : 12

1.3.1.4 Polypropylène (PP) : 14

1.3.1.5 Polychlorure de Vinyle (PVC) 15

1.3.1.6 Polystyrène expansé (PSE) : 17

1.3.1.7 Polyéthylène téréphtalates (PET) 19

1.3.2 Les Thermodurcissables : 21

1.3.2.1 Définition : 21

1.3.2.2 Polyuréthanes (PUR) 21

1.3.3 Élastomères : 22

1.4 La gestion des déchets: 23

1.4.1 Introduction: 23

1.4.2 Définition du déchet: 23

1.4.3 Mode de traitement: 25

1.4.3.1 La mise en décharge : 25

1.4.3.2 L'incinération : 27

1.4.3.3 Le Recyclage : 29

1. 4.3.4 Comparaison des différents modes de traitement : 33

1.5 Conclusion: 34

Chapitre II 35

Utilisation des Déchets Plastiques Dans le Domaine de Construction 35

II.1. Introduction: 36

II.2. Les Types des Déchets de Plastique Utilisés dans la Préparation du Mortier de Ciment et du Béton : 36
II.3. Sources et Préparations D'agrégats de Plastique : 36
II.4. L'utilisation des Déchets Plastiques dans le Béton/ Mortier de Ciment : 38
II.5. L'influence des Déchets Plastique sur les Propriétés du Béton/ Mortier de Ciment : 43
II.5.1. Proprietes du béton à l'état frais: 43
II.5.1.1. L'affaissement: 44
II.5.1.2. La densité: 44
II.5.2. Propriétés mécaniques: 45
II.5.2.1. Résistance à la compression: 45
II.5.2.2. Résistance à la traction: 45
II.5.2.3. Module d'élasticité: 46
II.5.2.4. Résistance à la flexion: 46
II.5.2.5. Résistance à l'abrasion : 47
II.6. Revêtement du sol: 48
II.6.1. Définition : 48
II.6.2. Historique : 48
II.6.3. Le Rôle des revêtements de sols: 48
II.6.4. Les différents types de carreaux : 48
II.6.4.1. Carreaux en pierres naturelles 49
II.6.4.1. Carreaux de ciment 49
II.6.4.1. Carreaux céramiques 49
II.6.5. Fabrication du carrelage : 51
II.6.5.1. Matière première 51
II.6.5.2. Préparation de la matière première : 52
II.6.5.3. Pressage du carrelage : 53
II.6.5.4. Séchage : 54
II.6.5.5. Emaillage : 55
II.6.5.6. Cuisson : 56
II.6.5.7. Contrôles de la qualité: 57
II.6.5.8. Mise en carton et en palette : 57
II.6.6. Les caractéristiques des carreaux céramiques : 58
II.6.6.1. Propriétiés physiques: 61

II.6.1.1.1. Absorption d’eau (EN ISO 10545-3) : 61
II.6.1.1.2. Résistance à la flexion (EN ISO 10545-4) 62
II.6.1.1.3. Résistance à l'abrasion profonde (EN ISO 10545-6) 62
II.6.1.1.4. La résistance à l'abrasion (EN ISO 10545-7) 63
II.6.1.1.5. Résistance a la rayure : 63
II.6.1.1.6. Résistance aux variations thermiques (EN ISO 10545-9) 63
II.6.1.1.7. Résistance au gel (EN ISO 10545-12) 63
II.6.6.2. Propriétés chimiques : 64
II.6.1.1.8. Résistance aux produits chimiques (EN ISO 10545-13) 64
II.6.1.1.9. Résistance aux taches des carreaux émaillés (EN ISO 10545-14) 64
II.7. Tuiles 65
II.7.1. Définition : 65
II.7.2. Historique 65
II.7.3. Type des tuiles : 66
II.7.4. Procédure de fabrication des tuiles : 68
II.7.4.1. Extraction d'argile : 69
II.7.4.2. Le mélange d'argile 69
II.7.4.3. L'étirage et le façonnage 71
II.7.4.4. Le séchage 72
II.7.4.5. La cuisson 73
II.7.4.6. Le contrôle de la qualité 73
II.7.4.7. Le conditionnement 73
II.7.5. Les caractéristiques physiques et mécaniques: 73
II.8. Conclusion : 75
DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE EXPERIMENTAL 76
Chapitre III 77
METHODOLOGIE EXPERIMENTAL 77
III.1. Introduction : 78
III.2. Matériaux utilisés : 78
III.2.1. Sable de dunes : 78
III.2.1.1. Analyse granulométrique (NF P94-056) 79
III.2.1.2. Equivalent de sable (NF P 18-597) 80
III.2.1.3. Masses volumiques absolue et apparente (NF P 18-555) 80
III.2.2. Polyéthylène haut densité recyclé (PEHDR). 80

III.2.2.1. L'indice de fluidite 81
III.2.2.2. Dureté 81
III.2.2.3. La densité 82
III.2.2.4. Elongation a la rupture, resistance a la rupture 82
III.2.2.5. Résistance a l'impact izod 83
III.2.3. Polyethylene haut densite recycle (PEHDR). 84
III.3. Le materiel necessaire 85
III.4. Préparation des mélanges 86
III.5. Conclusion 89
Chapitre IV **91**
RESULTATS et DISCUSSIONS **91**
IV.1. Introduction : 92
IV.2. Matériau composite à base du (PEHDR) et (SD) : 92
IV.2.1. : Résultats des essais effectués sur les tuiles polymères de couverture : 92
IV.2.1.1. Essai de la masse volumique selon norme iso 10545-3 (1995) : 92
IV.2.1.2. Essai de la force à rupture NF EN 538 93
IV.2.1.3. Essai d'imperméabilité NF EN 539-1 95
IV.2.2. Synthese : 96
IV.2.3. Résultats des essais effectués sur le carreau polymère composite : 97
IV.2.3.1. Essai de l'absorption d'eau iso 10545-3 (1995) 97
IV.2.3.2. Essai de la masse volumique iso 10545-3 (1995) 98
IV.2.3.3. Essai de la résistance à la flexion iso 10545-4 (2004) 99
IV.2.3.4. Essai de la Résistance à l'abrasion des carreaux non émaillées iso 10545-6 102
IV.2.3.5. Détermination de la résistance chimique iso 10545-13 (1995) 104
IV.2.3.6. Synthese 106
IV.3. Matériau composite à base du (PEHDN) et (SD) : 107
IV.3.1. : Résultats des essais effectués sur les tuiles polymères de couverture 107
IV.3.1.1. Essai de la masse volumique iso 10545-3 (1995) 107
IV.3.1.2. Essai de la force à rupture NF EN 538 108
IV.3.1.3Essai d'imperméabilité (NF EN 539-1) 110
IV.3.1.4. Synthese 112
IV.3.2. : Résultats des essais effectués sur le carreau polymère composite: 112
IV.3.2.1. Essai de l'absorption d'eau iso 10545-3 (1995) 112
IV.3.2.2. Essai de la masse volumique iso 10545-3 (1995) 114

IV.3.2.3. Essai de la résistance à la flexion iso 10545-4 (2004) 116
IV.3.2.4. Essai de la Résistance à l'abrasion des carreaux non émaillées iso 10545-6 118
IV.3.2.5. Détermination de la Résistance chimique iso 10545-13 (1995) 121
IV.4.Conclusion 123
Chapitre : V 125
CONCLUSION GENERALE ET RECOMANDANTIONS 125
Références bibliographiques 130
Annexes 138

Introduction générale

Introduction générale :

Le Plastique ou le polymère est le matériau synthétique le plus utilisé dans le monde depuis son invention. Dans le monde entier, environ de 8300 millions de tonnes (Mdt) de plastiques vierges ont été produites à ce jour .(Geyer, Jambeck, and Law 2017). En 2015, environ 6300 millions de tonnes de déchets plastiques a été générée, environ 9% de ce qui a été recyclé, 12% incinérés, et 79% ont été accumulés dans des décharges ou dans l'environnement naturel. Si les tendances actuelles en matière de production et de gestion des déchets se maintiennent, environ 12 000 millions de tonnes de déchets plastiques sera dans les décharges ou dans l'environnement naturel d'ici 2050 (Geyer, Jambeck, and Law 2017).

Les problèmes environnementaux tels que l'épuisement des ressources naturelles et la biodiversité, les pollutions de l'eau et de sol, la génération des montants considérables de déchets et leur disposition sont certains des grands défis relevés par civilisation actuelle. L'émission des grands nombres de matériaux particulaires et de divers gaz délétères contiennent le CO2, le gaz à effet de serre principal, dans l'atmosphère, due aux expansions rapides industrielles et de population, est un souci environnemental important et l'action d'urgence est nécessaire pour le commander. Chacune de ces issues crée la crise sérieuse au futur développement de l'humanité si elles ne sont pas abordées correctement.

Le béton est le principal matériau de construction et joue un rôle essentiel dans le développement de la civilisation actuelle. C'est le matériau synthétique le plus utilisé au monde depuis son invention. La consommation de béton et ciment en tant que matériaux de construction dans le monde devrait doubler d'ici à 2030 (michel folliet, 2011). L'utilisation massive du béton en tant que matériau de construction est due à ses propriétés polyvalentes. Des propriétés telles que la résistance, la durabilité. L'abordabilité et l'abondance des matières premières font du béton le premier choix matériau pour la plupart à des fins de construction. Cependant, la production de béton a plusieurs impacts négatifs sur l'environnement, tels que l'utilisation de ressources naturelles non renouvelables exemple : la pierre naturelle et l'eau. L'industrie cimentière est l'un des plus gros émetteurs de dioxyde

de carbone (le secteur du ciment est responsable de 5 % des émissions de CO2. Une part qui pourrait dépasser d'ici 2050 les 10 % (michel folliet, 2011)). Par conséquent, beaucoup d'attention a été accordée récemment à la résolution des problèmes environnementaux liés à leur utilisation.

En Algérie, Les zones arides contiennent un énorme gisement de sable de dune. Ces régions sahariennes souffrent non seulement du problème de la rareté des matériaux de construction, mais également de la difficulté de les exploiter, ainsi que les cimenteries algériennes sont très éloignées des zones désertiques ce qui augmente le cout de production. Cette situation nous pousse à rechercher les solutions permettant d'exploiter les régions sahariennes avec les matériaux localement disponibles et de valoriser les déchets plastique pour les utiliser dans les domaines de constructions et aussi pour des raisons économiques. Donc ces procédures permettant de résoudre les problèmes environnementaux.

Cette thèse consiste l'utilisation de polyéthylène à haute densité recycle comme liant pour la production de carreaux / tuiles de toiture destinées à remplacer les matériaux de construction classiques tels que l'argile et le ciment. Une nouvelle méthode d'utilisation des déchets plastiques (polyéthylène haute densité recycle PEHDR) incorporés au sable de dune a été adoptée et le produit innovant obtenu porte le nom de carreaux Polyéthylène /tuiles polymère, qui se sont révélées économiques et écologiques par rapport aux liants traditionnels. Cela entre dans un axe global développé par notre laboratoire de recherche EVRNZA au sein de notre université.

Dans ces derniers temps, beaucoup d'attentions ont été accordées à la réutilisation des déchets plastiques comme (matière première) agrégat dans la production de divers types de béton et mortier. De nombreuses études se sont intéressés à l'incorporation des déchets plastique comme substitution totale ou partielle des agrégats dans la préparation de mortier de ciment et de béton (Gesoglu, M., et al, 2017), (Alqahtani, Ghataora, et al, 2017), (Manjunath, 2016)(Chaudhary,2014), (Herki, A., J. Khatib et al 2013), (Nibudey, R., et al,2013), (Raju et al, 2013), (Rahman et al, 2013), (Ferreira et al, 2012), (Akcaozoglu et al, 2010),

(kou et al, 2009), (Albano et al, 2009), (Tang et al, 2008), (Siddique et al. 2008), (Ismail et al, 2008), (Batayneh et al, 2007), (Choi et al, 2005), (Naik et al, 1996).

Différents types de déchets plastiques tels que les bouteilles de polyéthylène téréphtalate (PET) (Akcaozoglu et al. 2010; Albano et al. 2009; Choi et al. 2005, 2009; Kim et al. 2010; Marzouk et al. 2007; Yesilata et al. 2007). 2009), tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC)(Kou et al. 2009), polyéthylène haute densité (PEHD) (Naik et al. 1996), plastiques thermodurcissables (Panyakapo et Panyakapo 2008), déchets de plastique déchiquetés (Al-Manaseer et Dalal 1997; Ismail et Al-Hashmi 2008), la mousse de polystyrène expansé (EPS) (Kan et Demirboga 2009), le plastique renforcé de fibre de verre (GRP) (Asokan et al. 2010) ont été utilisés comme agrégats dans la préparation du mortier de ciment et du béton.

Toutes les études des chercheurs ont indiqué que l'incorporation de déchets plastiques quelles que soient leur longueur, leur largeur, leur taille, leur forme et leur taux d'incorporation dans le mélange diminue la résistance à la compression et à la traction (l'incorporation d'agrégats plastiques conduit à une dégradation des performances), a l'exception du (Nibudey, Nagarnaik et al. 2013) qui ont constaté que les résistances à la compression et à la traction augmentent avec l'augmentation du taux de fibres (PET) ajoutées jusqu'à 1% en poids de ciment, (Herki et al, 2013) ont indiqué que le remplacement partiel des déchets de matière plastique peut être effectué dans la limite de 15% du poids des granulats fins utilisés dans le béton.

Cette thèse consiste à trouver un carreau polymère/ tuile polymère répondant aux exigences des normes en vigueur des carreaux céramique en utilisant le taux d'incorporation le plus élevé possible d'agrégat de polyéthylène à haute densité recycle (PEHDR) dans les carreaux polymère / tuiles polymère afin de prendre en compte les problèmes environnementaux, qui constituent l'un des principaux objectifs de notre étude.

La présente thèse comprend deux parties. La première partie est une synthèse bibliographie qui contient deux chapitres : le premier chapitre a abordé aux généralités sur les déchets en plastique et la gestion de ces déchets plastiques, le

deuxième chapitre s'intéresse sur l'utilisation des déchets plastique dans la fabrication du mortier de ciment, béton et d'autres éléments singuliers.

La deuxième partie est une étude expérimentale, composée de deux chapitres ; le troisième chapitre présente la méthodologie d'élaboration de tuile et carreau polymère composite et le quatrième est consacré aux différentes caractéristiques du matériau élaboré.

Une conclusion générale met en exergue les principaux résultats obtenus.

Premier partie : revue bibliographique

Chapitre I

Généralités sur les Déchets plastique

1.1 Introduction:

Le composant le plus fondamental des matériaux plastiques est un polymère. Le mot polymère est un mot dérivé du grec qui signifie "beaucoup de parties". Les polymères sont de grosses molécules qui comprennent de nombreuses unités répétitives appelées monomères chimiquement liés ensemble dans de longues chaînes.

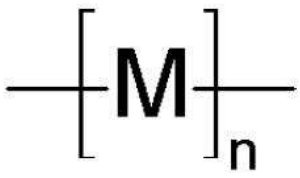
Depuis la Seconde Guerre mondiale, l'industrie chimique a mis au point un grand nombre de polymères synthétiques pour répondre aux besoins des matériaux de divers produits, notamment les peintures, les revêtements, les fibres, les films, les élastomères et les plastiques structurels. Littéralement, des milliers de matériaux peuvent être qualifiés de "plastiques", bien que le terme actuel soit généralement réservé aux matériaux polymères, à l'exclusion des fibres, qui peuvent être moulées ou transformées en objets solides ou semi-solides.

Ce chapitre comprend les différents types de plastique et leur usage. Une compréhension de ces types et leur usage facilitera la discussion sur les déchets plastiques et leur gestion.

1.2 Définition :

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les travaux de Staudinger dans les années 1920 constituent la base de la science des polymères (Nobel en 1953) ou macromolécules. Flory énoncera plus tard les principes fondamentaux sur les polymères (Nobel 1974).

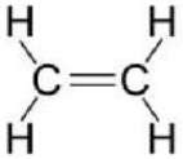
Les polymères sont des matériaux constitués de molécules de grande dimension (macromolécules) construites par la répétition d'un motif monomère :

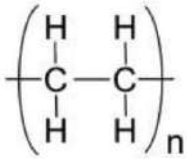
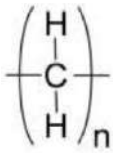


M motif monomère (motif de répétition)

n ou x degré de polymérisation ; nombre de fois que l'on rencontre M dans la molécule

Exemple : le polyéthylène

Molécule d'éthylène : 

Polyéthylène :  ou encore : 

Le pétrole brut est la principale matière première du plastique. Cette ressource naturelle est limitée et onéreuse. On estime qu'environ 4 % de la production mondiale du pétrole brut sont transformées en matière plastique La photo 1.1 illustre le cycle de production des matières plastiques (Après avoir été extrait de façon plus ou moins complexe en fonction de la qualité des ressources, le pétrole est alors raffiné. Le raffinage du pétrole consiste à le chauffer et à l'envoyer dans une tour de distillation qui permet de séparer les milliers de constituants, répartis et condensés aux différents étages, en fonction de leur masse. A partir de la tour de distillation on obtient des goudrons, des carburants (fuels, kérosène), mais aussi des naphtas, qui servent à la fabrication des plastiques. Ces naphtas subissent une transformation complexe appelée craquage pour être transformés en matière plastique (principalement PP et PE)) (Hervé , 2017).

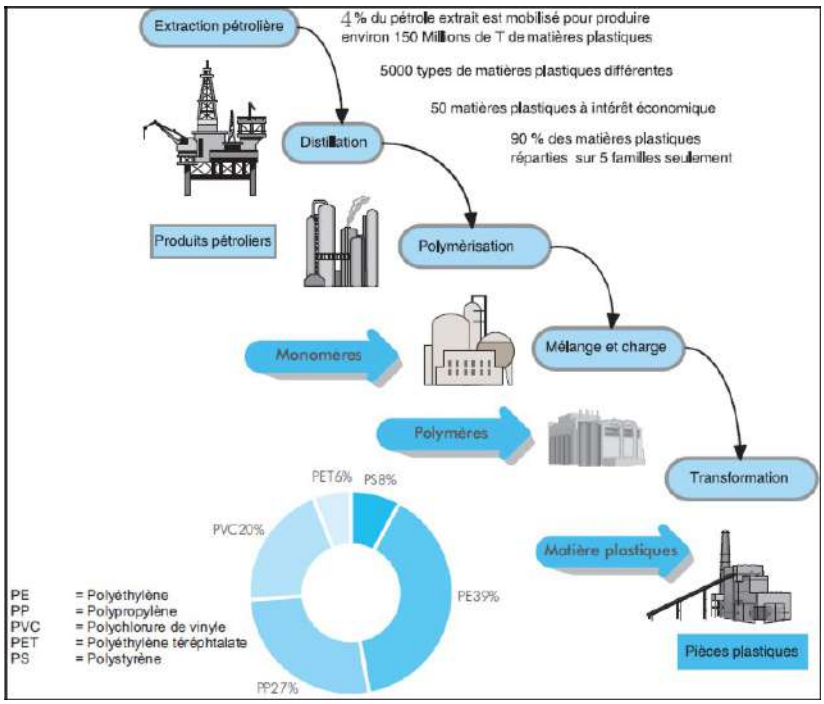


Photo 1.1 : le cycle de production des matières plastiques (Michel, 2009)

1.3 Classification:

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

1.3.1 Les thermoplastiques :

1.3.1.1 Définition :

Un thermoplastique (anglais :thermoplast) est un matériau à base de polymère (composé de macromolécules) qui peut être mis en forme, à l'état liquide (visqueux) à une température soit supérieure à sa température de transition vitreuse (Tg) (thermoplastiques amorphes) ou supérieure à sa température de fusion (Tm) (thermoplastiques semi-cristallins). Sur le plan de la microstructure, il se compose de molécules longues, linéaires ou ramifiées, mais chimiquement séparées l'une de l'autre. (Subramanian 2016)

Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables. . (Subramanian 2016) Cependant ils ne sont pas biodégradables et ils ont une « durée de vie » de plusieurs centaines d'années.

1.3.1.2 Polyéthylène Base Densité (PEBD) :

A. Historique :

Le polyéthylène base densité fut découvert en Grande-Bretagne par la firme ICI juste avant la Seconde Guerre mondiale. Il fut d'abord utilisé pour l'isolation de câbles de radars (Füzesséry, 1980).

Vers 1950 commença le développement à grande échelle des polymères de masse volumique comprise entre 0,915 et 0,930 g/cm^3, fabriqués par un procédé à haute pression. À la fin des années soixante-dix, Union Carbide mit au point le polyéthylène basse densité linéaire (PE-BDL) obtenu par un procédé à basse pression avec des catalyseurs dits de Ziegler-Phillips, conduisant, sur une même unité, à des polymères de masse volumique variable, de 0,860 à 0,970 g/cm3.Enfin, en 1993-1994, sont apparus sur le marché des PE-BDL fabriqués également par un procédé à basse pression, à l'aide de nouveaux catalyseurs de type métallocène (Füzesséry, 1980)

Les différents polyéthylènes basse densité (0,860 à 0,935 g/cm3) sont caractérisés par un module d'Young allant de 10 MPa à 500 MPa, par de bonnes propriétés diélectriques, par une faible perméabilité à la vapeur d'eau et une bonne résistance à la fissuration.(Füzesséry, 1980)

B. Propriétés :

- **Propriétés chimique :**

En général, les PE-BD présentent une bonne résistance chimique (Füzesséry, 1980) ; ils sont :

- Très résistants aux acides faibles ;
- Résistants aux acides forts non oxydants ;
- Très résistants aux bases faibles et fortes ;
- Résistants aux solvants organiques au-dessous de 80° C, mais perméables.

- **Propriétés mécaniques :**

Les propriétés mécaniques des polyéthylènes très basse densité linéaires et celle des copolymères radicalaires sont présentes dans le tableau 1.1 suivant :

Tableau 1.1 : Caractéristiques principales des polyéthylènes basse densité et des copolymères (Füzesséry, 1980)

Propriétés mesurées à 23 °C	Normes (1)	Unités	PE-tBDL, mPE-tBDL		E/VA		E/MA	E/AA
Propriétés physiques								
• Teneur en comonomère		% en masse			5 à 20	25 à 40	18 à 20	6 à 11
• Masse volumique	NF T 51-063	g/cm³	0,860 à 0,895	0,900 à 0,910	0,925 à 0,943	0,950 à 0,965	0,941 à 0,943	
• Indice de fluidité (190 °C ; 2,16 kg)	NF T 51-016	g/10 min	2 à 35	2 à 35	0,5 à 20	3 à 60	2 à 10	
• Absorption d'eau (24 h)	NF T 51-166	%	< 0,03	< 0,03	< 0,03 à 0,10	•		
Propriétés thermiques								
• Température de fusion	NF T 51-621	°C				75 à 50	95	100 à 95
• Température de ramollissement VICAT (charge 1 kg)	NF T 51-021	°C	< 50 à 83	85 à 95	60 à 80	44 à < 40	63	84 à 74
Propriétés mécaniques								
• Résistance à la rupture	NF T 51-034	MPa	4 à 15	20 à 35	15 à 28	33 à 5	10 à 12	20 à 24
• Allongement à la rupture	NF T 51-034	%	> 800	> 800	400 à 750	700 à 1 000	700 à 750	600 à 650
• Module d'élasticité en traction	NF T 51-034	MPa	10 à 80	100 à 145	200 à 63	60 à 13	60	
• Dureté Shore D	NF ISO 868		< 25 à 40	50 à 65	35 à 42		40 à 35	

C. Application :

- Films, sacs et sachets : environ 70 % du PE-BD est utilisé sous forme de films, sacs et sachets principalement pour l'emballage et les applications agricoles.

- Tuyaux et tubes Les tuyaux en PE-BD sont utilisés pour les adductions d'eau à des pressions inférieures à 6 bar, les évacuations d'effluents divers et comme tubes électriques.
- Câblerie : Les bonnes propriétés électriques et mécaniques des PE-BD sont mises à profit dans l'industrie de la câblerie : Câbles de télécommunications, Câbles d'énergie
- Corps creux : Le procédé d'extrusion-gonflage est employé pour la fabrication de très grandes séries d'objets divers. Le PE-BDR est utilisé dans les jouets, pour le conditionnement de produits pharmaceutiques liquides ou solides, des détergents liquides tensio-actifs ou non, des produits cosmétiques liquides ou pâteux, et en mélange avec du PE-HD pour les bouteilles de lait pasteurisé.
- Objets injectés : Les pièces injectées représentent environ 9 % des applications du PE-BD. Les débouchés sont nombreux : bouchons, capsules, couvercles, articles de ménage, jouets, articles de sports et de loisir, etc (Füzesséry, 1980).

1.3.1.3 Polyéthylène haute densité (PEHD) :

A. Historique :

Le polyéthylène haut densité est obtenu par des procédés de polymérisation de l'éthylène à basse pression, seul ou avec des comonomères. Les premières unités de production datent du milieu des années cinquante. La première fut construite en 1955 par la société Phillips au Texas. Ce fut ensuite Hoechst qui démarra la première unité selon le procédé Ziegler en 1956. Dans les années soixante, des améliorations furent apportées au procédé Ziegler par l'utilisation de catalyseurs super actifs permettant de supprimer la coûteuse opération d'élimination des résidus catalytiques. Les développements les plus récents proviennent des procédés de polymérisation en phase gazeuse : BASF construisit sa première unité en 1964 ; Union Carbide a définitivement amélioré le procédé en phase gazeuse et l'a industrialisé dans les années quatre-vingt et, aujourd'hui, de nombreux licenciés utilisent cette technologie. D'autres procédés en phase gazeuse ont été développés et améliorés par la suite.(Reynald, 1995)

A. Propriétés :

Les propriétés caractéristiques de divers PE-HD typiques de certaines applications sont rassemblées dans le tableau1. 2 :

Tableau1.2 : Caractéristiques de divers types de polyéthylène haute densité pour différents types d'application (Reynald, 1995)

Caractéristiques	Méthodes (1)	Unités	Injection de casiers	Extrusion-soufflage de bouteilles à lait stérilisé	Extrusion-soufflage standard	Extrusion-soufflage de gros emballages	Extrusion-soufflage de réservoirs à carburants
Distribution des masses molaires	.....	.....	Étroite	Moyenne	Large	Large	Large
Propriétés physiques							
Masse volumique standard à 23 °C	ISO 1183	kg/m^3	964	952	954	955	946
Indice de fluidité sous 2,16 kg	ISO 1133	g/10 min	5,5	1,8	0,2	.....	< 0,1
sous 5 kg			18	6,0	1,0	0,4	0,15
sous 21,6 Kg			.....	.....	.....	10	4,5
Propriétés thermiques							
Point de ramollissement Vicat (1 kg)	ISO 306	°C	131	126	128	132	128
Température de fléchissement sous charge (méthode B ; 0,45 MPa)	ISO 75-2	°C	95	80	77	72	
Température de fragilité	ISO 974	°C	– 100		< – 75	< – 75	< – 100
Propriétés en traction à 23 °C	ISO R/527 éprouvette n° 2						
Contrainte à la limite élastique :							
— à 50 mm/min	.....	MPa	27	27	28	25	24
— à 100 mm/min	.....	MPa	28	28			
Contrainte à la rupture :							
— à 50 mm/min	.....	MPa	31	14	17	38	40
— à 100 mm/min	.....	MPa	17	15			
Allongement à la rupture :							
— à 50 mm/min	.....	%	1 000	> 500	> 500	> 600	> 500
— à 100 mm/min	.....	%	400	> 500			
Propriétés de choc							
Résilience Charpy, à 23 °C	ISO 179	kJ/m^2	4,0				
Résilience Izod (barreau entaillé) :	ISO 180/A						
— à 23 °C	.....	kJ/m	10	8,7	19	54	–
— à – 40 °C (2)	.....	kJ/m	.....	.....	.....	.....	32
Divers							
Module d'élasticité en flexion	ISO 178	MPa	1 250				
Dureté Shore D, à 23 °C	NF ISO 868	.....	67	65	63	63	63
Résistance à la fissuration sous contrainte (ESCR) (3)	ASTM D 1693-A	h	4	20	40	200	> 500

Application :

- Bouchons : Le polyéthylène haute densité est utilisé pour la fabrication de bouchons à vis monomatières pour les bouteilles en PVC, en PET et en verre, essentiellement pour les eaux plates et, dans une moindre mesure, pour certaines eaux faiblement gazeuses et pour les boissons sucrées (soft-drinks).

- Récipients de petite et intermédiaire contenance : Il s'agit essentiellement de flacons pour le conditionnement des produits d'hygiène et de santé, des produits d'entretien (lessive liquide, assouplisseur, eau de Javel) et de bidons (liquide antigel, huile pour moteur, etc.).

- Cuves de stockage de grande capacité : Il s'agit de cuves fixes dont le volume peut atteindre plusieurs mètres cubes : réservoirs à mazout, fosses septiques, réservoirs à liquides divers.

- Emballage alimentaire : En France, le marché de l'emballage du lait en bouteilles fabriquées en PE-HD. Par ses caractéristiques, le polyéthylène haute densité possède les qualités requises pour l'emballage du lait et des produits lactés : non toxicité, bonnes propriétés organoleptiques, facilité de mise en œuvre à cadence élevée, propriétés mécaniques suffisantes. Le choix du PE-HD à utiliser est fait essentiellement en fonction du matériel de transformation utilisé et du traitement pendant le conditionnement du lait.
- Autres articles : On peut citer :
  - jouets porteurs, contenants divers, balises routières, bornes, planches à voile, flotteurs, bouées
  - divers accessoires soufflés pour l'automobile (tubulures, bacs de lave-vitres, réservoirs de liquide de frein, etc.) (Reynald, 1995).

1.3.1.4 Polypropylène (PP) :

A. Définition :

Le polypropylène (PP) est un «polymère d'addition» thermoplastique fabriqué à partir de la combinaison de monomères de propylène. Il est utilisé dans une variété d'applications pour inclure l'emballage pour les produits de consommation, les pièces en plastique pour diverses industries, y compris l'industrie automobile, les dispositifs spéciaux comme les charnières vivantes et les textiles. Le polypropylène a d'abord été polymérisé en 1951 par une paire de scientifiques du pétrole Phillips nommés Paul Hogan et Robert Banks (AMERICAN 1999) et plus tard par les scientifiques italiens et allemands Natta et Rehn. Il est devenu extrêmement important, car la production commerciale a commencé à peine trois ans après que le chimiste italien, le professeur Giulio Natta, l'a polymérisé pour la première fois. Natta a perfectionné et synthétisé la première résine de polypropylène en Espagne en 1954, et la capacité du cristallin à cristalliser a créé beaucoup d'excitation. En 1957, sa popularité a explosé et une production commerciale répandue a commencé dans toute l'Europe. Aujourd'hui, c'est l'un des plastiques les plus fabriqués dans le monde (Easylockware, 2017).

Selon certains rapports, la demande mondiale actuelle pour le matériel génère un marché annuel d'environ 45 millions de tonnes métriques et on estime que la demande atteindra environ 62 millions de tonnes métriques d'ici 2020. Les principaux utilisateurs finaux du polypropylène sont l'industrie de l'emballage, qui consomme environ 30% du total, suivi de la fabrication d'électricité et d'équipement, qui utilise environ 13% chacun.

Les appareils ménagers et les industries automobiles consomment 10% chacun et les matériaux de construction suivent avec 5% du marché. D'autres applications constituent le reste de la consommation mondiale de polypropylène (Easylockware, 2017).

B. Propriétés :

Résistance chimique: Les bases diluées et les acides ne réagissent pas facilement avec le polypropylène, ce qui en fait un bon choix pour les récipients de liquides tels que les produits de nettoyage, les premiers secours et plus encore.

Module d'Élasticité : le polypropylène agira avec élasticité sur une certaine gamme de déflexion (comme tous les matériaux), mais il connaîtra également une déformation plastique dès le début du processus de déformation, de sorte qu'il est généralement considéré comme un matériau "difficile". La dureté est définie comme une capacité de déformation du matériau (plastiquement, non élastiquement) sans rupture.

Résistance à la fatigue: le polypropylène conserve sa forme après beaucoup de torsion, de flexion et / ou de flexion.

Isolation: le polypropylène a une très grande résistance à l'électricité et il est très utile pour les composants électroniques. (Claude, 1991)

1.3.1.5 Polychlorure de Vinyle (PVC)

A. Définition

Le poly(chlorure de vinyle), dont le symbole international PVC découle de l'appellation anglaise « Poly Vinyl Chloride », est une matière thermoplastique de synthèse composée de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le carbone et l'hydrogène proviennent du pétrole (43 %) tandis que le chlore est originaire du sel (57 %). La production industrielle du PVC remonte au début des années 1930. C'est un plastique très présent dans notre vie quotidienne car l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages. Le PVC est présent dans tous les secteurs économiques : bâtiment (> 50 %), emballage, électricité, électronique, biens de consommation, santé, transports. C'est la deuxième matière plastique employée dans le monde (20 % de la consommation mondiale totale des plastiques, soit de l'ordre de 20 millions de tonnes). (Daniel, 1999).

B. Propriétés :

Masse volumique : La masse volumique des objets à base de PVC varie en moyenne entre 1,0 et 2,0 g/cm3 à température ambiante

Imperméabilité **:** Les chlorures de vinyle sont les seuls polymères actuellement connus présentant une imperméabilité significative à la fois aux gaz et à la vapeur d'eau, aux odeurs, aux arômes, aux huiles et aux graisses.

Résistance aux agents chimiques : Le PVC possède une excellente résistance à de nombreux produits chimiques (Daniel, 1999).

Autres propriétés :

- Les PVC satisfont aux réglementations en matière d'emballage alimentaire. Le transformateur devra s'assurer que les additifs qu'il emploie sont conformes à la législation en vigueur.
- Les films et revêtements à base de PVC résistent à un grand nombre de produits chimiques, à l'abrasion et aux contraintes mécaniques rencontrées dans l'emballage et le conditionnement.
- Ils sont scellables thermiquement (entre 100 et 150 °C) ou par haute fréquence.

C. Applications :

- Tubes rigides pour: le transport de fluides divers, l'adduction d'eau potable, l'évacuation, le drainage…, les canalisations électriques, les gaines PTT.
- Profilés rigides pour volets, portes, châssis de fenêtres.
- les secteurs de la chaussure (bottes et bottillons, sandales, semelles), de l'automobile (soufflets, joints, embouts, balises routières...).
- le traitement de certains cuirs
- Tuyaux souples pour les usages domestiques ou industriels (arrosage, les gaines pour câbles et fils électriques.
- Profilés souples ou semi-rigides : mains courantes, nez d'escaliers, protection de carrosserie automobile.

▪

Les pièces destinées principalement aux secteurs : bâtiment (raccords, grilles, couvercles...), industrie électrique (boîtes de dérivation, interrupteurs, coffrets...), génie chimique (raccords, vannes, corps de pompe, anneaux de raschig...), ameublement (tiroirs,

dossiers de chaises...) et bureautique et micro-informatique (boîtiers, carcasses, claviers, pièces de calculateurs) (Daniel, 1999).

