

N° d'ordre :FS / UMBB / 2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



Faculté des Sciences - Département de Chimie

Domaine : Science de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie des matériaux

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présenté et soutenu par

SAIDI Ikhlas
GUECEB Zineb

Thème

Effet de température sur le mortier-polymère impact sur la colonisation microbienne

Le 06 Juillet 2022

Devant les membres de jury

N.SEDDEKI	Maitre de conférence classe A	FS-UMBB	Présidente
H.BOUSSAK	Maitre de conférences classe A	FS-UMBB	Promotrice
A.IREKTI	Maitre de conférences classe A	FS-UMBB	Examineur
F.HAMIDOUCHE	Maitre de conférences classe A	FS-UMBB	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

ملخص

نشأ تطوير مركبات الملاط والبوليمر من احتياجات معينة عبر عنها متخصصو البناء والأشغال العامة. غالبًا ما تستخدم هذه المواد في أعمال التشطيب مثل طلاء الواجهات أو مواد لاصقة للبلاط أو طلاءات مانعة لتسرب المياه ؛ كما يتم استخدامها في مجال الأشغال العامة كمنتجات إصلاح للأعمال الفنية وفي تطبيقات طرق معينة. في النهاية ، نحن نبحث عن مادة منخفضة التكلفة وسهلة الاستخدام وتتمتع بمقاومة أفضل للخدمة مقارنة بمدافع الهاون القياسية. يجب أن تتمتع أيضًا بخصائص التصاق جيدة بالإضافة إلى مقاومة ميكانيكية عالية وعلى وجه الخصوص مقاومة متزايدة للهجوم. يقدم هذا العمل فهمًا أفضل لتأثير PET على الخواص الميكانيكية ومتانة مركبات الملاط والبوليمر. بالإضافة إلى ذلك ، توفر العديد من التحليلات الهيكلية الدقيقة التي تم إجراؤها (DRX) والتعديلات الحيوية نتائج إضافية حول تأثير هذه المواد المضافة على: ترطيب الأسمنت ، وترتيب البوليمر في المرحلة المعدنية التي يعطي منها البوليمر نتائج أفضل في الانتشاء و الضغط ، والسماح بإبراز التأثير المفيد على متانة هذه الإضافة.

Résumé

Le développement des composites Mortier-Polymère a pour origine certains besoins exprimés par les professionnels du bâtiment et des travaux publics. Ces matériaux sont utilisés le plus souvent dans des travaux de second œuvre tels les enduits de façades, les colles carrelages ou revêtements d'étanchéité ; ils sont aussi utilisés dans le domaine des travaux publics comme produits de réparation d'ouvrages d'arts, et dans certaines applications routières. En définitive on cherche un matériau de faible coût, de mise en œuvre simple, et possédant une meilleure tenue en service par rapport à un mortier standard. Il doit posséder par ailleurs de bonnes propriétés d'adhésion ainsi qu'une résistance mécanique élevée et en particulier accrue aux agressions. Ce travail offre une meilleure compréhension de l'influence du PET sur les propriétés mécaniques et durabilité des composites Mortier-Polymère. De plus, les nombreuses analyses microstructurales réalisés (DRX) et la bioaltération apportent des résultats complémentaires sur l'influence de ces additifs sur : l'hydratation du ciment, l'agencement du polymère au sein de la phase minérale à partir duquel le polymère donne de meilleurs résultats en flexion et en compression, et permettent de mettre en évidence l'effet bénéfique sur la durabilité d'un tel ajout.

Abstract

The development of Mortar-Polymer composites originated from certain needs expressed by building and public works professionals. These materials are most often used in finishing works such as facade coatings, tile adhesives or waterproofing coatings; they are also used in the field of public works as repair products for works of art, and in certain road applications. Ultimately, we are looking for a material that is low cost, simple to use, and has better resistance to service compared to a standard mortar. It must also have good adhesion properties as well as high mechanical resistance and in particular increased resistance to attack. This work provides a better understanding of the influence of PET on the mechanical properties and durability of Mortar-Polymer composites. In addition, the numerous microstructural analyzes carried out (DRX) and bioalteration provide additional results on the influence of these additives on: the hydration of the cement, the arrangement of the polymer within the mineral phase from which the polymer gives better results in flexion and in compression, and make it possible to highlight the beneficial effect on the durability of such an addition.

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU tout puissant qui ma donnée le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail, malgré les circonstances que traverse le pays.

Ce travail a été réalisé pour sa plus grande partie à CETIM.

Je remercie tout particulièrement Directeur de laboratoire BELAL Ahmed pour l'honneur qu'il ma donnée en acceptant de diriger les travaux de ce mémoire.

Je voudrais également remercie tout particulièrement : Monsieur MOURSLI Hamza pour son soutien, qu'ils m'ont apporté dans la transition entre le laboratoire et l'université.

Mes remerciements vont à Mme. BOUSSAK HASSINA, qui a supervisé ce travail, en particulier pour la confiance et l'indépendance qu'elle m'a donnée, mais aussi pour les conseils avisés qu'elle a donnés aux mémoires à des moments critiques sans oublier ses grandes qualités humaines.

Je remercie très sincèrement le président de jury et les membres de jury ayant acceptés d'évalué ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui ont tant donné. Pour leur immense soutien, leur grand amour, leurs sacrifices et leurs prières.

A mes chers frères.

A mes chères sœurs.

Vous aviez toujours cru en moi, et c'est dans votre présence que j'ai puisé la volonté de continuer.

A toute ma famille.

A toutes mes chères amies et à tous mes chers amis.

A toutes mes enseignantes et à tous mes enseignants.

A tous ceux que j'aime. A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Ikhlas.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À nos parents : Merci pour votre soutien et votre patience pendant toutes ces années et Dieu sait qu'elles ont été longues.

À nos familles : Merci de nous avoir fait confiance durant notre apprentissage.

À nos amis : Pour avoir partagé avec nous les pires moments comme les meilleurs

A toutes mes enseignantes et à tous mes enseignants.

A tous ceux que j'aime. A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Zineb.

Table des Matières

Remerciements.

Dédicace.

Sommaire.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale.

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur : le Plastique, matériaux de construction et les mécanismes microbiologiques.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Chapitre III : Résultats et discussions.

Conclusion générale.

Références bibliographiques.

Résumé.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur : le plastique, matériaux de construction et les mécanismes microbiologiques

I-Introduction.....	01
I-Historique.....	01
I- Le plastique.....	03
I-1 Définition et historique.....	03
I-2. Propriétés mécaniques des polymères.....	06
I-3 Importance et domaine d'utilisation des plastiques.....	06
I-4 Déchets plastiques.....	09
I-4.1 Déchets plastiques industriels.....	09
I-5 Recyclage du plastique.....	10
I-6 Polyéthylène téréphtalates (PET).....	12
I-7 Matériaux de construction.....	13
I-7.1 Liste de matériaux de construction.....	14
I-7.1.1 Matériaux ayant des applications modernes et traditionnelles.....	14
I-7.1.2 Matériaux traditionnels.....	14
I-7.2 Classification des matériaux de construction.....	18
I-7.3 Propriétés des matériaux.....	19
I-7.4 Définition du mortier.....	19
I-7.5 Les différents types de mortiers.....	20
I-8 Le choix d'un polymère.....	21

I-8.1 Les polymères utilisés dans la construction.....	22
I-9 Les composites mortier-polymère.....	27
I-9.1 Généralités sur les vieillissements d’origine biologique.....	28
I-10 Conclusion.....	31
Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.	
II-Introduction.....	32
II-1 Essais sur mortiers.....	32
II-2 identification des constituants du mortier – mortier composite.....	33
II-2.1 Les constituants du ciment.....	33
II-2.2 Sable.....	35
II-2.3 L’eau.....	36
II-2.4 PET.....	36
II-3 Elaboration des différents mortiers.....	37
II-3.1 Composition du mortier brut.....	37
II-3.2 Malaxage de mortier.....	38
II-3.3 Préparation des éprouvettes	39
II-4 Etude des propriétés mécaniques des différentes formulations.....	41
II-4.1 Résistances mécaniques à la flexion et compression.....	41
II-5 Mortiers composite.....	42
II-6 matériels utilisés.....	50
II-6.1 Malaxeur.....	50
II-6.2 appareil à choc.....	51
II-7 Les analyses effectuées	52
II-7.1 La diffraction des rayons X ou DRX	52

II-7.2 Les essais mécaniques.....	53
II-7.2.1 Essai de compression	53
II-7.2.2 Essai de flexion.....	54
II-7.3 Essai de la biocolonisation du composite mortier polymère	55
II-7.3.1 Observation par microscope optique.....	58
II-8 Conclusion.....	59
 Chapitre III : Résultats et discussions	
III-Introduction.....	60
III-1 Les essais mécaniques.....	60
III-1.1 Essai de compression et flexion du mortier brute (ciment, sable et l'eau) à température de 25, 60 et 80° C	60
III-1.2 Essai de compression et flexion du mortier composite (ciment, sable et l'eau) à température de : 25, 60 et 80°C	63
III-2 La diffraction des rayons X ou DRX	70
III-3 Essai de la biocolonisation du composite mortier polymère.....	73
III-3.1 Observation par microscope optique de mortier brut.....	73
III-3.2 Observation par microscope optique de mortier composite à1.5% de PET.....	74
III-3.3 Bioaltération de composites mortier-polymère	75
III.4 Concluion.....	77
Conclusion générale.....	78