1.3.1.6 Polystyrène expansé (PSE) :

A. Définition :

Le polystyrène expansé (PSE) est un matériau alvéolaire rigide, peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits industriels ou alimentaires. Il existe deux grandes familles de produits :

- Les polystyrènes expansés moulés (PSE-M), obtenus à partir de perles de polystyrène expansible, dans lesquelles a été dissous un agent d'expansion (en général du pentane) et qui sont expansées et moulées par action de la chaleur (procédé inventé par la société BASF en 1952) (Bertrand, 1995).
- les polystyrènes expansés extrudés (PSE-E), obtenus par extrusion directe de polystyrène avec injection d'un agent d'expansion tel que l'hydro chlorofluorocarbure (HCFC) 142 b ou le pentane (procédé inventé par la société Dow Chemical en 1943), ces produits représentant en 1993 environ 30 % en tonnage du marché mondial total du PSE et 20 % en volume. Les propriétés les plus remarquables du polystyrène expansé sont :
    - sa faible masse volumique.
    - son pouvoir isolant thermique.
    - ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs).
    - son insensibilité à l'eau.
    - sa facilité de mise en forme (moulage, découpage).
    - sa recyclabilité. Enfin, la production de styrène à grande échelle et la facilité de polymérisation de ce monomère conduisent à un compromis propriétés/prix particulièrement intéressant pour les deux marchés principaux du polystyrène expansé (Bertrand, 1995).

B. Propriétés :

Les mousses de PSE se caractérisent par une structure rigide à cellules fermées. Pour le PSE-M, la taille des cellules se situe habituellement entre 60 et 200 µm, pour le

PSE-E entre 150 et 500 µm. La structure du PSE-M comprend des soudures inter-perles, ce qui n'est pas le cas du PSE-E.

Propriété mécanique :

- PSE-M : Elles dépendent essentiellement de la masse volumique apparente du matériau et évoluent de façon linéaire avec celle-ci. Les résistances en compression, flexion et traction sont données dans le tableau 1.3.

.Tableau 1.3 : Résistances mécaniques pour différentes masses volumiques apparentes de PSE moulé (BÉGHIN, 1990) .

Masse volumique	15 kg/m3	20 kg/m3	30 kg/m3	40 kg/m3
Résistance en compression pour une déformation de 10 % (Kpa)	60 à 110	100 à 160	180 à 250	260 à 350
Contrainte à la rupture en flexion (KPa)	160 à 220	210 à 330	380 à 520	570 à 680
Contrainte à la rupture en traction (KPA)	160 à 240	215 à 330	350 à 520	520 à 660

- PSE-E : Ses propriétés de résistance en compression sont plus élevées. Pour 10 % de

déformation, les valeurs s'élèvent à 150-200 kPa à 25 kg/m3, à environ 300 kPa à 33 kg/m3 et à 700 kPa à 45 kg/m3.

Propriétés thermiques :

- La capacité thermique massique du PSE est de 1 210 J · kg–1 · K–1
- Le coefficient de dilatation linéique est d'environ 7 × 10–5 K–1.
- La conductivité thermique λ est fonction de la masse volumique apparente et de la

température.

Résistance chimique :

Le polystyrène expansé ne présente aucune réaction chimique au contact des matériaux de construction traditionnels tels que le ciment, la chaux, le plâtre, ou au contact

des mélanges issus de ces liants. Par contre, il est sensible à certains solvants et, par conséquent, aux produits qui en contiennent. Il faut veiller, entre autres, à utiliser des colles ne renfermant aucun solvant aromatique. Certains produits décoffrant contiennent des substances qui peuvent attaquer le polystyrène expansé (Bertrand, 1995)..

C. Applications :

Le polystyrène expansé est utilisé dans de nombreuses autres applications. On peut citer :

- l'isolation des locaux d'élevage et d'agriculture, l'isolation de chambres froides, les dalles de plafond
- Le drainage des sols, les bacs de germination et supports de pots dans l'horticulture
- Les planches à voile et divers éléments de flottabilité
- Les casques protecteurs pour motos et vélos
- Les modèles de fonderie pour le procédé à modèle perdu
- Les gobelets
- Les décors de cinéma et de théâtre.

1.3.1.7 Polyéthylène téréphtalates (PET)

A. Définition :

Parmi les polyesters thermoplastiques saturés, seuls les polyéthylènes téréphtalates ou PET sont utilisés pour la fabrication de films et de feuilles. Sont concernées par cette application deux familles de produits :

- Les homopolymères d'acide téréphtalique et d'éthylène-glycol (PET).
- Les copolymères fabriqués à partir de deux acides avec un diol, ou d'un seul acide avec deux diols.

Les films obtenus, en différentes épaisseurs, à partir de ces polymères, par extrusion ou thermoformage, possèdent d'excellentes propriétés thermomécaniques, optiques, électriques et une bonne résistance chimique. De plus, ils sont métallisables. Ces films, orientés par étirage ou non orientés, ont trouvé de nombreuses applications dans

l’audiovisuel, dans l’emballage, dans les domaines électrique et électronique (Füzesséry, 1980).

B. Propriétés :

Les films et les feuilles en PET sont caractérisés par une rigidité et une résistance à la rupture élevées à la température ambiante, et satisfaisantes à des températures allant jusqu'à 150 °C. Les copolymères amorphes ont de bonnes résistanc es aux chocs, même à basse température. Les propriétés principales sont présentes dans le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Propriétés principales des PET. (FÜZESSÉRY, 1997).

	Norme (1)	Unité	PET semi-cristallin	APET (2) amorphe
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES				
• Masse volumique	NF T 51-063	g/cm^3	1,4	1,4
• Indice limite de viscosité		mg/L	0,74 à 0,85	0,80 à 1,05
• Absorption d'eau (24 h)	ASTM D 570	%	0,1 à 0,2	0,1 à 0,2
• Température de fusion	NF T 51-621	°C	249 à 271	245 à 250
• Conductivité thermique	NF X 10-021	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	0,13 (3)	0,25
• Capacité thermique massique		$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	1,1 à 1,3	1,1
PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES des films d'épaisseur			**10 à 25 µm**	**250 µm**
• Résistance à la rupture, L/T	DIN 53455	MPa	240/225	58/39
• Allongement à la rupture, L/T	DIN 53455	%	90/110	300/200
• Module d'Young, L/T	DIN 53457	MPa	5 300/4 500	2 200/2 200
• Résistance à l'impact, L/T	DIN 53448	$mJ \cdot mm^{-2}$	1 400/2 000	
• Résistance à la déchirure, L/T	DIN 53363	$N \cdot mm^{-1}$	220/250	40/50
• Retrait à 150 °C, 15 min, L et T	DIN 40634	%	≤ 0,2	
PROPRIÉTÉS OPTIQUES des films d'épaisseur			**10 à 25 µm**	**250 µm**
• Trouble	ASTM D 1003	%	< 15	< 1
• Brillance, 45°	ASTM D 2457	%		108
• Transparence	ASTM D 1746	%	85	85

C. Applications :

Les divers films et feuilles en PET proposés sur le marché se différencient par leur épaisseur, leur largeur, leur longueur, le diamètre extérieur de la bobine et leur composition. En raison de leurs bonnes propriétés thermomécaniques, optiques et électriques, ils ont trouvé de nombreuses applications dans les secteurs des industries électriques, l'électronique, l'audiovisuel, les arts graphiques, les fournitures de bureaux, les emballages divers, etc.

- Emballages comme les feuillards, supports de rubans adhésifs, films, boîtes thermoformées pour diverses industries (alimentaire ou non, médicale, pharmaceutique), étiquettes transparentes, métallisées, imprimées ou contrecollées.

- Moteurs électriques : les bobinages de moteurs électriques sont isolés du stator par des colonnes à fentes et des cales en PET de forte épaisseur.

- câblerie : pour certains câbles, des feuilles plates ou ondulées en PET sont utilisées comme barrière thermique et électrique.

- Condensateurs : ils sont fabriqués à l'aide de films de 3 à 6 µm, pour répondre aux exigences diélectriques.
- Circuits imprimés : le PET est employé comme support de base pour les revêtements chimiques photosensibles utilisés dans leur fabrication
- Disquettes souples : elles sont fabriquées en PET enduit d'un revêtement magnétique qui associe la sécurité de fonctionnement et la fiabilité des performances exigées pour les micro-ordinateurs et les systèmes de traitement de texte.
- Rubans à transfert thermique pour imprimantes : ils sont constitués de films minces en PET.
- Photographie : Les films et les complexes sont employés dans des applications photographiques.
- Arts graphiques et fournitures de bureaux : films transparents pour croquis et dessins pour rétroprojecteurs, papiers carbone, films de décoration
- Renforts pour cols de chemises
- Isolations thermique et phonique en combinaison avec d'autres matériaux

(FÜZESSÉRY, 1997).

1.3.2 Les Thermodurcissables:

1.3.2.1 Définition :

Un thermodurcissable (anglais : thermoset) est un matériau polymère à base de résine qui ne peut être mis en forme, en principe, qu'une seule fois, lors de sa synthèse. Sur le plan de la microstructure, il se présente sous forme d'un réseau continu d'atomes reliés chimiquement entre eux par des liaisons fortes (covalentes). Il peut être considéré comme composé d'une seule macromolécule géante. On comprend donc qu'il ne peut être mis en forme qu'une seule fois.

1.3.2.2 Polyuréthanes (PUR)

A. Définition :

Les polyuréthannes occupent une place privilégiée dans le domaine des polymères, en raison à la fois de leur nature et de leurs applications. Cela va de produits très souples et légers (dossiers d'ameublement) à des produits de hautes caractéristiques mécaniques (élément de cœur artificiel, pièce structurale d'automobile), sans oublier les peintures et adhésifs. Les mousses souples (légèreté et souplesse) et les mousses rigides (rigidité et bonne isolation thermique) constituent les tonnages les plus élevés de ce polymère. D'autres applications couvrent tous les secteurs de la vie industrielle et domestique.

Les polyuréthannes, grâce à leurs caractéristiques et à la relative facilité de mise en œuvre, sont des produits dont l'évolution n'est pas encore terminée.

B. Propriétés :

Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères.

C. Applications :

Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres. Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski (MAROTEL, 2000)

1.3.3 Élastomères :

A. Définition :

Les élastomères sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture. Les élastomères présentent des caractéristiques bien spécifiques : grande élasticité, bonne étanchéité, fort pouvoir mortissant…Employés essentiellement en tant que pneumatiques, on les utilise également sous la forme de joints, de tubes et tuyaux, de membranes, de dispositifs antivibratoires,… dans de nombreux domaines d'activités : automobile, industrie, aéronautique, médecine.

B. Applications :

Les élastomères sont caractérisés par une dureté Shore A de 30 à 85 et une bonne élasticité. à cela s'ajoute une bonne résistance à l'abrasion et une inertie chimique vis-à-vis des solvants (MAROTEL, 2000). Ces produits sont largement employés pour de nombreuses applications domestiques et industrielles:

- Roues de chariot
- Protection marine et sidérurgie
- Pièces de rotation
- Sols industriels et sportifs
- Courroies de transmission et bandages
- Joints de scellement pour gainage électrique et téléphonique

- Chaussures de ski et de sport

- Chaînes pour pneu (neige)
- Bordures de meubles et tables

1.4 La gestion des déchets:

1.4.1 Introduction:

Les problèmes liés à l'environnement ont entraîné la mise en œuvre du développement durable parce qu'on n'arrive plus à fonctionner comme avant, en harmonie avec les exigences de la nature, nous avons totalement rompu nos relations d'équilibre avec elle. Pour y remédier, on doit fonctionner selon un nouveau concept plus équilibré et plus durable.

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, nos pratiques au quotidien ont bien changé, nos comportements ont été modifiés par de nouveaux modes de vie et de consommation. Nous produisons des produits, nous les consommons, nous les rejetons souvent après usage. Nous nous en débarrassons sans tenir compte des conséquences qui peuvent affecter notre environnement et notre santé. L'impact écologiques des activités humaines et de plus en plus préoccupant.

1.4.2 Definition du déchet:

- **Réglementaire :** Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. La photo 1.2 représente le déchets du ménage.

- **Economique :** Objet dont la valeur économique est nulle ou négative à un instant et dans un espace donné. Peut-être à l'origine de création d'emplois

- **Fonctionnelle :** Flux de matière issu d'une unité fonctionnelle représentant une activité ou ensemble d'activités.

- **Juridique :** Du point de vue juridique, deux notions se dégagent du déchet :

  - Notion subjective : un bien devient déchet lorsque son propriétaire confirme sa volonté d'abandonner tout droit de propriété.
  - Notion objective : le déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement.

Photo1.2 : Déchets jetés dans l'espace publique

- **Environnementale, écologique :**

- Le déchet constitue une menace du moment où l'on envisage son contact avec l'environnement, qu'il soit direct ou après traitements, les interfaces peuvent être :
- Avec le sol : décharges contrôlées ou sauvages
- Sur l'eau : pollution des eaux souterraines et de surface
- Sur l'air : dégagement de biogaz des décharges (essentiellement du méthane), dioxine, furanes, hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP) des usines d'incinérateurs.

La gestion des déchets constitue une préoccupation majeure pour les autorités en charge de ce secteur. La gestion des déchets ne s'improvise pas. Il est important de connaître les différents types de déchets générés, leurs quantités, leur nature, les contraintes réglementaires, les risques sanitaires, leurs interactions, etc.

Photo1.3 : Décharge du déchet de ménage de la wilaya de Constantine (photo prise le 15/03/2017)

1.4.3 Mode de traitement:

La littérature répertorie plusieurs procédés de traitement des déchets que nous pouvons répartir en deux techniques de traitement (Crowe M., 2002): la mise en décharge, la valorisation matière, y compris la valorisation énergétique (Charnay, 2005).

A chaque type de déchet correspond un processus de gestion. Afin de bien diriger le déchet dans la bonne filière, un pré tri est nécessaire. Ce tri va permettre dans un premier temps de séparer les déchets recyclables des déchets non recyclables et dans un second temps de valoriser énergétiquement le déchet. Il n'y a pas de solution unique au problème des déchets et les déchets plastiques

1.4.3.1 La mise en décharge :

Elle est la pratique de traitement la plus ancienne et la plus utilisée dans le monde (Hafid N., 2002)(Gachet C., 2005.) Et est adaptée pour tous les types de déchets. Elle est pratiquée depuis longtemps malgré les impacts qu'elle engendre (Thonart P., 2005). La mise en décharge est généralement synonyme de dépôts sauvages au bord des routes ou sur des parcelles de terrains vides ainsi que dans les zones humides.

La circulation de lixiviats pouvant contaminer les eaux souterraines que superficielles. Donc les sites de la décharge sont exposés à la pollution du sol, et de l'atmosphère. Les décharges sont aussi appelées centre d'enfouissement technique (CET)

ou centre de stockage pour déchets ultimes (CSDU). La mise en décharge consiste à l'enfouissement des déchets ultimes qui ne sont pas destinés à être recyclé.

Un centre d'enfouissement technique : est une installation qui a pour vocation de traiter et de stocker les déchets non recyclables. La Photo 1.5 présente Enfouissement des déchets

De façon simplifiée, les déchets sont mis dans le casier ou l'alvéole en exploitation par couches successives compactées de manière à assurer une cohésion mécanique du massif et limiter les nuisances olfactives (Berthe C, 2006). Dès qu'un casier est comble, une couverture finale semi-perméable ou imperméable est mise en place sur les déchets de manière à réduire les volumes de lixiviats produits, à faciliter le suivi post exploitation et à contrôler la migration du biogaz

Photo 1.4 : Vue aérienne sur le centre d'enfouissement technique (CET) ville nouvelle de Hassi Messaoud wilaya d'Ouargla (photo prise par considère le 08/04/ 2019)

- **Avantage :**
  - Solution pratique
  - Solution peu coûteuse
  - Valorisation énergétique

- **Inconvénients :**
  - Nuisances
  - Risques de fuites dans les sols et les cours d'eau
  - Condamnation de grands espaces
  - Dégradation continuelle des déchets enterrés : production de Lixiviats et de gaz qui doivent continuer à être évacués et traités, pendant des périodes pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines années

Contraintes techniques : nature du sol, protection des ressources en eau, mise en place de géo membranes, traitement des effluents, etc.

Photo 1.5 : Enfouissement des déchets (Nawal ,2019)

1.4.3.2 L'incinération :

L'incinération consiste à bruler à l'aide d'un incinérateur les déchets souvent collectés, sans tri préalable (Hefa C., 2007) .Elle présente l'avantage d'une forte réduction de la masse et du volume des déchets. Toutefois, la valorisation énergétique engendre une forte pollution atmosphérique avec l'émission de plusieurs gaz dont certains sont très toxiques et/ou sont à effets de serre (Hefa C., 2007),(Dietmann, 2008).

- **Définition Générale**

L'incinération est une technique consistant à détruire par le feu et à réduire en cendre les déchets traités. Les déchets sont brûlés dans des fours à une température allant de 850°C à 1000° C (actu, 2006). La figure 1.1 présente une usine d'incinération des déchets d'ordures ménagères de Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis).

- **Avantage :**

  - Valorisation énergétique
  - Auto-combustion des déchets
  - Traitement de déchets non recyclables (souillés, imbriqués dans des déchets non recyclables…)
  - Production de 25% de mâchefers qui seront ensuite triés et recyclés
  - Réduction des déchets de 70 % en masse et de 90 % en volume

- **Inconvénients :**

  - Rejets de dioxines cancérigènes et de dioxyde de carbone (GES)
  - Quantités importantes de combustibles qui pourraient être mieux valorisés
  - Production de 2,5% de REFIOM (Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères)
  - Incinération de quantités importantes de déchets organiques non valorisés par compostage
  - **Processus**

- Récolte des déchets ménagers et industriels

  - Transport
  - Four : production de ferrailles et mâchefers
  - Chaudière : production vapeur et gaz qui sont ensuite traités et valorisés

- **Valorisation énergétique**

- L’incinération permet de récupérer l'énergie sous forme de vapeur. La vapeur produite est utilisée de deux façons :
- Production de chaleur pour alimenter un réseau de chaleur

- Production de chaleur et d'électricité par cogénération par des turbines à vapeur

Enfin, en dernier recours, si la chaleur n'est pas utilisée, elle est entièrement transformée en électricité, ce qui entraîne une perte d'énergie allant de 60 à 70%.

Figure 1.1 : Usine d'incinération des déchets d'ordures ménagères de Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis) (futura, 2009)

1.4.3.3 Le Recyclage :

Le recyclage est le processus de recyclage et de réutilisation des déchets, qu'ils soient domestiques, industriels ou agricoles, afin de réduire l'impact de ces déchets. Selon (G. Bernache-Perez, 2001) et (Gbedo V., 2010), le recyclage des déchets et le réemploi nécessitent un tri manuel par les acteurs de la filière avant et pendant la collecte ou sur les décharges. L'introduction de codes pour l'identification des principaux plastiques peut être un moyen très efficace de faciliter la séparation des polymères. L'industrie du plastique a créé un système de 7 codes, numérotés de 1 à 7 qui correspond à des plastiques aux caractéristiques et aux propriétés différentes (Josk Aguado, 1999). Il se formalise sous forme de logo triangulaire avec 3 flèches (cercle de Möbius). Présents sur l'ensemble des emballages plastiques, ce symbole et son chiffre donne des indications sur la nature du plastique qui compose l'emballage.

- le Polyéthylène Terephthalate (PET), symbolisé par le chiffre 1 ;
- le Polyéthylène haute densité ou High Density Polyethylene (HDPE), que représente le chiffre 2 ;
- le Polychlorure de Vinyle (PVC), 3 ;
- le Polyéthylène basse densité ou Low Density Polyéthylène (LDPE), 4 ;
- le Polypropylène (PP), 5 ;
- le Polystyrène (PS), 6 ;
- les plastiques autres que ceux allant de 1 à 6, qui correspondent au numéro 7.

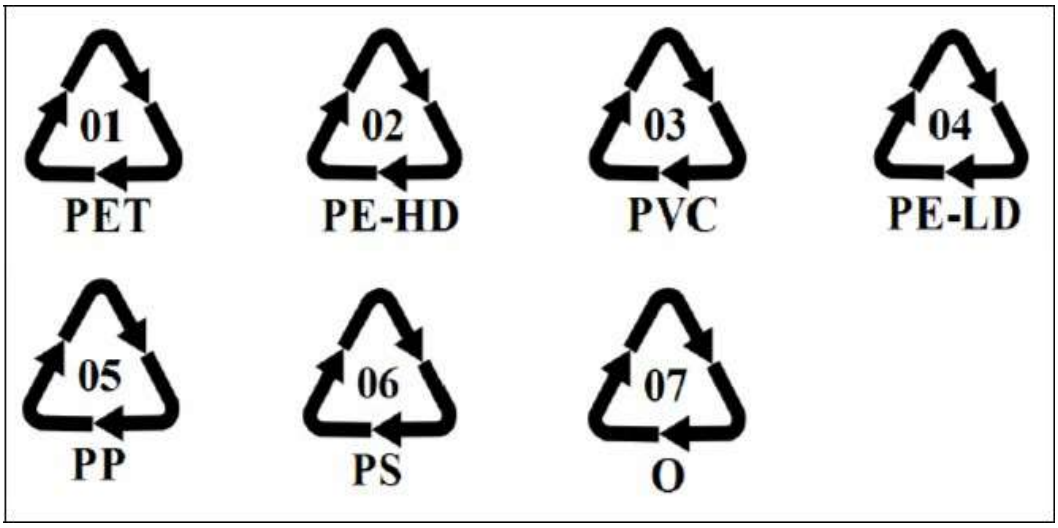


Figure 1.2 : Codes de recyclage des plastiques ((Josk Aguado, 1999))

Les étapes de recyclage du plastique :

Le recyclage des déchets plastiques s'effectue suivant plusieurs étapes et en mettant en œuvre certaines méthodes, la figure 1.3 présente le cycle du recyclage du plastique :

Figure 1.2 : Cycle du recyclage du plastique (lizinne, 2009)

- La collection :

La collecte est une étape décisive dans le processus de recyclage des déchets plastiques. Elle est effectuée par les simples utilisateurs du plastique qui font le tri de leurs déchets plastiques à la maison et les dépose dans les bacs ou conteneurs de tri prévus à cet effet. Il peut s'agir des bouteilles et flacons en plastique, des sacs et films en plastique ou des pots ou récipients en plastique. La figure 1.6

Photo 1.6 : Première étape du recyclage des déchets plastiques la collecte.

- Le Tri :

C'est la phase la plus importante dans le recyclage du plastique, qui est l'essence du recyclage pour obtenir une bonne qualité du plastique, nécessite une bonne séparation des déchets plastiques, car le plastique perd ses propriétés dans le cas d'autres éléments avec lui, et il faut trier un gros emploi, créant beaucoup d'emplois. Les résidus en plastique du reste des impuretés, comme l'enlèvement du papier sur les bouteilles en plastique, et chaque type de plastique est séparé de l'autre. les opérations de tri sont effectué généralement dans les centres de tri. La photo 1.7 présente le centre de tri de déchet du ménage de la ville nouvelle de Hassi Messaoud de la wilaya d'Ouargla.

Photo 1.7 : Centre de tri des déchets de ménage de la ville nouvelle de Hassi Messaoud wilaya d'Ouargla d'une capacité de 25 tonnes / jours (photo prise le 05/06/2019).

- broyage :

Le déchet en plastique est broyé dans une machine de broyage, de sorte que le passage des déchets en plastique entre les bras rotatifs soit fixé, et la taille du craquelin est contrôlée par une seule fente pour déterminer la taille des granules produits, puis les granulés sont relavés. Ces granulés sont ensuite transférés à la fraiseuse, qui se transforme en une "matière première" qui peut être utilisée pour fabriquer de nouveaux produits en plastique.

Photo 1.8 : Vue en 3D du broyage des déchets plastiques

- .Lavage :

Le processus de lavage des déchets plastiques s'effectue dans de grands étangs contenant de l'eau chaude, avec de l'eau de soda ou du savon liquide concentré. Le recyclage du plastique exige que la matière plastique soit exempte de graisse, d'huiles et d'objets étrangers.

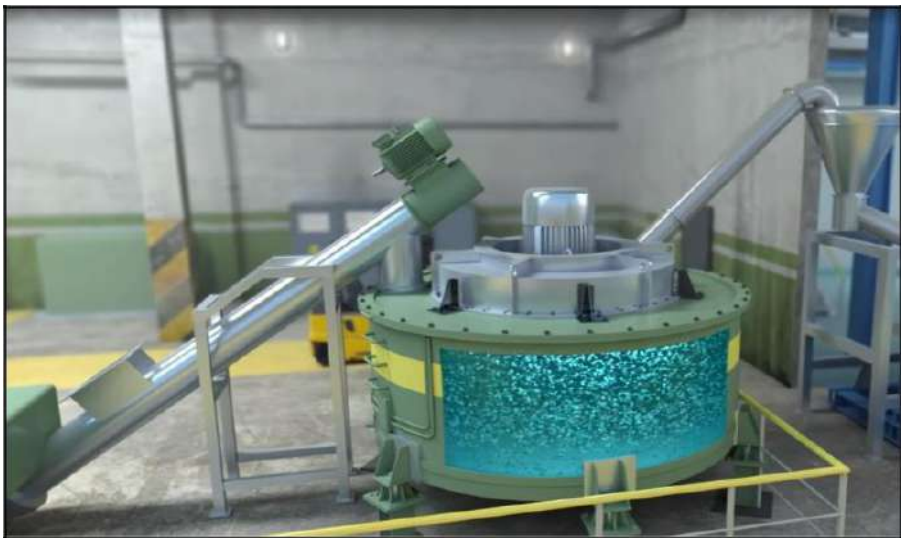


Photo 1.7 : Vue en 3D du lavage des déchets plastiques.

- Séchage :

Apres lavage des déchets plastique, vient le procédé de séchage ou ils sont transfères des bassins de lavage vers les bassins de séchage et laissent sécher complètement d'eau.

- L'extrusion :

Le plastique broyé va alors entamer une phase d'extrusion. Elle consiste à faire fondre le dans une machine pour donner des joncs qui seront refroidis dans l'eau puis coupés pour former des granulés.

1.4.3.4 Comparaison des différents modes de traitement :

Plusieurs paramètres dont la composition et la production quotidienne de déchets, les installations préexistantes, le potentiel recyclable des déchets, les investissements à prévoir, les orientations politiques sont déterminants pour le choix d'un procède de traitement.

Chacune des différentes méthodes de traitements précités est efficace dans une certaine mesure. Ceci s'explique par des facteurs combines tels que l'environnement socio - économique, les contraintes géographiques et urbaines, la mise en œuvre ou non du tri, la qualité et la quantité de gisement traité et la technologie utilisée. C'est-à-dire que les méthodes de traitement se complètent afin de se débarrasser des déchets plastiques

Dans notre pays l'Algérie il existe uniquement les centres d'enfouissement techniques et de recyclages. Notre matériau le polyéthylène haut densité est un polymère thermoplastique. Un des polymères les plus simples et les moins chers.

Il est généralement utilisé pour fabriquer plusieurs produits : par exemple des caisses en plastique hautement résistantes, des canoës-kayaks, emballages de produits détergents, bidons d'huile moteur, bouteilles de lait, bouteilles de shampoing, flacons de médicaments, bouchons de boissons gazeuses, filets de signalisation pour les conduites, câbles enterrés et des tubes pour le transport du gaz ou de l'eau. Apres l'utilisation ils ont rejeté. Des sociétés récupéré ces déchets et recycle le pour la réutilisation(le PEHD passe dans des différentes phases avant d'être granulé.

- **Importance du recyclage du plastique :**

Le recyclage des plastiques joue un rôle important dans la préservation des ressources des matières premières par l'exploitation des déchets en plastique. Il a également un rôle important en termes d'environnement en protégeant l'air et l'eau contre les contaminants. Parce que la pollution de l'air ou de la décharge conduisant à la pollution des eaux souterraines, sans oublier le rôle qu'il joue dans l'économie en réduisant les surfaces nécessaires à l'évacuation et à l'exploitation des déchets.

Cependant, le recyclage ce n'est pas un processus économique car le plastique recyclé se dégrade en qualité et nécessite un nouveau plastique pour fabriquer le produit original.

1.5 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons conclu que chacun des différents types de la matière plastique prend une place très importante dans notre vie quotidienne grâce à ses propriétés. Cette matière plastique aujourd'hui présente dans divers domaines et sous toutes les formes

imaginables, pose de vrais problèmes environnementaux ou encore de santé dans le monde entier.

Plusieurs paramètres dont la composition et la production quotidienne de déchets, les installations préexistantes, le potentiel recyclable des déchets, les investissements à prévoir, les orientations politiques sont déterminants pour le choix d'un procède de traitement. Nous pouvons dire que chacune des différentes méthodes de traitements précités est efficace dans une certaine mesure. Ceci s'explique par des facteurs combines tels que l'environnement socio-économique, les contraintes géographiques et urbaines, la mise en œuvre, la qualité et la quantité de gisement traité et la technologie utilisée. Seule la combinaison des différentes solutions (méthodes de traitement des déchets plastiques) ainsi que les technologies avancées doivent permettre de mettre fin ou en tout cas de ralentir ce processus de pollutions dans notre pays.

Chapitre II

Utilisation des déchets plastiques dans le domaine de construction

II.1. Introduction:

Une croissance importante de la consommation de plastique est observée partout dans le monde ces dernières années ce qui augmente également la production de déchets en plastique. Ce que pose un problème environnemental. L'utilisation de divers types de plastique recyclés dans la production du béton c'est une solution qui peut réduire l'impact environnemental aigu de ces matériaux. Des travaux importants ont été réalisés sur l'utilisation de divers déchets de plastique en tant que granulats ou fibres dans la préparation du mortier de ciment et du béton. Dans ce chapitre, les propriétés du béton contenant des déchets plastiques sous forme d'agrégats à partir de données bibliographiques existantes seront présentées. Les propriétés du béton seront examinées dans trois sections principales: propriétés du béton frais, propriétés mécaniques et durabilité des propriétés du béton durci.

II.2. Les types des déchets de plastique utilisés dans la préparation du mortier de ciment et du béton :

Différents types des déchets de plastique tels que la bouteille du Polyéthylène Téréphtalates (PET) (Akcaozoglu, Atis et al. 2010), (Albano, Camacho et al. 2009), (Choi, Moon et al. 2005),(Choi, Moon et al. 2009), (Marzouk, Dheilly et al. 2007), (Yesilata, 2009), pipe du Polychlorure de Vinyle (PVC)(Kou, Lee et al. 2009),polyéthylène haute densité (HDPE)(Naik, Singh et al. 1996), déchets plastiques déchiquetés (Ismail and Al-Hashmi 2008), la mousse de polystyrène expansé (KAN, 2009).

II.3. Sources et préparations d'agrégats de plastique :

La majorité des agrégats plastiques utilisés dans différentes études provenaient des déchets de bouteilles en plastique ou de récipients. En général ces bouteilles en plastique sont broyées au laboratoire à l'aide d'un broyeur et ensuite tamisées pour obtenir la fraction de taille appropriée. Cependant, dans certaines études, les déchets de plastique avec des tailles appropriées sont recueillis à partir d'une usine de traitement des déchets en plastique qui fait le broyage et le tamisage dans la classe de grandeur appropriée.

(Chaudhary, Srivastava et al. 2014) Ont utilisé des granulés des sacs en polyéthylène à la taille minuscule comme sable granulés à partir de déchets déchiqueté en morceaux

(Nibudey, Nagarnaik et al. 2013) Ont utilisé Les bouteilles d'eau minérale en PET de marque unique, post-consommées, ont été collectées dans des restaurants locaux. Les fibres ont été coupées après avoir retiré le goulot et le fond de la bouteille. La longueur des fibres était maintenue à 25 mm et la largeur était de 1 mm et 2 mm.

(Ferreira, de Brito et al. 2012) La PWA (Les agrégats de déchets plastiques) résulte de broyage des déchets de bouteilles en PET. Les PWA sont de trois types: Pc et Pf, les premiers plus gros que les derniers mais à la fois lamellaires et irréguliers, et les Pp consistant en un granulé cylindrique régulier résultant du post-traitement des types précédents.

(Akcaozoglu, Atis et al. 2010) ont utilisé des granulés à partir de déchets de bouteilles en PET déchiqueté comme agrégat, qui ont été fournies par une société commerciale. Les bouteilles ont été obtenues en ramassant les déchets de PET, puis en les lavant et en les broyant mécaniquement en granulés.

Les déchets de PET (WPET) agrégat utilisé dans l'étude de (Frigione 2010) a été fabriqué à partir de déchets de bouteilles en PET, non lavés et non séparé sur la base de la couleur. Pour préparer l'agrégat WPET, les déchets de bouteilles en PET, d'une épaisseur de 1 à 1,5 mm, ont été broyés dans un broyeur à lames à une taille de 0,1 à 5 mm. Ensuite, les particules résultantes ont été séparées, à travers des tamis, en un calibre de taille similaire à celui du sable naturel.

Les déchets de polyéthylène téréphtalate (PET) et de polycarbonate (PC) de la recherche de (Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010)ont été obtenus à partir d'une industrie.

(KAN, 2009) ont préparé un agrégat à partir de mousses de polystyrène expansé (EPS). Cet agrégat de polystyrène expansé modifié (MEPS) modifié a été préparé par fusion de déchets de mousse de PSE dans un four à air chaud à 130 ° C pendant 15 min. L'agrégat a été séparé en deux fractions de tailles similaires à celles de l'agrégat naturel: de 0 à 4 mm (agrégat fin) et de 4 à 16 mm (agrégat grossier).

(Kou, Lee et al. 2009) ont produit des granulés de plastique PVC en broyant des tuyaux en PVC raclés en petits granules, avec environ 95% du tamis de 5 mm.

(Choi, Moon et al. 2009) ont préparé un agrégat en mélangeant une bouteille de PET en granulés avec du sable de rivière en poudre à 250 ° C. Après refroidissement à l'air, le granulat préparé et la fraction de sable en poudre restante ont été filtrés à l'aide d'un tamis de 0,15 mm. (Choi, Moon et al. 2005) ont également préparé un autre type d'agrégat à base de plastique en mélangeant du laitier de haut fourneau en poudre avec une bouteille de PET granulée à 250 ° C.

(Ismail and Al-Hashmi 2008)ont étudié le comportement d'un béton contenant des déchets plastiques en forme de fibres, qui représentent les déchets mis au rebut provenant de conteneurs en plastique collectés dans des usines de fabrication de plastique. Il est composé d'environ 80% de polyéthylène et de 20% de polystyrène. Après la collecte des déchets plastiques, il a été broyé dans une gamme de tailles appropriées.

(Batayneh, Marie et al. 2007) ont étudié un agrégat de déchets plastiques préparé en broyant des déchets plastiques originaux en particules de petite taille. La distribution granulométrique de l'agrégat plastique préparé se situait dans les limites de gradation spécifiées pour les agrégats fins, telles que recommandées dans la norme BS882: 1992.

(Marzouk, Dheilly et al. 2007) Les déchets de polyéthylène téréphtalate (PET) ont été obtenus à partir de bouteilles d'eau potable qui ont d'abord été séparées, lavées et déchiquetées. Les plastiques déchiquetés ont été déchiquetés une nouvelle fois, à l'aide d'un concasseur à hélices avec des grilles de mailles de tailles différentes, à la température ambiante et à l'humidité, afin de produire des granulats de tailles différentes. Des agrégats plastiques de trois tailles différentes, à savoir 50, 20 et 10 mm, ont été utilisés dans cette étude.

Les agrégats plastiques sont généralement produits à partir d'échantillons de plastique de grande taille, tels que des bouteilles d'eau potable, d'autres récipients en plastique et des tuyaux. Par conséquent, les agrégats naturels grossiers et fins peuvent être remplacés par des agrégats plastiques. Des substitutions partielles et complètes d'agrégats naturels par des agrégats plastiques ont été rapportées dans diverses références (voir tableau 2.1).

II.4. L’utilisation des déchets plastiques dans le béton/ mortier de ciment :

De nombreuses références sont disponibles sur l'utilisation de déchets plastiques comme agrégats dans la fabrication du béton :

Une étude expérimentale de (Naik, Singh et al. 1996) était prévue pour déterminer les effets de l'intégration de plastique HDPE après consommation dans le béton. Les particules de plastique ont été ajoutées au béton dans la plage de 0 à 5% en poids du mélange. Les résistances à la compression ont été mesurées pour chaque mélange d'essai. Les résultats ont montré que la résistance à la compression du béton diminue avec l’augmentation de la quantité de plastique.

(Choi, Moon et al. 2005) ont étudié les effets du granulat léger (WPLA) de bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) sur le béton. Ils préparent un agrégat en mélangeant de l'agrégat PET avec du sable de rivière en poudre. Les proportions de mélange de béton ont été planifiées de manière à ce que les rapports eau sur ciment soient de 45%, 49% et 53%, les taux de remplacement du WPLA étant de 0%, 25%, 50% et 75% en volume d'agrégats fins. Des essais expérimentaux ont été menés sur la résistance à la compression, la résistance à la traction, le module d'élasticité, l'affaissement et la densité de béton d'agrégat léger de bouteilles en PET (WPLAC) .Le résultat a montré que: la valeur d'affaissement du béton d'agrégat léger de bouteilles en PET augmente (WPLAC) à mesure que le rapport eau-ciment et le rapport de remplacement augmentaient, l'incorporation de WPLAC entraînait une baisse de la résistance à la compression, de la traction et du module d'élasticité, mais en contrepartie, l'intégration donne un béton léger comparé au béton à granulats naturels.

(Kumar & al, 2006) ont étudié l'utilisation du HDPE sous la forme de poudre comme pourcentage de 2, de 4, de 6, de 7 et de 8 du poids du ciment dans la préparation du mélange de béton de ciment. L'étude a indiqué que le contenu optimum de modificateur était 5% et la force s'est avérée deux fois plus grande que le ciment.

(Batayneh, Marie et al. 2007) ont préparé un béton de déchets de plastique avec un taux de substitution de sable de entre 5, 10, 15 et 20%.Les resultats indiquent que la résistance à la compression,à la flexion et à latraction diminue avec l'augmentation de la quantité des déchets plastique.

(Marzouk, Dheilly et al. 2007) ont étudié la valorisation des déchets de polyéthylène téréphtalate dans les composites de béton qui utilisaient diverses tailles d'agrégats de PET pour remplacer partiellement et totalement le sable dans le béton. Différentes fractions de volume de sable, comprises entre 2% et 100%, ont été remplacées par le même volume de plastique granulé. Des agrégats plastiques de trois tailles différentes ont été testés. Les résultats ont révélé que le pourcentage volumétrique de sable substitué est essentiel pour réduire le poids des nouveaux composites et réduire considérablement les propriétés mécaniques et la structure du matériau obtenues.

(Marzouk, Dheilly et al. 2007, Ismail and Al-Hashmi 2008) ont étudié le comportement du béton contenant des déchets plastiques avec une longueur variable de

0,15 à 12 mm et une largeur de 0,15 à 4 mm. Il est composé à environ 80% de polyéthylène et à 20% de polystyrène. Ils ont été utilisés en remplacement partiel du sable 0%, 10%, 15% et 20%. Leurs résultats ont indiqué que les valeurs de densité sèche, de résistance à la compression et de résistance à la flexion ont tendance à diminuer en dessous du béton de référence avec l'augmentation du taux de perte de plastique.

(Tang, Lo et al. 2008) ont étudié les caractéristiques et les propriétés d'un retrait à long terme de l'agrégat de polystyrène du béton étudié (CAP). L'agrégat de polystyrène a été fabriqué à partir d'une petite pastille recyclée ou de copeaux de polystyrène. Quatre (04) mélanges de CAP ont été étudiés en remplaçant 20, 40, 60 et 80% des agrégats grossiers normaux par un volume égal d'agrégats de polystyrène. Le résultat montre que la densité sèche, la résistance à la compression, la résistance à la traction et le module d'élasticité diminuent avec l'augmentation de la quantité en l'agrégat de polystyrène dans le mélange.

(Albano, Camacho et al. 2009) ont étudié le comportement mécanique du béton avec le polyétélène téréphtalate (PET) recyclé, en faisant varier le rapport eau / ciment (0,50 et 0,60), la proportion en PET (10 et 20% en volume) et la taille des particules. Les résultats indiquent que le béton rempli de PET, lorsque la proportion en volume et la taille des particules de PET augmentaient, montrait une diminution de la résistance à la compression, de la résistance à la traction, du module d'élasticité. Cependant, l'absorption d'eau augmentait.

(Choi, Moon et al. 2005) Étudié les caractéristiques du béton léger et du mortier utilisant des granulats fins fabriqués à partir de bouteilles de PET recyclées contenant du polyéthylène téréphtalate (PET) avec du sable de rivière en poudre et du laitier de haut fourneau à 250 ° C. Le remplacement du WPLA en masse d'agrégat finisse était de 0%, 25%, 50% et 75%. Les résultats montrent que la résistance à la compression, la résistance à la traction et le module d'élasticité du mortier ont tendance à diminuer à mesure que la proportion de mélange de WPLA augmente, cependant l'affaissement du béton WPLA augmente proportionnellement à l'augmentation de la proportion de WPLA dans le mélange.

(Kou, Lee et al. 2009) ont Étudié les propriétés des bétons à agrégats légers préparés avec l'utilisation de déchets de plastique recyclés provenant de tuyaux en PVC pour remplacer le sable de rivière en agrégats fins en pourcentages de 0%, 5%, 15%, 30% et

45%. Les résultats indiquent que la résistance à la compression du béton contenant des granulés de PVC diminue avec l'augmentation du pourcentage en granulés de PVC. La résistance à la traction par flexion est également réduite avec l'augmentation de la teneur en PVC.

(Akcaozoglu, Atis et al. 2010) Étude sur l'utilisation de bouteilles de PET déchiquetées en tant que groupes de mortiers constitués d'un composé indifférent: composites composées uniquement d'agrégats de PET et de mortier contenant du PET et des agrégats de sable, et mortiers modifiés au laitier pour remplacer le ciment. Le rapport eau / liant (w / b) et le rapport PET / liant (PET / b) utilisés dans les mélanges étaient de 0,45 et 0,50, respectivement. La taille des granulés de PET déchiquetés utilisés dans la préparation des mélanges de mortier était comprise entre 0 et 4 mm. Ils ont constaté que les valeurs de retrait des mortiers contenant des agrégats de PET étaient supérieures aux valeurs de retrait des mortiers contenant du PET et des agrégats de sable. L'utilisation de GBFS a permis de réduire le poids unitaire et le retrait des spécimens. Cela augmentait la résistance à la compression. Le poids unitaire et les valeurs de résistance à la compression et à la traction par flexion des mortiers contenant des agrégats de PET et de sable étaient supérieurs à ceux des mortiers contenant uniquement des agrégats de PET.

(Daad, et Nadia, 2010) ont étudié l'utilisation des déchets plastiques des usines dans la fabrication des panneaux muraux et plafonds pour l'humidité et la chaleur avec un polyvinyle chloride et acétate Deux mélanges (02) ont été étudiés : 1 volume ciment, 1 sable 2 déchets de plastiques. Et l'autre : 1 volume ciment, 2 sable, 3 déchets de plastiques.

(Herki, Khatib et al. 2013) ont étudié les propriétés du béton léger fabriqué à partir de polystyrène expansé (PSE) appelé polystyrène stabilisé (SPS). Le rapport eau sur liant (W / B) de 0,8 a été utilisé pour tous les mélanges avec des taux de teneur en SPS variables de 0, 60 et 100% remplacement des granulats fins naturels par un volume équivalent. Les résultats indiquent que la résistance à la compression a tendance à diminuer lorsque le sable naturel et le ciment Portland sont remplacés par des quantités croissantes d'agrégat de polystyrène stabilisé (SPS). Cependant, la densité des bétons diminue avec l'augmentation du niveau de remplacement d'agrégat de SPS.

(Rahman, Islam et al. 2013) ont étudié l'utilisation de déchets d'emballage à base de polyuréthane-formaldéhyde (PUF) et de polyéthylène haute densité (PEHD) en

remplacement des granulats dans le béton. La taille des granulés (PUF) et (HDPE) utilisés dans la préparation de différents mélanges étaient comprise entre 4,0 et 8,5 mm, 4 et 12 mm respectivement. Le résultat montre que l'incorporation de déchets de matériaux polymères diminue considérablement la densité, la porosité et l'absorption d'eau du béton et des poly - blocs. L'inclusion de polymère recyclé peut être utilisée dans des structures non porteuses.

(Nibudey, Nagarnaik et al. 2013) ont étudié le comportement du béton en ajoutant différentes fractions volumiques de fibres de plastique (PET) à une teneur en souffle de 0,5% à 3,0% en poids de ciment. Les dimensions étaient (2 mm) et longues (25 mm) avec les rapports de forme 35 et 0,6% de super plastifiant en poids de ciment pour tous les mélanges. Les résultats ont révélé que les résistances à la compression et à la traction divisée augmentaient avec l'augmentation du taux de fibres (PET) ajoutées jusqu'à 1% en poids de ciment, puis diminuaient. Alors que la densité diminue lorsque la fibre de PET a été ajoutée.

(Raju and Pandian 2013) ont étudié les propriétés mécaniques du béton de nuance M25 préparées à l'aide de déchets de plastique d'une granulométrie inférieure à 3,36 mm afin de remplacer le sable sous forme de fines particules en pourcentages de 5%, 10%, 15% et 20%. Les résultats indiquent que le remplacement partiel des déchets de matière plastique peut être effectué dans la limite de 15% du poids des granulats fins utilisés dans le béton.

(Chaudhary, Srivastava et al. 2014) ont étudié l'effet de l'utilisation de déchets de sacs en plastique (polyéthylène basse densité (PEBD)) sur les propriétés mécaniques du béton. Le LDPE a été mélangé à du béton avec ou sans super plastifiant. Ils ont été étudiés en remplaçant 0%, 0,4%, 0,6%, 0,8% et 1% (en poids) par des déchets plastiques. Les résultats de la résistance à la compression et de la résistance à la traction divisée du béton avec des déchets plastiques en tant qu'agrégat ont montré un bon gain de résistance. (La résistance à la compression, à la scission et à la flexion du béton contenant les déchets de plastique LDPE est de plus en plus indiquée).

(da Silva, de Brito et al. 2014) ont étudié les effets de l'incorporation de deux types d'agrégats de plastique recyclés PP et PF. Les taux de remplacement du sable étaient de 0%, 5%, 10% et 15%. Cette substitution a été effectuée en volume et uniquement dans la fraction de 1 à 2 mm. Les résultats montrent que l'incorporation de granulats de plastique

PET en remplacement partiel du sable a permis de réduire à la fois la résistance à la compression et la résistance à la flexion du mortier

(Coppola, Courard et al. 2016) ont étudié l'utilisation de déchets de plastique expansés en plastique comme substitut naturel des agrégats dans les mortiers légers en pourcentage de 10% et 25%, avec deux rapports différents (poids / poids) (0,45 et 50) respectivement. Les résultats indiquent qu'avec l'augmentation du remplacement du sable, les propriétés mécaniques diminuent.

(Manjunath 2016) ont étudié l'utilisation des particules de déchets électroniques sous forme de granulats fins et grossiers dans le béton, avec des pourcentages de remplacement compris entre 0%, 10%, 20% et 30% en poids de ciment en mélange. Les résultats montrent que l'utilisation de plastiques dans le mélange réduit la densité, la résistance à la compression et la résistance à la traction du béton.

(lqahtani FK, 2017) ont étudié l'influence du niveau de remplacement des agrégats volcaniques légers et des agrégats Lytag sur les agrégats plastiques sur les propriétés physiques du béton. Le résultat indique que l'affaissement, la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la résistance à la traction et le module d'élasticité diminuent avec l'augmentation du niveau de remplacement.

(esoglu M, 2017) a étudié les caractéristiques mécaniques des bétons auto-compactants contenant des poudres de déchets plastiques (PW) en quantités variables utilisées comme matériau de remplacement du ciment. La quantité partielle de ciment a été remplacée par de la poudre de PW à 5%, 10%, 15%, 20% et 25% en poids. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques des bétons auto-compactants (SCC) modifiés avec de la poudre de PVC diminuent avec l'augmentation du pourcentage de poudre de déchets plastiques.

II.5. L'influence des déchets plastique sur les propriétés du béton/ mortier de ciment :

II.5.1. Propriétés du béton à l'état frais:

L'incorporation d'agrégats de plastique dans le béton affecte fortement les différentes propriétés du béton frais en raison de leur nature organique ainsi que de leur forme, leur taille, leur porosité et leur nature légère.

II.5.1.1. L'affaissement:

L'affaissement sert à mesurer l'ouvrabilité ou la consistance du mélange de béton frais. Etant une propriété importante, L'affaissement des mélanges de mortier de béton et de ciment avec des agrégats de plastique a été étudié de manière approfondie.

Il existe deux points de vue parallèles sur le comportement de mise en œuvre du béton avec des agrégats plastiques. Dans la majorité des études, ils ont observé une valeur d'affaissement du béton frais inférieure en raison de l'incorporation de plusieurs types d'agrégats de plastique par rapport à celui du béton conventionnel, et une augmentation du niveau d'incorporation des agrégats de plastique a permis de réduire davantage l'affaissement.

(Choi, Moon et al. 2009) ont signalé une augmentation de l'affaissement du béton avec une pourcentage croissante en deux types d'agrégats de bouteilles PET traités, en raison de la forme sphérique des agrégats PET ainsi que de la texture de surface glissante, ce qui diminue le frottement interne entre le mortier et les agrégats PET et par conséquent augmente la fluidité.

(Ferreira, de Brito et al. 2012) ont rapporté que l'affaissement du béton avec des agrégats PET cylindriques (avec une texture de surface très lisse) est légèrement supérieur à celui du béton avec NA. Les auteurs ont également constaté une diminution des valeurs d'affaissement dans le béton en raison de l'ajout d'agrégats plastiques feuilletés fins et grossiers, attribuable au fait que ces agrégats de PET ont des arêtes plus nettes par rapport à l'agrégat naturel.

II.5.1.2. La densité:

Indépendamment du type et de la taille des substitutions, l'incorporation des déchets plastique comme agrégat diminue généralement la densité frai du béton/ mortier de ciment résultant en raison de la nature légère de l'agrégat plastique.(Manjunath 2016), (da Silva, de Brito et al. 2014), (Herki, Khatib et al. 2013), (Nibudey, Nagarnaik et al. 2013), (Rahman, Islam et al. 2013), (Kou, Lee et al. 2009), (Tang, Lo et al. 2008), (Ismail and Al-Hashmi 2008), (Choi, Moon et al. 2005),(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010), (Choi, Moon et al. 2009), (Marzouk, Dheilly et al. 2007) et (Daad, et Nadia, 2010).

(Ismail and Al-Hashmi 2008) ont rapporté que la densité fraîche du béton avec des agrégats de plastique de 10, de 15, et de 20 % comme remplacement des granulats fins tend

à diminuer de 5, de 7, et de 8.7 %, respectivement, par comparaison avec le béton de référence.

(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010) Ont rapporté que la densité à l'état frai et à l'état durcis diminue avec l'augmentation de la quantité des déchets plastique. La densité sèche a diminué de 2173 kg/m3 à 1755 pour des mélanges avec des agrégats de déchets plastique de 0 % et de 1643 kg/m3, pour des mélanges avec des agrégats de déchets plastique PET et (PC) de polycarbonate de 50 % ,respectivement,.

II.5.2. Propriétés mécaniques:

II.5.2.1. Résistance à la compression:

La résistance à la compression du béton et du mortier de ciment est une propriété fondamentale, soigneusement étudié dans presque toutes les études liées aux agrégats plastiques. L'incorporation des déchets plastique en tant qu'agrégats a diminué la résistance à la compression de béton et mortier résultant. .(Manjunath 2016), (da Silva, de Brito et al. 2014), (Herki, Khatib et al. 2013), (Nibudey, Nagarnaik et al. 2013)(Rahman, Islam et al. 2013),(Ferreira, de Brito et al. 2012),(Akcaozoglu, Atis et al. 2010), (Kou, Lee et al. 2009),(Albano, Camacho et al. 2009),(Tang, Lo et al. 2008), (Ismail and Al-Hashmi 2008), (Batayneh, Marie et al. 2007), (Choi, Moon et al. 2005), (Naik, Singh et al. 1996), (Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010), (Choi, Moon et al. 2009) et (Marzouk, Dheilly et al. 2007).

La très faible force de liaison (adhérence) entre la surface des agrégats de déchets plastiques et la pâte de ciment, ainsi que La nature de l'eau des déchets plastiques, qui peut empêcher la réaction d'hydratation du ciment en limitant le mouvement de l'eau., sont les causes de la faible résistance à la compression du béton contenant des agrégats de déchets plastiques. Un autre facteur est l'écart de la taille et de la forme des particules entre les agrégats de déchets naturels et plastiques.

II.5.2.2. Résistance à la traction:

De même à la résistance à la compression, l'incorporation de n'importe quel type d'agrégats des déchets en plastique abaisse la résistance à la traction du béton/ mortier de ciment. Les causes pour la réduction observée dans la résistance à la traction du béton/ mortier de ciment sont les même de la résistance à la compression.(Manjunath 2016), (Nibudey, Nagarnaik et al. 2013)(Ferreira, de Brito et al. 2012),(Akcaozoglu, Atis et al.

2010), (Kou, Lee et al. 2009),(Albano, Camacho et al. 2009),(Tang, Lo et al. 2008),(Batayneh, Marie et al. 2007),(Choi, Moon et al. 2009) et (Marzouk, Dheilly et al. 2007). Quelques résultats sur le comportement de résistance à la traction du béton et du mortier avec de divers pourcentages de différents types d'agrégats en plastique sont présentés dans le tableau 2.1

II.5.2.3. Module d'élasticité:

Le module d'élasticité est défini comme une valeur du rapport contrainte / déformation pour le béton durci. Le type d'agrégats influe sur le module, car la déformation produite dans le béton est partiellement liée à la déformation élastique des agrégats.

(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010) ont constaté que l'augmentation de la quantité des déchets en plastique dans le béton diminue le module d'élasticité qui en résultait, probablement en raison de la faible rigidité des plastiques PET et PC ainsi que la faible liaison entre la matrice et les agrégats plastiques.

(Saikia and de Brito, 2010) également ont constaté un module d'élasticité plus faible pour le béton avec trois agrégats de déchets PET de formes différentes que pour le béton avec l'agrégat naturel (NA).Selon eux, le module d'élasticité plus faible du béton en raison de l'incorporation d'agrégats des déchets de PET est dû à la rigidité inférieure des agrégats de PET à celle de d'agrégat naturel (NA) , ainsi qu'à la porosité plus élevée due à la valeur w / c élevée.

II.5.2.4. Résistance à la flexion:

La résistance à la flexion est définie comme la capacité d'un matériau à résister à la déformation sous charge et est mesurée en termes de contrainte. La résistance à la flexion représente la plus forte contrainte subie au sein du matériau au moment de la rupture.

(Batayneh, Marie et al. 2007) ont signalé une tendance à la baisse de la résistance à la flexion avec l'augmentation de la pourcentage en agrégats de déchets plastiques dans le béton. Cependant, cette réduction n'était pas aussi significative que pour la résistance à la compression.(Ismail and Al-Hashmi 2008) ont indiqué que la résistance à la flexion des mélanges de béton contenant des déchets plastiques à chaque âge de durcissement avait tendance à diminuer avec l'augmentation du contenu en déchets plastiques de ces mélanges.(SAIKIA, 2010) ont également trouvé de faibles valeurs de résistance à la flexion pour le béton avec des agrégats de PET que pour le béton avec d'agrégats naturel.

II.5.2.5. Résistance à l'abrasion:

Par rapport aux autres propriétés, très peu de données sont disponibles sur la résistance à l'abrasion du béton/ mortier de ciment avec tout type de granulats de déchets plastiques.

(SAIKIA, 2010) Ont rapporté que l'incorporation d'agrégats de PET peut améliorer la résistance à l'abrasion du béton.

Les chercheurs précédents, mentionnés ci-dessus, ont indiqué que l'incorporation de déchets plastiques quelles que soient leur longueur, largeur, dimension, forme et le taux d'incorporation dans le mélange diminue les propriétés mécaniques (l'incorporation d'agrégats plastiques a entraîné une dégradation des propriétés).

Pour cela nous avons pensé d'incorporer les déchets du plastique comme matière premier dans la fabrication des revêtements de sol et mural / des tuiles. Nous présentons dans la suite les revêtements de sol, murals et tuiles.

Le tableau 2.1 (annexe 1) résumé l'utilisation des agrégats en plastique dans le béton/ mortier.

II.6. Revêtement du sol :

II.6.1. Définition :

Un revêtement de sol est un matériau destiné à recouvrir une partie ou la totalité d'un sol ou mur.

II.6.2. Historique :

Les revêtements en mosaïque trouvent leur origine dès l'antiquité. Les plus anciennes mosaïques datent du quatrième et troisième millénaire avant J.-C, avec des murs et des colonnes de bâtiments. À partir du Ve siècle avant J.-C., apparurent en Grèce les mosaïques en galets arrondis, qui furent progressivement remplacés par l'art de la mosaïque de tesselles qui connut un grand succès partout à travers l'Europe romaine, jusqu'au Ve siècle en Occident et jusqu'au VIIe siècle en Orient.au XIIe siècle que l'usage des carreaux de terre cuite vernissés se répand pour recouvrir les sols des églises, des palais et des châteaux.

Au 18ème siècle, une petite technique de cuisson au feu a été adoptée pour fixer plusieurs couleurs. La révolution industrielle a révolutionné la production d'argile et permis la production en série.

II.6.3. Le rôle des revêtements de sols:

Les carreaux servent à revêtir les sols et les murs. Ils sont par conséquent, pour le bâtiment, des matériaux de finition qui doivent satisfaire deux fonctions

- Assurer l'aspect esthétique souhaité.
- répondre à des exigences fonctionnelles telles que La résistance :
  - ✓ A la circulation des piétons ou des véhicules. (résistance à l'usure).
  - ✓ aux sollicitations physiques (chocs thermiques, températures extrêmes, nettoyage à haute pression, etc.)
  - ✓ aux produits chimiques et/ou aux taches.

II.6.4. Les différents types de carreaux :

Le carrelage est un revêtement de sol ou mural indémodable. Il est sain, durable et naturel. Son entretien est généralement facile. Toutes les teintes et fantaisies sont possibles, que ce soit pour la cuisine, la salle de bains, les pièces à vivre ou encore à l'extérieur. Outre la céramique ou terre cuite, il existe d'autres matériaux comme les pierres naturelles, les émaux, les pâtes de verre (Thierry, 2012). Les carreaux peuvent être :

II.6.4.1. Des carreaux en pierres naturelles :

Nombre de pierres naturelles sont façonnées en carreaux. Les principales sont les roches magmatiques comme le granit, le basalte, la pierre ponce ou le porphyre. On trouve également les roches sédimentaires calcaires telles que le grès, la pierre bleue.

II.6.4.2. Des carreaux de ciment :

Ils sont fabriqués à partir de mortier de ciment et de poudres de marbre pigmentées. Les motifs et les couleurs sont répartis sur une base de ciment. Le décor étant teinté dans la masse, il est durable et permet des teintes vives. Ces carreaux étant à base de ciment et non cuits.

II.6.4.3. Des carreaux céramiques :

La dénomination « carreaux de céramiques » regroupe de nombreuses catégories de carrelage, comme les terres cuites brutes, les grès ou les faïences. Leur principal composant est l'argile, mais d'autres éléments sont également employés dans leur fabrication : le quartz, le feldspath et le kaolin.

Deux méthodes de façonnage sont possibles : le pressage et l'étirage. Les carreaux peuvent être bruts ou émaillés. L'émail peut être cuit en même temps que le carreau, ce qui peut présenter des problèmes de qualité. Les carreaux recuits (double cuisson) sont réputés de meilleure qualité mais, grâce aux techniques actuelles, la mono cuisson permet de produire des carreaux de qualité équivalente. Donc il y'a :

- Les carreaux Emaillés ou non émaillés : Les carreaux émaillés ont une surface recouverte d'une couche de verre coloré qui lui confère d'importantes caractéristiques esthétiques (couleur, éclat, décoration, nuances, etc.) et techniques (dureté, imperméabilité, etc.). Toutes ces caractéristiques, aussi bien techniques qu'esthétiques, dépendent du type d'émail et peuvent varier énormément. Les carreaux non émaillés ont, en revanche, une structure homogène et un aspect identique, sur toute leur épaisseur. Généralement ils sont sans décoration ou motifs.

- Les carreaux Pressés ou étirés : Le pressage et l'étirage sont les deux méthodes de façonnage des carreaux céramiques. Les carreaux pressés s'obtiennent à partir d'une pâte qui, après un traitement thermique approprié, est réduite à l'état de poudre d'une granulométrie et d'une humidité régulières. Cette poudre est introduite dans les alvéoles d'une presse à haute pression pour obtenir, après compactage, des carreaux de formats souhaités. Ces carreaux étirés s'obtiennent à partir d'une pâte plastique préparée par

malaxage des matières premières et qui, en passant à travers un orifice spécial, appelé filière, reçoit la forme prévue.

- **Les grès céramique porcelaine (ou fins vitrifiés) :**

Ces carreaux sont réputés de grande qualité. Leur résistance mécanique et leur dureté sont élevées, ce qui les rend insensibles aux agressions dues à l'abrasion et aux agents chimiques. Leur usage s'étend à tous les sols de la maison et éventuellement aux murs. Ils sont adaptés également à l'extérieur. L'aspect des carreaux peut être uni, granité, poli ou structuré

- **Les grès céramiques émaillés :**

Les grès sont apparus il y a quelques années. Ce sont des grès cérames fin vitrifiés recouverts d'une couche d'émail, qui offre une plus grande diversité de décors et une résistance accrue. Ils peuvent être utilisés partout, en intérieur comme en extérieur.

- **Les grès étirés :**

Ils se composent d'argiles sélectionnées et d'un fondant permettant d'obtenir une pâte qui est ensuite étirée à travers une filière lui donnant son profil, puis cuite à 1100 °C. Ces carreaux ont un aspect rustique. Ils sont plus couramment utilisés en sol. Selon leur degré de porosité, ils peuvent être installés à l'extérieur, par exemple en terrasse. Ils peuvent être émaillés.

- **Les grès pressés émaillés :**

Les carreaux de grès émaillés se composent d'un tesson en grès pressé recouvert d'un émaillage de surface qui les rend résistants à l'usure, étanches. Cette résistance est fonction de la nature de l'émail. Ils peuvent être utilisés pour les sols, les murs ou les plans de travail. Les teintes et les décors.

- **La faïence :**

Les carreaux en faïence sont des céramiques composées d'un biscuit à base de kaolin. Le tout est recouvert d'un émail qui peut être opaque, transparent, mat, brillant ou nuage. Les faïences offrent les décors les plus riches, leur beauté est aussi synonyme de fragilité. Ce type de carrelage est exclusivement destiné à être posé aux murs et en intérieur.

- **La terre cuite :**

Les carreaux de terre cuite se composent d'argile et de sable il est obtenu par pressage. La gamme de couleurs s'étend du jaune clair au brun foncé. Rustiques, ils sont appréciés au sol.

II.6.5. Fabrication du carrelage :

Le procédé de fabrication des tuiles en terre cuite est divisé en diffèrent étapes La figure 2.1 suivante présente les procédés de fabrication des carreaux céramique.

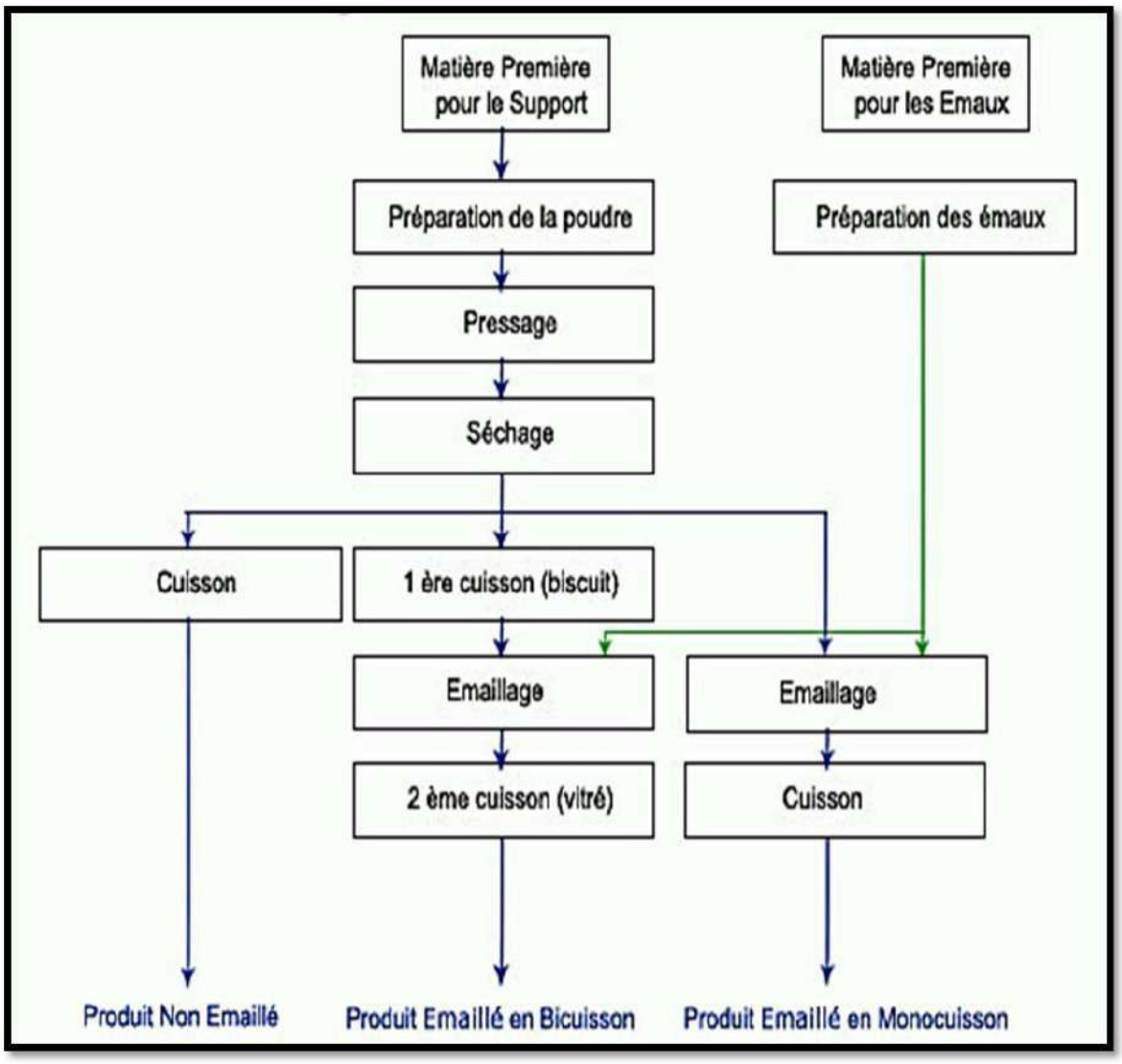


Figure 2.1 : Procédés de fabrication des carreaux céramiques (BOUGRINAT, 2014)

II.6.5.1. Matière première

Les principales matières premières utilisées dans la fabrication de la céramique pour la construction et le carrelage sont (BOUGRINAT, 2014) :

Argile ou terre : mélange plastique et apte à prendre la forme désirée

Quartz : se solidifie et constitue en quelque sorte la charpente du carreau

Feldspath : se vitrifie sous l'influence de la chaleur et donne la résistance et le liant

Kaolin : adjuvant donnant plus de qualité au support

Figure 2.2 : Stockage de la matière premier (BOUGRINAT, 2014)

II.6.5.2. Préparation de la matière première :

Le mélange de matière première passe dans un broyeur qui réduira en pâte humide (barbotine) de grains plus ou moins fins en fonction du type de produit le mélange de terre et de matière première.

Photo 2.1 : Préparation de la barbotine (Ceratec, 2010)

La barbotine est introduite dans des buses placées à l'intérieur de la chambre de séchage, au moyen d'une pompe à piston à haute pression ajustable. A l'extrémité des buses, la barbotine est nébulisée en fines particules et tombe dans un contre-courant d'air chaud qui vient du générateur. De cette manière le séchage est presque immédiat et la poudre formée tombe au fond où elle est évacuée par une vanne tournante. L'air humide est aspiré par un ventilateur à travers un groupe de cyclones, où les petites quantités de poudre fine qu'il contient encore sont collectées, puis l'air est rejeté dans l'atmosphère au travers de filtres. La poudre peut être obtenue à la granulométrie et humidité résiduelle requises, en réglant la pression de la pompe, le diamètre des buses, la température et le débit de l'air.

Photo 2.2 : Séchage de la barbotine (Ceratec, 2010)

II.6.5.3. Pressage du carrelage:

La poudre obtenue lors de l'atomisation et injectée dans un moule qui lui donnera le format désiré. A l'intérieur du moule la presse agit avec une charge qui peut aller jusqu'à 5000 tonnes. La plaque ainsi obtenue à déjà une résistance qui peut lui permettre d'être transportée et de passer aux différentes étapes de la fabrication. (Lietti, 2010)

Photo 2.3 : Presse du carrelage (Lietti, 2010)

II.6.5.4. Séchage:

Les carreaux sont chargés sur des balancelles à rouleaux, qui après avoir été soumises au premier stade de séchage, sont enveloppées dans un fort courant d'air chaud humide, mélangé à de l'air chaud sec. Dosant convenablement les deux airs, nous avons abouti à un bon séchage. Par des fentes placées à l'horizontale dans la tour du séchoir, l'air est équitablement distribué sur tout le plan de chargement de la balancelle.