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I-1 : Décharge du déchet de ménage de la wilaya de Constantine (photo prise le 15/03/2017).....	09
Figure I-2 : Déchets jetés dans l'espace publique.....	10
Figure I-3 : Roche d'ardoise.....	15
Figure I-4 : Matériau de granite.....	16
Figure I-5 : Matériau du marbre.....	17
Figure I-6 : Roche de schiste.....	17
Figure I-7 : Composite béton polymère.....	22
Figure I-8. Revêtement de sols.....	23
Figure I-9 : Tuyaux ou gaines.....	24
Figure I-10 : Mousses.....	24
Figure I-11 : Fibres naturels.....	25
Figure I-12 : Matériaux de géotextiles.....	26
Figure I-13. Produits d'échanchiétés.....	26
Figure I-14 : Bioaltération d'une façade, d'une dalle d'une fosse et d'un collecteur.....	29
Figure I-15 : Influence de la rugosité de mortiers sur la colonisation par des micro-algues....	30

Chapitre II

Figure II-1 : structure de poly (téréphtalate d'éthylène).....	37
Figure II-2 : Matières premières constituant les mortiers.....	38
Figure II-3 : Préparation du mortier.....	39
Figure II-4 :Appareils de compression et de flexion	

Figure II-5: Malaxeur automatique.....	51
Figure II-6: Table à choc.	52
Figure II-7 : Appareil de DRX.....	53
Figure II-8: Appareil de compression.	53
Figure II-9 : Moule à alvéoles pour mortier (NF P 15-413).....	54
Figure II-10: appareil de flexion a 3 points.....	55
Figure II-11: Représentation schématique de la biocolonisation d'une façade de bâtiment...	56
Figure II-12 : Schéma de principe du dispositif d'étude de bioaltération par remontée capillaire.....	57
Figure II-13 : Dispositif de bioaltération par remontée capillaire en place dans un déclicateur de deux mortiers : B : brut, et P : avec 1.5% de polymère.....	57
Figure II-14: Système optique.....	58

Chapitre III :

Figure III-1 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute à température 25,60 et 80 ° C.....	62
Figure III-2 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite a température 25° C.....	62
Figure III-3 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute et Mortiers composite à température 25°C.....	65
Figure III-4 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite a température 25° C.....	65
Figure III-5 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute et mortiers composite 1,5 % à température 60°C.....	66

Figure III-6 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite de 1.5%à température 60°C.....	67
Figure III-7 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute et mortiers composite 1,5% à température 80° C.....	68
Figure III-8 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite de 1.5% à température 80° C.....	68
Figure III-9 : Spectre de DRX du mortier brut.....	70
Figure III-10 : Spectre de DRX du mortier composite à 1.5% de PET.....	72
Figure III-11 Image obtenue au microscope optique MOP sur la fracture des échantillons d'un mortier (25X), (50×) et (100×) respectivement, Gr – granulat, MC – matrice cimentaire.....	73
Figure III-12 : Image obtenue au microscope optique MOP sur la fracture des échantillons d'un mortier modifié par du polytéréphtalate d'éthylène (25X), (50×) et (100×) respectivement, P-PET, Gr – granulat, MC – matrice cimentaire.....	74
Figure III-13 : Dispositif de bioaltération par remontée capillaire de deux mortiers : B : brut, et P : avec 1.5% de polymère.....	75
Figure III-14 : Évolution visuelle des mortiers brut (B) et avec polymère (P) lors de l'essai de remontée capillaire.....	76

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I-1 : Dates détaillées de l'histoire du plastique.....	05
Tableau I-2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables.....	11

Chapitre II :

Tableau II-1 : résultats des essais physique.....	33
Tableau II-2 : composition chimique du ciment.....	34
Tableau II-3 : composition minéralogique du ciment.....	35
Tableau II-4 : composition granulométrique du sable.....	36
Tableau II-5 : les principales caractéristiques de PET.....	37
Tableau II-6 : Matières premières de référence des mortiers réalisés.....	38
Tableau II-7 : Matières premières des composites mortiers+polymère.....	42

Chapitre III :

Tableau III-1 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 25°C (témoin).....	60
Tableau III-2 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 60°C (témoin).....	61
Tableau III-3 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 80°C (témoin).....	61
Tableau III-4 : Formulations de différents mortiers composites à différents pourcentages de PET (1.5, 2.5 et 3.5%).....	63
Tableau III-5 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET).....	64
Tableau III-6 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (2.5% de PET).....	64
Tableau III-7 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (3.5% de PET).....	65

Tableau III-8 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET).....66

Tableau III-9 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET)...67

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius unité de l'échelle de température

cm : centimètre unité de longueur.

µm : Le micromètre unité de longueur $1 \mu m = 10^{-6}$.

CO₂ : Le dioxyde de carbone.

CaCO₃ : Le carbonate de calcium.

C₃S : Silicate tricalcique (alite).

C₂S : Silicate bicalcique (bélite).

C₃A : Aluminate tricalcique (célite).

CaO ou C : chaux *libre*.

C₄AF : Ferro-aluminate tétracalcique.

Al₂O₃ : L'alumine, ou oxyde d'aluminium.

MgO : L'oxyde de magnésium.

NF P 15- 301 : normalisation française des ciments.

Introduction générale

Les problèmes environnementaux tels que l'épuisement des ressources naturelles et la biodiversité, les pollutions de l'eau et de sol [1] provient des articles que nous utilisons (et jetons) chaque jour, comme des sacs de plastique, des bouteilles de boissons, des emballages d'aliments, etc. Plus de 8 millions de tonnes de plastiques sont jetés dans l'océan chaque année. Certains plastiques resteraient dans l'environnement jusqu'à 1000 ans. Pendant ce temps, ils se décomposent en morceaux de plus en plus petits, mais ils ne disparaissent pas complètement. On constate que ces petits morceaux de plastique (micro plastiques) peuvent être nocifs lorsqu'ils se répandent dans l'ensemble de la chaîne alimentaire. Ils peuvent même pénétrer notre corps par l'entremise des aliments que nous consommons. Cette issue crée la crise sérieuse au futur développement de l'humanité [2].

Le développement des composites Mortier-Polymère a pour origine certains besoins exprimés par les professionnels du bâtiment et des travaux publics. Ces matériaux sont utilisés le plus souvent dans des travaux de second œuvre tels les enduits de façades, les colles carrelages ou revêtements d'étanchéité ; ils sont aussi utilisés dans le domaine des travaux publics comme produits de réparation d'ouvrages d'arts, et dans certaines applications routières. En définitive on cherche un matériau de faible coût, de mise en œuvre simple, et possédant une meilleure tenue en service par rapport à un mortier standard. Il doit posséder par ailleurs de bonnes propriétés d'adhésion ainsi qu'une résistance accrue aux agressions de l'environnement et en particulier une isolation des parois à l'humidité, une rapide altération des matériaux cimentaires peut également être observée dès les premières années suivant leur mise en place du fait de l'interaction de ces matériaux avec les micro-organismes [3].

Ce travail consiste à réaliser un composite mortier polymère par la substitution de sable par le PET recyclée ainsi de mieux comprendre l'influence du polymère sur le comportement de ce composite, les essais ont été réalisés en laboratoire de l'industrie de CETIM, et les résultats sont présentés dans ce manuscrit, subdivisé en trois chapitres.

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique des connaissances relatives aux composites mortier-polymères. Dans un premier temps, après avoir détaillé les éléments généraux relatifs à la formulation et aux conditions d'application des composites mortier-polymère, les propriétés de ces matériaux sont mises en évidence de l'état frais à l'état durci. Dans un second temps, l'interaction entre matériaux cimentaires et micro-organismes. Puis, les méthodes d'étude et de suivi des interactions matériaux/micro-organismes en laboratoire sont présentées. Enfin, ce chapitre se conclut par la présentation de la problématique d'étude développée dans la suite du manuscrit, ainsi que la démarche expérimentale suivie.

Le chapitre II est consacré à la présentation des matériaux et des méthodes utilisés dans cette étude. Tout d'abord, les techniques expérimentales générales mises en oeuvre de manière récurrente au cours de ces travaux sont présentées. Puis, les composants minéraux sélectionnés sont présentés et caractérisés. Les deux dernières parties de ce chapitre sont dédiées au choix et à la caractérisation des polymères.

Le chapitre III regroupe les études réalisées sur les composites mortier-polymère au jeune âge. Tout d'abord, les résultats relatifs à l'étude de l'hydratation des matériaux cimentaires sans et en présence de polymère sont présentés. Ensuite, les composites mortier-polymère appliqués sont exposés à différents climats en fonction de la température. L'étude de la biocolonisation des composites mortier-polymères à l'état durci. Ce chapitre s'ouvre sur la caractérisation des matériaux à l'état durci.

Chapitre I :

**Synthèse bibliographique sur : le
Plastique, matériaux de
construction et les mécanismes
microbiologiques.**

Introduction

L'objet de ce chapitre est de faire une synthèse des connaissances sur les matériaux de constructions et le phénomène de développement du plastique au sein de construction. On présente dans la première partie historique du plastique et quelques définitions qu'ils ont relation avec lui, d'autre part les plastiques utilisés spécialement dans la construction. Il s'agit de présenter le phénomène de déchets qui accompagnent le problème de pollution de sol, des eaux ...en effet le recyclage. On s'intéresse ensuite au mortier et ses différentes types et applications. Enfin, on présente le phénomène de biocolonisation des bactéries dans le milieu des matériaux cimentaires.