Le deuxième stade, auquel les carreaux seront soumis, consiste en un fort courant d'air sec autorisant une humidité en sortie du produit. Le troisième et dernier stade est celui qui donne la température aux carreaux requise pour l'émaillage. Les températures sont contrôlées et affichées par des appareillages thermorégulateurs appropriés. Le fonctionnement complet de la machine est géré au moyen de l'automate programmable (Lietti, 2010).

Photo 2.4 : Séchage du carrelage (Ceratec, 2010)

II.6.5.5. Emaillage :

L'émail est essentiellement une substance rassemblant au verre applique à la surface du carreau. Plusieurs techniques d'émaillage sont appliquées en fonction du type de produit que l'on veut obtenir :

1/ Émaillage à sec :

La particularité de cette technique est celle d'appliquer l'émail à n'importe quel endroit du carreau dans une quantité et des couleurs définies électroniquement selon un programme graphique sélectionné qui s'affiche sur un écran en dotation. Avec les systèmes de gestion électronique, on peut donc décorer les carreaux de façon centrée, c'est à dire tous égaux, en mode à savoir avec des décors différents mais contrôlés sur des carreaux qui transitent rapidement sur la ligne (Lietti, 2010)

2/ Émaillage humide :

Avec cette technique, le carreau passe sous des buses qui propulsent de l'émail liquide. Il peut y avoir plusieurs buses successives ou en parallèle pour enrober la céramique d'émail afin d'obtenir les différents effets souhaités. (Lietti, 2010)

Sur l'ensemble du processus de fabrication, le transport des carreaux se fait par des systèmes de tapis roulants

Photo 2.5: Emaillage du carrelage (Ceratec, 2010)

II.6.5.6. Cuisson :

Différents types de fours sont utilisé mais le four a roulant est le plus efficace. La température de ce type de four peut attendre 1190°C.le four solidifie l'émail et faite disparaitre toutes les humidités résiduelles. Une fois l'étape est terminée on obtient le produit final.

Photo 2.6: Cuisson du carrelage (Ceratec, 2010)

II.6.5.7. Contrôles de la qualité :

Les carreaux sont testés un à un pour leurs résistances, et leur format. Si un carreau ne correspond pas à la norme pour les différents tests de résistance mécanique, il est automatiquement détruit. Par contre si le format dépasse les normes, il sera déclassé dans une catégorie de choix inférieure.

Photo 2.7: Contrôle du carrelage (Ceratec, 2010)

II.6.5.8. Mise en carton et en palette :

A la fin de la chaîne se trouvent des gens ou bien la machine pour la mise en palette Les précisions sont indiquées aux boites comptées à la qualité et la teinte des carreaux, puis elles sont places sur la palette approprie Les palettes stockent dans la zone du stockage.

Photo 2.8: Mise en boite d'emballage du carrelage (Ceratec, 2010)

Photo 2.9: Zone de stockage du carrelage (Ceratec, 2010)

N.B : Ne pas confondre carrelage et céramique

La céramique est un matériau, le carrelage est un type de pose. Il est possible de carreler avec 3 principaux types de matériaux :

- Céramique : grès cérame, faïence, porcelaine, terre cuite..
- Pierre : granit, ardoise, pierre calcaire ou reconstituée ;
- Carreaux de ciment.

II.6.6. Les Caractéristiques des carreaux céramiques :

Les carreaux et les dalles céramiques sont fabriqués à partir de mélanges d'argile et de sable éventuellement additionnés d'autres matières minérales. Ces mélanges sont façonnés de manière à leur donner la forme voulue par étirage (Méthode A) ou pressage (Méthode B), puis sont cuits à température élevée, suivi d'un séchage et d'une cuisson à des températures suffisantes pour développer les propriétés souhaitées (les carreaux sont séchés et cuits (entre 900 et 1250 °C selon le type de produit). La cuisson s'effectue selon divers procédés :

✓ 1er procédé : cuisson pour les carreaux non émaillés

✓ 2eme procédé : pour les carreaux émaillés en double cuisson, la première servant à consolider le tesson (sous-couche), la seconde à faire adhérer l'émail (et le décor éventuel)

✓ 3eme procédé : pour les carreaux émaillés en mono-cuisson ; l'émail est appliqué sur le carreau sec et est cuit en une seule fois. La consolidation du tesson et la stabilisation de l'émail s'effectuent en même temps.

Les carreaux étirés ou extrudés (groupe A) sont fabriqués par extrusion. La masse est façonnée à l'état plastique dans une étireuse ; le ruban obtenu (colombin) est découpé en carreaux de longueur prédéterminée. Les carreaux et dalles céramiques peuvent être émaillés (GL : glazed), non émaillés (UGL : unglazed). (Van Laecke, 2009)

- **Classification :**
- **Principe de la Classification :**

Les carreaux céramiques sont répartis en différents Groupes suivant leur méthode de fabrication et leur absorption d'eau. Les Groupes ne préjugent pas des domaines d'emploi des produits [EN 14411 :2006].

Tableau 2.1 : Classification des carreaux céramiques en fonction de l'absorption d'eau et de la méthode de fabrication selon la norme (EN 14411 :2006)

<table>
<tr><th>Méthode de fabrication</th><th>Groupe I
$E \leq 3\ \%$</th><th>Groupe II_a
$3\ \% < E \leq 6\ \%$</th><th>Groupe II_b
$6\ \% < E \leq 10\ \%$</th><th>Groupe III
$E > 10\ \%$</th></tr>
<tr><td rowspan="2">A
Étirés</td><td>Groupe AI_a
$E \leq 0,5\ \%$
(voir l'Annexe M)</td><td>Groupe AII_{a-1} a)
(voir l'Annexe B)</td><td>Groupe AII_{b-1} a)
(voir l'Annexe D)</td><td rowspan="2">Groupe AIII
(voir l'Annexe F)</td></tr>
<tr><td>Groupe AI_b
$0,5\ \% < E \leq 3\ \%$
(voir l'Annexe A)</td><td>Groupe AII_{a-2} a)
(voir l'Annexe C)</td><td>Groupe AII_{b-2} a)
(voir l'Annexe E)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">B
Pressés à sec</td><td>Groupe BI_a
$E \leq 0,5\ \%$
(voir l'Annexe G)</td><td rowspan="2">Groupe BII_a
(voir l'Annexe J)</td><td rowspan="2">Groupe BII_b
(voir l'Annexe K)</td><td rowspan="2">Groupe BIII b)
(voir l'Annexe L)</td></tr>
<tr><td>Groupe BI_b
$0,5\ \% < E \leq 3\ \%$
(voir l'Annexe H)</td></tr>
<tr><td colspan="5">a) Les Groupes AII_a et AII_b sont divisés en deux parties (Parties 1 et 2) ayant des spécifications de produit différentes.
b) Le Groupe BIII ne couvre que les carreaux émaillés. Une faible production de carreaux pressés à sec, non émaillés, présentant une absorption d'eau supérieure à 10 % n'est pas incluse dans ce Groupe de produits.</td></tr>
</table>

- **Méthodes de fabrication :** Il existe deux méthodes de fabrication suivant la norme (EN 14411 :2006):

— méthode A, carreaux étirés

— méthode B, carreaux pressés à sec

- **Groupes d'absorption d'eau**

Il existe trois Groupes d'absorption d'eau :

A) Carreaux à faible absorption d'eau (Groupe I), $E \leq 3$ %

Le Groupe I est divisé comme suit :

A1) pour les carreaux étirés :

1) E ≤ 0,5 % (Groupe AIa) ;
2) 0,5 % < E ≤ 3 % (Groupe AIb) ;

3) E ≤ 0,5 % (Groupe BIa) ;
4) 0,5 % < E ≤ 3 % (Groupe BIb) ;

B) Carreaux à moyenne absorption d'eau (Groupe II), 3 % < E ≤ 10 %

Le Groupe II est subdivisé comme suit :

B1) pour les carreaux étirés :

1) 3 % < E ≤ 6 % (Groupe AIIa, Parties 1 et 2) ;
2) 6 % < E ≤ 10 % (Groupe AIIb, Parties 1 et 2) ;

3) 3 % < E ≤ 6 % Groupe BIIa ;
4) 6 % < E ≤ 10 % Groupe BIIb ;

C) Carreaux à absorption d'eau élevée (Groupe III), E > 10 %.

- Les Caractéristiques requises pour les carreaux : Les caractéristiques requises aux divers emplois des carreaux céramiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2.2 : Caractéristiques requises pour différents types d'applications selon la norme (EN 14411 :2006)

Caractéristiques	Sols		Murs		Essai
Propriétés physiques	**Intérieur**	**Extérieur**	**Intérieur**	**Extérieur**	**Référence**
Absorption d'eau	X	X	X	X	EN ISO 10545-3
Force de rupture	X	X	X	X	EN ISO 10545-4
Module de rupture	X	X	X	X	EN ISO 10545-4
Résistance à l'abrasion profonde — carreaux non émaillés	X	X			EN ISO 10545-6
Résistance à l'abrasion de surface — carreaux émaillés	X	X			EN ISO 10545-7
Dilatation thermique linéaire [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-8
Résistance aux chocs thermiques [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-9
Résistance au tressaillage — carreaux émaillés	X	X	X	X	EN ISO 10545-11
Résistance au gel [b)]		X		X	EN ISO 10545-12
Coefficient de frottement	X	X			Déclarer la méthode d'essai utilisée
Dilatation à l'humidité [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-10
Légères différences de couleur [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-16
Résistance au choc [a)]	X	X			EN ISO 10545-5
Propriétés chimiques	**Intérieur**	**Extérieur**	**Intérieur**	**Extérieur**	**Référence**
Résistance aux taches :					EN ISO 10545-14
— carreaux émaillés ;	X	X	X	X	EN ISO 10545-14
— carreaux non émaillés [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-14
Résistance aux faibles concentrations d'acides et de bases	X	X	X	X	EN ISO 10545-13
Résistance aux fortes concentrations d'acides et de bases [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-13
Résistance aux produits ménagers et additifs pour eau de piscine	X	X	X	X	EN ISO 10545-13
Dégagement de plomb et de cadmium — carreaux émaillés [a)]	X	X	X	X	EN ISO 10545-15
a) Une méthode d'essai est disponible mais la présente norme ne fixe pas les valeurs exigées.					
b) Pour les carreaux destinés à être utilisés dans des cas où il existe des conditions de gel.					

II.6.6.1. Proprieties physiques:

II.6.1.1.1. Absorption d'eau (EN ISO 10545-3) :

Le degré d'absorption d'eau d'un carreau reflète sa capacité de rétention de l'eau à l'intérieur de son système poreux. Il s'exprime par un pourcentage de la masse sèche et se détermine, selon la norme ISO 10545-3, par pesage hydrostatique après imprégnation. Cette imprégnation est réalisée soit par ébullition, soit par immersion sous vide.

Lorsque le taux d'absorption d'eau est obtenu par la technique d'ébullition, les carreaux peuvent être classés selon les spécifications du tableau 1. Cette méthode permet également de déterminer d'autres caractéristiques apparentées, comme la porosité ouverte, la densité relative apparente ou la masse volumique globale.

II.6.1.1.2. Résistance à la Flexion (EN ISO 10545-4)

La résistance à la flexion est la valeur de la charge appliquée en 3 points sans que le carreau arrive à sa rupture

La force de rupture d'un carreau est obtenue à partir d'une force nécessaire pour causer la rupture de l'échantillon multiplie par le rapport d'écartement des appuis sur la largeur de l'éprouvette.

II.6.1.1.3. Résistance à l'Abrasion profonde (EN ISO 10545-6)

La méthode d'essai est décrite dans la norme EN ISO 10545-6. Elle permet de déterminer la résistance à l'usure des carreaux céramiques non émaillés.

L'échantillon de carreau à tester, de 100 mm x 100 mm de dimensions, est pressé sur un disque métallique en rotation par une masse faisant contrepoids (voir la figure 6). Une matière abrasive (du sable, par exemple) s'écoule entre le disque et le carreau. Lorsque le disque a effectué 150 tours, on mesure la longueur L de l'empreinte laissée dans le matériau

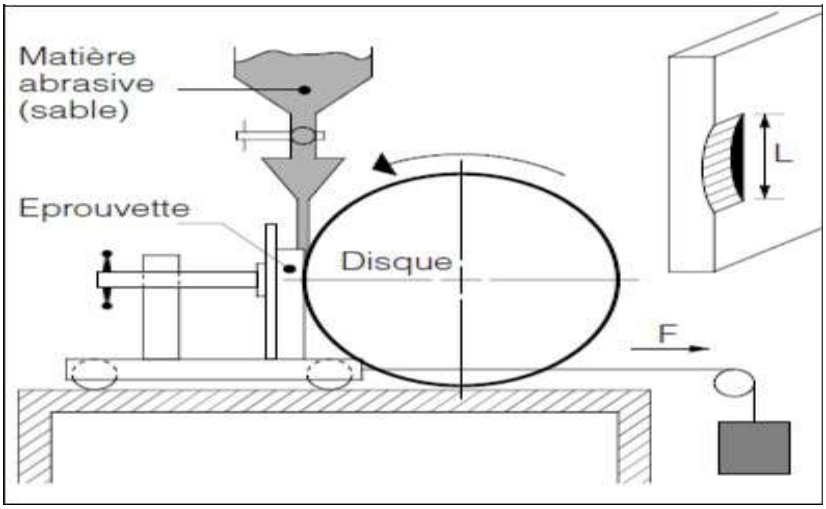


Figure 2.3 : Représentation schématique de l'essai de la résistance à l'abrasion profonde (Van Laecke, 2009)

II.6.1.1.4. La Résistance à l'Abrasion (EN ISO 10545-7)

La résistance à l'abrasion est la capacité de la surface de l'émail de résister à l'action d'usure provoquée par le cheminement ou par frottement de corps mécaniques (chariots, etc..). Cette action d'usure est étroitement liée au type d'agent mécanique (semelle de caoutchouc, semelle de cuir, etc.) ; au matériel d'apport (eau, sable, boue, etc.). et à l'intensité du trafic.

II.6.1.1.5. RESISTANCE A LA RAYURE :

La résistance à la rayure des carreaux céramiques est exprimée, conformément à la norme NBN EN 101. Par leur dureté superficielle selon l'échelle de Mohs.

Tableau 2.7: Classe de résistance à la rayure Mohs

Dureté Mohs	Minéral
1	Talc ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)
2	Plâtre ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)
3	Calcite ($CaCO_3$)
4	Fluorite (CaF_2)
5	Apatite ($Ca_5(PO_4)_3(OH^-,Cl^-,F^-)$)
6	Orthoclase ($KAlSi_3O_8$)
7	Quartz (SiO_2)
8	Topaze ($Al_2SiO_4(OH^-,F^-)_2$)
9	Corindon (Al_2O_3)
10	Diamant (C)

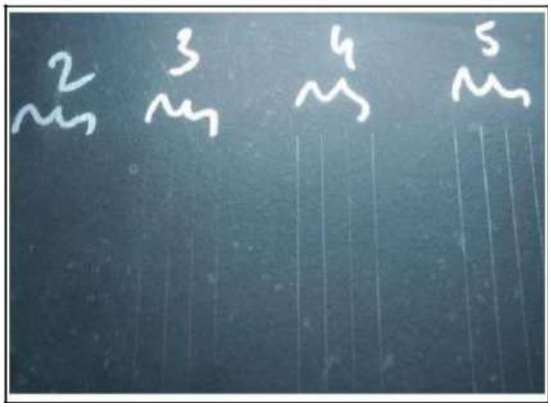


Figure 2.4 : aspect d'un échantillon de dureté (Van Laecke, 2009)

II.6.1.1.6. Résistance aux variations thermiques (EN ISO 10545-9)

La résistance aux variations thermiques est la capacité de la surface de l'émail de ne pas subir d'altérations visibles au "chocs" dérivant de la différence de température procurée par des cycles répétés d'immersion dans de l'eau, à température ambiante et de stationnement dans une étuve à une température de plus de 105° C. Ce test indique si le carreau est résistant.

II.6.1.1.7. Résistance au gel (EN ISO 10545-12)

La résistance au gel est la caractéristique que les carreaux peuvent évidencier en présence d'eau à des températures inférieures à 0°C, et celle de ne pas subir de dégâts à

cause de tensions dérivants de l'augmentation du volume de l'eau par congélation. Ce test indique si le carreau est résistant.

II.6.6.2. Propriétés chimiques :

II.6.1.1.8. Résistance aux produits chimiques (EN ISO 10545-13)

La résistance chimique est la capacité de l'émail de tolérer, à température ambiante, le contact avec les produits chimiques (à usage domestique, additifs pour piscines, acides et alcalis) sans subir aucune altération d'aspect. D'après la norme les carreaux sont classés par ordre de résistance décroissante en ce qui concerne tous les agents chimiques, excepté les produits qui tâchent, de la manière suivante :

Tableau 2.6 : Classe de la résistance des carreaux aux produits chimiques iso. 10545-13

Solutions d'essai	Chlorure d'ammonium/Hypochlorite de sodium	Solutions L	Solutions H
Aucun effet visible (A)	UA	ULA	UHA
Effets visibles sur les bords coupés (B).	UB	ULB	UHB
Effets visibles sur les bords coupés, non coupés et sur la surface de travail (C)	UC	ULC	UHC

Solutions d'essai	Chlorure d'ammonium/Hypochlorite de sodium	Solutions L	Solutions H
Aucun effet visible (A)	GA(V)	GLA(V)	GHA(V)
Variation nette (B).	GB(V)	GLB(V)	GHB(V)
Perte partielle ou complète de la surface originale (C)	GC(V)	GLC(V)	GHB(V)

II.6.1.1.9. Résistance aux taches des carreaux émaillés (EN ISO 10545-14)

Méthode applicable à toutes les surfaces de travail des carreaux afin de déterminer leur résistance aux taches. Chaque agent tachant doit être gardé pendant 24 heures, sur au moins 5 échantillons d'essai, dont la surface de travail a été, au préalable, nettoyée et séchée. Les agents tachant sont ensuite enlevés au moyen de divers détergents et procédures de nettoyage

CATEGORIE 5 ; la tâche s'enlève à l'eau chaude.

CATEGORIE 4 ; la tâche s'enlève au moyen de détergents doux, en vente dans le commerce.

CATEGORIE 3 ; la tâche s'enlève au moyen de détergents forts, en vente dans le commerce.

CATEGORIE 2 ; la tâche s'enlève au moyen de solvants, tels que l'acétone.

II.7. Tuiles

II.7.1. Définition :

Ce terme dérive du mot latin «tegere » qui signifie « couvrir ». Une tuile est un élément de construction utilisé dans le bâtiment comme pièce de couverture de bâtiment et de chaperon de mur (KORNMANN, 2005).

II.7.2. Historique

Tout au long de l'histoire, les matériaux et les techniques de toiture se sont considérablement développés ; Au fur et à mesure que l'architecture progresse, la conception et la production des toits ainsi que les influences architecturales de chaque époque peuvent être clairement identifiées.

Les origines : Revenons aux braves homo-sapiens. Comprenant qu'un toit équivaut à la protection et à la survie, les premiers humains ont été confrontés au défi de créer des habitations à partir de matériaux et d'outils limités. Le matériau de couverture le plus tôt connu était la peau laineuse d'un mammouth géant, qui a été noté pendant 40 000 avant JC en Sibérie. À mesure que les humains évoluaient et devenaient de plus en plus informés, différents matériaux étaient utilisés pour les toitures ; les plus familiers étant les dalles et les dalles qui furent introduites par les Romains en 100 av. J.-C., suivies par le toit de chaume en 735 et les bardeaux en bois 300 ans plus tard. (derbigum, 2016)

Cependant, ce n'est qu'au 12ème siècle que la technologie des toitures a été lancée. C'est à cette époque que le roi Jean d'Angleterre a promulgué une nouvelle loi à Londres qui a obligé les citoyens londoniens à remplacer leurs toits de chaume et de roseaux par des tuiles en terre cuite pour prévenir la propagation des incendies. C'était connu comme la loi de déclaration de toiture. On pense qu'à ce moment-là, la production de masse de tuiles a commencé. (derbigum, 2016)

Des années plus tard, en 1805, des tuiles en terre cuite dreadnought furent produites et furent considérées comme une révolution dans la toiture industrielle ; À l'époque, les toits présentaient peu d'isolant, mais une pente savamment conçue permettait de drainer l'eau de pluie et les débris. C'est un siècle plus tard que les tuiles en béton plus modernes auxquelles nous sommes habitués ont été utilisées pour la première fois.

La toiture reste l'une des créations les plus pratiques et innovantes de l'homme. Il est également influent dans l'architecture culturelle dans le monde entier. Alors que certains bâtiments conservent des matériaux de couverture historiques, la majorité des structures utilisent une nouvelle technologie moderne pour s'adapter aux techniques et aux styles de construction modernes.

II.7.3. Type des tuiles :

L'étanchéité se fait par recouvrement des tuiles les unes sur les autres. Les tuiles traditionnelles sont en terre cuite, résistantes au gel, imputrescibles et lessivables, l'entretien des tuiles est nécessaire et mais il est possible d'appliquer ou faire appliquer un traitement imperméabilisant et fongicide. Les différents types de tuiles pour toiture sont :

La tuile plate : La tuile plate peut être en version droite ou écaille. Elle possède un énorme avantage, elle est parfaitement adaptée aux pentes de toitures assez fortes qui favorisent l'écoulement des eaux de pluies et des neiges d'hiver. En outre, la tuile plate convient particulièrement aux toits à géométrie complexe : tourelles, retournements, toitures courbes, ogives ou pentes différentes. La pureté des formes de la tuile plate et son aspect traditionnel donne tout son cachet à la toiture, et favorise les créations. Il faut compter généralement entre 36 et 95 tuiles plates par m² de toiture mais cela peut varier en fonction des formats existants.

Photo 2.10 : Maison construite par des tuiles Plates (mccharpente, 2010).

La tuile canal : La tuile canal est particulièrement adaptée aux toits à faible pente des régions ensoleillées, permettant aux maisons généralement basses de conserver une certaine fraîcheur venant du sol. Idéalement adaptée aux conditions climatiques du Sud, la tuile canal permet l'évacuation rapide des eaux de pluie lors d'orages violents. Il existe plusieurs dimensions de tuiles canal dont deux familles principales : les tuiles Canal de 40 et les tuiles Canal de 50 (le nombre indique la longueur des tuiles en cm).

Figure 2.5 : Tuile canal (Edilians, 2009).

La tuile petit moule : peut exister sous deux formes : soit à l'aspect plat, imitant sensiblement les tuiles plates et essentiellement ancrées au nord de la Loire, soit à relief, dont la partie droite est ondulée.

La tuile grande moule fort galbe, en dit long par son appellation. Un format généreux, qui, selon les modèles varies de 10 à 13 tuiles par m² : un galbe plein de rondeur qui rappelle les courbes de la tuile canal et des emboîtements qui facilitent sa pose la rende performante et économique.

La tuile faible galbe, à emboîtement de plus ou moins 10 au m², trouve son fondement dans la recherche de l'économie au niveau du temps de pose. Cette tuile faiblement galbée s'inspire des aspects des tuiles traditionnelles régionales. Elle peut être d'aspect plat, à onde, à panne, à cornet.

La tuile à côte se caractérise par la présence d'un relief central sous forme de côte ou de losange. Traditionnellement de format 13 à 14 au m², ces tuiles signent l'architecture de la première moitié du XXème siècle,

Les tuiles en béton sont moins utilisées que les tuiles classiques en terre cuite. Elles sont fabriquées à partir d'un mortier. Il est possible de les colorer à l'aide de pigments, mais la petite durée de vie de ce type de tuile en fait un outsider par rapport aux autres solutions.

Tableau 2.8 : Caractéristique des différents types de tuiles

Type de tuile	Caractéristiques
Tuile plate	Peut être en béton ou terre cuite Utilisable uniquement sur pente > à 35°
Tuile canal	En forme de cône S'adaptent aux toits de faible pente Lourdes
Tuile romane	Galbe moins important que les autres Peut être de type canal ou double
Tuile grand et petit moule	Plates ou à relief Peuvent être à onde, à panne, à cornet
Tuile béton	Fabriquées à partir d'un mortier Petite durée de vie
Tuile photovoltaïque	Très chère, elle permet de produire de l'électricité
Tuile fibro-ciment	Désuète, elle ne sert plus pour les habitations

II.7.4. Procédure de fabrication des tuiles :

Les tuiles en terre cuite qui sont posées par le couvreur sur votre habitation d'une manière professionnelle sont le résultat d'un processus de production sophistiqué dans lequel interviennent des connaissances spécialisées et des technologies de pointe. Le procédé de fabrication des tuiles en terre cuite est divisé en sept étapes. Elles sont présentées sur la figure 1.

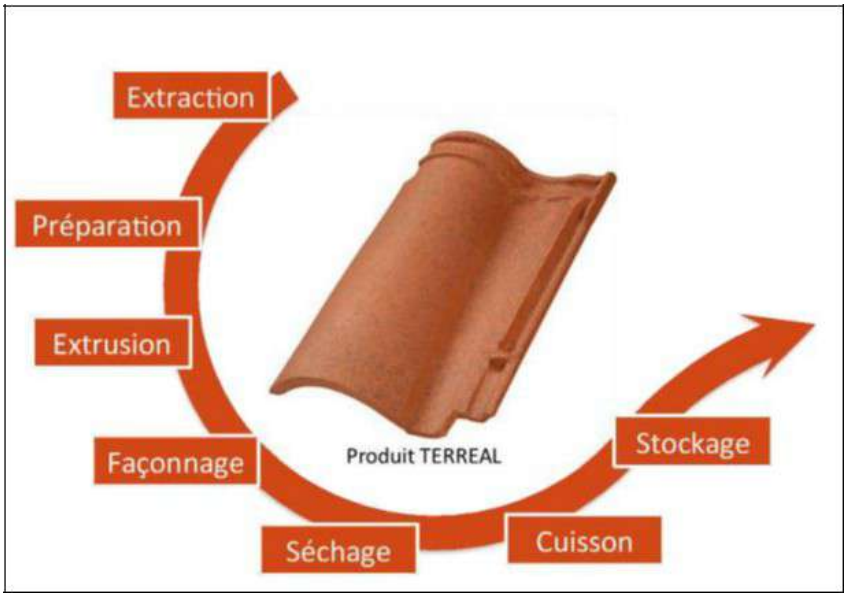


Figure 2.6 : Procédé de fabrication des tuiles en terre cuite (Jérémie, 2014)

II.7.4.1. Extraction d'argile:

La base de chaque tuile en terre cuite est bien entendu l'argile. Cette matière première de base varie énormément de pays à pays et même de région à région. Ces variations dans la composition et les propriétés de l'argile déterminent dans une large mesure les propriétés qui seront obtenues après passage par le processus de production complet. La grande variation de matières premières argileuses disponibles implique que nous pouvons agir de manière créative dans nos différentes usines avec les formes et les modèles.

La première étape du procédé est l'extraction des matières premières dans les carrières, en particulier de la terre argileuse. Cette étape est cruciale car elle définit les nuances d'argile qui seront utilisées tout au long du procédé. Les argiles sont choisies en fonction de leurs caractéristiques plastiques et minéralogiques et vont être garantes du niveau de qualité finale du produit.

Photo 2.11 : Extraction d'argile (Maghrébine, 2015)

II.7.4.2. Le mélange d'argile:

Les matières premières sont souvent stockées séparément à leur arrivée dans l'entreprise transformatrice, puis échantillonnées et contrôlées. Ensuite, les différents composants sont dosés selon des quantités fixes, puis ajoutés les uns aux autres et enfin malaxés. Cette masse malaxée est ensuite étalée couche par couche et stockée dans une « cave à terre » avec l'intention de réaliser un mélange homogène optimal.

La seconde étape du procédé est la préparation de la pâte argileuse. Celle-ci commence par l'émiettage des mottes d'argile et l'ajout de sable. Le mélange obtenu contient environ 70% d' argile pour 30% d'inertes. Le mélange subit ensuite des étapes successives de broyage (réduction granulométrique) à l'aide de broyeurs à cylindres, de désagrégateurs et de malaxeurs. La finesse et la granulométrie sont très importantes car elles influent directement sur la plasticité de la pâte argileuse (capacité à se déformer sans s'endommager).

Photo 2.12: Le mélange d'argile (Maghrébine, 2015)

La matière est ensuite entreposée dans de grandes caves et stockée pendant plusieurs jours. Les écarts de température successifs améliorent la qualité de l'argile, notamment sa plasticité. Il s'agit de la période de desquamation. La matière est ensuite récupérée dans la cave pour être dirigée vers la troisième étape. (Jérémie, 2014). Une prise d'échantillons automatique et continue est réalisée et contrôlée dans notre laboratoire. D'éventuelles anomalies sont ainsi directement détectées et corrigées. Ce système garantit que les unités de production disposent toute l'année durant d'un mélange de matières premières constant

Photo 2.13: Préparation d'argile (Maghrébine, 2015)

II.7.4.3. L'étirage et le façonnage :

Au cours de cette étape la matière va transiter par le malaxeur, la chambre à vide, le fourreau, le convergent et enfin la filière. Le malaxeur permet d'homogénéiser la pâte avant son passage dans la vis. C'est à ce moment du procédé que les additifs peuvent être ajoutés et que l'hygrométrie est corrigée. C'est une étape critique car les inertes (majoritairement le sable) et l'eau doivent être bien répartis pour obtenir une matière homogène. Dans le cas contraire, il y aura un fort risque d'apparition de défauts dans la suite du procédé (Foudrinier, 2007). La chambre à vide permet de créer la dépression nécessaire à l'évacuation de l'air au sein du mélange argileux. La pâte arrive dans la vis sans fin qui la pousse dans d'extrusion. L'argile extrudée est ensuite découpée avant d'être mise en forme. La mise en forme de la galette d'argile est réalisée par pressage au cours de l'étape de façonnage (Jérémie, 2014). L'extrusion et le pressage sont présentés dans la photo 2.14.

Photo 2.14 : Extrusion et pressage du mélange argileux (Lamaber, 2013)

II.7.4.4. Le séchage :

Une fois mis en forme, les produits sont séchés. Le séchage s' effectue dans des chambres ou tunnels de séchage dont la température est amenée progressivement à 80-100°C pendant une durée allant de 6 à 72 heures. De l'air chaud pulsé permet d'extraire la majeure partie de l'eau présente dans la tuile. Au cours du séchage, la teneur en eau du produit est diminuée, selon un cycle prédéfini, jusqu'à 3 à 5 %. La mise au point du programme de séchage est délicate car elle doit être adaptée aux matières premières, à la forme du produit et aux types de séchoir.

Photo 2.15 : Tuile dans la phase du séchage

II.7.4.5. La caisson:

La sixième étape correspond à la cuisson des produits dans des fours. Elle se fait en trois phases : le préchauffage, la cuisson et le refroidissement. Le cycle dure entre 12 et 48 heures en fonction du produit avec une température de cuisson comprise entre 900° C et 1200° C. Au cours de cette étape, le matériau atteint ses caractéristiques définitives (résistance mécanique, porosité, résistance au gel, dimensions, couleur⋯). Au cours de la dernière étape, les tuiles sont contrôlées. Les produits défectueux sont retirés de la ligne de production, tandis que les autres sont palettisées et mis en attente d'expédition aux clients

Photo 2.16 : Cuisson des tuiles en terre cuite.

II.7.4.6. Le contrôle de la qualité

A la sortie du four tunnel, toutes les tuiles sont individuellement soumises à un contrôle visuel et à un contrôle de sonorité (par choc avec un objet métallique). De cette manière, il est possible de dépister immédiatement les éventuelles fissures visibles et invisibles (fêlures) et d'éliminer directement les tuiles défectueuses.

II.7.4.7. Le conditionnement

Les tuiles sont empilées sur des palettes en bois. Un carton de protection est déposé entre les couches successives afin d'éviter les points de frottement. Enfin, la palette est solidement entourée d'une housse plastique rétractable.

II.7.5. Les Caractéristiques physiques et mécaniques :

- L'essai de la masse volumique selon ISO 10545-3

- Essai de la résistance à la rupture par flexion selon (EN 538) :

Ce test mesure la force nécessaire pour rompre la tuile en deux. Les tuiles sont d'abord trempées dans l'eau pendant 24 heures, puis supportés sur des lattes coupées pour s'adapter au profil de la tuile et chargées via une autre latte en forme. Les résultats sont exprimés en newtons et peuvent être comparés aux exigences de la norme EN 538 qui dit que les éprouvettes supportent sans rompre une charge d'au moins :

- 600 N pour les tuiles pates.
- 900 N pour les tuiles à pureau plat.
- 1000 N pour les tuiles canal.
- 1200 N pour les autres types de tuiles.

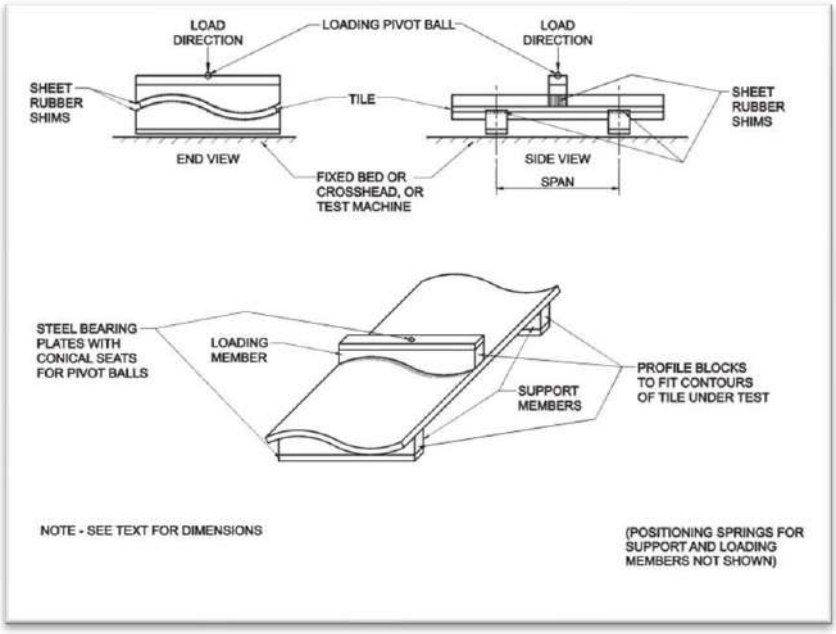


Figure 2.7 : Essai de la résistance à la flexion des tuiles (EN 538)

- Essai d'imperméabilité suivant la norme NF EN 539-1 :

L'essai consiste à calculer le facteur d'imperméabilité à partir de deux pesages : le 1er pesage pris le moment de début d'essai et la 2ème après 48 h. les tuiles et les accessoires doivent être affectés à l'un des deux (02) niveaux d'imperméabilité.

Récemment, l'utilisation du déchet plastique dans la formulation des éléments singuliers (non structuraux) a suscité un intérêt croissant (Daad, et Nadia, 2010)

II.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons conclu que l'incorporation de déchets plastiques quelles que soient leur longueur, largeur, dimension, forme et le taux d'incorporation dans le mélange diminue les propriétés mécaniques. Il existe un peu de travaux sur l'utilisation des déchets plastique dans la fabrication des éléments singuliers comme les panneaux muraux et plafonds. Notre matériau destiné à être soit un revêtement de sol ou tuile de toiture c'est pourquoi nous avons identifié les différents types des carreaux céramiques et les tuiles en terre cuite.