Historique

Les mortiers antiques présentent un intérêt autre qu'archéologique : ils sont la preuve de l'existence de matériaux artificiels qui ont traversé les siècles. Ceci devient important dans notre civilisation postindustrielle confrontée avec le problème du stockage des déchets de toute nature. Retour sur une des inventions les plus remarquables de l'histoire de l'ingénierie. Pendant la préhistoire et au début de l'antiquité - époque assyrienne et babylonienne -, on utilisait de la terre argileuse comme liant pour maçonner les pierres. Le plâtre est le plus ancien liant cuit qui ait été trouvé, pour la réalisation des mortiers ou enduits en architecture. Les plus vieilles traces de son utilisation remontent à environ 7 000 ans avant J.-C., sur le site de Catal-Uyuk en Anatolie (Turquie). Lors de la construction des pyramides, les Égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse. Il était utilisé pour lubrifier l'assise des grosses pierres qu'on déplaçait avant de les mettre en place. Toutefois, ces matériaux n'étaient pas très efficaces en présence d'humidité élevée et d'eau. C'est aux environs de 4 000 ans avant J.-C. que les anciens découvrirent que la pierre calcaire, lorsque brûlée et combinée à de l'eau, produisait un matériau qui durcissait avec le temps. Le début de l'utilisation de la chaux dans les mortiers est vague, mais il a été avéré que les murs de la ville de Jéricho bâtis en briques de terre crue, étaient enduits à la chaux.

On sait que les grecs (c'est à Chypre qu'apparaît, hérité d'Asie, au VIIIe-VIIe siècle, le liant de chaux), puis les romains, utilisaient couramment la chaux dans les mortiers. Vitruvius,

Un architecte romain, donnait les grandes lignes pour la préparation des mortiers de chaux : « Lorsqu'elle est éteinte (la chaux), laissez-la se mélanger avec du sable de manière à ce qu'il y ait trois parties de sable de carrière pour une partie de chaux ; dans le cas de sable provenant de rivières ou de l'océan,

Deux parties de sable pour une partie de chaux. On obtient ainsi la bonne proportion pour le mélange. » Les mortiers contenant uniquement de la chaux et du sable nécessitent du dioxyde de carbone contenu dans l'air pour se convertir et reprendre la forme de pierre calcaire et durcir. Ils durcissent lentement et ne prennent pas sous l'eau.

À partir du Ier siècle av. J.-C., les romains améliorent la technique du mortier et créent les premiers mortiers hydrauliques l'Opus Caementitium : ils ajoutent à la chaux, du sable et de l'argile, ainsi que des matériaux pulvérulents (cendre volcanique, pouzzolane ou testa : sorte de brique ou de tuile d'argile kaolinite, cuite entre 600 et 900 C).

Ces mortiers étaient destinés à des applications où la présence d'eau ne permettait pas une carbonatation adéquate du mortier. Les grands bains romains datant environ de l'an 27 avant J.C., le Panthéon, ce fantastique temple surmonté de la plus grande coupole maçonnée au monde, le Colisée et l'énorme basilique de Constantin, sont parmi les premières œuvres architecturales romaines recourant au mortier de béton. Cet âge d'or du mortier va se terminer en occident avec les invasions barbares.

Repris dans les constructions Byzantines, ce « ciment romain » va être utilisé à peu près jusqu'au XVIIIe siècle, mais avec des fortunes très diverses : le savoir-faire des romains se perdant au fil des siècles, la qualité des mortiers médiévaux est très médiocre et l'amélioration de la stabilité et de la complexité des bâtiments sera désormais due aux progrès de l'architecture et de la stéréotomie ou art de la taille des pierres.

I. Le plastique :

Depuis l'apparition des supermarchés et le mode de conservation de certains produits, l'emballage en plastique est devenu inévitable dans le quotidien du consommateur. Une fois son rôle rempli, l'emballage est rejeté avec les ordures ménagères. La prolifération des emballages en plastiques qui sont des produits non biodégradables pose des problèmes pour l'environnement qu'il faut absolument résoudre. Une solution serait le recyclage de ces déchets en les utilisant pour la confection de matériaux de construction. Ce chapitre fait un point bibliographique sur le plastique et des définitions à la compréhension de ce travail.

I.1 Définition et historique :

Le plastique est une matière synthétique composée de polymères, qui a la propriété d'être moulée ou modelée facilement après chauffage et qui peut être souple ou rigide. On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes [4]. La majorité des plastiques (99%) utilisée dans le monde est fabriquée à partir de pétrole et de gaz naturel [5]. L'histoire des matières plastiques débute en 1869 [3]. A la suite d'un concours, dont l'objet était de trouver une matière destinée à remplacer l'ivoire naturel des boules de billard, les frères HYATT(USA), mirent au point le celluloïd (ou nitrate de cellulose) produit d'origine végétale (bois, coton).

En effet à la fin du XIX ème siècle, il existait plutôt à l'échelle artisanale qu'industrielle, quelques matériaux plastiques dont les plus importants à base de matières naturelles étaient le celluloïd et la galalithe.

C'est en 1909 qu'un chimiste belge Baekeland a découvert les résines formo-phénoliques dont l'exploitation dès 1920 sous le nom de BAKELITE marque véritablement le début de l'ère des plastiques [4].

De 1920 à 1940 on assiste au développement de ces résines de condensation phénol/formol qui grâce à leurs propriétés isolantes, ont contribué à l'essor de l'électricité

De 1940 à 1950 naît industriellement la première matière thermoplastique utilisée à grande échelle. C'est le chlorure de polyvinyle (PVC) plastifié, employé pendant la guerre pour remplacer le caoutchouc impossible à importer.

En 1950 on assiste au développement des transports automobiles et au besoin croissant en pétrole comme source d'énergie. La pétrochimie permet alors la naissance d'une multitude de matériaux thermoplastiques, dérivés des carbures oléfiniques obtenus par cracking des produits pétroliers : éthylène, benzène, propylène, phénol etc.... 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. Le tableau I. 1 résume l'histoire du développement du plastique.

De 1940 à 1950 naît industriellement la première matière thermoplastique utilisée à grande échelle. C'est le chlorure de polyvinyle (PVC) plastifié, employé pendant la guerre pour remplacer le caoutchouc impossible à importer. En 1950 on assiste au développement des transports automobiles et au besoin croissant en pétrole comme source d'énergie. La pétrochimie permet alors la naissance d'une multitude de matériaux thermoplastiques, dérivés des carbures oléfiniques obtenus par cracking des produits pétroliers : éthylène, benzène, propylène, phénol etc.... 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. Le tableau I. 1 résume l'histoire du développement du plastique.

Tableau I-1 : Dates détaillées de l'histoire du plastique [4]

INVENTION	DATE	HISTORIQUE
Caoutchouc	1736	Caoutchouc naturel découvert par le français Charles Marie en mission au Pérou.
Nitrate de cellulose	1833	Première application industrielle de poudre de coton par l'allemand Schoenbein
vulcanisation	1839	Stabilisation des propriétés du caoutchouc le rendant utilisable par l'américain Goodyear
Caoutchoucs artificiels	1860	Isolation de l'isoprène par l'anglais C. Williams
Acétate de cellulose	1869	Les frères HYATT fabriquent des boules de billard en mélangeant à chaud un plastifiant le camphre et une substance végétale la nitrocellulose
Bakélite	1909	Première matière plastique synthétisée par le Belge Backeland installé aux Etats Unis.
PVC	1913	Polymérisation du chlorure de vinyle par l'allemand Klatte.
polymères	1922	Mise en évidence de la structure particulière des polymères par l'allemand H. Staudinger
plexiglas	1924	Barker et Skinner obtiennent un verre organique le poly méthacrylate de méthyle connu sous le nom de plexiglas
Polystyrène	1933	Mise au point par l'allemand Wuff
Polyamide (nylon, kevlar)	1935	Mise au point chez Du Pont de Nemours(USA) les premières fibres polyamides par W. Carothers
polyuréthanes	1937	Inventés par Otto Bayer
Téflon	1938	Le Tétrafluoréthylène (téflon) est découvert par R.J.Plunkett ingénieur chez Du Pont de Nemours
polyesters	1938	Premières polyesters thermodurcissable par Ellis
polyéthylènes	1939	Première gammes de polyéthylènes basse densité(PEBD) obtenues par Fawcett et Gobson suivit du polyéthylène Haute Densité(PEHD) par l'allemand Karl Ziegler en 1953
polypropylène	1954	Polymérisation du propylène par l'italien Natta
PEba	1981	Nouvelle famille de matières synthétiques créée par Gérard Deleens, intermédiaire entre les élastomères (caoutchouc) et les plastiques

I-2 Propriétés mécaniques des polymères :

Les résistances mécaniques sont variables suivant la composition chimique. Dans l'ensemble les polymères sont souvent plus résistants et plus légers que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions. La résistance à la traction et à la compression ainsi que la dureté dépendent essentiellement de la nature et de la cohésion entre les chaînes de polymères.

La résistance au choc est liée non seulement à la cohésion intermoléculaire, mais aussi à la dissipation de l'énergie dans le matériau: un plastique mou est moins cassant qu'un plastique dur. L'incorporation de micro-granules d'élastomères dans le polystyrène, par exemple, rend cette matière très résistante aux chocs [5-8].

I-3 Importance et domaine d'utilisation des plastiques :

Les plastiques, relativement rares dans notre environnement au milieu du XXe siècle, sont bien présents aujourd'hui autour de nous. C'est parce que ces plastiques possèdent beaucoup de qualités.

- **Les plastiques sont peu coûteux.** Ils sont fabriqués à partir d'une matière première encore relativement abondante et, jusqu'à récemment, pas chère : le pétrole.
- **Les plastiques ont des propriétés physico-chimiques variées.** Suivant leur composition, ils peuvent être élastiques ou rigides, durs ou malléables, résistants à la chaleur, aux chocs, aux produits agressifs et dangereux comme les acides.
- **Les plastiques peuvent être facilement modelés ou moulés,** pour prendre les formes souhaitées les plus variées, même les plus complexes. Ainsi, le toit du grand stade de Pékin, le fameux « nid d'oiseau » temple des jeux olympiques d'été 2008, est en plastique armé d'acier.
- **Les plastiques sont légers** et donc moins coûteux à transporter que les matériaux à base de métal ou de bois. Grâce aux plastiques, le poids moyen d'une automobile a été ainsi réduit de 200 kg [9]. Cela a permis une baisse importante de la consommation d'essence.