DEUXIEME PARTIE :

Méthodologie EXPERIMENTAL

Chapitre III

Méthodologie Expérimental

III.1. Introduction :

Notre travail expérimental s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets plastiques pour la recherche de nouveaux matériaux de construction pouvant répondre aux exigences économiques et environnementales de notre pays.

Vu que le béton / mortier de ciment fabriquées à partir des déchets plastique donne des Propriétés (résistance à la flexion, Résistance à la compression, Résistance à la traction, le module d'élasticité) moins (faible) que le béton / mortier de ciment ordinaire car il n'y a pas d'adhérence entre la matrice cimentaire et les particules du plastique. Ce qui nécessite de remplacer l'utilisation du ciment par un autre liant ou bien à changer la procédure de fabrication.

De ce fait, l'idée est inspirée de la fabrication des carreaux en ciment. En remplaçant le ciment par le Polyéthylène haut densité recyclé et en mélangeant avec le sable de dune en assurant l'homogénéité par la fusion de ($PEHD_R$) qui va jouer le rôle d'un liant. Ensuite, le composite doit être pressé comme les carreaux de céramiques pressés à sec. Cette idée nous a poussé à étudier la faisabilité d'incorporation de ce type de plastique dans la fabrication d'un nouveau matériau construction.

Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abords les matériaux utilisés dans la confection des carreaux composites polymères /tuiles polymères composite, ensuite les méthodes appropriées utilisées dans ce travail.

III.2. Matériaux utilisés :

Les matériaux de base qui ont été utilisés dans ce travail pour la confection des carreaux polymères composites / tuiles polymères composite : Sable de dune (SD) ; Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) ; Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_N$).

III.2.1. Sable de dunes :

Le sable de dunes utilisé dans cette expérimentation, provenant de la région Ain el Beida de Ouargla (le nord du Sahara Algérien). (Figure3.1)

Figure 3.1 : Sable de dune (SD).

III.2.1.1. Analyse granulométrique (NF P94-056)

L'analyse granulométrique permet de classer et de définir la granulométrie des matériaux employés dans la construction, d'après la grosseur des grains et la forme de la courbe granulométrique. D'après cet essai nous pouvons aussi identifier la finesse du granulat soumis à l'essai grâce au module de finesse **(NF P 18-360**) noté Mf et donné par la formule suivante :

$$\frac{\Sigma \text{refus cumulée en \% pondéral des tamis}(0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5\text{mm})}{100}$$

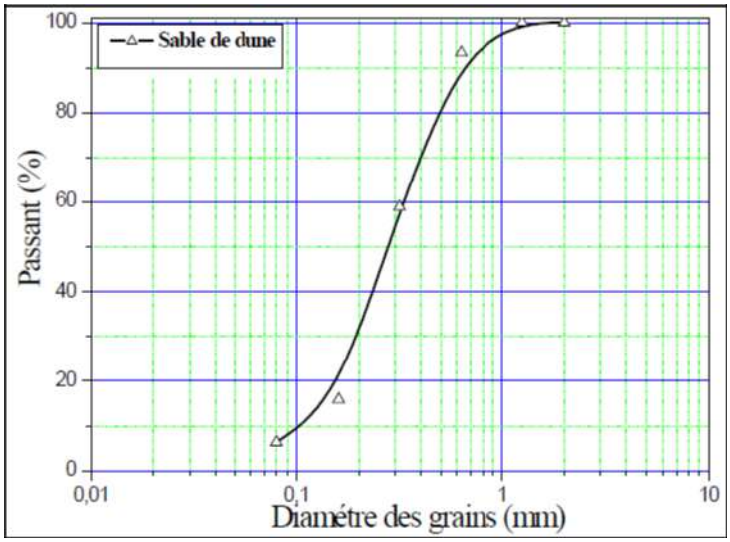


Figure 3.2 : Courbe granulométrique du sable de dune.

L'analyse granulométrique qu'on a réalisée selon la norme **NF P18-056**, a montré que ce sable est un sable fin présentant une granulométrie serrée. Le diamètre maximal est 0.64 mm; avec un Mf = 1.32 ce qui confirme la finesse du sable de dune utilisé.

III.2.1.2. Equivalent de sable (NF P 18-597)

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée (figure 3.3). Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire floculer les éléments fins. L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés). L'équivalent de sable obtenue par l'essai est ESv = 97.5.

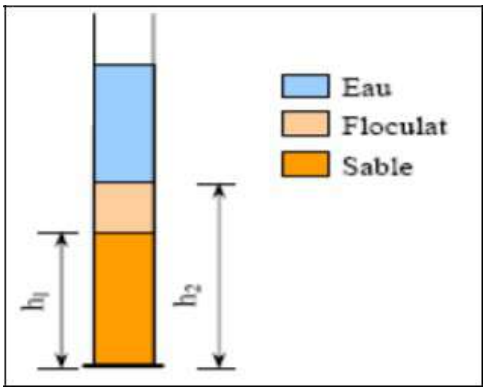


Figure 3.3 : Equivalent du sable

III.2.1.3. Masses volumiques absolue et apparente (NF P 18-555)

Elles sont exprimées en Kg/m3 la masse volumique absolue est la masse par unité de la matière qui constitue l'agrégat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

$$\rho_{app} = \frac{M}{V_{app}} \quad ,\rho_{abs} = \frac{M}{V_{abs}} \quad \text{..... (1)}$$

Les résultats sont comme suit : $\rho_{app} = 1475, \rho_{ab} = 2500$

III.2.2. Polyéthylène haut densité recyclé (PEHDR).

Le déchets plastique utilisé dans ce travail est un polyéthylène haut densité recyclé (figure 3.4) dérivé des caisses utilisées pour le transport de lait sous forme de granulé. Provenant d'une entreprise privée du wilaya Constantine. Les essais de caractérisations du PEHDR ont été effectués au laboratoire du Polymed Sonatrach – Skikda.

Figure 3.4: Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$).

III.2.2.1. L'indice De Fluidité (2.16kg, 190°C) : suivant la norme ASTM D1238

Cette méthode d'essai couvre la mesure de la vitesse d'extrusion des résines fondues à travers une filière d'une longueur et d'un diamètre spécifiés dans des conditions prescrites de température, de charge et de position du piston dans le cylindre pendant la mesure chronométrée (voir photo 3.1). Cette méthode d'essai est particulièrement utile pour les essais de contrôle de qualité sur les thermoplastiques.

Photo 3.1 : Appareil de la mesure de l'indice de fluidité.

III.2.2.2. Dureté suivant la norme ASTM D2240 :

L'essai de dureté a pour but de déterminer la dureté superficielle du matériau (Figure3.6). Il consiste à enfoncer un pénétrateur, dont les formes et les dimensions varient en fonction du type d'essai, dans le matériau à tester. La charge est constante et on mesure

la surface ou la profondeur de l'empreinte laissée dans le matériau. L'échantillon est sous forme des plaques de 6mm d'épaisseur.

Photo 3.2 : Appareil de la dureté (ASTM D2240)

III.2.2.3. La densité à 23°C : suivant la norme ASTM D1505 :

Cette méthode d'essai couvre la détermination de la masse volumique des plastiques solides. Cette méthode d'essai est basée sur l'observation du niveau auquel un spécimen d'essai coule dans une colonne liquide présentant un gradient de densité, en comparaison avec des standards de densité connue. L'appareillage de l'essai est présenté sur la photo 3.3

Photo 3.3 : Appareil de la mesure la densité (ASTM D1505)

III.2.2.4. Elongation à la rupture, Résistance à la rupture MD/TD suivant la norme ASTM D882

Cette méthode d'essai permet de tirer la matière plastique jusqu'à rupture afin de mesurer l'allongement, le module de traction, la limite d'élasticité en traction et la résistance

à la traction à la rupture. La partie intéressante de l'ASTM D 882 est que les spécimens sont des bandes de film de 1 "de large sur 6" de long ". La géométrie plate des échantillons et la caractéristique typique des films ayant un allongement élevé. L'appareillage de l'essai est présenté sur la photo 3.4.

Photo 3.4 : Appareil de l'élongation à la rupture, résistance à la traction (ASTM D 882)

III.2.2.5. Résistance à L'impact suivant la norme ASTM D256 :

Impact Izod entaillé est un test à un seul point qui mesure la résistance d'un matériau à l'impact d'un pendule oscillant. L'impact Izod est défini comme l'énergie cinétique nécessaire pour initier une fracture et poursuivre la fracture jusqu'à ce que l'échantillon soit brisé. La photo 3.5 présente l'appareil de mesure de la résistance à l'impact Izod. Les spécimens Izod sont entaillés pour empêcher la déformation de l'échantillon lors de l'impact. Ce test peut être utilisé comme un contrôle de qualité rapide et facile pour déterminer si le matériau répond à des propriétés d'impact spécifiques ou pour comparer des matériaux pour une résistance générale.

Photo 3.5 : Appareil de la résistance à L'impact Izod (ASTM D256)

Les résultats de l'analyse simplifiée de PEHDR sont présentés dans le tableau 3.1 suivant :

Tableau 3.1 : Caractéristiques physiques et mécaniques du PEHDR.

Properties	Méthodes	Valeur	Unité
General:			
Indice de fluidité (2.16kg, 190°C)	ASTM D1238 [17]	0.9	g/10min
Densité (23°C)	ASTM D1505 [18]	0.943	g/cm^3
Dureté, Shore D	ASTM D2240 [19]	54	
Mécaniques :			
Résistance à la traction à la rupture	ASTM D882 [20]	12.71	Mpa
Elongation à la rupture	ASTM D882 [20]	327	%
Résistance à L'impact (23°C)	ASTM D256 [21]	24.33	J/m

III.2.3. Polyéthylène haut densité recyclé (PEHDN).

Nous avons acheté un PEHD noble grade 5502 (Figure 3.5) avec sa fiche technique Le PEHDN provenant d'une entreprise privée du wilaya Skikda. Le tableau 3.2 présente Les caractéristiques physiques et mécaniques du PEHDN grade 5502 issue de la fiche technique présenté dans l'annexe 2.

Figure 3.5 : Polyéthylène haut densité noble grade 5502 (PEHD$_N$).

Tableau 3.2 : Caractéristique physique et mécanique du PEHD$_N$ grade 5502 (fiche technique)

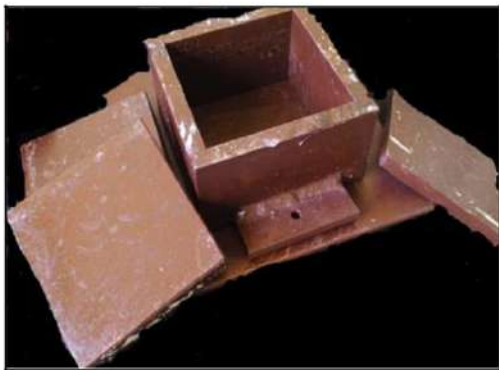
Propretés	Méthodes	Valeur	Unité
General :			
Indice de fluidité (2.16kg, 190°C)	ASTM D1238 [17]	0.35	g/10min
Densité (23°C)	ASTM D1505 [18]	0.954	g/cm^3
Dureté, Shore D	ASTM D2240 [19]	62	
Mécaniques :			
Résistance à la traction à la rupture	ASTM D882 [20]	28	Mpa
Elongation à la rupture	ASTM D882 [20]	> 600	%
Résistance à L'impact (23°C)	ASTM D256 [21]	-	J/m

III.3. Le matériel nécessaire :

La photo 3.6 résume le matériel nécessaire pour la préparation des échantillons. Pour faciliter la fabrication des tuiles et des carreaux, nous avons utilisé un moule de (100 x 100 x 80) mm, un malaxeur d'enrobe type contrôle groupe de température de 400°C, four de température de 1200°C, et une machine de compression type contrôles de capacité 636.6 bars son caractéristique sont :

- La charge maximale de compression est de 200 T.
- Vitesse de mise en marche 0-83 mm/min.
- Distance entre les deux de plateaux de compression 610mm.
- Pression maximale de compression 636.6 bars.
- La vitesse maximale du cadre mobile 509.mm/min.

Machine de compression



Moule (100x100x80) mm

Four

Malaxeur d'enrobe

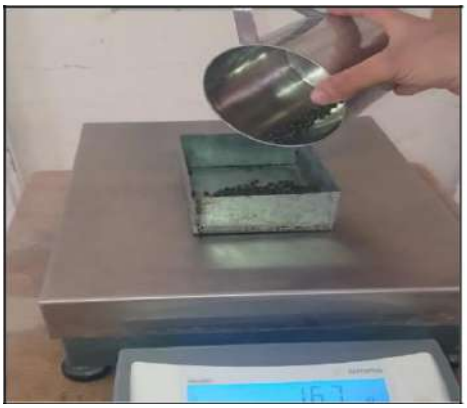
Photo 3.6 : Matériel de fabrication

III.4. Préparation des mélanges :

Le matériau composite des carreaux composites polymères /tuiles polymères composite est fabriqué selon le procédé décrit ci-dessous :

On a pesé la quantité de sable de dune et PEHDR nécessaire, puis on a mis le mélange dans le malaxeur d'enrobé à une température de 200 ° C pendant 15 minutes jusqu'à ce qu'il soit bien mélangé. Puis on a le sorti et on a le mis au four pendant 10 minutes à une température ne dépassant pas 250 ° C pour devenir une pâte homogène. Puis on a placé le mélange dans un moule et on a appliqué une charge de 50 tonnes à l'aide de la presse. Après refroidissement de l'échantillon à l'air, on a démoulé et on a obtenu le produit final.

N.B: Pour la fabrication de ce matériau, des nombreuses procédures ont été essayées, pour obtenir les bons résultats.



Pesage la quantité requise de sable de dune et du PEHD recyclée

Le malaxage d'échantillon l'échantillon dans le four

Le pressage produit fini après le démoulage

Figure 3.6 : Étapes de fabrication des tuiles polymères /carreaux polymères.

Pour la tuile témoin, nous avons utilisé une tuile en terre cuite. Pour le carreau témoin nous avons utilisé le granito (le meilleur type de carrelage en termes de propriétés).

- Carreaux polymères / tuiles polymères de couverture à base du ($PEHD_R$)

Le polyéthylène haute densité recyclé est porte à fusion et mélangé avec le sable de dune. Le composite à une proportion variable de polyéthylène haute densité recyclé (variation entre 30% jusqu'à 80% en poids). Donc en fonction du poids six (06) mélanges ont été préparés, Les mélanges ont été désignés par la notation suivante « pro 01 (30%) » Pour indiquer le pourcentage du polyéthylène haute densité recyclé ($PEHD_R$) en poids,
« pro 01 (30%) » Présente 30% de $PEHD_R$ avec 70% de sable de dune (SD). Les compositions des (06) six proportions de tuiles /carreaux sont présentées dans le tableau 3.3

Tableau 3.3: Compositions des carreaux / tuiles à étudier à base de SD et $PEHD_R$.

Composition	Pro01: (30%)	Pro02: (40 %)	Pro03: (50%)	Pro04: (60%)	Pro05: (70%)	Pro06: (80%)
$PEHD_R$ (%)	30	40	50	60	70	80
$PEHD_R$ (g)	0.023	0.030	0.038	0.045	0.053	0.060
Sable de dune (%)	70	60	50	40	30	20
Sable de dune (g)	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04

- Carreaux polymères / tuiles polymères de couverture à base du ($PEHD_N$)

On garde la même procédure pour la fabrication des carreaux / tuiles polymères à base de **SD** et **$PEHD_N$** tout en maintenir les mêmes proportions de mélange. Le tableau 3.4 présente la composition des (06) six mélanges

Après la fabrication des matériaux composites deux (02) mélanges ont été éliminées :

- Pro 01 (30% de $PEHD_R$ avec 70% de SD) et Pro 01 (30% de $PEHD_N$ avec 70% de SD) parce qu'elles n'ont pas la quantité suffisante de plastique nécessaire pour coller et obtenir un carreau/ tuile complète. (Figure 3.11)

- Pro 06 (80% de $PEHD_R$ avec 20% SD) et (80% de $PEHD_N$ avec 20% SD) car il est déformé (Figure 3.11). Les figures suivantes présentes les proportions des matériaux utilisés.

Tableau 3.4: Compositions des carreaux / tuiles à étudier à base de SD et $PEHD_N$.

Composition	Pro01 : (30%)	Pro02 : (40 %)	Pro03 : (50%)	Pro04 : (60%)	Pro05 : (70%)	Pro06 : (80%)
$PEHD_N$ (%)	30	40	50	60	70	80
$PEHD_N$ (g)	0.028	0.038	0.047	0.057	0.066	0.076
Sable de dune (%)	70	60	50	40	30	20
Sable de dune (g)	0.175	0.15	0.125	0.1	0.075	0.05

III.5. Conclusion :

Après avoir caractérisé les matériaux élémentaires entrant dans la composition de notre matériau composite et présenté les méthodes de formulation, nous avons trouvé qu'il était possible de fabriquer des composites polymères à partir de polyéthylène haute densité recyclées ($PEHD_R$) et sable de dunes de (SD) / polyéthylène haute densité Nobel ($PEHD_N$) et sable de dunes (SD). Les différents résultats obtenus seront présentés et commentés dans le chapitre suivant.

Pro 01 (30) Pro 02 (40) Pro 03 (50) Pro 04 (60)

Pro 05 (70) Pro 06 (80)

Figure 3.11 : Les proportions de tuiles/ carreaux polymères à base de (SD) et (PEHDR)

Pro 02 (40) Pro 03 (50)

Pro 04 (60) Pro 05 (70)

Figure 3.12: Les proportion de tuiles/ carreaux polymères à base de (SD) et (PEHDN)

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction :

L'actualité dans l'ensemble des cherches dans le domaine de la construction, c'est la fabrication des matériaux de construction à base de déchets industriels recyclés ou et de matériaux locaux valorisés. Dans le chapitre précédant nous avons démontré avec succès qu'il est possible de fabriquer le matériau composite à partir de Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) et sable de dune (SD) /Polyéthylène haut densité noble grade 5502 ($PEHD_N$) et sable de dune (SD) avec 4 mélanges.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les propriétés physiques, mécaniques et durabilité des carreaux polymères composite et tuiles polymères composite de couverture à base de Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) et sable de dune (SD).

Etudier l'effet de remplacer le Polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par Polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 sur l'amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques des carreaux polymères composites / tuiles polymères composite de couverture.

IV.2. Matériau composite à base du ($PEHD_R$) et (SD) :

Les tests expérimentaux sont appliqués aux quatre (04) mélanges restants. 05 échantillons de chaque type de mélange ont été testés

Abréviation	Description
Pro (0) : (0%)	Tuile en terre cuite (témoin)
Pro 02: (40%)	40% du Polyéthylène recyclé avec 60% Sable de dune
Pro 03: (50%)	50% du Polyéthylène recyclé avec 50% Sable de dune
Pro 04: (60%)	60% du Polyéthylène recyclé avec 40% Sable de dune
Pro 05: (70%)	70% du Polyéthylène recyclé avec 30% Sable de dune

IV.2.1. : Résultats des essais effectués sur les tuiles polymères de couverture :

IV.2.1.1. Essai de la Masse volumique ISO 10545-3 (1995) :

L'essai est réalisé conformément à la norme ISO 10545-3. L'essai consiste à déterminer la masse volumique des tuiles polymères par pesage de ces carreaux secs. Imprégnation de carreaux secs, puis soumission à la pesée hydrostatique, le calcul de la densité se fait à partir des relations existantes les masses de l'échantillon sec et immergé. La

figure 4.1 présente la variation de la masse volumique des tuiles polymères en fonction des proportions du PEHD recyclé.

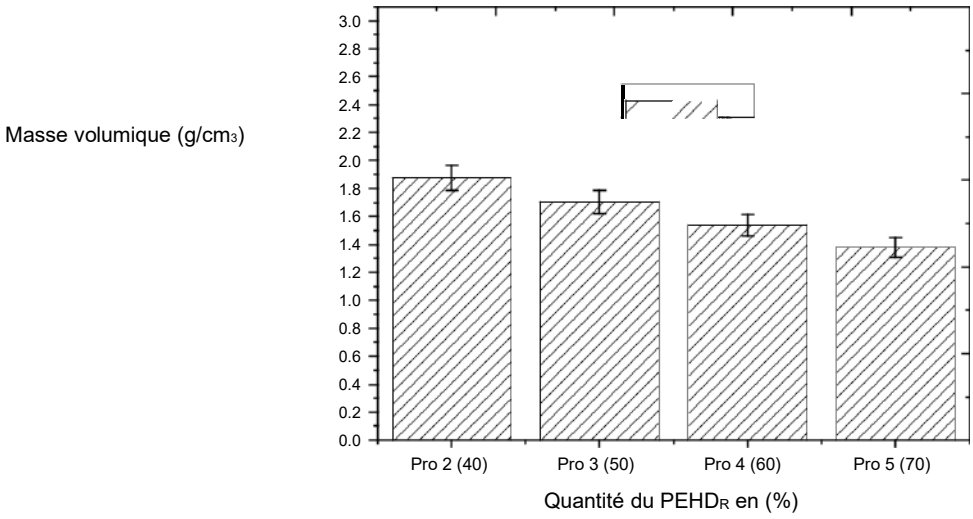


Figure 4.1 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du PEHD recyclé

Les résultats indiquent que la masse volumique de tuile polymère à base du $PEHD_R$ recyclé diminue avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_R$, Cela peut être expliquée probablement par le fait que le $PEHD_R$ a une masse volumique plus légère que celle du sable de dune ($PEHD_N$ =0.943g/ cm3, SD = 2.5 g/cm3).

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par (Ismail and Al-Hashmi 2008). Ou ces derniers affirment que la masse volumique fraîche du béton avec des agrégats de plastique de 10, de 15, et de 20 % comme remplacement des granulats fins tend à diminuer en dessous du béton de référence avec l'augmentation du taux de déchets de plastique.

(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010) Ont rapporté que la masse volumique à l'état frai et à l'état durcis diminue avec l'augmentation de la quantité des déchets plastique.

IV.2.1.2. Essai de la force à rupture (NF EN 538) :

Les tuiles polymères doivent satisfaire à un test de chargement spécifié suivant la norme NF EN 538. La force de rupture d'une tuile polymère est obtenue à partir d'une charge nécessaire pour causer la rupture de l'échantillon, lue sur un manomètre.

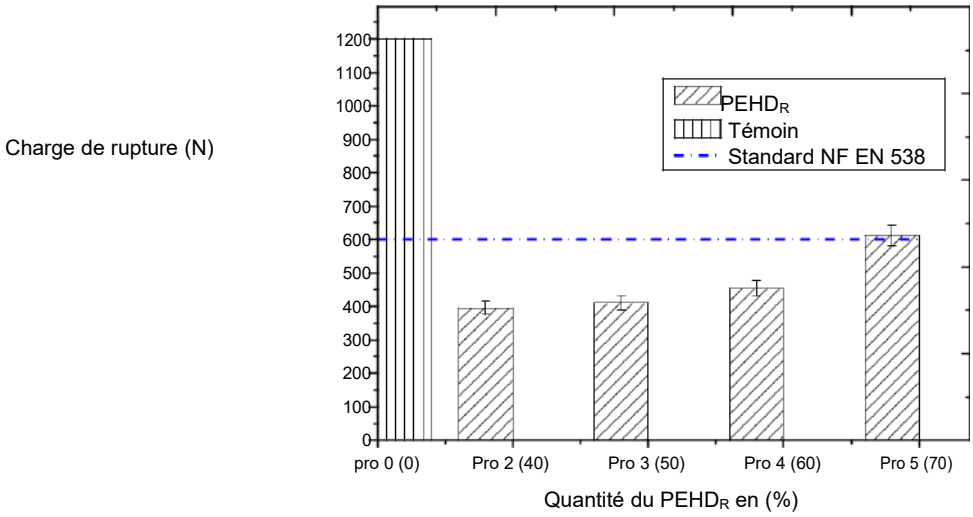


Figure 4.2: Charge de rupture des tuiles polymères en fonction de la quantité du PEHDR

La figure 4.2 présente la charge de rupture des tuiles polymères en fonction de la quantité du PEHDR par rapport à la norme et à la tuile en terre cuite (témoin). Les résultats montrent que la charge de rupture augmente avec l'augmentation de la quantité du PEHDR incorporé dans le mélange. Cela expliqué peut-être par le fait que l'augmentation de la quantité du liant, qui donne au matériau suffisamment de force d'adhérence, ce qui conduit à augmenter la charge de rupture. Quant à la norme les valeurs de la charge de rupture des tuiles polymères à base du PEHDR sont inferieur à l'exception la mixture Pro05 : (70%) qui s'approche de celle de la norme. La valeur de la charge de rupture de tuile en terre cuite (témoin) reste supérieure à la charge de rupture de tous les mélanges de tuiles de couverture en polymère.

Nous pouvons remarquer que les exigences de résistance minimales de cette procédure d'essai garantissent que les tuiles ont une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit aux fins d'accès à l'entretien est de 600N pour les tuiles plates. Cette exigence est acceptable uniquement pour la proportion de tuile polymère de Pro05 : (70%) [70% du Polyéthylène avec 30% Sable de dune].

IV.2.1.3. Essai d'imperméabilité (NF EN 539-1) :

L'essai consiste de calculer le facteur d'imperméabilité à partir de deux pesages : la1ère pesage pris le moment de début d'essai et la 2ème après 48 h. les tuiles et les accessoires doivent être affectés à l'un des deux (02) niveaux d'imperméabilité.

Selon la norme NF EN 539-1, la tuile doit être coupé en morceaux de 45 x 45 mm, placé le tube sur la surface de l'échantillon dans des tube en scellant l'écart entre les deux avec une paraffine fondue. Verse l'eau pour atteindre une hauteur de 10cm. Au début de l'essai, noté le niveau d'eau dans le tube gradué ; après 48 heures mesurer le niveau d'eau dans le tube. Calculé à partir de ces valeurs le volume d'eau ayant passé au travers de l'éprouvette en 48 heures (V1).

Concernant l'échantillon de contrôle, en suivant les mêmes étapes, en remplaçant l'échantillon par une plaque de verre (v2). En pesant l'ensemble, puis en pesant après 48 heures de nouveau. La différence de poids entre la première et le deuxième pesage est le volume d'eau évaporée (v2). Enfin les valeurs de l'imperméabilité (tableau) sont déterminées par la formule suivante :

$$IF = \frac{(V1 - V2)}{A2}$$

, Sachant que :

V1 : volume d'eau passant en 48h, en centimètres cubes ;

V1 : volume d'eau évaporée en 48h, en centimètres cubes ;

A : surface projetée de l'éprouvette, en centimètres carrés ;

L'essai d'imperméabilité selon la norme NF EN 539-1 est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange. Les résultats des valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_R$ sont présentés dans le tableau 4.2

Tableau 4.1: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_R$.

Composition	Facteur d'imperméabilité (cm3/cm2/j) ($PEHD_R$)	Exigence de la norme EN 539-1
Pro0 : (0%)	0.09	< 0.5
Pro02 : (40%)	0.0543± 0.010%	< 0.5
Pro03 : (50%)	0.0049 ± 0.015%	< 0.5
Pro04 : (60%)	0.0049± 0.020%	< 0.5
Pro05 : (70%)	0.0049± 0.010%	< 0.5

Figure 4.3 : Essai de l'imperméabilité des carreaux/ tuiles polymères à base du SD et PEHDR.

Les résultats de l'essai montrent que la valeur moyenne de coefficient d'imperméabilité des éprouvettes après l'essai est inférieure à la valeur de la norme de 0,5 cm3 / cm2 et aussi à la valeur du témoin (tuile en terre cuite plate).

Les tuiles polymères présentent une bonne imperméabilité. Contrairement à la tuile en terre cuite (témoin), il a moins d'imperméabilité que tous les tuiles. Nous pouvons exprimer cette différence que les tuiles polymères issues la caractéristique de l'imperméabilité de son matériau de construction de base (PEHDR).

IV.2.2. Synthèse :

On peut dire qu'il est possible de fabriquer des tuiles à partir de polyéthylène haut densité recyclé PEHDR et de sable de dune (SD). Les caractéristiques des tuiles polymères à base de PEHD recyclé sont acceptables. La tuile polymère contenant 70% PEHDR avec 30% de sable présente une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux dans le toit et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit. Le mélange N°05 (Pro 05) donne la meilleure qualité.

Cette idée est l'une des méthodes les plus efficaces, qui peuvent être appliquée pour se débarrasser et sauver le monde des polluants environnementaux.

Photo 4.1 : Tuile / carreau polymère

IV.2.3. Résultats des essais effectués sur le carreau polymère composite :

Les carreaux polymères sont répartis en différents Groupes suivant leur méthode de fabrication et leur absorption, notre matériau composite (carreau polymère) est fabriqué suivant la méthode pressée à sec, donc il ne reste qu'à déterminer leur absorption d'eau pour nous permettons de le classifier. Puis on le compare avec un carreau de sol granito monocouche (carreaux céramique).

IV.2.3.1. Essai de l'absorption d'eau ISO (10545-3 1995):

Le degré d'absorption d'eau d'un carreau reflète sa capacité de rétention de l'eau à l'intérieur de son système poreux. Il s'exprime par un pourcentage de la masse sèche et se détermine, selon la norme ISO(10545-3 1995) sur 05 échantillons de chaque type de mélange. Par pesée hydrostatique après imprégnation. Le calcul des caractéristiques citées à partir des relations existantes entre les masses de l'échantillon sec, saturé et immergé. La photo 4.2 mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du PEHDR.

Photo 4.2 Mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du PEHD$_R$

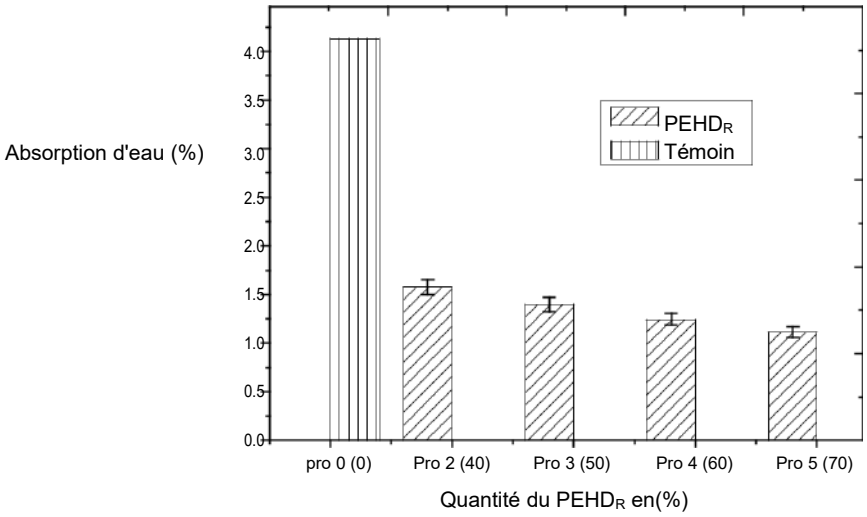


Figure 4.4 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du PEHDR

La Figure 4.4 affiche les résultats de la mesure de l'absorption d'eau des carreaux Polymères non émaillées en fonction de la quantité de PEHDR incorporé dans les mixtures. La figure montre que le taux d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la quantité de polyéthylène de densité de hauteur de déchets (PEHDR). Cette diminution est due à l'augmentation relative de la quantité de (PEHDR) qui a une absorption proche de zéro.

Les taux d'absorption d'eau de tous les mélanges sont sous le carreau témoin (granito).

Lorsque le taux d'absorption d'eau est obtenu selon la procédure mentionnée ci-dessus, nous pouvons classer les carreaux conformément aux spécifications de la norme EN(14411 2006) : Toutes les valeurs des taux d'absorption d'eau sont dans le groupe de BIbl
à ou :0,5 <E ≤ 3%. Cependant, l'échantillon de contrôle appartient au groupe BIIa là ou 3 <E ≤ 6%. Donc Les carreaux polymères ont une faible absorption d'eau.

IV.2.3.2. Essai de la masse volumique ISO 10545-3 (1995) :

L'essai est réalisé conformément à la norme ISO 10545-3. L'essai consiste à déterminer la masse volumique des tuiles polymères par pesage de ces carreaux secs. Imprégnation de carreaux secs, puis soumission à la pesée hydrostatique, le calcul de la densité se fait à partir des relations existantes les masses de l'échantillon sec et immergé . L'essai de la masse volumique selon la norme ISO 10545-3 (1995) est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange.

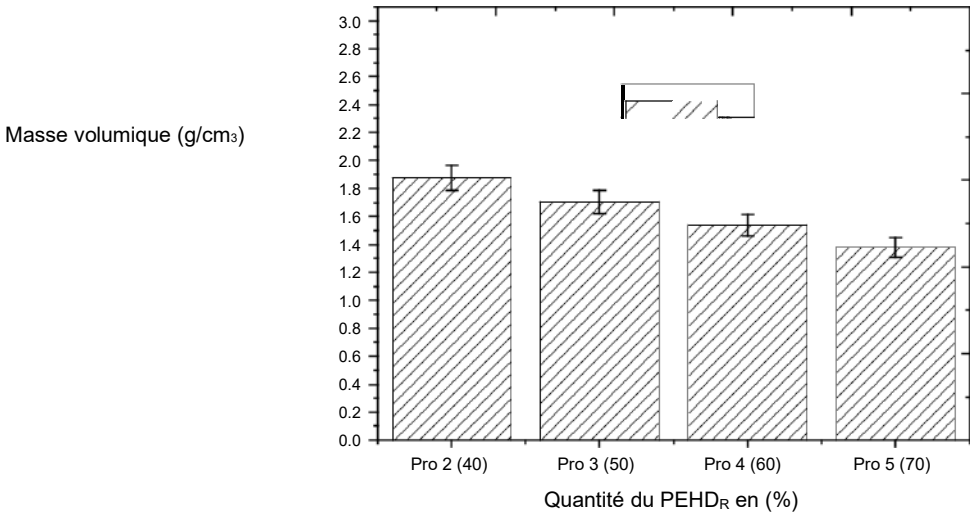


Figure 4.5 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du PEHDR recyclé

Les résultats indiquent que la masse volumique de tuile polymère à base du PEHDR recyclé diminue avec l'augmentation de la quantité du PEHDR, Cela peut être expliquée probablement par le fait que le PEHDR a une masse volumique plus légère que celle du sable de dune (PEHDN =0.943g/ cm3, SD = 2.5 g/cm3).

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par (Ismail and Al-Hashmi 2008). Ou ces derniers affirment que la masse volumique fraîche du béton avec des agrégats de plastique de 10, de 15, et de 20 % comme remplacement des granulats fins tend à diminuer en dessous du béton de référence avec l'augmentation du taux de déchets de plastique.

(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010) Ont rapporté que la masse volumique à l'état frai et à l'état durcis diminue avec l'augmentation de la quantité des déchets plastique.

Les résultats de l'essai de la masse volumique des carreaux polymères sont les mêmes résultats que la masse volumique des tuiles polymères de couverture.