De la même manière, le poids des emballages de toutes sortes (nourriture, conteneurs divers, marchandises variées...) a été fortement réduit grâce à l'utilisation des plastiques, tout en leur conservant leurs qualités de résistance : un grand plus pour les économies de carburant utilisé pour les transports.

- Les plastiques sont d'excellents isolants thermiques.
- **Les plastiques sont relativement durables.** Ils sont peu sensibles à la corrosion et aux intempéries. Ainsi, des tuyauteries en plastique peuvent facilement durer au-delà de cinquante ans. Et les peintures des automobiles, en polyuréthane, sont particulièrement résistantes.
- Les plastiques sont faciles à nettoyer.
- **Les plastiques utilisés comme une barrière de protection.** Les aliments se conservent plus longtemps dans des boîtes plastiques. Etant imperméable le plastique contribue ainsi à limiter la contamination venant de l'extérieur.

Les sacs poubelles en plastique sont très hygiéniques. Les jouets en plastique sont plus sûrs pour les enfants. Le casque de la moto, composé de différents plastiques, et les airbags d'automobile sont des éléments essentiels de survie en cas d'accident grave. Et le préservatif est indispensable pour la lutte contre les MST [7].

- **Les plastiques sont en partie recyclables.** Pour ceux qui ne le sont pas, on peut les incinérer et ainsi récupérer de l'énergie sous forme de chaleur.

Les plastiques sont utilisés dans de nombreux domaines. En voici quelques-uns :

- **Les emballages** : ce secteur est le plus gros consommateur de plastiques. On les utilise pour stocker, transporter, protéger et conserver toutes sortes de produits, en particulier des produits alimentaires.
- **Le bâtiment et la construction** : les plastiques y sont souvent cachés, cependant indispensables. Ils sont utilisés pour leurs propriétés vitales :
 - durabilité et résistance à la corrosion (châssis de fenêtres, tuyauteries),
 - isolation contre le froid, la chaleur et le bruit (cloisons),
 - faible coût,
 - maintenance minimale ou nulle (par exemple pas besoin de les repeindre),
 - hygiène et propreté (faciles à nettoyer),
 - économie de ressources (faible coût + facilité d'installation + longue durée de vie).

- **Les transports** : les nouvelles générations de plastiques légers permettent des économies d'énergie notables. Les voitures, les trains, les avions deviennent plus légers en intégrant de plus en plus de matières plastiques. Ils apportent en même temps un confort agréable aux usagers, par exemple en permettant une augmentation de pression et de taux d'humidité dans les avions [6].
- **L'électricité et l'électronique** : les plastiques permettent d'améliorer les performances dans ce secteur : réduction du poids, miniaturisation, isolation électrique et thermique. Les plastiques sont solides, flexibles et faciles à mouler, d'où leur présence importante dans beaucoup d'équipements. Les plastiques sont connus pour leur qualité d'isolation électrique.
- **L'agriculture** : l'utilisation des plastiques dans l'agriculture permet des rendements accrus, des récoltes plus précoces, une moindre dépendance vis-à-vis des herbicides et des pesticides, une meilleure protection des produits alimentaires et une conservation plus efficace de l'eau. Par exemple, dans les régions arides, des systèmes de drainage en plastique peuvent diviser les frais d'irrigation par deux ou trois et en même temps doubler le rendement.
- **Le secteur médical** : les soins médicaux modernes nécessitent l'utilisation des plastiques (seringues jetables, poches de sang, valves cardiaques...). Beaucoup d'appareils orthopédiques et de prothèses sont aujourd'hui en plastique. Certains comprimés sont entourés d'un polymère qui se dégrade lentement, et libère le médicament peu à peu ou au bon moment.
- **Le sport** : les plastiques ont révolutionné les équipements sportifs, les rendant plus efficaces et techniques que jamais. Ainsi pour :
 - les ballons de football sont résistants à l'eau et à l'abrasion, et les trajectoires sont plus prévisibles,
 - les chaussures de sport sont légères, résistantes,
 - les raquettes de tennis sont plus solides, légères et puissantes, absorbant mieux les chocs, -
 - les équipements nautiques en plastiques composites sont légers et très résistants pour la coque, les structures et le mât des navires, pour les planches à voile et de surf...;
 - équipements de ski.

I-4 Déchets plastiques :

Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation. Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques.

I-4.1 Déchets plastiques industriels:

Ces déchets sont constitués de l'ensemble des déchets issus des processus de production des résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets. Les déchets de production proviennent des arrêts de réacteur de polymérisation, des purges de réacteurs et des lots déclassés [3].

Ils présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PP, PS et PVC). Quant aux déchets de transformation, elles proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,..). On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine.

Ces déchets qui peuvent être homogènes comme fortement hétérogènes (mélanges provenant de la co-extrusion, co-injection,..) sont, en général, très peu souillés.



Figure I-1 Décharge du déchet de ménage de la wilaya de Constantine (photo prise le 15/03/2017)

I-5 Recyclage du plastique :

Le recyclage du plastique est considéré comme l'une des meilleures voies de prise en compte du développement durable. Il est devenu, à cet effet, une priorité en termes de gestion du développement durable [10].

Jusqu'à récemment, la plupart des objets plastiques en fin de vie étaient mis en décharge. La tendance, aujourd'hui, est de valoriser au maximum ces plastiques usagés (non biodégradables), soit en les recyclant, soit, si cela n'est pas possible pour des raisons techniques ou économiques, en les brûlant dans des incinérateurs pour produire de l'énergie.



Figure I-2 : Déchets jetés dans l'espace public

Pour le recyclage de ces plastiques, il n'existe pas de bon ou de mauvais moyen, ni de voie unique. En la matière, les systèmes de gestion varient selon les pays en fonction de leurs particularités, de leurs choix stratégiques et des technologies disponibles. En outre, les conditions n'étant pas les mêmes en zone rurale et en zone urbanisée, plusieurs solutions différentes peuvent être mises en oeuvre dans un même pays [4].

La valorisation des matières plastiques prend une ampleur de plus en plus considérable, du fait de l'évolution des réglementations sur l'écologie et les demandes sociétales et associatives pour la préservation et la qualité de l'environnement.

Quelques codes d'identification de matières plastiques en fonction de leur recyclabilité ont été déterminés [11-13] et sont énumérés dans le tableau I.2.

Tableau I-2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables [11]

N° de recyclage	Abréviations	Nom du polymère	Utilisation
	PETE ou PET	Polyéthylène téréphtalate	Recyclable pour produire des bouteilles de limonade, des plateaux de traiteur et de boulangerie, des vêtements, des tapis, des pinces, etc.
	HDPE ou PEHD	Polyéthylène haute densité	Recyclable pour produire des bouteilles, sacs à provisions, poubelles, tuyaux agricoles, sous-tasses, barrières, équipement de terrains de jeu, bûches plastiques, Conteneur d'acide (le PEHD est un plastique qui résiste aux acides)
	PVC	Polychlorure de vinyle	Recyclable pour produire des tuyaux, des profilés pour la construction (fenêtres, lames de terrasses, portails...) des grillages et des bouteilles non-alimentaires.
	LDPE ou PEBD	Polyéthylène basse densité	Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastiques.
	PP	Polypropylène	Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géo-textiles et industrielles.
	PS	Polystyrène	Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéos et boîtiers, et panneaux isolants.
	OTHER	Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon	

I-6 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 [14].

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 résistances aux chocs, même à basse température.

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 feuillets, 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

I-7 Matériaux de construction :

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : bâtiment et travaux publics (souvent désignés par le sigle BTP). La gamme des matériaux utilisés dans la construction est relativement vaste. Elle inclut principalement le bois, le verre, l'acier, les matières plastiques (isolants notamment) et les matériaux issus de la transformation de produits de carrières, qui peuvent être plus ou moins élaborés. On a ainsi dérivés de l'argile, les briques, les tuiles, les carrelages, les éléments sanitaires [15].

I-7.1 Liste de matériaux de construction :

I-7.1.1 Matériaux ayant des applications modernes et traditionnelles :

Le bois est un matériau qui connaît un renouveau dans la construction du fait de ses nombreuses qualités de résistance, de son aspect chaleureux et de son coût raisonnable. Il sert autant au gros œuvre qu'au second œuvre.

La brique, fabriquée à partir d'argile de terre cuite, est un matériau traditionnellement utilisé dans la construction. Elle se présente en 4 formats (pleine, performée, creuse ou alvéolaire), chacun répondant à un besoin spécifique

Le plomb est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb et de numéro atomique 82. Le mot et le symbole viennent du latin plumbum.

Le plomb est un métal gris bleuâtre, blanchissant lentement en s'oxydant, malléable. C'est un élément toxique, mutagène et reprotoxique, sans valeur connue d'oligoélément.

I-7.1.2 Matériaux traditionnels

L'ardoise est une roche métamorphique qui s'est formée dans de fortes conditions de pression et de température. Elle appartient à la famille des schistes dont elle se distingue par la qualité de son grain, très fin, et sa fissilité. Ces propriétés font qu'on peut l'utiliser comme matériau de couverture [16].

L'ardoise est résistante et sa couleur peut varier du blanc au noir, en passant par toutes sortes de gris, de rouges sombres et de verts. L'ardoise peut être droite (rectangulaire) ou en forme d'écaille. Son épaisseur varie de 3 mm à 9 mm. Entre 20 mm et 40 mm, il s'agit de lauze, autre schiste plus massif et moins plissé.

La pose à l'ancien est la pose au clou, fin XIX^e siècle apparaît la pose sur crochet (l'ardoise est simplement appuyée en pied) [17].



Figure I-3 : Roche d'ardoise

Le **granite** est une roche magmatique plutonique à texture grenue, c'est-à-dire entièrement cristallisée et composée de minéraux bien développés et visibles à l'œil nu. Celle-ci est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma qui formeront des plutons, ces derniers étant actuellement en surface grâce au jeu de l'érosion qui a décapé les roches sus-jacentes. Ces magmas, acides (c'est-à-dire relativement riches en silice) sont essentiellement le résultat de la fusion partielle de la croûte terrestre continentale [18].

Certains granites (plagiogranites) rencontrés en petits plutons dans la croûte océanique sont, quant à eux le résultat de la différenciation ultime de magmas basiques. Les granites sont formés de minéraux en grains (cristaux), tous visibles à l'œil nu ; cette apparence leur vaut leur nom dérivé du latin granum, grain.

Ces minéraux sont principalement du quartz, des micas (biotite et/ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases. Ils peuvent contenir également de la hornblende, de la magnétite, du grenat, du zircon et de l'apatite. En tout, on dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granites différentes.



Figure I-4 : Matériau de granite.

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Certains marbres, comme le vert antique, composés de calcaire et de serpentines, sont des ophicalces [19].



Figure I- 5 : Matériau du marbre

Schiste est une roche qui a pour particularité d'avoir un aspect feuilleté, et de se débiter en plaques fines ou « feuillets rocheux ». On dit qu'elle présente une schistosité. Il peut s'agir d'une roche sédimentaire argileuse, ou bien d'une roche métamorphique. Quand celle-ci est uniquement sédimentaire, les géologues canadiens préfèrent utiliser le terme « shale ».



Figure I-6 : Roche de schiste

I-7.2 Classification des matériaux de construction :

Les matériaux de construction sont considérés comme tous les matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages en béton armé ou en constructions métallique, ainsi qui sont largement utilisés dans le domaine de travaux publics (Route, ponts, aéroport.....etc.).

On distingue trois types de classification les plus couramment connus : [20]

-Classification scientifique :

Dans la science des matériaux, selon la composition et la structure, les matériaux sont classés comme suit :

- Métaux et alliages
- Polymères
- Céramiques

-Matériaux de base et produits :

- Matériaux de base ou matière première (Argiles, pierres, bois, calcaire, métaux).
- Matériaux produits et composites (ciment (calcaire+argile), alliages, béton,)

-Classification pratique :

Dans la construction, les matériaux sont classés selon le domaine d'emploi et selon leurs propriétés principales (Résistance, compacité,..) :

- Les matériaux de résistance : Sont les matériaux qui ont la propriété de résister contre des sollicitations (poids propre, surcharge, séisme.....) : parmi les matériaux les plus fréquemment utilisées sont : Pierres, Terres cuites, Bois, Béton, Métaux, etc.

- Les matériaux de protection : Sont les matériaux qui ont la propriété d'enrober et de protéger les matériaux de construction principaux contre les actions extérieures, tels que : Enduits, Peintures, Bitumes, etc.

I-7.3 Propriétés des matériaux :

Les propriétés principales des matériaux peuvent être divisées en plusieurs groupes tels que:

-Propriétés physiques: qui mesurent le comportement de matériaux à l'action de la température, l'humidité (la densité; la masse volumique, la porosité, l'absorption, la perméabilité, le retrait (le gonflement) etc..) ;

-Propriétés chimiques: qui caractérisent le comportement des matériaux dans un environnement réactif, (corrosion chimique, l'attaque de l'acide, etc...)

-Propriétés mécaniques: qui reflètent le comportement des matériaux déformés par les forces. (la résistance en compression, en traction, en flexion, torsion etc...).

-Propriétés thermiques: (la dilatation, la résistance et comportement au feu, etc...)

I-7.4 Définition du mortier :

Le mortier est un matériau pouvant satisfaire à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Toutefois, il n'existe pas de mortier universel, convenant à toutes les situations. Le Concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés. La fonction principale d'un mortier est de liasonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène [21], [22].

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

La composition du mortier est la suivante :

-Liants : le ciment, de la chaux ou du ciment de maçonnerie, ou un des divers mélanges de ces matériaux

-Granulats : Le sable est le granulats le plus employé fréquemment. Il est inerte et sert tout d'abord à accroître la compacité. Ses limites granulométriques sont entre 63um mm et 2 mm.

-Eau : remplit un double rôle: elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale

Le mortier a pour rôle de solidariser les éléments entre eux, d'assurer la stabilité de l'ouvrage, de combler les interstices entre les blocs de construction. Le mortier de ciment peut être utilisé pour la réalisation de maçonnerie de blocs de béton d'enduits traditionnels intérieurs ou extérieurs, de chape, de joints de maçonnerie [23].extérieurs

Les mortiers sont des éléments indispensables à toute construction. Selon vos besoins, un mortier peut être utile pour :

- Lier des briques ou des pierres entre elles,
- Effectuer l'enduit d'un mur,
- Sceller des éléments,
- Mieux répartir les charges de construction.

Il s'agit donc d'un matériau indispensable pour monter un mur en brique, mais aussi pour la plupart des travaux de construction et de rénovation en maçonnerie.

I-7.5 Les différents types de mortiers :

- **Les mortiers de ciment** : Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment insuffisant les rend pratiquement imperméables.
- **Les mortiers de chaux** : Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

- **Les mortiers bâtards** : Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

-Le mortier hydrofuge :

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface.

Il permet de :

- Boucher des fissures,
- Enduire un mur,
- Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine [24].

-Le mortier-colle :

Citons enfin l'existence du mortier-colle. Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol.

Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur.

I.8.Le choix d'un polymère

Des mortiers et des bétons légers peuvent être produits en remplaçant les granulats légers traditionnels par des granulats de polymères légers, partiellement ou complètement en fonction de leur densité et de leur résistance mécanique, et cela, afin de réduire le problème de l'élimination des déchets solides, la consommation d'énergie et la pollution de l'environnement [25].

I-8.1 Les polymères utilisés dans la construction :

Parmi les matériaux de construction, on entend les matériaux qui sont utilisés pour la construction de maisons ou de bâtiments. Quel que soit le type de construction, il est fait appel à des matériaux inorganiques tels que le béton ou le ciment ainsi qu'à des matériaux organiques tels que le bois. Le grand choix de procédés de fabrication dans la construction permet l'utilisation d'un vaste éventail de matériaux [26].

L'utilisation, dans le Génie Civil, de tous ces polymères, est relativement récente par rapport à l'origine du béton. Les premières grandes applications ont été réalisées dans le début des années 60, dans le cadre de réparations et/ou de remise en état, avant d'être envisagées en travaux neufs, permis les plus importants produits on distingue : [27].

- Béton avec polymère

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère.

Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moindre. Le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers [28].



Figure I-7 Composite béton polymère.

- Les revêtements de sol

Les revêtements de linoléum et de parquet traditionnels ont été remplacés par des sols fabriqués selon la nouvelle technologie des polymères. Ils ont rapidement gagné en popularité parmi les utilisateurs. De tels sols sont installés dans de nombreuses maisons et appartements, mais avant d'acheter une certaine option, vous devez examiner attentivement toutes les nuances et caractéristiques du revêtement. Il présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques qui le distinguent des autres types de revêtements de sol. [29]



Figure I-8 Revêtement de sols

- Les tuyaux ou gaines

La fonction d'un tuyau industriel est de permettre le transfert de différents matériaux solides, liquides ou gazeux par refoulement ou aspiration. Pour le choix d'un tuyau industriel, l'utilisateur ou le prescripteur sera amené à prendre en compte un certain nombre de données.

Un tuyau possède un tube intérieur destiné à l'étanchéité du tuyau est réalisé dans un polymère homogène présentant une excellente résistance au produit véhiculé. Le revêtement est constitué d'un polymère homogène et destiné à isoler l'armature de son environnement d'utilisation. [30].



Figure : I-9 Tuyaux ou gaines

- Mousses

Les mousses polymères appartiennent à la famille des mousses solides qui sont des matériaux polyvalents, largement utilisés dans un grand nombre d'applications telles que l'automobile, l'emballage, produits de sport, isolants thermiques et acoustiques ou l'ingénierie tissulaire. Composée de bulles d'air piégées dans un réseau continu solide, elles allient les propriétés du polymère avec ceux de la mousse pour créer un matériau intéressant et complexe. L'intégration d'une mousse dans un réseau de polymère permet non seulement d'utiliser la vaste gamme de propriétés intéressantes offertes par les polymères, mais permet aussi de profiter des propriétés avantageuses des mousses telles que la légèreté, la faible densité, la compressibilité et un rapport surface/volume grande surface élevé. [31].



Figure I-10 Mousses

- Fibres

Les polymères arrangés en fibres de cette façon peuvent servir à fabriquer des fils et donc des tissus. Les vêtements sont faits de fibres polymères. Ainsi que le tapis. Ainsi que les cordes.

Il est important de souligner que les fibres sont toujours faites de polymères cristallins. Les chaînes doivent en effet être capables de s'arranger de façon régulière afin de s'aligner sous forme de fibres [32], Voici quelques polymères qui peuvent servir à faire des fibres Polyéthylène Polypropylène Nylon Polyester Kevlar et Nomex Polyacrylonitrile Cellulose Polyuréthanes.



Figure I-11 : Fibres naturels

- Géotextiles

Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Ce sont en fait des textiles, au sens commun du terme utilisés au contact du sol. [33].

Il existe aussi des produits apparentés aux géotextiles conçus pour assurer l'une au moins des fonctions élémentaires des géotextiles. Parmi ces produits, citons les géogrilles, géocomposites, géocellules, géonaturels (constitués de Fibres naturelles) notamment utilisés en renforcement, drainage, protection des berges, et lutte antiérosion.



Figure I-12 : Matériaux de géotextiles

- Les produits d'étanchéités

En matière de bricolage, les joints sont utilisés dans de nombreux domaines, de l'isolation au sanitaire, en passant par le carrelage, pour assurer une parfaite étanchéité. Les joints d'étanchéité ont pour fonction d'éviter les fuites de liquide ou de gaz au niveau d'un raccord. Ils peuvent aussi servir dans le domaine de la construction à empêcher l'eau de pluie, le vent, le froid, etc., de pénétrer dans un bâtiment. Tour d'horizon des différents types de joints existants et leurs différentes utilisations. [30].