IV.2.3.3. Essai de la résistance à la flexion ISO (10545-4 2004):

La résistance à la flexion de chaque éprouvette est réalisée conformément au dispositif décrit dans la norme EN ISO(10545-4 2004). L'essai de la résistance à la flexion est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange. La photo 4.4 présente l'essai de la résistance à la flexion du carreau polymère à base du PEHDR

Photo 4.3: Mesure des dimensions de l'échantillon du carreau polymère à base du PEHD$_R$ avant le teste

Photo 4.4: Essai de la résistance à la flexion du carreau polymère à base du PEHD$_R$

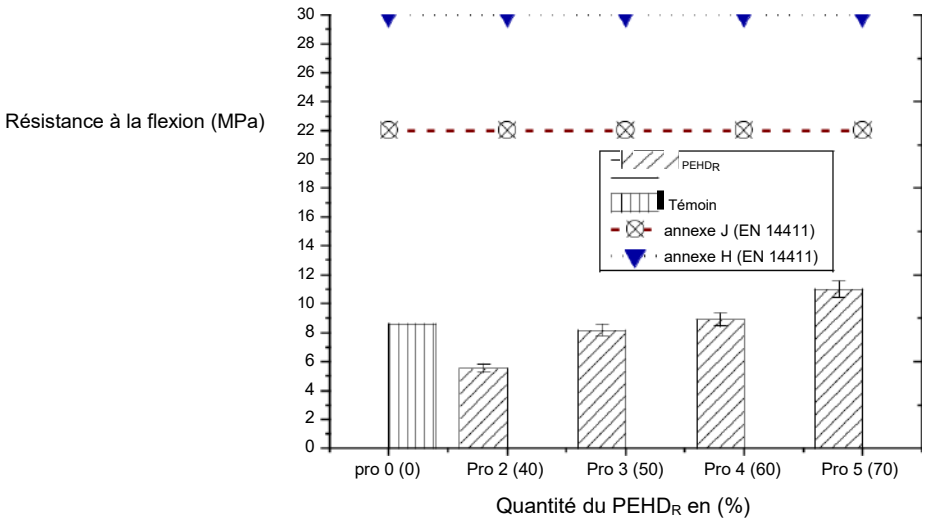


Figure 4.6: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du PEHD$_R$

La figure 4.6 montre que la résistance à la flexion des carreaux polymères augmente avec l'augmentation de la quantité du PEHD$_R$. Cette augmentation significative est due

apparemment à l'excellente liaison entre le PEHDR et le sable de dune ainsi que la charge de pression conduise à la création d'un réseau plus dense et solidaire. Néanmoins si nous la comparons avec celles citées dans la littérature la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation des déchets plastiques que ce soit dans le béton ou dans le mortier du ciment par manque d'adhérence entre la surface du plastique et la matrice cimentaire. (Akcaozoglu, Atis et al. 2010), (Albano, Camacho et al. 2009), (Ismail and Al-Hashmi 2008),(da Silva, de Brito et al. 2014).

(Ismail and Al-Hashmi 2008) ont expliqué cette tendance que peut être attribuée à la diminution de la force d'adhérence entre la surface des particules plastiques usagées et la pâte de ciment, ainsi qu'à la nature hydrophobe de la matière plastique qui peut limiter l'hydratation du ciment.

(da Silva, de Brito et al. 2014) Ont justifié la diminution de la résistance à la flexion avec la substitution d'agrégats naturels par des agrégats plastiques qui peut être liée au fait que les agrégats en plastique, à la différence naturelle les granulats, présentent une surface lisse, sont imperméables et moins résistants.

Tableau 4.2: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du PEHDR

Composition	Résistance à la flexion (MPa) Epaisseur ≥7.5 mm	Norme (14411 2006)
Pro0 : (0%) (témoin)	8.60	≥ 22
Pro02 : (40%)	5.53±0.20	≥ 30
Pro03 : (50%)	8.17±0.31	≥ 30
Pro04 : (60%)	8.90±0.42	≥ 30
Pro05 : (70%)	11.02±0.38	≥ 30

Les résultats du tableau 4.3 montrent que la résistance à la flexion du granito (carreau témoin) est sous les exigences de la norme des carreaux céramique du groupe BIIa qui est de 22 MPa. le mélange N°05 du carreau qui contient 70% PEHDR présente une augmentation de la résistance à la flexion de 21.96% par rapport au carreau témoin (granito).La résistance
à la flexion de tous les mélanges de carreaux polymères composites est également sous les exigences de la norme des carreaux céramique du groupe Bib, qui est de 30 MPa, mais nous ne pouvons pas dire que notre nouveau matériau de carreau polymère composite ne répond pas à l'exigence, car en réalité, la valeur de la résistance à la flexion assure que le carreau ne se brise pas lors de la pose. Le carreau polymère composite est flexible et cette flexibilité

nous a permis de ne pas briser les carreaux polymères lors de la pose comme il est connu dans tous les modèles de carreaux céramiques. Nous pouvons donc dire que notre matériau n'a pas besoin d'une grande résistance à la flexion durant la pose.

IV.2.3.4. Essai de la Résistance à l'abrasion des carreaux non émaillées (ISO 10545-6) :

L'essai consiste sur la détermination de la classe des carreaux non émaillés par examen visuel pour détecter des changements sur la belle face et sur la coté non coupé mesurage de la longueur de l'empreinte produite sur la belle face par un disque relatif après 150 tours en présence d'un matériau abrasif F80 (figure 4.8). La figure 4.9 présente la boite d'examen visuel équipée d'un éclairage fluorescent. La résistance à abrasion profonde est exprimée comme étant le volume V en millimètres cubes de la matière enlevée et elle est calculée à partir de la longueur de corde L d'empreinte à l'aide de l'équation :

$$= \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha\right)\frac{h^2}{8} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Photo 4.5 : Appareil abrasimètre

Photo 4.6 : Boite de visualisation

Photo 4.7 : Carreau polymère à base du PEHDR après l'essai de l'abrasion profonde

Photo 4.8 : Mesure de la longueur de la corde du carreau polymère à base du PEHDR

Les photos 4.6, 4.7 et 4.8 montrent la détermination de la résistance à l'abrasion de carreau non émaille par mesurage de la longueur de l'empreinte produite sur la belle face comme il est présenté dans la photo 4.5 par un disque rotatif, dans des conditions données en présence d'un matériau abrasif.

La longueur de la corde est mesurée par le pied à coulisse. Nous pouvons extraire la valeur de volume de matière enlevée selon le tableau de la norme EN ISO 10545-6. Le tableau 4.3 donne les valeurs de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères.

Tableau 4.3 : Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du PEHDR

Composition	V en mm^3 de la matière enlevée	Exigence de la norme ISO 10545-6
Pro0 : (0%)	Maximum 175	345
Pro02 : (40%)	165	175
Pro03 : (50%)	139	175
Pro04 : (60%)	102	175
Pro05 : (70%)	Inférieur à 67	175

Le volume de la matière enlevée présente dans le tableau 4.3 diminue avec l'augmentation de la quantité du PEHD recyclé. Cela signifie que la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) augmente avec l'augmentation de la quantité du ($PEHD_R$) incorpore dans les mixtures. Cela est dû à l'augmentation de la quantité du liant ($PEHD_R$) qui assure l'adhérence entre les grains. Tous les carreaux polymères ont une résistance à l'abrasion mieux que le carreau témoin. Dans le même contexte (SAIKIA, 2010) affirme que l'incorporation d'agrégats de PET peut améliorer la résistance à l'abrasion du béton.

La résistance à l'abrasion de tous les carreaux polymères est supérieure à celles du carreau témoin et de la norme (10545-6, 2010). Le mélange N°5 (70% du $PEHD_R$) donne une excellente résistance à l'abrasion que l'autre carreau en polymère, y compris le carreau témoin.

IV.2.3.5. Détermination de la Résistance chimique ISO (10545-13, 1995) :

L'essai de détermination de la résistance chimique suivant la norme (10545-13, 1995) consiste sur l'immersion des éprouvettes verticalement à une profondeur de 25 mm dans deux récipients, l'une contenant la solution d'essai (acide de faible de concentration : Solution d'acide chlorhydrique à 3 % (V/V), préparée à partir d'acide chlorhydrique concentré (ρ = 1,19 g/mI).) et l'autre contenant la solution d'essai (Acide de Forte Concentration : Solution d'hydroxyde de potassium a 100 g/l.). Le côté non coupé de chaque éprouvette doit être entièrement immergé et maintenir pendant 12 jours à (20 ± 2) °C. (Figure 4.7).

Après 12 jours, soumis les éprouvettes à l'eau courante pendant 5 jours. Puis examiné les éprouvettes à une distance de 25 cm à 30 cm, à l'œil nu ou avec des lunettes si l'on en porte habituellement, pour détecter les changements sur la belle face et sur le côté. Puis, examiner les parties des côtés coupés qui ont été immergés.

Remarque : Les éprouvettes doivent être découpées en forme carrée de 50 mm par 50 mm de façon que l'un des côtés de chaque éprouvette n'ait pas été coupe.

Figure 4.7 : Essais de la résistance chimique des carreaux polymères à base du PEHDR

Les carreaux sont alors répartis dans les classes suivantes :

- Pour les solutions d'essai décrites en 4.3.1 (faible concentration selon la norme (10545-13, 1995):
    - Classe ULA Pas d'effet visible*
    - Classe ULB Effets visibles sur les côtés coupés
    - Classe ULC Effets visibles sur les côtés coupés, côtés non coupés et sur la belle face.
- 7.2.3 Pour les solutions d'essai décrites en 4.3.2 (faible concentration selon la norme (10545-13, 1995):
    - Classe UHA Pas d'effet visible*
    - Classe UHB Effets visibles sur les côtés coupés
    - Classe UHC Effets visibles sur les côtés coupés, côtés non coupés et sur la belle face.

      * : Un léger changement de teinte n'est pas considéré comme une attaque chimique.

Figure 4.8 : Résultats d'essai chimique sur les différentes proportions du carreau polymères à base du PEHDR

Solution du d'acide chlorhydrique à (3 %) faible concentration : aucun effet visible lors de l'analyse de tout le mélange de carreaux de polymère non émaillés. Donc c'est du class A. Alors que la norme accepte la classe B (carreaux non émaillées) Lorsqu'il y'a des effets visibles sur les côtés coupés.

Solution d'hydroxyde de potassium à (100 g/l) haute concentration : aucun effet visible lors de l'analyse de tout les mélanges de carreaux de polymère non émaillés. Donc c'est du class A. Alors que la norme accepte la classe B (carreaux non émaillées) Lorsqu'il y'a des effets visibles sur les côtés coupés.

Les résultats indiquent que tous les taux de déchets plastiques dans chaque mélange de carreaux polymères non émaillée ont une bonne résistance à l'attaque chimique. Cela peut être expliqué probablement par le fait que la méthode de pression des carreaux polymères conduise à la création d'un réseau plus dense et solidaire qui provoque la faiblesse de la porosité qui empêche la pénétration et la stagnation de substance agressives éventuelles.

IV.2.3.6. Synthèse :

On peut dire qu'il est possible de fabriquer des carreaux à partir de polyéthylène haut densité recyclé (PEHDR) et de sable de dune. Les carreaux polymères non émaillée à base du PEHD recyclé présentent une bonne légèreté et absorption d'eau. Les carreaux polymères présentent des valeurs de la résistance à la flexion moins performante que la norme, mais

nous pouvons les utiliser parce qu'ils sont ductiles et ne nécessitent pas une grande résistance lors de l'installation. Une très bonne résistance à l'abrasion et à l'attaque chimique qui ça donne une place importante dans le monde du revêtement de sol.

IV.3. Matériau composite à base du (PEHDN) et (SD) :

Dans cette partie nous avons étudié l'effet de remplacement du polyéthylène haut densité Recyclé (PEHDR) par le polyéthylène haut densité noble (PEHDN) grade 5502 sur l'amélioration des propriétés physiques, mécaniques et durabilités. Toute en gardant la même procédure de la fabrication des carreaux / tuiles polymères à base de SD et PEHDR en maintenir les mêmes proportions.

IV.3.1. : Résultats des essais effectués sur les tuiles polymères de couverture :

IV.3.1.1. Essai de la masse volumique ISO 10545-3 (1995) :

L'essai est réalisé conformément à la norme ISO 10545-3. L'essai consiste à déterminer la masse volumique des tuiles polymères par pesage de ces carreaux secs. Imprégnation de carreaux secs, puis soumission à la pesée hydrostatique, le calcul de la densité se fait à partir des relations existantes les masses de l'échantillon sec et immergé. L'essai de la masse volumique selon la norme ISO 10545-3 (1995) est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange.

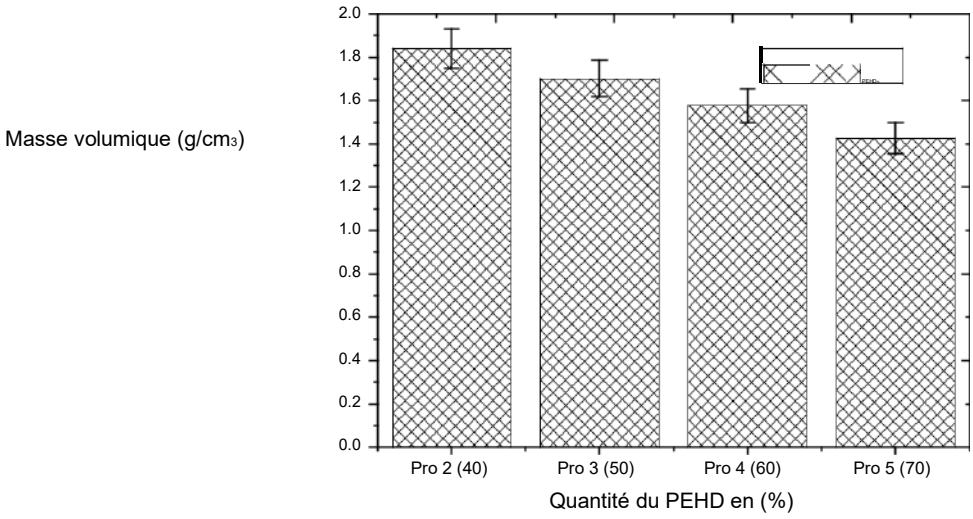


Figure 4.9 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du PEHDN

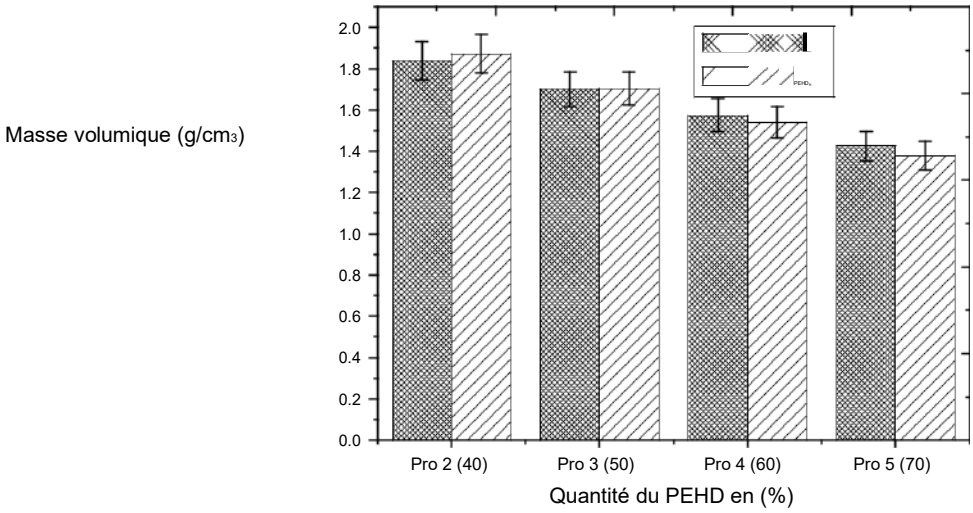


Figure 4.10 : Masse volumique des tuiles polymères en fonction du $PEHD_N$ et $PEHD_R$

Les résultats de la figure 4.9 indiquent que la masse volumique de tuile polymère à base du $PEHD_N$ noble aussi diminue avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_N$, comme nous l'avons vu avec $PEHD_R$. Cela peut être expliquée probablement par le fait que le $PEHD_N$ a une masse volumique plus légère que celle du sable de dune ($PEHD_N$ =0.954 g/cm^3, SD = 2.5 g/cm^3).

Les résultats de la figure 4.10 montrent que la masse volumique des tuiles polymères de couverture à base de $PEHD_R$ est approximativement la même densité des tuiles polymères de couverture à base de $PEHD_N$. Cela peut être s'exprime que la masse volumique des deux $PEHD_R$ =0.943 g/cm^3, presque la même que $PEHD_N$ =0.954 g/cm^3.

Donc on peut dire que le remplacement du $PEHD_R$ par $PEHD_N$ n'influe pas sur la masse volumique des tuiles polymères de couverture.

IV.3.1.2. Essai de la force à rupture (NF EN 538) :

Les tuiles polymères doivent satisfaire à un test de chargement spécifié suivant la norme NF EN 538.La force de rupture d'une tuile polymère est obtenue à partir d'une charge nécessaire pour causer la rupture de l'échantillon par le rapport d'écartement des appuis sur la largeur de l'éprouvette.

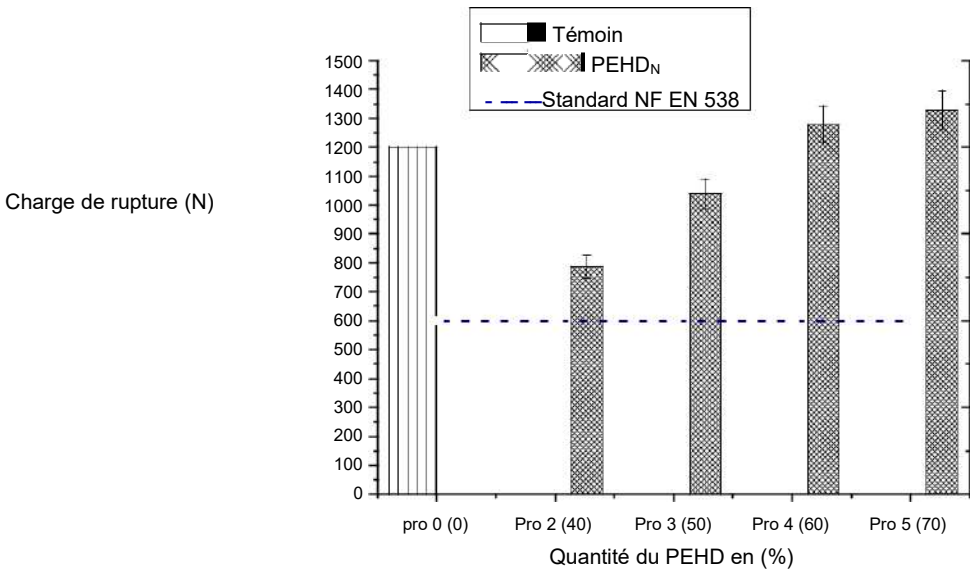


Figure 4.11 : Charge de rupture des tuiles polymères en fonction du PEHDN

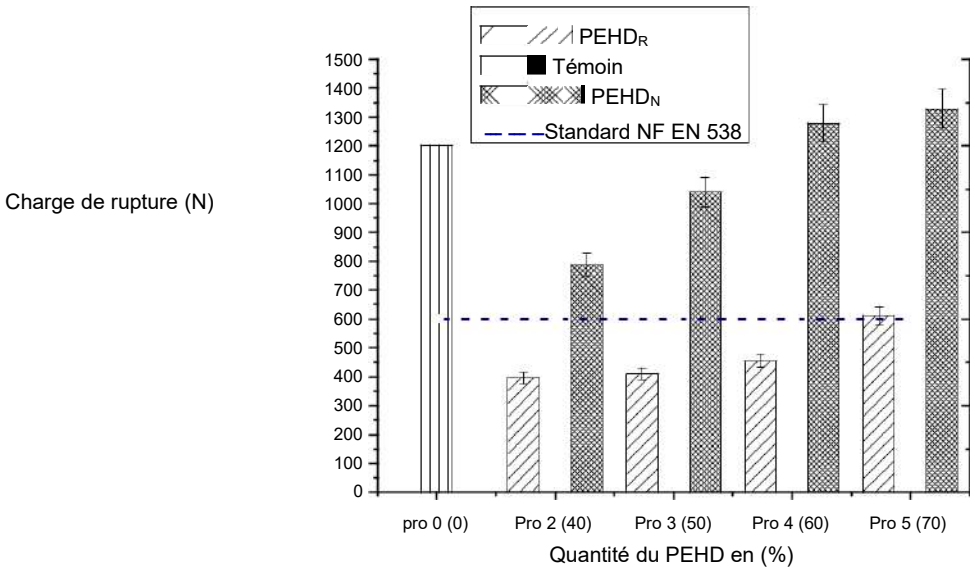


Figure 4.12 : Charge de rupture des tuiles polymères en fonction du PEHDN et PEHDR

La figure 4.11 présente la charge de rupture des tuiles polymères en fonction de la quantité du PEHDR par rapport à la norme et à tuile en terre cuite (témoin). Les résultats montrent que la charge de rupture augmente avec l'augmentation de la quantité du PEHD N incorporé dans le mélange. Cela expliqué peut-être par le fait que l'augmentation de la quantité du liant, qui donne au matériau suffisamment de force d'adhérence, ce qui conduit à augmenter la charge de rupture. La figure 4.12 indique que les valeurs de la charge de rupture

des tuiles polymères fabriquées à partir de polyéthylène haut densité noble sont supérieures ($PEHD_N$) (plus performants) que les valeurs de la charge de rupture des tuiles polymères fabriquées à partir de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$). Toutes les proportions des tuiles polymères répondent aux exigences de la norme. La charge de rupture du Pro 4 (60%) et Pro 5 (70%) sont supérieurs à celles de tuile témoin.

Finalement, on peut dire que le remplacement total du $PEHD_N$ par $PEHD_R$ augmente la force de rupture de tuiles polymères de couverture environ de 122.9%, cela peut être s'exprime par l'impureté du notre liant (le $PEHD_N$ est noble ce qui donne une bonne adhérence qui va augment la résistance à la charge de rupture, par contre le $PEHD_R$ présente une certaine particule étrangère qui diminue la résistance à la charge de rupture si nous le compare par le $PEHD_N$).

IV.3.1.3. Essai d'imperméabilité (NF EN 539-1) :

L'essai consiste de calculer le facteur d'imperméabilité à partir de deux pesages : la1^{ère} pesage pris le moment de début d'essai et la 2ème après 48 h. les tuiles et les accessoires doivent être affectés à l'un des deux (02) niveaux d'imperméabilité.

Selon la norme NF EN 539-1, la tuile doit être coupé en morceaux de 45 x 45 mm, placé le tube sur la surface de l'échantillon dans des tube en scellant l'écart entre les deux avec une paraffine fondue. Verse l'eau pour atteindre une hauteur de 10cm. Au début de l'essai, noté le niveau d'eau dans le tube gradué ; après 48 heures mesurez le niveau d'eau dans le tube. Calculé à partir de ces valeurs le volume d'eau ayant passé par au travers de l'éprouvette en 48 heures (V1).

Concernant l'échantillon de contrôle, en suivant les mêmes étapes, en remplaçant l'échantillon par une plaque de verre (v2). En pesant l'ensemble, puis en pesant après 48 heures de nouveau. La différence de poids entre la première et le deuxième pesage est le volume d'eau évaporée (v2). Enfin les valeurs de l'imperméabilité (tableau) sont déterminées par la formule suivante :

$$IF = \frac{(V1 - V2)}{A2}$$

, Sachant que :

V1 : volume d'eau passant en 48h, en centimètres cubes ;

V1 : volume d'eau évaporée en 48h, en centimètres cubes ;

A : surface projetée de l'éprouvette, en centimètres carrés ;

L'essai d'imperméabilité selon la norme NF EN 539-1 est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange. Les résultats des valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_N$ sont présentés dans le tableau 4.4

Tableau 4.4: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_N$.

Composition	Facteur d'imperméabilité (cm3/cm2/j)	Exigence de la norme EN 539-1
Pro0 : (0%)	0.09	< 0.5
Pro02 : (40%)	0.0049± 0.010%	< 0.5
Pro03 : (50%)	0.0048 ± 0.015%	< 0.5
Pro04 : (60%)	0.0048± 0.020%	< 0.5
Pro05 : (70%)	0.0048± 0.010%	< 0.5

Tableau 4.5: Valeurs du facteur d'imperméabilité en fonction de la quantité du $PEHD_N$.

Composition	Facteur d'imperméabilité (cm3/cm2/j) (tuile en $PEHD_R$)	Facteur d'imperméabilité (cm3/cm2/j) (tuile en $PEHD_N$)	Exigence de la norme EN 539-1
Pro0 : (0%)	0.09	0.09	< 0.5
Pro02 : (40%)	0.0543± 0.010%	0.0049± 0.010%	< 0.5
Pro03 : (50%)	0.0049 ± 0.015%	0.0048 ± 0.015%	< 0.5
Pro04 : (60%)	0.0049± 0.020%	0.0048± 0.020%	< 0.5
Pro05 : (70%)	0.0049± 0.010%	0.0048± 0.010%	< 0.5

Figure 4.13 : Essai de l'imperméabilité des carreaux/ tuiles polymères à base du SD et $PEHD_N$.

Les résultats tableau 4.5 montrent que la valeur moyenne de coefficient d'imperméabilité des éprouvettes après l'essai est inférieure à la valeur de la norme de 0,5 cm3 / cm2 et aussi à la valeur du témoin (tuile en terre cuite plate).

Les tuiles polymères présentent une bonne imperméabilité. Contrairement à la tuile en terre cuite (témoin), il a moins d'imperméabilité que tous les tuiles. Nous pouvons exprimer cette différence que les tuiles polymères issues la caractéristique de l'imperméabilité de son matériau de construction de base ($PEHD_N$).

Les résultats du tableau 4.5 montrent que la valeur moyenne de coefficient d'imperméabilité des éprouvettes à base de $PEHD_R$ est approximativement la même valeur moyenne de coefficient d'imperméabilité des éprouvettes à base de $PEHD_N$. Donc en peut dire que le remplacement Totale du PEHDR par PEHDN n'influe pas sur le facteur d'imperméabilité.

IV.3.1.4. Synthèse :

On peut dire qu'il est possible aussi de fabriquer des tuiles à partir de polyéthylène haut densité noble $PEHD_N$ grade 5502et de sable de dune (SD). Les caractéristiques des tuiles polymères à base du PEHD noble est bonne. Les deux tuiles polymères contenant 60% du $PEHD_N$ et 70% du $PEHD_N$ présentent une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux dans le toit et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit. La Pro 05 et Pro 4 donnent la meilleure qualité.

L'idée de remplacer le $PEHD_R$ par $PEHD_N$ dans la fabrication des tuiles polymères de couverture améliore uniquement la résistance à la charge de rupture ce que donne au toit résistance plus pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons.

IV.3.2. *:* Résultats des essais effectués sur le carreau polymère composite :

IV.3.2.1. Essai de l'absorption d'eau ISO (10545-3 1995) :

Le degré d'absorption d'eau d'un carreau reflète sa capacité de rétention de l'eau à l'intérieur de son système poreux. Il s'exprime par un pourcentage de la masse sèche et se détermine, selon la norme ISO(10545-3 1995) sur 05 échantillons de chaque type de mélange. Par pesée hydrostatique après imprégnation. La Figure 4.13 Mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du $PEHD_N$. Le calcul des caractéristiques citées à partir des relations

existantes entre les masses de l'échantillon sec, saturé et immergé. Le coefficient d'absorption d'eau exprimé en pourcentage de la masse sèche, est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$- \frac{m2 + m1}{m1}$$

Ou :

m2 : Est la masse du carreau sec

m1 : Est la masse du carreau humide.

Figure 4.14 Mesure de l'absorption d'eau de l'échantillon à base du $PEHD_N$

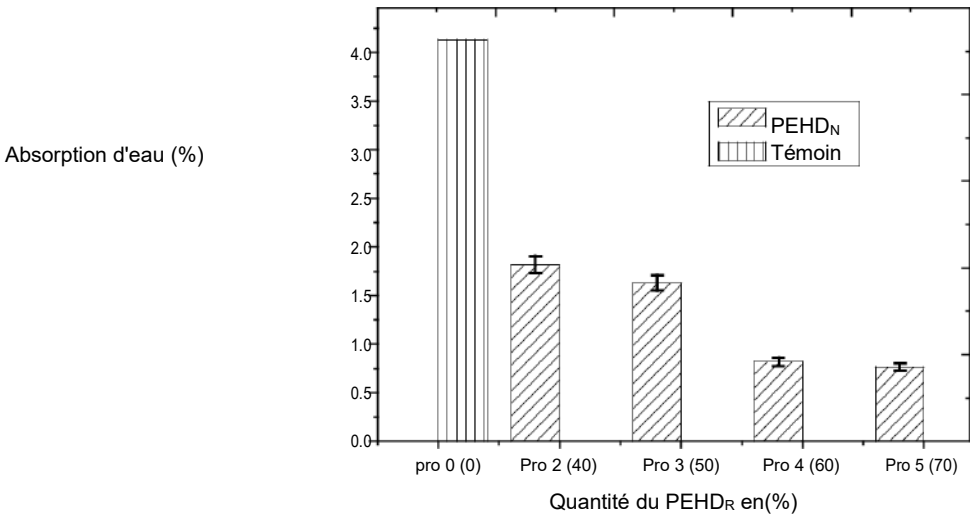


Figure 4.15 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du $PEHD_N$

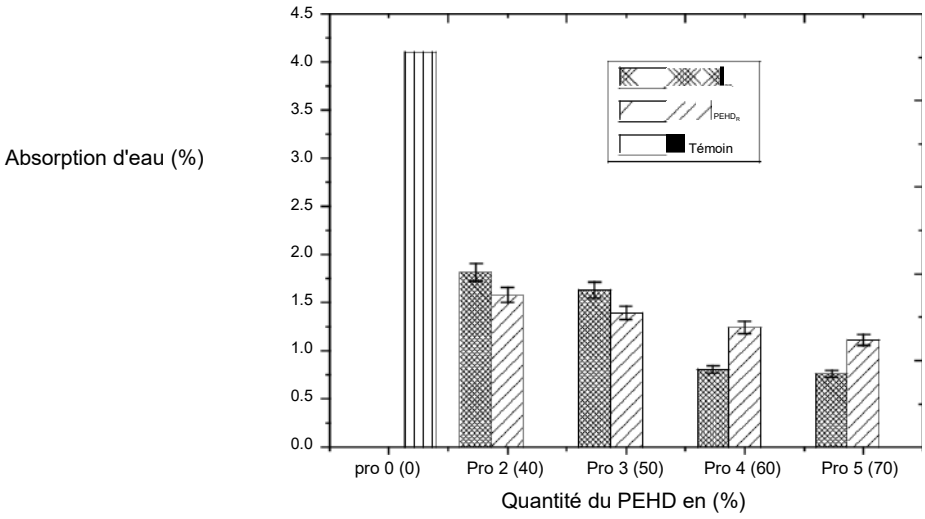


Figure 4.16 : Valeurs de l'absorption d'eau en fonction de la quantité du PEHDN et PEHDR

La Figure 4.15 affiche les résultats de la mesure de l'absorption d'eau des carreaux Polymères non émaillées en fonction de la quantité du PEHDN incorporé dans les mixtures. La figure montre que le taux d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la quantité de polyéthylène de haut densité noble (PEHDN). Cette diminution est due à l'augmentation relative de la quantité de (PEHDN) qui a une absorption tend vers le zéro.

Les taux d'absorption d'eau de tous les mélanges sont sous le carreau témoin (granito). Le taux d'absorption d'eau est obtenu selon la procédure mentionnée ci-dessus, nous pouvons classer les carreaux conformément aux spécifications de la norme EN(14411 2006) : Toutes les valeurs des taux d'absorption d'eau que ce soit fabriqué à partir de PEHDN ou PEHDR sont dans le groupe de BIbl à ou : 0,5 <E ≤ 3%. Cependant, l'échantillon de contrôle appartient au groupe BIIa là ou 3 <E ≤ 6%. Nous pouvons dire que le remplacement total du PEHDN ou PEHDR dans fabrication des carreaux polymères n'influe pas l'absorption d'eau ni la classe des carreaux.

IV.3.2.2. Essai de la masse volumique ISO 10545-3 (1995) :

L'essai est réalisé conformément à la norme ISO 10545-3. L'essai consiste à déterminer la masse volumique des tuiles polymères par pesage de ces carreaux secs. Imprégnation de carreaux secs, puis soumission à la pesée hydrostatique, le calcul de la densité se fait à partir des relations existantes les masses de l'échantillon sec et immergé .

L'essai de la masse volumique selon la norme ISO 10545-3 (1995) est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange.

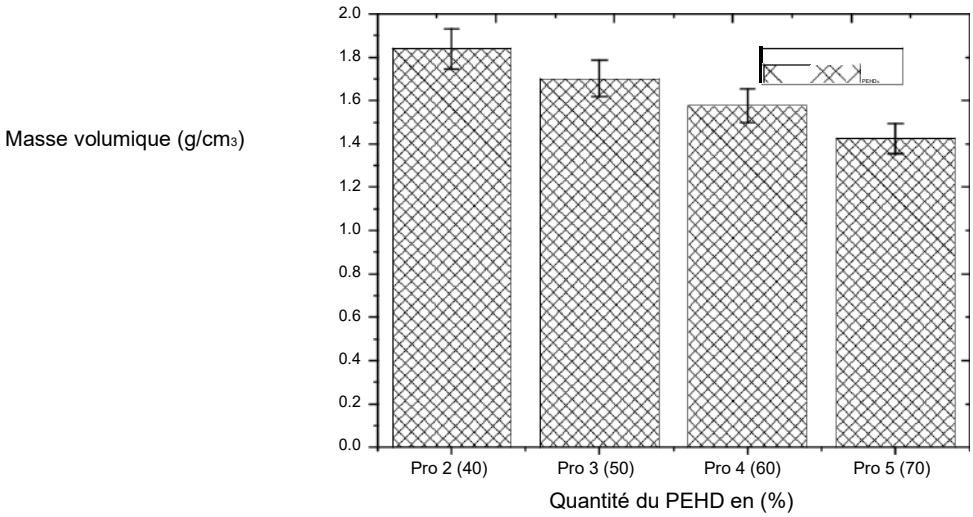


Figure 4.17 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du $PEHD_N$

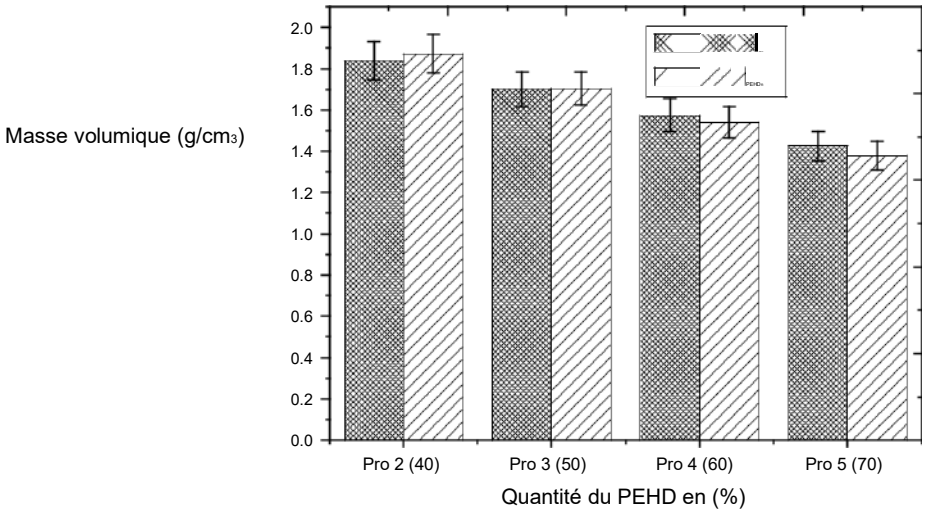


Figure 4.18 : Masse volumique des carreaux polymères en fonction du $PEHD_N$ et $PEHD_R$

Les résultats indiquent que la masse volumique de carreau polymère à base du $PEHD_N$ noble aussi diminue avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_N$, comme nous l'avons vu avec $PEHD_R$. Cela peut être expliquée probablement par le fait que le $PEHD_N$ a une masse volumique plus légère que celle du sable de dune ($PEHD_N$ =0.954 g/cm^3, SD = 2.5 g/cm^3).