Permis les joints les plus utilisés ce sont Les joints d'isolation de porte et de fenêtre comme : les joints en mousse, les joints en PVC et les mastics.



Figure I-13 : Produits d'échanchiétés.

- Les adhésives

Les films adhésifs polymères sont spécifiquement conçus pour des applications longues durées en extérieur. Ils peuvent tout autant être utilisés en intérieur et se caractérisent par leur stabilité dimensionnelle, leur résistance et leur excellente imprimabilité [29].

Il existe deux types d'adhésifs qui durcissent par séchage : les adhésifs à base de solvants et les adhésifs en dispersion polymère, également appelés adhésifs en émulsion. Les adhésifs à base de solvants sont un mélange d'ingrédients (typiquement polymères) dissous dans un solvant. La colle blanche, les adhésifs de contact et les ciments de caoutchouc font partie de la famille des adhésifs de séchage. Lorsque le solvant s'évapore, l'adhésif durcit. Selon la composition chimique de l'adhésif, ils adhéreront à différents matériaux à des degrés plus ou moins importants [30].

Les adhésifs en dispersion de polymère sont des dispersions blanc laiteux souvent à base d'acétate de polyvinyle (PVAc). Ils sont largement utilisés dans les industries du bois et de l'emballage. Ils sont également utilisés avec des tissus et des composants à base de tissu [31].

I-9 Les composites mortier-polymère :

Traditionnellement, un mortier ou un béton peuvent être allégés en y incluant de l'air, ou en additionnant des matériaux légers comme les argiles, la perlite et la vermiculite expansée. D'autres méthodes visent aussi à recycler divers produits comme le verre, le liège et le papier, et à les ajouter de diverses manières dans les matériaux de construction comme le béton ou les mortiers. Ces matériaux ainsi recyclés se substituent alors aux granulats ou aux additions de fillers/fines pour améliorer les propriétés des mortiers que cela soit à l'état frais (rétention d'eau, mise en œuvre, rhéologie, ouvrabilité) ou à l'état durci (stabilité thermique, résistance mécanique, absorption d'eau, perméabilité à la vapeur d'eau, propriétés acoustiques).

Les matériaux composites [25] sont aujourd'hui l'objet de recherche tant théorique qu'expérimentale, car un regain d'intérêt se manifeste dans le monde pour l'utilisation des composites mortier- polymère [33] dans l'industrie du bâtiment pour différentes applications.

Les agressions chimiques externes sont dues essentiellement aux acides, aux bases, aux sulfates et aux solutions salines qui dissolvent la chaux du ciment et en formant des composés nouveaux, entraînant l'érosion, le gonflement et l'éclatement des ouvrages en mortier, ce qui peut mettre en péril la stabilité de ces derniers. Généralement, les conséquences d'une réaction sulfatique sont d'ordre macroscopique en particulier d'ordres mécaniques tels que chute de résistance, fissuration et expansion. Ce type de dégradation qui est à plus ou moins long terme est fonction de l'attaque (teneur ou concentration des sulfates en contact) et du type de ciment utilisé [34] and [35], [36].

I-9 Interaction entre les matériaux cimentaires et les organismes microbiologiques :

Durant toute sa vie, un matériau voit ses propriétés initiales changer en fonction des agressions qu'il subit : c'est le processus de vieillissement. Ce processus peut être d'origine chimique, physique, ou encore intervenir suite à l'interaction entre le matériau et des organismes biologiques. C'est cette dernière origine qui est développée dans la suite de cette étude.

I-9.1 Généralités sur les vieillissements d'origine biologique :

Le vieillissement d'origine biologique d'un matériau a lieu suite à l'interaction de ce matériau avec des êtres vivants de taille microscopique : les micro-organismes. Ce type d'interaction est rencontré dans de nombreux domaines (industrie pétrolière, installations portuaires, ouvrages de génie civil, etc.) et affecte les matériaux du patrimoine. Le vieillissement d'origine biologique touche tous types de matériaux, y compris les matériaux cimentaires [37]. Il arrive que ces interactions soient recherchées pour leur effet positif sur le matériau : c'est le cas par exemple pour des applications de bioprotection ou de bioconsolidation de matériaux [38]. Toutefois, dans la majorité des cas, ces interactions débouchent sur des changements non désirés et altèrent les propriétés du matériau. Dans ce contexte, les paragraphes qui suivent sont dédiés à la compréhension de trois mécanismes de vieillissement d'origine biologique : la bioaltération, la biodégradation et la biodétérioration.

La bioaltération se présente généralement sous la forme de salissures, c'est-à-dire de développements biologiques à l'origine de tâches de couleur à la surface du matériau (Figure I. 14). Cette biocolonisation conduit à l'altération esthétique des surfaces, et touche de nombreux ouvrages en pierres naturelles ou artificielles, bâtiments et ouvrages de génie civil.

La biodégradation est un processus de vieillissement issu d'une action directe des micro-organismes, qui puisent dans le matériau des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance [21]. Ce processus pouvant conduire à la décomposition du matériau, il est donc assimilé à une biotransformation ou une bioconversion de ce matériau. Enfin, la biodétérioration est un processus de vieillissement impliquant un endommagement non désiré du matériau, pouvant mener à la ruine d'une structure (Figure I.14 et Figure I.15). Dans les cas de biodétérioration, l'endommagement de la structure résulte d'un ensemble d'agressions d'intensité variable et sur des durées plus ou moins élevées [35] : - Des attaques physiques par la pénétration d'hyphes dans le matériau, au niveau des fissures ou des porosités, pouvant exercer des pressions internes [36]. - Des attaques chimiques par la production de substances acides (acides acétique, nitrique, ou encore sulfurique).



Figure I-14 : Bioaltération d'une facade , d'une dalle d'une fosse et d'un collecteur.

La porosité du matériau joue un rôle majeur dans la vitesse de colonisation. En effet, si la géométrie, la taille et la distribution autorisent la pénétration des micro-organismes au sein du matériau, cela peut conduire à une augmentation de la vitesse de colonisation. En outre, la porosité peut permettre de piéger de l'eau contenant d'éventuels nutriments essentiels pour le développement des micro-organismes.

C'est notamment le cas des microchampignons, qui peuvent utiliser ces nutriments afin de développer des hyphes au sein du matériau. De plus, en cas de grande porosité de surface, les micro-organismes peuvent pénétrer plus profondément dans le matériau, et occasionner des dommages biophysiques [34].

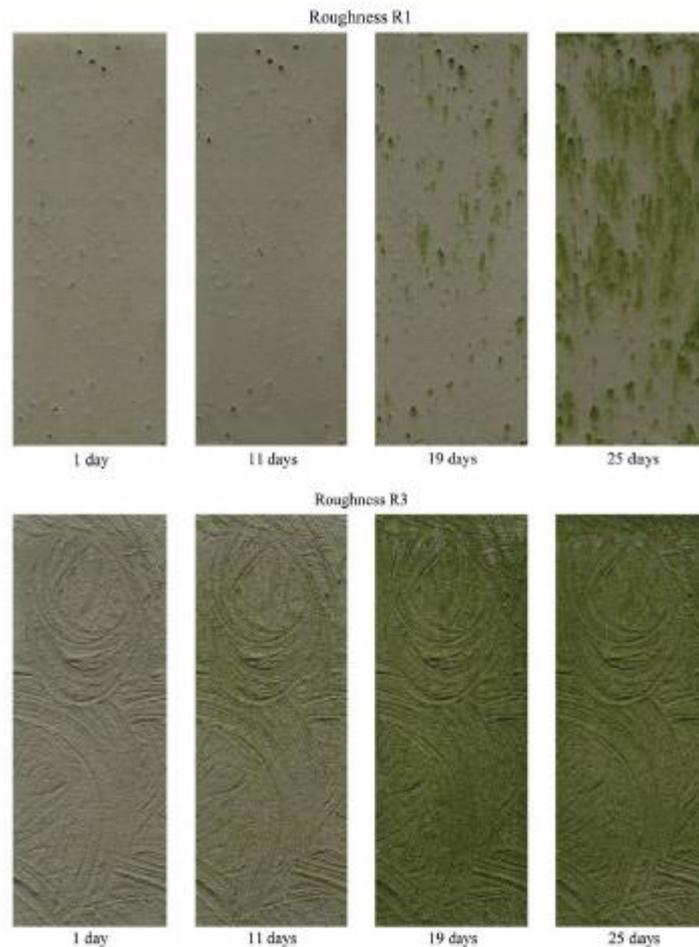


Figure I-15 : Influence de la rugosité de mortiers sur la colonisation par des micro-algues

I- 10 Conclusion :

Ce chapitre illustre une généralité sur les matériaux de construction et polymères et une présentation des différents travaux de recherche sur la valorisation des déchets de polymères dans les mortiers comme remplacement des agrégats ; et du sable ou comme ajout, ce qui conduit à l'élimination de ce type de déchets dans la nature et à la réduction du coût du mortier.