Les résultats de la figure 4.18 montrent que la masse volumique des carreaux polymères à base de $PEHD_R$ est approximativement la même masse volumique des carreaux polymères à base de $PEHD_N$. Cela peut être s'exprime que la masse volumique des deux $PEHD_R$ =0.943 g/cm3, presque la même que $PEHD_N$ =0.954 g/cm3. Donc on peut dire que :

- Le remplacement total du $PEHD_R$ par $PEHD_N$ n'influe pas sur la masse volumique des carreaux polymères.
- Les résultats de l'essai de la masse de carreaux polymères sont les mêmes résultats de la masse des tuile polymères de couverture.

IV.3.2.3. Essai de la résistance à la flexion selon la norme ISO(10545-4 2004):

La résistance à la flexion de chaque éprouvette est réalisée conformément au dispositif décrit dans la norme EN ISO(10545-4 2004). L'essai la résistance à la flexion selon la norme NF EN 539-1 est effectué sur 05 échantillons de chaque type de mélange

Photo 4.9 : Essai de la résistance à la flexion des carreaux polymères à base du $PEHD_N$

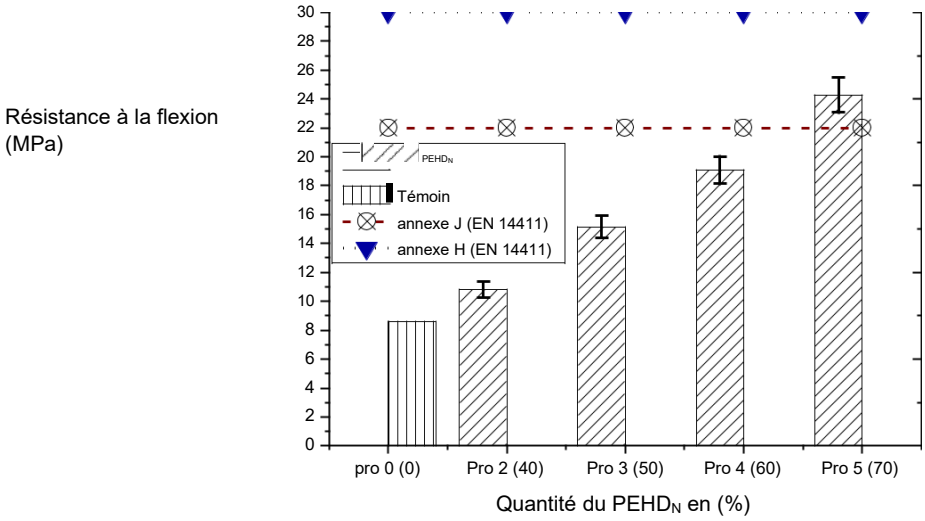


Figure 4.19: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du PEHDN

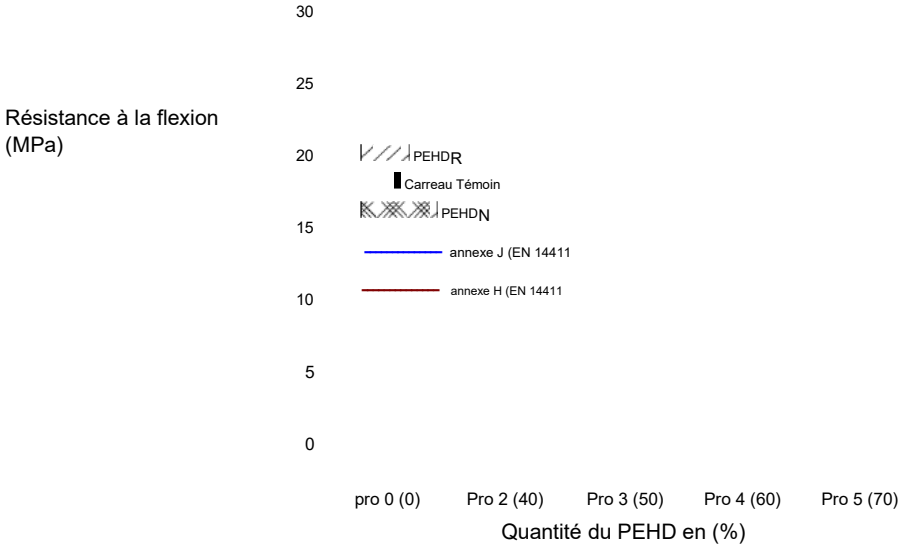


Figure 4.20: Résistance à la flexion des carreaux polymères en fonction de la quantité du PEHDN et PEHDR

La figure 4.19 présente les résultats de la résistance à la flexion des carreaux polymères à base du PEHDN. La figure indique que la résistance à la flexion des carreaux polymères augmente avec l'augmentation de la quantité du PEHDN. Cette augmentation significative est due apparemment à l'excellente liaison entre le PEHDN et le sable de dune ainsi que la charge de pression conduise à la création d'un réseau plus dense et solidaire.

Néanmoins si nous la comparons avec celles citées dans la littérature, la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation des déchets plastiques que ce soit dans le béton ou dans le mortier du ciment par manque d'adhérence entre la surface du plastique et la matrice cimentaire.(Akcaozoglu, Atis et al. 2010), (Albano, Camacho et al. 2009), (Ismail and Al-Hashmi 2008),(da Silva, de Brito et al. 2014). Les mélanges de carreau en $PEHD_N$ présentent une augmentation dans la résistance à la flexion de 126.74% par rapport au carreau témoin (granito).

Les valeurs de résultats de la figure 4.20 montrent que la résistance à la flexion de carreaux polymères à base du $PEHD_R$ est inférieur à celles des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ pour les différentes proportions. Cela peut être probablement dû à l'impureté du liant utilisé (le $PEHD_N$ est noble ce qui donne une bonne adhérence qui va augment la résistance à la flexion, par contre le $PEHD_R$ présente une certaine particule étrangère qui diminue la résistance à la flexion si nous le compare par le $PEHD_N$).

Les valeurs de la résistance à la flexion de tous les mélanges de carreaux polymères composites que ce soit fabriquent à partir de $PEHD_R$ ou $PEHD_N$ restant toujours inferieur aux exigences de la norme. Ces résultats ne permettent pas de dire que notre matériau ne répond pas à l'exigence de la norme parce qu'il a une certaine flexibilité qui nous a permis de ne pas casser le carreau durant la pose. Donc le remplacement total du $PEHD_R$ par le $PEHD_N$ dans fabrication des carreaux polymères augmente la résistance à la flexion environ de 106.73% mais les valeurs restent toujours ce dessous des valeurs indiquent dans la norme en vigueur (30 Mpa).

IV.3.2.4. Essai de la Résistance à l'abrasion des carreaux non émaillées ISO (10545-6) :

L'essai consiste sur la détermination de la classe des carreaux non émaillés par examen visuel pour détecter des changements sur la belle face et sur la coté non coupé mesurage de la longueur de l'empreinte produite sur la belle face par un disque relatif après 150 tours en présence d'un matériau abrasif F80 (figure 4.8). La figure 4.9 présente la boite d'examen visuel équipée d'un éclairage fluorescent. La résistance à abrasion profonde est exprimée comme étant le volume V en millimètres cubes de la matière enlevée et elle est calculée à partir de la longueur de corde L d'empreinte à l'aide de l'équation :

$$= \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha\right)\frac{h^2}{8} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Photo 4.10 : Appareil abrasimètre

Figure 4.21 : Boite de visualisation

Figure 4.22 : mesure de la longueur de la corde du carreau polymère à base du PEHDN

Les figures 4.21 et 4.22 montrent la détermination de la résistance à l'abrasion de carreau non émaille par mesurage de la longueur de l'empreinte produite sur la belle face comme il est présenté dans la photo 4.10 par un disque rotatif, dans des conditions données en présence d'un matériau abrasif.

La longueur de la corde est mesurée par le pied à coulisse. Nous pouvons extraire la valeur de volume de matière enlevée selon le tableau de la norme EN ISO 10545-6. Le tableau 4.6 donne les valeurs de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_R$. Le tableau 4.7 présente les valeurs de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_R$ et $PEHD_N$

Tableau 4.6: Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_N$

Composition	V en mm^3 de la matière enlevée	Exigence de la norme iso 10545-6
	Carreau polymère en $PEHD_N$	
Pro0 : (0%)	Maximum 175	345
Pro02 : (40%)	139	175
Pro03 : (50%)	109	175
Pro04 : (60%)	83	175
Pro05 : (70%)	Inférieur à 67	175

Tableau 4.7 : Valeurs de l'essai de la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ et $PEHD_R$

Composition	V en mm^3 de la matière enlevée		
	Carreau polymère en $PEHD_R$	Carreau polymère en $PEHD_N$	Exigence de la norme iso 10545-6
Pro0 : (0%)	Maximum 175	Maximum 175	345
Pro02 : (40%)	165	139	175
Pro03 : (50%)	139	109	175
Pro04 : (60%)	102	83	175
Pro05 : (70%)	Inférieur à 67	Inférieur à 67	175

Le volume de la matière enlevée présente dans le tableau 4.6 diminue avec l'augmentation de la quantité du PEHD noble. Cela signifie que la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) augmente avec l'augmentation de la quantité de ($PEHD_N$) incorpore dans les mixtures. Cela est dû à l'augmentation de la quantité du liant ($PEHD_N$) qui assure l'adhérence entre les grains. Le tableau 4.5 indique que tous les carreaux polymères présentent une résistance à l'abrasion mieux que le carreau témoin. Le remplacement total du $PEHD_N$ par le $PEHD_R$ dans la fabrication des carreaux polymères donne plus de résistance à l'abrasion sachant que les carreaux polymères à base de $PEHD_R$ répondent à l'exigence de la norme en vigueur.

La résistance à l'abrasion de tous les carreaux polymères est supérieur à celles du carreau témoin et de la norme (10545-6, 2010). La pro 5 (70% du $PEHD_N$) et la Pro 04 (60%) donnent une excellente résistance à l'abrasion que les autres carreaux en polymère, y compris le carreau témoin.

IV.3.2.5. Détermination de la Résistance chimique ISO (10545-13, 1995) :

L'essai de détermination de la résistance chimique suivant la norme (10545-13, 1995) consiste sur l'immersion des éprouvettes verticalement à une profondeur de 25 mm dans deux récipients, l'une contenant la solution d'essai (acide de faible de concentration : Solution d'acide chlorhydrique à 3 % (V/V), préparée à partir d'acide chlorhydrique concentré (ρ = 1,19 g/mI).) et l'autre contenant la solution d'essai (Acide de Forte Concentration : Solution d'hydroxyde de potassium a 100 g/l.). Le côté non coupé de chaque éprouvette doit être entièrement immergé et maintenir pendant 12 jours à (20 ± 2) °C. (Figure 4.23).

Après 12 jours, soumis les éprouvettes à l'eau courante pendant 5 jours. Puis examiné les éprouvettes à une distance de 25 cm à 30 cm, à l'œil nu ou avec des lunettes si l'on en porte habituellement, pour détecter les changements sur la belle face et sur le côté. Puis, examiner les parties des côtés coupés qui ont été immergés.

Remarque : Les éprouvettes doivent être découpées en forme carrée de 50 mm par 50 mm de façon que l'un des côtés de chaque éprouvette n'ait pas été coupe.

Figure 4.23 : Essai de la résistance chimique des carreaux polymères à base du $PEHD_N$ et $PEHD_R$

Les carreaux sont alors répartis dans les classes suivantes :

- Pour les solutions d'essai décrites en 4.3.1 (faible concentration selon la norme (10545-13, 1995):
  - Classe ULA Pas d'effet visible*
  - Classe ULB Effets visibles sur les côtés coupés
  - Classe ULC Effets visibles sur les côtés coupés, côtés non coupés et sur la belle face.
- 7.2.3 Pour les solutions d'essai décrites en 4.3.2 (faible concentration selon la norme (10545-13, 1995):
  - Classe UHA Pas d'effet visible*
  - Classe UHB Effets visibles sur les côtés coupés
  - Classe UHC Effets visibles sur les côtés coupés, côtés non coupés et sur la belle face.

    * : Un léger changement de teinte n'est pas considéré comme une attaque chimique.

Solution d'acide chlorhydrique (3%) à faible concentration : aucun effet visible lors de l'analyse de tout le mélange de carreaux de polymère non émaillé diminue sans.

Solution d'hydroxyde de potassium (100g/l) à haute concentration : aucun effet visible lors de l'analyse de tous les mélanges de carreaux de polymère non émaillés.

Figure 4.24 : Résultats d'essai chimique sur les différentes proportions du carreau polymère à base de PEHD noble

Les résultats de la figure 4.24 indiquent que tous les taux du polyéthylène haut densité noble grade 5502 dans chaque mélange de carreaux polymères non émaillée ont une bonne résistance à l'attaque chimique. Cela peut être expliqué probablement par le fait que méthode de pression des carreaux polymères conduise à la création d'un réseau plus dense et solidaire qui provoque la faiblesse de la porosité qui empêche la pénétration et la stagnation de

substance agressives éventuelles. Les carreaux polymères fabriquent à partir de $PEHD_R$ ou de $PEHD_N$ résistent aux attaques chimiques, donc le remplacement total du $PEHD_R$ par le $PEHD_N$ n'influe pas sur les caractéristiques chimiques des carreaux polymères.

IV.3.2.6. CONCLUSION :

L'étude de l'ensemble des résultats concernant les propriétés physiques, mécaniques et durabilité des tuiles polymères de couverture et des carreaux polymères, nous a permis de de sortir avec les résultats suivants :

- La proportion Pro 01 (30% de $PEHD_R$ avec 70% de SD) a été éliminée à cause qu'il n'a pas la quantité suffisante de plastique nécessaire pour coller et obtenir un carreau ou bien une tuile complète.
- La proportion Pro 06 (80% de $PEHD_R$ avec 20% SD) a été éliminée en raison qu'elle déformé.
- Les proportions Pro 02 (40%), Pro 03 (50%), Pro 04 (60%) des tuiles polymères présentent une bonne légèreté et imperméabilité mais une faible résistance à la charge de rupture par rapport à Pro 00 (0%) témoin.
- La tuile polymère [Pro 05 (70%)] contenant 70% $HDPE_R$ avec 30% de sable de dune présente une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux dans le toit et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit.
- Toutes les proportions des carreaux polymères fabriqués à partir de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) et de sable de dune (SD) présentent une bonne légèreté et absorption d'eau, une très bonne résistance à l'abrasion et à l'attaque chimique mais une résistance à la flexion moins performante que la norme.
- Le remplacement total de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des tuiles polymères n'améliore que la résistance à la charge de rupture.
- Les deux proportions des tuiles polymères fabriqués à partir de polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) et de sable de dune (SD) [Pro 04 (60%) et Pro 05 (70%)] présentent une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux dans le toit et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit.

- le remplacement total de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des carreaux polymères n'affecte pas l'absorption d'eau ni la classe des carreaux.
- le remplacement total de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des carreaux polymères améliore la résistance à la flexion mais les valeurs restent toujours ce dessous des valeurs indiquent dans la norme en vigueur.
- Le remplacement total de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des carreaux polymères améliore aussi la résistance à l'abrasion sachant que les carreaux polymères à base de $PEHD_R$ répondent à l'exigence de la norme en vigueur.
- Le remplacement total de polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) par le polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) grade 5502 dans la fabrication des carreaux polymères n'influe pas sur les caractéristiques chimiques des carreaux polymères

Figure 4.25: Carreau polymère fabriqué à partir du Polyéthylène haut densité recyclé, sable de dune et pigment

Chapitre : V Conclusion générale et Recommandations

V. Conclusion générale :

La présente étude était motivée par la nécessité de trouver des solutions permettant de réutiliser les déchets plastiques ; plus spécifiquement le polyéthylène haute densité recyclé (PEHDR), au lieu de les déposer dans les décharges (centres d'enfouissement) ou de les bruler dans les incinérateurs. Le but de ce travail était d'étudier les propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des carreaux polymères composites et tuiles polymères composites de couverture à base du Polyéthylène haute densité recyclé (PEHDR) et du sable de dune (SD). Les principales conclusions de ce travail expérimental sont les suivantes :

o Matériau composite à base du (PEHDR) et (SD) :

- Tuiles polymères de couverture :

- La Masse volumique de tuile polymère à base du PEHDR recyclé diminue avec l'augmentation de la quantité du PEHDR. Alors que la charge de rupture augmente avec l'augmentation de la quantité du PEHDR incorporé dans le mélange.
- Les valeurs de la charge de rupture des tuiles polymères à base du PEHDR sont inferieur à l'exception la mixture Pro05 : (70%) converge vers la norme. On peut dire que les exigences de résistance minimales de cette procédure d'essai garantissent que les tuiles ont une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit aux fins d'accès à l'entretien est de 600N pour les tuiles plates. Cette exigence est acceptable uniquement pour le mélange de tuile polymère de 'Pro05'.
- Les résultats de l'essai d'imperméabilité montrent que la valeur moyenne de coefficient d'imperméabilité des éprouvettes est inférieure à la valeur de la norme ainsi que la valeur du témoin (tuile en terre cuite plate), ce que prouve que notre tuile polymères de couverture est imperméable.
- La tuile polymère contenant 70% du (PEHDR) avec 30% de (SD) sable de dune présente une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux dans le toit et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons sur le toit.

- Carreau polymères composite non émaillé :

- Le taux d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la quantité de polyéthylène haut densité recyclé (PEHDR).

- Tous les mélanges présentent un faible taux d'absorption d'eau si l'ont les comparons avec le carreau témoin (granito).
- Toutes les valeurs des taux d'absorption d'eau sont classées dans le groupe de BIbl à où : 0,5 <E ≤ 3%. Cependant, l'échantillon de contrôle appartient au groupe BIIa là où 3 <E ≤ 6%. Les carreaux polymères ont donc une faible absorption d'eau.
- Le volume de la matière enlevée diminue avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_R$ recyclé. Cela signifie que la résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du polyéthylène haut densité recyclé ($PEHD_R$) augmente avec l'augmentation de la quantité du ($PEHD_R$) incorpore dans les mixtures
- La résistance à l'abrasion de tous les carreaux polymères est supérieure à celles du carreau témoin et de la norme.
- Les résultats de tous les mélanges du carreau polymère non émaillé à base du $PEHD_R$ présentent une bonne résistance à l'attaque chimique.
- On peut dire qu'il est possible de fabriquer des carreaux à partir de polyéthylène haute densité recyclé ($PEHD_R$) et de sable de dune (SD). Les carreaux polymères non émaillées à base du ($PEHD_R$) recyclé présentent une bonne légèreté et absorption d'eau. Les carreaux polymères présentent des valeurs de la résistance à la flexion moins performante que la norme, mais nous pouvons les utiliser parce qu'ils sont ductiles et ne nécessitent pas une grande résistance lors de l'installation. Une très bonne résistance à l'abrasion et à l'attaque chimique donne une place importante dans le monde du revêtement de sol.

o Matériau composite à base du ($PEHD_N$) et (SD) :

- Tuiles polymères de couverture :

- La Masse volumique des tuiles polymères de couverture à base de ($PEHD_R$) est approximativement la même densité des tuiles polymères de couverture à base de ($PEHD_N$). Donc on peut dire que le remplacement du $PEHD_R$ par $PEHD_N$ n'influe pas sur la masse volumique des tuiles polymères de couverture.
- Les résultats montrent que la charge de rupture augmente avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_N$ incorporé dans le mélange.
- La charge de rupture de deux mélanges : Pro 4 (60% du $PEHD_N$) et Pro 5 (70% du $PEHD_N$) sont supérieurs à celles de tuile témoin.
- Les valeurs de la charge de rupture des tuiles polymères fabriquées à partir de polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) sont supérieures (plus performantes) que les valeurs de la charge de rupture des tuiles polymères fabriquées à partir de polyéthylène haut densité

recyclé ($PEHD_R$). Ainsi que tous les mélanges des tuiles polymères à base du ($PEHD_N$) répondent aux exigences de la norme. On peut dire que le remplacement du $PEHD_N$ par $PEHD_R$ dans la fabrication des tuiles polymères de couverture présente une amélioration significative dans la résistance à la charge de rupture.

- L'idée de remplacer le $PEHD_R$ par $PEHD_N$ dans la fabrication des tuiles polymères de couverture améliore la résistance à la charge de rupture de 122.9% ce qui donne au toit une résistance plus pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation occasionnelle des piétons.

- Carreau polymères composite non émaillé :

- Toutes les valeurs des taux d'absorption d'eau des carreaux polymères composite non émaillé (fabriqué à partir de $PEHD_N$ ou $PEHD_R$) sont classées dans le même groupe de BIbl à où : $0,5 < E \leq 3\%$. On peut dire que le remplacement du $PEHD_N$ ou $PEHD_R$ dans fabrication des carreaux polymères n'influe pas sur l'absorption d'eau ni la classe des carreaux.
- La résistance à la flexion des carreaux polymères augmente avec l'augmentation de la quantité du $PEHD_N$ incorpore dans les mixtures
- Les valeurs de la résistance à la flexion des carreaux polymères à base du $PEHD_R$ sont inferieur (plus performants) à celles des carreaux polymères à base du $PEHD_N$.
- Les valeurs de la résistance à la flexion de tous les mélanges de carreaux polymères composites (fabriqué à partir de $PEHD_N$ ou $PEHD_R$) restent toujours inferieur aux exigences de la norme. Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure que le matériau ne répond pas à l'exigence de la norme à cause de sa flexibilité qui nous a permis de ne pas casser le carreau durant la pose. Donc le remplacement du $PEHD_R$ par $PEHD_N$ dans la fabrication des carreaux polymères augmente la résistance à la flexion de 106.73%, mais les valeurs restent toujours au-dessous des valeurs indiquées dans la norme en vigueur
- La résistance à l'abrasion des carreaux polymères à base du polyéthylène haut densité noble ($PEHD_N$) augmente avec l'augmentation de la quantité de ($PEHD_N$) incorpore dans les mixtures.
- La résistance à l'abrasion de tous les carreaux polymères est supérieur à celles du carreau témoin et de la norme (10545-6, 2010). Les deux mélanges :pro 5 (70% du $PEHD_N$) et la Pro 04 (60% du $PEHD_N$) donnent une excellente résistance à l'abrasion par rapport à d'autres carreaux en polymère, y compris le carreau témoin

- Le remplacement de $PEHD_N$ par $PEHD_R$ dans la fabrication des carreaux polymères donne plus de résistance à l'abrasion sachant que les carreaux polymères à base de $PEHD_R$ répondent à l'exigence de la norme en vigueur.
- Les résultats de tous les mélanges des carreaux polymères non émaillée à base du polyéthylène haut densité noble grade 5502 ($PEHD_N$) montrent une bonne résistance à l'attaque chimique.
- Les carreaux polymères fabriqués à partir de $PEHD_R$ ou de $PEHD_N$ résistent aux attaques chimiques, donc le remplacement total n'influe pas sur les caractéristiques chimiques des carreaux polymères.
- L'idée de fabrication des matériaux composite à partir de $PEHD_R$ et de sable peut être considérée comme la méthode la plus efficace pour la fabrication des matériaux dans les régions pauvres en matière de ressources financières et de sauvegarder le milieu naturel de la pollution.
- Le remplacement n'a pas vraiment amélioré les performances techniques, ce qui nous encourage à dire que la valorisation de ces déchets du polyéthylène haut densité dans la production des tuiles et carreaux été bénéfique, avec ce qui nous permet de réaliser des solutions économiques

Recommandations et perspectives

Dans une perspective de développement local durable, la présente étude a l'avantage de contribuer à la promotion des matériaux locaux de construction et à inciter la création des Petite entreprise dans la filière de la construction. Elle constitue donc un apport scientifique important dans la préservation de l'environnement.

Etudier le matériau composite à l'échelle microscopique pour bien comprendre le comportement du composite

Etudier le remplacement partiel du PEHDR par le PEHDN dans la perspective d'améliorer les caractéristiques du carreau et d'une tuile polymère. Toute en maintien les 30% du sable de dune (SD).

Utiliser le matériau composite comme pavé, bordure et caniveau.

Développer le modèle qui correspond à cet alliage.

Simuler à l'aide d'un logiciel de simulation le mélange.

Références bibliographiques :

A

1. Albano C, Camacho N, Hernandez M, Matheus A, Gutierrez A. Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. Waste management. 2009;29(10):2707-16.

2. Alqahtani, Fahad K, Gurmel Ghataora, M Iqbal Khan, and Samir Dirar. 2017. "Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate." Review of. Construction and Building Materials 148:386-97.

3. Al-Harthy AS, Abdel Halim M, Taha R, Al-Jabri KS The properties of concrete made with the fine dune snad. 2007, Construction and Building Materials, pp. 21: 1803-8.

4. American, chemical society. Discovery of polypropylene and the development of a new high-density polyethylene. Oklahoma, 1999.

5. Akcaozoglu S, Atis CD, Akcaozoglu K. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. Waste management. 2010;30(2):285 - 90.

6. actu-environnemet, L'incinération des ordures ménagères, 2006 disponile sur : https://www.actu-environnement.com/ae/news/1588.php4 consulte le 15/08/2018.

7. AMEY, Kossi Bollanigni, NEGLO, Kouma, SAMAH, Ouro-Djobo, et al. Étude expérimentale de la formulation de mortier a base de sable silteux du Togo et de liant de sachets plastiques type «voltic». Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie, 2014, vol. 10, no 3.

B

8. Batayneh M, Marie I, Asi I. Use of selected waste materials in concrete mixes. Waste management. 2007;27(12):1870-6.

9. Berthe C. Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat.Limoges, 196 pages. 2006.

10. Bertrand, BÉGHIN. Polystyrène expansé. Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites. 1995.

11. BÉGHIN, Bertrand. Polystyrène expansé. Bertrand BÉGHIN, Polystyrène expansé, Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites. 1990.

C

12. Crowe M., Nolan K., Collins C., Carty G. et Donlon B. Biodegradable Municipal. Waste Management in Europe, Part 1, Strategies and Instruments, European Environment Agency,. Copenhagen, : s.n.

13. Charnay, F. Compostage des dechets urbains dans les PED : Elaboration d'une, démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat N°56. Université de Limoges : s.n.

14. Choi Y-W, Moon D-J, Chung J-S, Cho S-K. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. Cement and Concrete Research. 2005;35(4):776-81.

15. Choi YW, Moon DJ, Kim YJ, Lachemi M. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. Construction and Building Materials. 2009;23(8):2829-35.

16. Chaudhary M, Srivastava V, Agarwal V. Effect of waste low density polyethylene on mechanical properties of concrete. Journal of Academia and Industrial Research (JAIR) Volume. 2014;3:123-6.

17. Coppola B, Courard L, Michel F, Incarnato L, Di Maio L. Investigation on the use of foamed plastic waste as natural aggregates replacement in lightweight mortar. Composites Part B: Engineering. 2016;99:75-83.

18. Ceratec. La fabrication de la céramique selon Ceratec. 2010 siponible sur : https://www.youtube.com/wsatch?v=sabK6h7VBlI&t=36s. consulter le (04/08/2018).

19. Chouaib BOUGRINAT. Procédés de fabrication des carreaux céramiques.universite Kasdi Merbeh ouargla. Faculté Des Sciences appliquées 2014.

D

20. Da Silva AM, de Brito J, Veiga R. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. Construction and Building Materials. 2014;71:226-36.

21. Derbigum. Etanchéité. L'histoire des Toits et Toitures. 2016. Disponible sur : https://derbigum.be/blog/fr/lhistoire-des-toits-et-toitures-ou-comment-tout-a-commence/. Consulter le 17/11/2017.

22. Daad M, Nadia S,. «Recycling of plastic waste factories in the work of types of wall and roofing insulation for heat and heat.» (Journal of Engineering and Development) 2010.

23. Duval Claude. «Polypropylènes (PP).» traité plastiques et composites, 1991.

24. Dietmann, Déchets ménagers, le jardin des impostures le harmattan, 155p. 2008.

25. D1238, ASTM. Standard Test Method fo rMelt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion. ASTM International. 2013.

26. D1505, ASTM. Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique. ASTM International. Janvier 2010.

27. D882, ASTM. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM International. 2012.

28. D256, ASTM. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. ASTM International. 2010.

29. D2240, ASTM. Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. ASTM International. 2015.

E

30. Easylockware, Tout ce que vous devez savoir sur le plastique de polypropylène (pp) 2017 disponible sur : http://fr.easylockware.com consulter le (13/06/2018)

31. esoglu M, Güneyisi E, Hansu O, Etli S, Alhassan M. «Mechanical and fracture characteristics of self-compacting concretes containing different percentage of plastic waste powder. Construction and Building Materials. 140:562-9.» 2017.

32. EN 14411, ceramic tiles.Definition, classification, characteristics and marking. 2006.

33. Edilians. Produit de votre rigion. réalisation d'un gironnage. 2009, Disponible sur : https://edilians.com/pose-gironnage-toiture. Consulte le 04/11/2018

F

34. Füzesséry, Sándor. Polyéthylène téréphtalates (PET). Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et Composites 1992.

35. Füzesséry, Sandor. Polyéthylènes basse densité, Techniques de l'ingénieur traité Plastiques et Composites. 1980.

36. Ferreira L, de Brito J, Saikia N. Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate. Construction and Building Materials. 2012;36:196-204.

37. FRIGIONE, Mariaenrica. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. Waste management, 2010, vol. 30, no 6, p. 1101-1106.

38. Futura-sciences, incéneration des déchets :avantage et invonvénients .2009. disponible sur :https://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/sante-incineration-dechets-avantages-inconvenients-6355/. Consulte le 13/08/2018)

39. Foudrinier, Eude numérique et expérimentale du procédé d'extrusion de pâtes argileuses, Ecole des Mines de Paris, Thèse de doctorat, 2009

G

40. Gesoglu, Mehmet, Erhan Güneyisi, Osman Hansu, Serkan Etli, and Mahammed Alhassan. "Mechanical and fracture characteristics of self-compacting concretes containing different percentage of plastic waste powder." Review of. Construction and Building Materials 140:562-9. 2017

41. Guettala S, Mezghiche B. Compressive strength and hydration with age of cement pastes containing dune sand powder. Construction and Building Materials, , pp. 25:1263-9. 2011.

42. Gbedo V. Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou Approche pour une maitrise des aspects technique et socio-économique, Thèse de doctorat Université d'Abomey-Calavi, 237 pages. . 2010.

43. G. Bernache-Perez, S. Sanchez-Colon, A.M. Garmendia, and M.E Sanchez- Salazar,. "Solid waste characterisation study in the Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico" , Waste Management & Research, Vol. 19, No. 5, pp. 413-424. 2001.

44. Gachet C. Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au Centre de Stockage, de Déchets Ultimes du SYDOM du Jura sous l'effet de la recirculation des lixiviats. thèse, Institut National des Recherches Appliquées de Lyon. Vol. 271 pages. 2005.

H

45. Hafid N., El Hadek M., Lguirati A. et Bouamrane A Evaluation d'une filière Simplifiée de compostage des ordures ménagères, Revue Francophone d'écologie, Industrielle-, 2002.

46. Hefa C., Yanguo Z., Aihong M. and Qinghai L. Municipal Solid Waste Fueled, Power Generation in China: A Case Study of Waste-to-Energy in Changchun City Environ.Sci. Technol 41, pp.7509-7515. 2007.

47. Hannawi K, Kamali-Bernard S, Prince W. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. Waste management. 2010;30(11):2312-20.

48. Herki A, Khatib J, Negim E. Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash. World Applied Sciences Journal. 2013;21(9):1356-60.

49. Hervé Guerry, ecologie et innovation, Environnement & enterprise 2017 disponible sur : https://environnement-entreprise.com (consulté le 04/05/2018)

I

50. lqahtani FK, Ghataora G, Khan MI, Dirar S. «Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate. Construction and Building Materials. 148:386-97.» 2017.

51. Ismail ZZ, Al-Hashmi EA. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. Waste management. 2008;28(11):2041-7.

52. ISO 10545-4, ceramic tiels- part 4, determination of modulus of rupture and breaking strength. 2004.

53. ISO 10545-7,Ceramic tiles -- Part 7: Determination of resistance to surface abrasion for glazed tiles.1996.

54. ISO 10545-9,Ceramic tiles -- Part 9: Determination of resistance to thermal shock. 2013.

55. ISO 10545-12, Ceramic tiles -- Part 12: Determination of frost resistance. 1995

56. ISO 10545-14, Ceramic tiles -- Part 14: Determination of resistance to stains. 2015

57. ISO 10545-3,. Ceramic tiles -- Part 3: Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density. 1995.

58. ISO 10545-13,. Ceramic tiles -- Part 13: Determination of chemical resistance. 1995.

59. ISO 10545-6, Ceramic tiles -- Part 6: Determination of resistance to deep abrasion for unglazed tiles. 2010.

J

60. Josk Aguado, David P. Serrano. Feedstock Recycling of Plastic Wastes. 1999.

61. Jérémie VIGNES. Modélisation de l'étape de façonnage des tuiles en terre cuite. Universite de toulouse, Thèse de doctorat .2014.

K

62. KORNMANN, Michel. Matériaux de construction en terre cuite: fabrication et propriétés. lasim, 2005.

63. KAN, Abdulkadir et DEMIRBOĞA, Ramazan. «A novel material for lightweight concrete production., . Cement and Concrete Composites, vol. 31, no 7, p. 489-495. 2009.

64. Kou SC, Lee G, Poon CS, Lai WL. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. Waste management. 2009;29(2):621-8.