Les résultats des travaux des différents chercheurs mentionnés ci-dessus indiquent ce qui suit :

- Le remplacement partiel du sable par les granulés de plastique réduit l'expansion des mortiers si les déchets de plastique sont finement broyés.
- La résistance du mortier avec l'ajout de déchets de plastique comme remplacement partiel des granulats fins et grossiers ou du sable est liée à de nombreux paramètres tels que le pourcentage de remplacement, la taille et la forme des particules de plastique ; ainsi que la nature du déchet.
- La résistance à la compression du mortier avec l'ajout de poudre de plastique comme remplacement partiel du sable augmente avec la diminution de la taille des particules des déchets.
- L'ajout des particules de polymère dans le mortier comme remplacement partiel du sable remplit les vides et réduit ainsi la porosité, ce qui entraîne une augmentation de la résistance à la traction et compression.
- La nature du polymère a une influence sur la résistance des composites mortier-polymère à la biodétérioration dans les conditions d'un réseau d'assainissement.
- La porosité à l'eau des composites mortier-polymère est plus faible que celle de mortiers non modifiés. En revanche, en cas de séchage à l'air libre des mortiers, la présence de polymère ne permet plus de réduire la porosité à l'eau par rapport à des mortiers non modifiés. De plus, dans tous les cas le séchage à l'air libre a un impact négatif sur la porosité à l'eau des mortiers.
- Concernant la porosité à l'eau des mortiers, les essais ont montré que dans le cas d'une cure favorisant à la fois l'hydratation du ciment et la formation de films continus de polymères

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Introduction

La synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence les principales caractéristiques connues des matériaux composites mortier-polymère, ainsi que les verrous scientifiques qui subsistent. Pour rappel, les composites mortier-polymère sont un mélange de ciment, de sable et d'eau auquel sont incorporés des polymères. Afin de mener à bien cette étude, il convient tout d'abord de sélectionner et de caractériser les matériaux d'étude. Ce chapitre a donc pour objet de présenter les techniques de caractérisation générales mises en œuvre dans cette étude, mais surtout de présenter les caractéristiques du sable, du ciment et des polymères qui seront utilisés pour la formulation des mortiers. Dans le but de mettre en évidence l'influence de la présence d'ajouts polytéréphtalate d'éthylène (PET) sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des mortiers, on a effectué une série d'essais, chimiques, physiques et mécaniques dans des Laboratoires différentes de la société CETIM situé à Boumerdes-Algérie.

Pour la série d'essais et résultats, On s'est intéressé à l'évolution des résistances mécaniques (compression et traction par flexion trois points) de ces mortiers en fonction de la variation des paramètres essentiels (pourcentage de l'ajout du PET, âge des éprouvettes, etc.). Afin d'arriver à des conclusions pratiquement exploitables, il a été nécessaire dans la seconde série de réaliser des essais d'identification microstructurale. Dans ce but, on a fait appelle à l'analyse thermiques ATG, les diffractions aux rayons X, les essais mécaniques et la microscopie optique. Dans ce travail, nous présentons une approche complémentaire aux études précédentes où des effets de 1.5%, 2.5% et 3.5% en poids de substitution du sable avec des déchets de PET ont été étudiés.

II-1 Essais sur mortiers :

Le travail consiste à préparer un mortier pour la fabrication des éprouvettes 4x4x16 (cm³). Pour que les résultats soient comparables, on passe, d'un mortier à l'autre, et on prend comme seule variable la composition du sable qui est substitué par PET.

II-2 Identification des constituants du mortier – mortier composite :

II-2.1 Les constituants du ciment :

- Le clinker
- Le gypse
- La pouzzolane
- Le tuf

Les analyses chimiques et minéralogiques, donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matières premières.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats expérimentaux.

Le ciment utilise est de type pouzzolane contenant entre 45 et 90 % de clinker, le reste étant des pouzzolanes naturelles, des cendres volantes siliceuses ou de la fumée de silice. Ayant une bonne résistance mécanique, mais sensible au froid, il est destiné en particulier à des travaux massifs en béton armé.

Tableau II-1 : résultats des essais physique.

		Résultats
Consistance normalisée (%)	H ₂ O	26.0
Temps de prise (mn)	Début	215
	Fin	275
Stabilité (mm)	Froid	-
	Chaud	0.0
Masse volumique absolue du ciment (g/cm ³)		3.08
Finesse suivant la méthode Blaine (cm ² /g)		3696

La composition chimique et minéralogique du ciment a été déterminée par ICP-AES (La spectrométrie d'émission atomique – plasma à couplage inductif) (tableaux II-1 et II-2).

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Les analyses réalisées permettent de préciser la teneur de chaque oxyde dans le ciment choisi, il est important dans cette étude de bien comprendre l'effet des polymères sur la prise et l'hydratation des matériaux composites. Dans ce contexte, l'utilisation d'un ciment à faible teneur en C3A permet de favoriser uniquement la formation de C-S-H et de portlandite à l'issue de l'hydratation. De plus, le ciment a une faible teneur en carbonate.

Tableau II-2 : composition chimique du ciment

Composition Chimique	Teneur (%)
SiO ₂	22.36
Al ₂ O ₃	5.32
Fe ₂ O ₃	2.72
CaO	62.98
MgO	1.45
K ₂ O	0.65
Na ₂ O	0.24
SO ₃	1.21
CaO libre	1.375
Cl-	<0.010
Ins.	4.77
P.F	2.640
CO ₂	1.46

Tableau II-3 : composition minéralogique du ciment

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker (%)
Clinker	C ₃ S	57
	C ₂ S	21
	C ₃ A	08
	C ₄ AF	11
	CaO _L	< 02
Régulateur de prise	Gypse	03

-Présence d'autres formes de cristaux non identifiés < 02 %

Ajout	Pouzzolane (P)	07
	*	--

*Avec des grains de calcaire

II-2.2 Sable :

La norme (NF P18-541) montre que le sable présente des caractéristiques, pouvant lui permettre d'être utilisé pour la confection des mortiers. Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiments et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire. Le sable utilisé est de provenance du gisement d'Oued Souf, qui se situe à 620 Km au sud-est d'Alger, c'est un sable naturel (sable de dune), il est constitué principalement de petites particules de silice, propre dont les grains sont généralement de forme isométrique et arrondie de dimension variant entre 0,08 et 3 mm) Le sable est conditionné en sachets de polyéthylène contenant chacun $1\ 350 \pm 5$ g.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Les résultats de l'essai effectués pour le sable utilisé est présenté dans le tableau II.4.

Tableau II-4 : composition granulométrique du sable

Dimensions des mailles carrées (mm)	Refus cumulés sur les tamis (%)
2.00	0
1.60	7±5
1.00	33±5
0.50	67± 5
0.16	87± 5
0.08	99± 1

II-2.3 L'eau :

L'eau utilisée est l'eau de robinet, qui alimente les laboratoires, il joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, il facilite aussi la mise en œuvre du mortier.

II-2.4 PET :

La première étape de la sélection des polymères d'étude consiste à choisir entre polymères sous forme de poudre et polymères sous forme de latex. L'objectif de ces travaux étant d'étudier l'influence des polymères sur l'hydratation, le séchage contrôlé ou encore la biocolonisation de mortiers, il est préférable de travailler avec des échantillons les plus purs possible [1].

Enfin, il est indispensable de sélectionner des polymères capables de former des films continus à température ambiante. En effet, la formation d'une co-matrice polymère-ciment de bonne qualité est garante de l'atteinte de propriétés souhaitées.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Le polymère utilisé dans notre travail est connu par le nom poly(téréphtalate d'éthylène) synthétisé par polycondensation de l'éthylène glycol avec l'acide téréphtalique.

Il faut dire qu'il offre toute une série d'avantages : léger, solide, recyclable et surtout sûr pour les denrées alimentaires. Sa formule chimique est la suivante : $-\text{[O}-(\text{CH}_2)_2\text{-O-CO-Ph-CO]}_n$ [2].

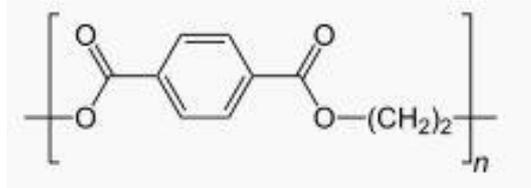


Figure II-1 : structure de poly (téréphtalate d'éthylène).

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques de PET

Tableau II-5 : les principales caractéristiques de PET

T° transition vitreuse	T° fusion	Paramètre de solubilité δ	Masse volumique	Conductivité thermique
70 °C ¹	245 °C	20,5 J ^{1/2} cm ^{-3/22} 21,9 MPa ^{1/23}	20,5 J ^{1/2} cm ^{-3/22} 21,9 MPa ^{1/23}	0,15 W m ⁻¹ K ⁻¹⁴

II-3 Elaboration des différents mortiers :

II-3.1 Composition du mortier brut :

La réalisation de nos formulations nous conduit en premier lieu de connaître les proportions des constituants de chaque formulation.

- Pour le mortier de référence, sa composition chimiques est la suivante: Pour trois éprouvettes du mortier de référence, nous aurons besoin de : (450±2) g de ciment, (1350±5) g de sable et (225±1) g d'eau.

- Pour les autres mortiers, on a pris les mêmes quantités



Figure II-2 : Matières premières constituant les mortiers.

Tableau II-6 : Matières premières de référence des mortiers réalisés.

Matières premières	Ciment	sable	l'eau
Masse (g)	450	1350	225

II-3.2 Malaxage de mortier :

-Introduire 225g (+/-1) d'eau et 450g (+/-2) de ciment dans le malaxeur et le mettre immédiatement en marche à faible vitesse.

-Après 30 secondes de malaxage, ajouter 1350 g (+/-5) de sable régulièrement durant les 30 secondes suivantes.

-Passer le malaxeur à grande vitesse et continuer le malaxage durant 30 secondes supplémentaires.

-Arrêter le malaxage et remettre le mortier collé sur les parois au fond du bol, puis reprendre le malaxage à haute vitesse pendant 60 secondes.



Figure II-3 : Préparation du mortier.

II-3.3 Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique de $4 \times 4 \times 16$ cm.

1-Fixer le moule et la hausse solidement sur la table à choc, le moule ayant été préalablement enduit avec une fine couche d'huile.

2-remplir les moules en deux couches :

-Mettre une première couche.

-Mettre l'appareil en marche : 60 chocs vont être faits pour étaler la première couche de mortier.