65. Kumar K, Prakash P. Use of waste plastic in cement concrete pavement. Adv Mater Res J. 2006;15:1-21.

66. Konin A. Use of plastic wastes as a binding material in the manufacture of tiles: case of wastes with a basis of polypropylene. Materials and Structures. 2011;44(8):1381 -7.

L

67. Lamaber. Tuiles & briques.Les Processus de fabrication des matériaux Terre Cuite 2013.disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=7VgBrO2Bk5k. consulter le 19/11/2017.

68. Lizinne. La maitere plastique. Le recyclage.2009. disponible sur : http://lizinne.e-monsite.com/pages/le-recyclage.html. Consulter le 13/09/2017.

M

69. Michel folliet, « Le ciment entre responsabilité écologique et impératifs économiques. La revue de PROPARCO N°10 » 2011.

70. Maghrébine. Des produites céramiques. Equipements et procédés de fabrication. 2015. Disponible sur : http://www.smpctn.com/Fr/l-extraction-de-l-argile_47_53. Consuter le 22/11/2017.

71. MAROTEL. Polyuréthannes. Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et composites. 2000.

72. Manjunath BTA. Partial Replacement of E-plastic Waste as Coarse-Aggregate in Concrete. Procedia Environmental Sciences.;35:731-9. 2016.

73. Mobiscience, Familles de plastiques , 2014.disponible sur :http://mobiscience.briand.free.fr sonsulte le 04/05/2018.

74. Mccharpente. Travaux de couverture .2010. https://www.mccharpente.fr. Consulter le 26/09/2017.

75. Marzouk OY, Dheilly RM, Queneudec M. Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. Waste management.;27(2):310-8. 2007.

76. Michel, « ’recyclage des dechets plastique’’. projet de gection gotieres (ProGeCo/ReCoMap). India .2009

N

77. Naik TR, Singh SS, Huber CO, Brodersen BS. Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. Cement and concrete research.;26(10):1489-92. 1996.

78. Nibudey R, Nagarnaik P, Parbat D, Pande A. Strengths prediction of plastic fiber reinforced concrete (M30). International journal of engineering research and applications.;3(1):1818-25. 2013.

79. Nawal I, L'enfouissement montré ses limites, press le soir d’algerie 2019 disponible sur : https://lesoirdalgerie.com/actualites/lenfouissement-montre-ses-limites-26007. Consulte le (15/07/2019).

80. NF P 18-560. Analyse granulométrique . septembre 1990

81. NF P 18-598. Equivalent de sable. octobre 1991.

82. NF P 18-555. Mesure des masses volumiques, coefficient d’absorption et teneur en eau des sables . décembre 1990.

83. NF EN 539-1 ,Détermination des caractéristiques physiques - Partie 1 : essai d'imperméabilité

84. NF EN 538, Détermination de la résistance à la rupture par flexion

P

85. POYET, Jean. Polychlorure de vinylidène. Techniques de l’Ingénieur, traité Plastiques et Composites. 2002.

R

86. Reynald, Dossogne. Polyéthylène haute densité PEHD. Techniques de l’Ingénieur, traité Plastiques et Composites. 1995.

87. Rahman MM, Islam MA, Ahmed M, Salam MA. Recycled polymer materials as aggregates for concrete and blocks. Journal of Chemical Engineering. 2013;27(1):53-7.

88. Raju JS, Pandian MS. Mechanical Study on Concrete with Waste Plastic. International Journal of Research in Civil Engineering, Architecture & Design (IJRCAD). 2013;1:62-7.

S

89. Subramanian Muralisrinivasan Natamai. Plastics Waste Management:Processing and Disposal. 978-1-91024-296-4. United Kingdom: Smithers Rapra Technology, 2016.

90. SAIKIA, Nabajyoti et DE BRITO, Jorge. «Use of industrial waste and municipality solid waste as aggregate, filler or fiber in cement mortar and concrete. Advances in Material Science Research. Nova Science Publishers, vol. 3, p. 65-116.» 2010.

91. Shrinkage properties of compacted sand concrete used in pavements. El Euch Khay S, Neji J, Loulizi A. 2010, Construction and Building Materials, pp. 24:1790-5.

T

92. Thonart P., Sory D.,. Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites, d'enfouissements techniques dans les pays du sud. s.l. : Collection points de repère, OIF,, 2005. Vol. 121 pages.

93. Tang WC, Lo Y, Nadeem A. Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete. Cement and Concrete Composites. 2008;30(5):403-9.

V

94. Van Laecke, W. Revêtements de sol intérieurs en carreaux céramiques. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, 2009.

Y

95. Yesilata, Bulent, Yusuf Isıker, and Paki Turgut. «"Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces." Construction and Building Materials 23.5 : 1878-1882.» 2009.

Annexe

Tableau 1 : Récapitule les caractéristiques et l'usage de chaque catégorie du plastique

THERMOPLASTIQUES		
Nom, abréviation	Caractéristiques	usage
Polyéthylène (PE)	Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles: -le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé. -le PEHD (polyéthylène haute densité)	Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampoing, crèmes …)* PEHD : objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques**
polypropylène (PP)	Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau. aspect brillant et résistant à la température (160°C). Difficile à recycler surtout s'il est imprimé	Pièces moulées d'équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, …), mobilier de jardin, Film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lave-vaisselle. Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles
polystyrène (PS)	Dur et cassant. Trois types: -polystyrène "cristal" transparent -polystyrène "choc" (HIPS) ; acrylonitrile butadiène styrène ABS) -polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible	Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt, … -"cristal": nombreux types de boîtes, boîtiers CD… -ABS : produits rigides, légers et moulés (bacs à douche…) -PSE : emballage « anti chocs », isolant thermique
polycarbonate (PC)	Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets.	casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle , phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique…
polyéthylène téréphtalate (PET)	mou à moyenne température.	fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.

Poly-acétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire … PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces…
polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, … Textiles (lingerie et voilages)...
poly-méthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à -100°C !)	Nom commercial Plexiglas, Lucite, Altuglas, … Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau… feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses…
THERMODURCISSABLES		
polyuréthanes (PUR)	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (Licra) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski…
Polyesters insaturés	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,… Textiles (Dacron, Tergal, Térylène…)
phénoplastes (PF)	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes. Transformable par moulage et par compression.	domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.

	Souvent colorés en brun foncé	
aminoplastes (MF)	deux types principaux : urée-formaldéhyde (UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le formica. Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables. Peuvent être produits en teintes claires	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs, prises de courant…), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.
ÉLASTOMÈRES		
caoutchoucs	-caoutchouc naturel, cis-1,4-polyisoprène (NR) ; -copolymère styrène-butadiène (SBR) ; -polybutadiène (BR) ; -poly-isoprène synthétique (IR)	Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone. Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellent résistance au déchirement.
Elastomères spéciaux	-co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM) -copolymères d'iso-butylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR) -copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR) -polychloroprènes (CR)	Température maximum d'utilisation : 150 °C. Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants ; à l'oxydation (O2 et O3), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement…Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz. Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation)
élastomères très spéciaux	-caoutchoucs de silicone (VMQ, FVMQ) -élastomères fluorés (FKM) -polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM) -polyacrylates (ACM) -copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM) -éthylène acrylate de méthyle (AEM) -caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR)	Très variables en fonction des matériaux : -hautes performances chimiques : résistance aux carburants, à l'ozone, aux huiles, imperméabilité aux gaz et aux produits chimiques agressifs -température de service continu allant de −80°C à 250 °C -Résistance au vieillissement, stabilité de couleur -Propriétés adhésives (colles thermo-fusibles)

	-épichlorhydrines (CO, ECO, GECO) -polyuréthanes malaxables (AU, EU)	
THERMOPLASTIQUES		
Nom, abréviation	Caractéristiques	usage
Polyéthylène(PE)	Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles: -le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé. -le PEHD (polyéthylène haute densité)	Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampoing, crèmes …)* PEHD : objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques**
polypropylène (PP)	Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau. aspect brillant et résistant à la température (160°C). Difficile à recycler surtout s'il est imprimé.	Pièces moulées d'équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, …), mobilier de jardin, Film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lave-vaisselle. Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles
polystyrène (PS)	Dur et cassant. Trois types: -polystyrène "cristal" transparent -polystyrène "choc" (HIPS) ; acrylonitrile butadiène styrène ABS) -polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible	Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt, … -"cristal": nombreux types de boîtes, boîtiers CD… -ABS : produits rigides, légers et moulés (bacs à douche…) -PSE : emballage « anti chocs », isolant thermique
polycarbonate (PC)	Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets.	casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle , phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique…
polyéthylène téréphtalate (PET)	mou à moyenne température.	fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.

poly acétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire … PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces…
polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, … Textiles (lingerie et voilages)...
poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à -100°C !)	Nom commercial Plexiglas, Lucite, Altuglas, … Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau… feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses…
THERMODURCISSABLES		
polyuréthanes (PUR)	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (Licra) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski…
Polyester insaturés	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,… Textiles (Dacron, Tergal, Térylène…)
	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes.	domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à

phénoplastes (PF)	Transformable par moulage et par compression. Souvent colorés en brun foncé	repasser et des plaques de revêtement.
aminoplastes (MF)	deux types principaux : urée-formaldéhyde (UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le formica. Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables. Peuvent être produits en teintes claires	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs, prises de courant…), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.
ÉLASTOMÈRES		
caoutchoucs	-caoutchouc naturel, cis-1,4-polyisoprène (NR) ; -copolymère styrène-butadiène (SBR) ; -polybutadiène (BR) ; -poly-isoprène synthétique (IR)	Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone. Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellent résistance au déchirement.
Elastomères spéciaux	-Co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM) -copolymères d'iso-butylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR) -copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR) -polychloroprènes (CR)	Température maximum d'utilisation : 150 °C. Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants ; à l'oxydation (O2 et O3), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement…Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz. Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation)
	-caoutchoucs de silicone (VMQ, FVMQ) -élastomères fluorés (FKM) -polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM) -polyacrylates (ACM) -copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM) -éthylène acrylate de méthyle (AEM)	Très variables en fonction des matériaux : -hautes performances chimiques : résistance aux carburants, à l'ozone, aux huiles, imperméabilité aux gaz et aux produits chimiques agressifs -température de service continu allant de −80°C à 250 °C -Résistance au vieillissement, stabilité de couleur -Propriétés adhésives (colles thermo-fusibles)

élastomères très spéciaux	-caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR) -épichlorhydrines (CO, ECO, GECO) -polyuréthanes malaxables (AU, EU)	

Tableau 2 : Résumé sur l'utilisation des agrégats en plastique dans le béton/mortier

authors	Types of composite	Types of plastic	Amount of substitute in composite	Test applied				
				Density	Compressive strength	Flexural strength	Tensile strength	modulus of elasticity
(Manjunath 2016)	concrete	E plastic waste/ shredded in maximum 20mm size	coarse aggregate 10, 20, 30% by the weight	-	-	-	-	X
(da Silva, de Brito et al. 2014)	mortar	2 type of Pet: PP&PF in to 1-4 mm/	Fine aggregate 5%, 10% and 15%. by volume	-	-	-	X	X
(Chaudhary, Srivastava et al. 2014)	concrete	LDPE	0%, 0.4%, 0.6%, 0.8% and 1% by weight)	X	+	+	X	X
(Herki, Khatib et al. 2013)	Lightweight Concrete	SPS/Stabilized Polystyrene	Fine aggregate 60 & 100% by volume	-	-	X	X	X

(Nibudey, Nagarnaik et al. 2013)	concrete	PET/ fiber	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3%	Slightly light weight.	1% increase	X	1% increase	X
(Raju and Pandian 2013)	concrete	waste plastic less than 3.36mm	Fine aggregate 5, 10, 15, & 20%	X	+	X	+	X
(Rahman, Islam et al. 2013)	Concrete & bloc of maçonnerie	PUF (size were 4.0-8.5 mm)et HDPE (4-12 mm)	Fine aggregate	-	-	X	X	X
(Ferreira, de Brito et al. 2012)	concrete	3 type of PET/ shredded: Pc, Pf,Pp	Coarse aggregate Pf, Pp. Fine aggregate: Pc 7.5, 15% by volume	X	-	X	-	-
(Akcaozoglu, Atis et al. 2010)	lightweight concrete	PET/ shredded Average sizes were 0 and 4 mm	Pet only PET–binder with mixture M1, M2, M3 et M4.	X	-	-	-	X
(Kou, Lee et al. 2009)	lightweight concretes	PVC/ grinding < 5mm	Fine aggregate 5, 15,30 & 45% by volume	-	-	X	-	X
(Albano, Camacho et al. 2009)	concrete	PET/ Average sizes were 0.26 and 1.14 cm	10, 20% by volume	X	-	-	-	-
(Tang, Lo et al. 2008)	lightweight concrete	PS/ granules	Coarse aggregate 20, 40, 60 & 80%	-	-	X	-	X

(Ismail and Al-Hashmi 2008)	concrete	consists of 80% polyethylene & 20% polystyrene: varying length of 0.15–12mm and width of 0.15–4mm	Fine aggregate 10, 15, & 20% by the weight	-	-	-	-	-
(Batayneh, Marie et al. 2007)	concrete	Waste plastic	Fine aggregate 5, 10, 15, & 20%	X	-	-	-	X
(Choi, Moon et al. 2005)	concrete	pet / cutting to the rang of 5-15 mm	Fine aggregate 25, 50, 75% by volume	-	-	X	-	X
(Kumar and Prakash 2006)	concrete	HDPE/ fine Powder	Fine aggregate 2, 4 & 6% by volume	X	+	X	X	X
(Naik, Singh et al. 1996)	concrete	HDPE/shredded into small particles	0.5 and 5% to weight in mixture	X	-	-	X	-
(Hannawi, Kamali-Bernard et al. 2010)	Mortar	PET & PC/ The size entre 1.6mm & 10 mm	Fine aggregate 3%, 10%, 20% and 50% a	-	-	X	X	-
(Choi, Moon et al. 2009)	Mortar & concrete	PET/	Fine aggregate 25, 50, 75, & 100% by volume	-	-	X	-	X
(Marzouk, Dheilly et al.		3 type of PET with shredded different maximum size type	Fine aggregate 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 &100%					

2007)	mortar	A=0.5cm, type B= 0.2cm, type C= 0.1cm	by volume	-	-	X	-	-
(Konin 2011)	Elements singular (roof tile)	PP/	0, 20, 30, 40 and 50% in weigh	Porosity decrease	bonne résistance à l'abrasion	+	X	X
(Daad, et Nadia, 2010)	Eléments singulier (les panneaux muraux et plafonds)	vaste plastic	2 vol , 3 vol	-	+	X	X	X

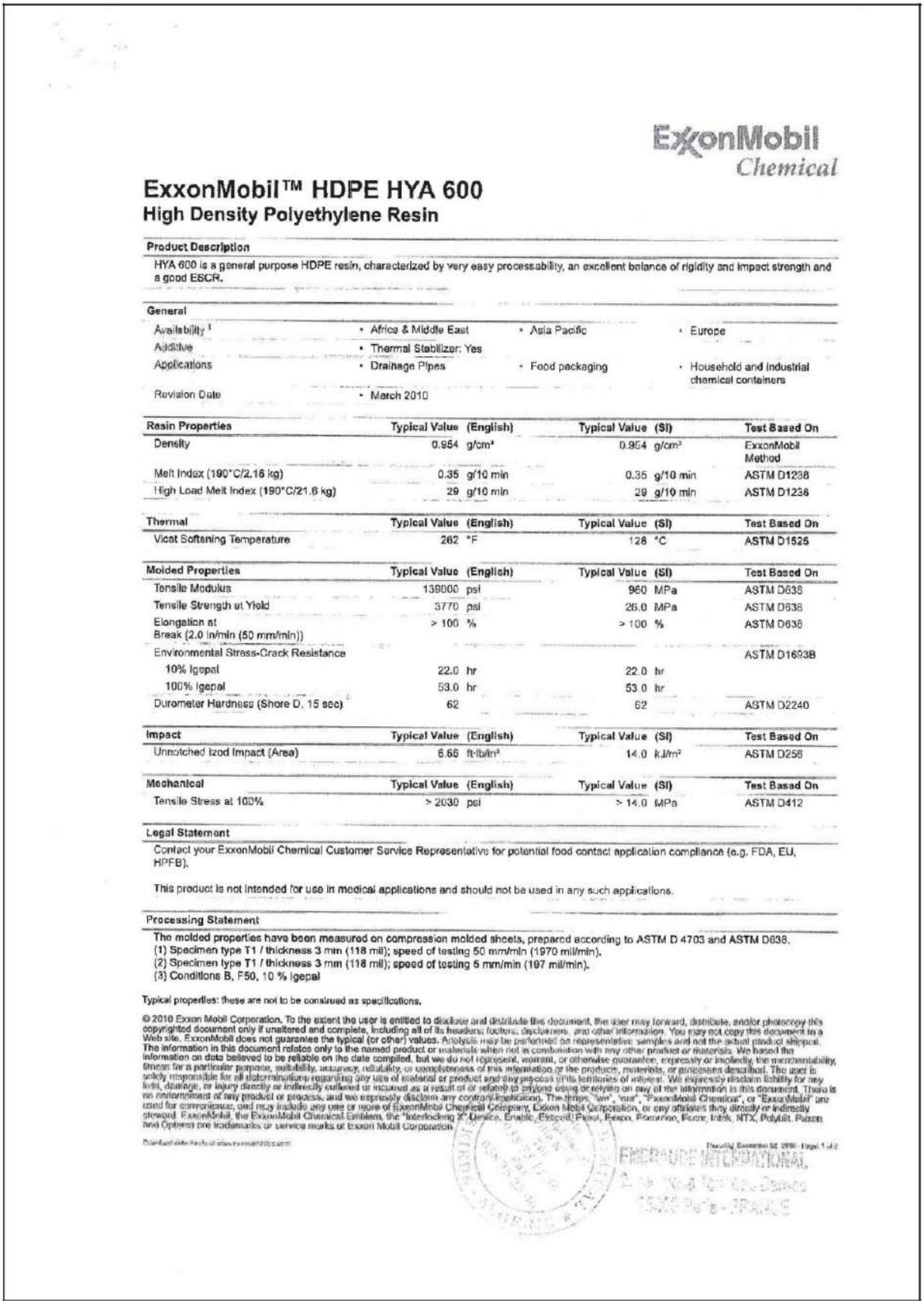
+: Increase. -: Decrease. X: Not mentioned

Tableau 3 : Récapitulatif sur les essais appliqués sur les tuiles polymères

Caractéristiques	Composition	Carreau en $PEHD_R$	Carreau en $PEHD_N$	Exigence de la norme
Absorption d'eau Iso 10545-3 Unité : (%)	Pro0 : (0%)	4.3	4.3	Groupe BIIa
	Pro02 : (40%)	1.57	1.81	Groupe BIbl
	Pro03 : (50%)	1.39	1.630	Groupe BIbl
	Pro04 : (60%)	1.24	0.806	Groupe BIbl
	Pro05 : (70%)	1.11	0.763	Groupe BIbl
Masse volumique Iso 10545-3 (g/cm3)	Pro0 : (0%)	-	-	-
	Pro02 : (40%)	1.873	1.839	-
	Pro03 : (50%)	1.703	1.701	-
	Pro04 : (60%)	1.540	1.575	-
	Pro05 : (70%)	1.379	1.425	-
Résistance à la flexion Iso 10545-4 Unité : (Mpa)	Pro0 : (0%)	8.6	8.6	22
	Pro02 : (40%)	5.53	10.79	30
	Pro03 : (50%)	8.17	15.15	30
	Pro04 : (60%)	8.8	19.07	30
	Pro05 : (70%)	10.58	24.27	30
Résistance à l'abrasion Iso 10545-6 Unité : (V en mm^3)	Pro0 : (0%)	Maximum 175	Maximum 175	375
	Pro02 : (40%)	165	139	175
	Pro03 : (50%)	139	109	175
	Pro04 : (60%)	102	83	175
	Pro05 : (70%)	Inférieur à 67	Inférieur à 67	175
Résistance chimique Iso 10545-13 Unité : Classe	Pro0 : (0%)	-	-	Effets visibles sur les côtés coupés (B)
	Pro02 : (40%)	Pas effet visible (A)	Pas effet visible (A)	Effets visibles sur les côtés coupés (B)
	Pro03 : (50%)	Pas effet visible (A)	Pas effet visible (A)	Effets visibles sur les côtés coupés (B)
	Pro04 : (60%)	Pas effet visible (A)	Pas effet visible (A)	Effets visibles sur les côtés coupés (B)
	Pro05 : (70%)	Pas effet visible (A)	Pas effet visible (A)	Effets visibles sur les côtés coupés (B)

Tableau 4 : Récapitulatif sur les essais appliqués sur les carreaux polymères

Caractéristiques	Composition	Tuile en $PEHD_N$	Tuile en $PEHD_N$	Exigence de la norme
Masse volumique Iso 10545-3 Unité : (g/cm3)	Pro0 : (0%)	-	-	
	Pro02 : (40%)	1.873	1.839	-
	Pro03 : (50%)	1.703	1.701	-
	Pro04 : (60%)	1.540	1.575	-
	Pro05 : (70%)	1.379	1.425	-
Force de rupture En 538 Unité : (N)	Pro0 : (0%)	1200	1200	600
	Pro02 : (40%)	395.50	787.00	600
	Pro03 : (50%)	410.00	1038.67	600
	Pro04 : (60%)	454.00	1278.92	600
	Pro05 : (70%)	612.00	1327.67	600
Facteur d'imperméabilité En 539-1 Unité :(cm3/cm2/j)	Pro0 : (0%)	0.09	0.09	< 0.5
	Pro02 : (40%)	0.0543	0.0049	< 0.5
	Pro03 : (50%)	0.0049	0.0048	< 0.5
	Pro04 : (60%)	0.0049	0.0048	< 0.5
	Pro05 : (70%)	0.0049	0.0048	< 0.5



ExxonMobil Chemical

ExxonMobil™ HDPE HYA 600

High Density Polyethylene Resin

Product Description

HYA 600 is a general purpose HDPE resin, characterized by very easy processability, an excellent balance of rigidity and impact strength and a good ESCR.

General

Availability [1]	• Africa & Middle East	• Asia Pacific	• Europe
Additive	• Thermal Stabilizer: Yes		
Applications	• Drainage Pipes	• Food packaging	• Household and industrial chemical containers
Revision Date	• March 2010		

Resin Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Density	0.954 g/cm³	0.954 g/cm³	ExxonMobil Method
Melt Index (190°C/2.16 kg)	0.35 g/10 min	0.35 g/10 min	ASTM D1238
High Load Melt Index (190°C/21.6 kg)	29 g/10 min	29 g/10 min	ASTM D1238

Thermal	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Vicat Softening Temperature	262 °F	128 °C	ASTM D1525

Molded Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Modulus	139000 psi	960 MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Yield	3770 psi	26.0 MPa	ASTM D638
Elongation at Break (2.0 in/min (50 mm/min))	> 100 %	> 100 %	ASTM D638
Environmental Stress-Crack Resistance			ASTM D1693B
10% Igepal	22.0 hr	22.0 hr	
100% Igepal	53.0 hr	53.0 hr	
Durometer Hardness (Shore D, 15 sec)	62	62	ASTM D2240

Impact	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Unnotched Izod Impact (Area)	6.66 ft·lb/in²	14.0 kJ/m²	ASTM D256

Mechanical	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Stress at 100%	> 2030 psi	> 14.0 MPa	ASTM D412

Legal Statement

Contact your ExxonMobil Chemical Customer Service Representative for potential food contact application compliance (e.g. FDA, EU, HPFB).

This product is not intended for use in medical applications and should not be used in any such applications.

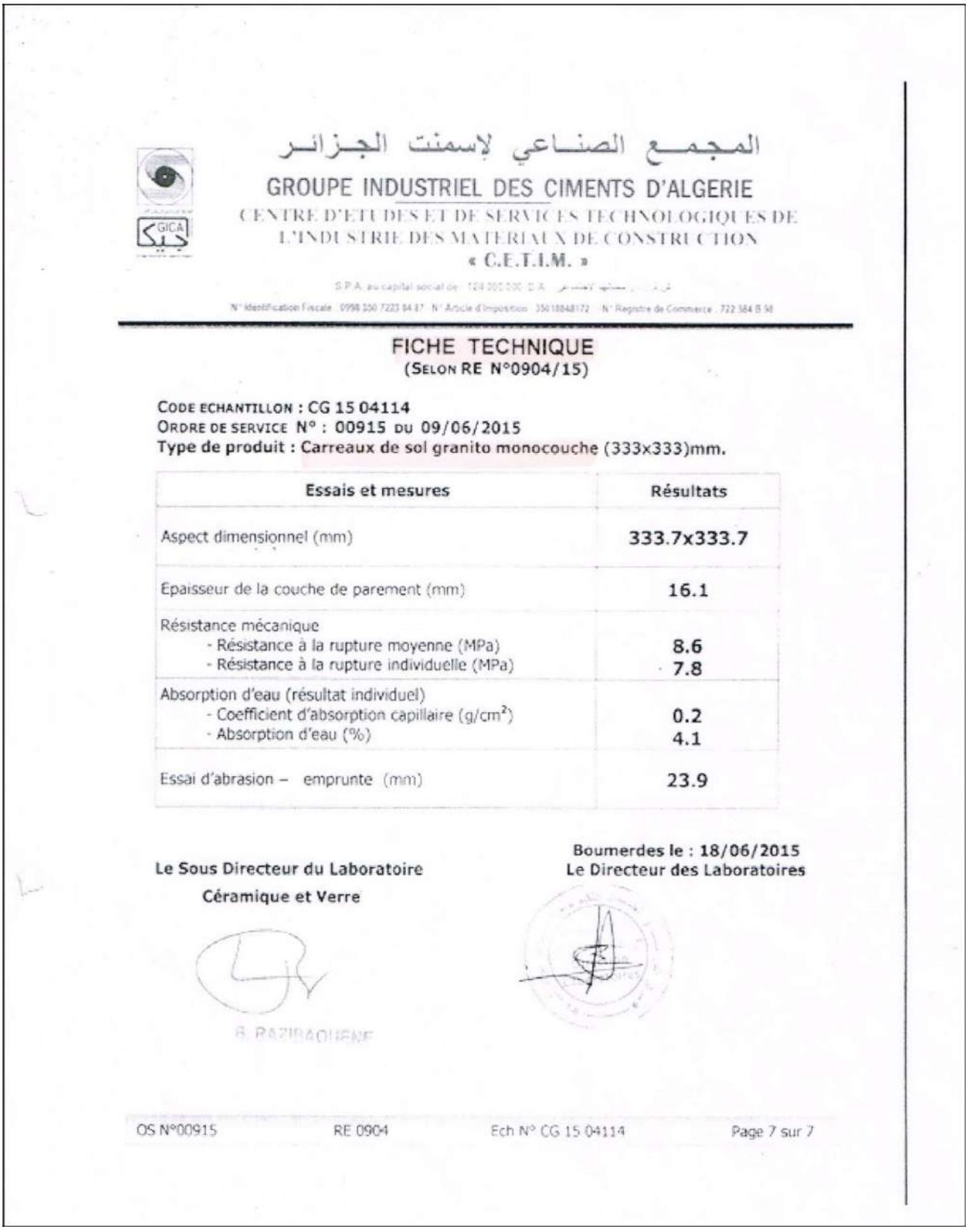
Processing Statement

The molded properties have been measured on compression molded sheets, prepared according to ASTM D 4703 and ASTM D638.
(1) Specimen type T1 / thickness 3 mm (118 mil); speed of testing 50 mm/min (1970 mil/min).
(2) Specimen type T1 / thickness 3 mm (118 mil); speed of testing 5 mm/min (197 mil/min).
(3) Conditions B, F50, 10 % Igepal

Typical properties: these are not to be construed as specifications.

© 2010 Exxon Mobil Corporation. To the extent the user is entitled to disclose and distribute this document, the user may forward, distribute, and/or photocopy this copyrighted document only if unaltered and complete, including all of its headers, footers, disclaimers, and other information. You may not copy this document to a Web site. ExxonMobil does not guarantee the typical (or other) values. Analysis may be performed on representative samples and not the actual product shipped. The information in this document relates only to the named product or materials when not in combination with any other product or materials. We based the information on data believed to be reliable on the date compiled, but we do not represent, warrant, or otherwise guarantee, expressly or impliedly, the merchantability, fitness for a particular purpose, suitability, accuracy, reliability, or completeness of this information or the products, materials, or processes described. The user is solely responsible for all determinations regarding any use of material or product and any process in its territories of interest. We expressly disclaim liability for any loss, damage, or injury directly or indirectly suffered or incurred as a result of or related to anyone using or relying on any of the information in this document. There is no endorsement of any product or process, and we expressly disclaim any contrary implication. The terms "we", "our", "ExxonMobil Chemical", or "ExxonMobil" are used for convenience, and may include any one or more of ExxonMobil Chemical Company, Exxon Mobil Corporation, or any affiliates they directly or indirectly steward. ExxonMobil, the ExxonMobil Chemical Emblem, the "Interlocking 2" device, Enable, Exceed, Exact, Exxon, Fiberbrite, Flone, Inink, NTX, Polybilt, Puxon and Optema are trademarks or service marks of Exxon Mobil Corporation.

Photo 01 : Fiche technique du PEHD noble grade 5502 :



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE

CENTRE D'ETUDES ET DE SERVICES TECHNOLOGIQUES DE L'INDUSTRIE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

« C.E.T.I.M. »

S.P.A. au capital social de : 124 202 100 D.A

N° Identification Fiscale : 0998 350 7223 84 37 N° Article d'Imposition : 350188481/2 N° Registre de Commerce : 722 384 B 98

FICHE TECHNIQUE

(SELON RE N°0904/15)

CODE ECHANTILLON : CG 15 04114

ORDRE DE SERVICE N° : 00915 DU 09/06/2015

Type de produit : Carreaux de sol granito monocouche (333x333)mm.

Essais et mesures	Résultats
Aspect dimensionnel (mm)	333.7x333.7
Epaisseur de la couche de parement (mm)	16.1
Résistance mécanique - Résistance à la rupture moyenne (MPa) - Résistance à la rupture individuelle (MPa)	 8.6 7.8
Absorption d'eau (résultat individuel) - Coefficient d'absorption capillaire (g/cm²) - Absorption d'eau (%)	 0.2 4.1
Essai d'abrasion – emprunte (mm)	23.9

Boumerdes le : 18/06/2015

Le Sous Directeur du Laboratoire Céramique et Verre

B. RAZIBAOUENE

Le Directeur des Laboratoires

OS N°00915 RE 0904 Ech N° CG 15 04114 Page 7 sur 7

Photo2 : Fiche technique du carreau témoin monocouche :

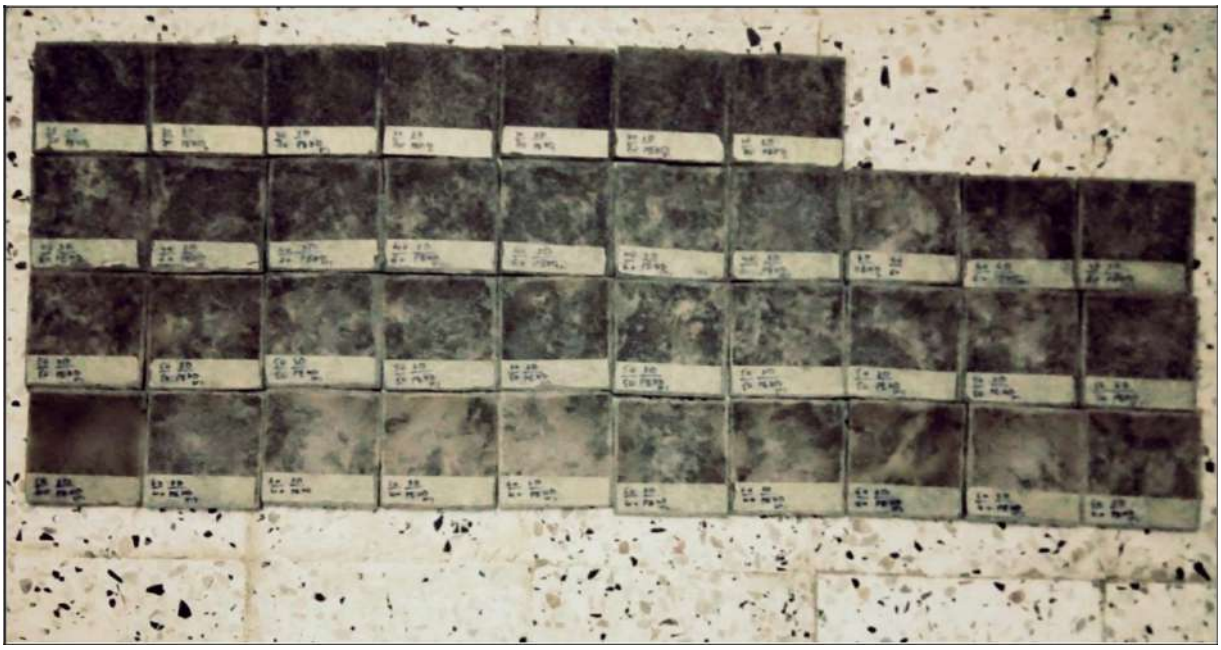


Photo 3 : Quelques échantillons du carreau / tuile polymère

PUBLICATIONS

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 119 (2017) 163–169

Energy Procedia

www.elsevier.com/locate/procedia

International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24 April 2017, Beirut Lebanon

The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic

Mehdi Seghiri[1]*, Djamel Boutoutaou[1], Abdelouahed Kriker[1], Mohamed Ibrahim Hachani[1]

[1]*Université Kasdi Merbah of Ouargla, Laboratory of Exploitation and Valorization of Natural Resources in Arid Areas (E.V.R.N.Z.A.), Ouargla BP 511, 30000 Algeria*

Abstract

The plastic is the most used man-made material in the world through their specific characteristics such as easy manufacturing and shaping, cheaper cost and low density. It is very useful in in different areas such as medicine, architecture, construction and transport. Unfortunately after the use are thrown in nature. Their accumulation poses an environmental problem. Due to the non-biodegradable. The utilization of waste plastic in manufactory of another materiel is a partial solution environmental that will reduce the proportion of waste plastic incineration or landfill.

This work focuses on the Possibility of Making a Composite Material from à sand dune (A natural source abounds) and recycled height density polythene (HDPEr) by mixing the amount. The composite has been designated as roof tile. An experimental test program was conducted on the polymer roof tile containing different percentages (30%, 40%, 50%, 60%, 70% and 80%) of recycled (HDPEr) from the weight of the mixture. Experimental tests were conducted on density, the breaking load by flexural and impermeability test. In this present study, the density of polymer roof tile varies from 1.379 to 1.873 g/ cm3. . The breaking strength by flexural of all polymer roof tile mix were below the resistance of Clay roof tile. A good impermeability gives compared to the control roof tile.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd.
Peer-review under responsibility of the Euro-Mediterranean Institute for Sustainable Development (EUMISD).

Keywords: Dune sand, Plastic waste, Possibility, Valorization ; roof tiles

* Corresponding author. *Tel.;*
E-mail address: seghirimehdi25@gmail.com