-Eteindre l'appareil puis mettre la deuxième couche de mortier.

3-Dès que l'opération est réalisée et que le mortier est bien étalé sur le moule, égalisé avec une spatule.

4-Lorsque le mortier est solidifié, l'éprouvette est retirée. Ici, les éprouvettes fabriquées ont été démoulées à 2 jours, 7 jours et 28 jours.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.



-Huiler le moule et le fixer sur la table à choc



- Remplir les moules en deux couches.



- Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule.



- Démoulé les éprouvettes après 24 heures.



-Mise les éprouvettes dans de l'eau.

II-4 Etude des propriétés mécaniques des différentes formulations :

Le comportement et les caractéristiques mécaniques ont été étudiés sur des éprouvettes équipées de jauges d'extensomètres, par des essais de compression et des essais de traction flexion.

II-4.1 Résistances mécaniques à la flexion et compression :

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme prismatique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

L'essai de flexion permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis, puis, une force croissante est appliquée au centre de la barrette jusqu'à rupture.



Figure II-4 :Appareils de compression et de flexion

II-5 Mortiers composite :

L'objectif principal de cette partie est de déterminer l'influence des polymères sur la prise des matériaux cimentaires. Cette étude est menée sur des pâtes de ciment contenant différents ratios massiques polymère/ciment, notés P/C dans la suite. Dans les paragraphes qui suivent les essais ont été réalisés sur au moins trois échantillons de chaque formulation, ceci afin d'évaluer la répétabilité des essais.

Tableau II.7 : Matières premières des composites mortiers+polymère.

Composition	Ciment	Ciment	Sable	Sable	PET	PET
F ₁	100%	450	98.5%	1329.75	1.5%	20.25
F ₂	100%	450	97.5%	1316.25	2,5%	33.75
F ₃	100%	450	96.5%	1302.75	3.5%	40.50

L'étude de l'influence des polymères sur l'hydratation matériaux cimentaires est réalisée sur pâte de ciment, ce qui permet d'amplifier le signal. De plus, différents taux de polymères sont testés, représentatifs de la gamme de P/C rencontrés dans les formulations de mortiers de réparation.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

La formulation des pâtes de ciment se fait de manière à maintenir constante la quantité d'eau dans tous les échantillons, indépendamment du P/C. Une pâte de ciment non modifiée.. La quantité d'eau est ensuite maintenue constante pour tous les taux de polymères, en tenant compte de l'eau contenue dans les latex.

Les teneurs en polymère, exprimant la part de polymère par rapport à la masse totale de la pâte de ciment, sont également précisées à titre indicatif. Enfin, les ratios eau/ciment, notés E/C dans la suite, sont calculés. Il en ressort que, à masse d'eau constante, l'augmentation du ratio P/C conduit à une augmentation du ratio E/C.

On va parler de l'effet de température à 25 ° C (une température ambiante concerne le mortier composite). Le polytéréphtalate d'éthylène (PET) est largement utilisé dans les bouteilles de boisson et d'autres produits d'emballages. Ainsi, l'une des méthodes logiques pour traiter les déchets de PET est de les recycler pour un usage industriel.

Dans cette partie, nous présentons une approche complémentaire aux études précédentes où des effets de 1.5%, 2.5% et 3.5% en poids de substitution du sable avec des déchets de PET ont été étudiés. Ainsi, des spécimens (4x4x16cm³).

1-Première formulation : mortier + polymère 1.5 %



- Huiler le moule et le fixer sur la table à choc.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.



- Pesé 20.25 g de polymère PET et 1329,7 g de sable



-Mélange du (ciment, sable, l'eau et le polymère) dans malaxage



-Remplir les moules en deux couches.



- Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule



-Démoulé les éprouvettes après 24 heures.



- Mise les éprouvettes dans de l'eau.

2- Deuxième formulation mortier + polymère 2.5 %



-Huiler le moule et le fixer sur la table à choc.



- Pesé 20.25 g de polymère PET et 1329,7 g de sable.



- Mélangé (ciment, sable, l'eau et polymère) dans malaxage.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.



- Remplir les moules en deux couches.



- Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule



- Démoulé les éprouvettes après 24 heures.

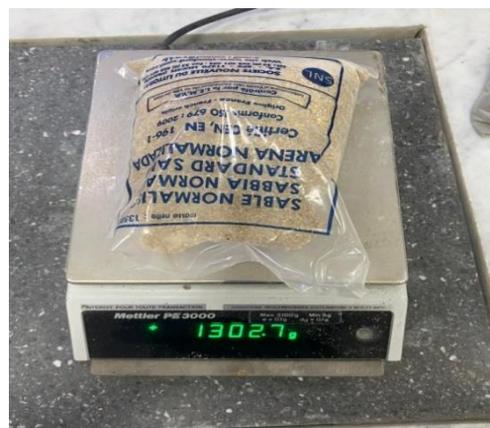


- Mise les éprouvettes dans de l'eau.

3- 3^{eme} formulation : mortier + polymère 3.5%



-Huiler le moule et le fixer sur la table à choc.



-Pesé 20.25 g de polymère PET et 1329,7 g de sable

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.



- Mélangé (ciment, sable, l'eau et polymère) dans malaxage.



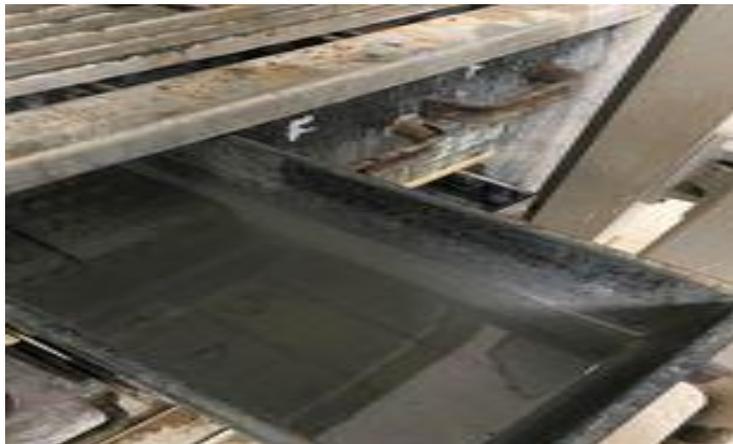
- Remplir les moules en deux couches.



-Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule



-Démoulé les éprouvettes après 24 heures.



- Mise les éprouvettes dans de l'eau.

II-6 Matériels utilisés

II-6.1 Malaxeur

Malaxeur Le malaxeur doit comporter essentiellement :

a) un bol en acier inoxydable d'une capacité d'environ 51, équipé d'un dispositif permettant de le fixer solidement sur le bâti du malaxeur pendant le malaxage et permettant de régler avec précision et de maintenir la hauteur du bol par rapport au batteur et, dans une certaine mesure, le jeu entre le batteur et le bol.

b) un batteur en acier inoxydable présentant la forme typique, tournant autour de son propre axe et entraîné, en même temps, en un mouvement planétaire autour de l'axe du bol, à des vitesses contrôlées par un moteur électrique. Les deux sens de rotation doivent être opposés et le rapport des deux vitesses ne doit pas être un nombre entier.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Batteurs et bols doivent toujours être appariés. Le jeu de (3 ± 1) mm correspond à la position dans laquelle le batteur dans le bol vide, est amené le plus près possible de la paroi. Ce jeu doit être vérifié régulièrement en appliquant une pression minimale au batteur tout en s'assurant qu'il n'y a pas d'espace perceptible entre le joint du batteur et l'axe du moteur.



Figure II-5: malaxeur automatique.

II-6.2 table à choc

La masse combinée de la table, incluant les bras, le moule vide, la hausse et les moyens de fixation doit être de $(20,0 \pm 0,5)$ kg Les bras reliant la table à l'axe de rotation doivent être rigides et constitués de tubes ronds, d'un diamètre extérieur compris entre 17 mm et 22 mm, choisis parmi les tailles de tube données dans l'ISO4200, La masse totale des deux bras, y compris les entretoises éventuelles, doit être de $(2,25 \pm 0,25)$ kg.

Les roulements de l'axe de rotation doivent être du type à billes ou à galets et protégés contre la pénétration de particules ou de poussières. Le déplacement horizontal du centre de la table, du au jeu de l'axe, ne doit pas être supérieur à 1,0 mm le marteau et l'enclume doivent être en acier trempé dans la masse d'une dureté Vickers de 500 HV au minimum.



Figure II-6 : table à choc

II -7 Les analyses effectuées :

II 7.1 La diffraction des rayons X ou DRX :

Est une technique analytique basée sur la diffraction des rayons X par la matière notamment lorsque celle-ci est cristalline. Son objectif est d'étudier les différentes phases de la matière. La diffraction des rayons X est une diffusion élastique. Ce terme désigne le fait que les photons ne perdent pas d'énergie, leur longueur ne change pas. Cela donne des interférences autant marquées que la matière est ordonnée. En ce qui concerne les matériaux cristallins, on parle de diffusion. L'appareil de mesure est appelé chambre de diffraction lorsqu'il est photographique et diffractomètre lorsqu'il comporte un système de comptage des photons. Les données obtenues forment un diagramme de diffraction ou diffractogramme.



Figure II-7 : appareil de DRX.

II -7.2 Les essais mécaniques :

II -7.2.1 Essai de compression :

Les essais de compression réalisés, pour caractériser le comportement d'un matériau sous une charge de compression. Au cours de l'essai, une pression est appliquée à l'éprouvette à l'aide de plateaux de compression, qui permettront de déterminer diverses propriétés du matériau. Les données d'essai fournissent des résultats, sous la forme d'un diagramme contrainte-déformation, qui indique, entre autres, la limite élastique, la limite proportionnelle, la limite d'élasticité et, dans certains cas, la résistance à la compression.



Figure II-8: appareil de compression.

II-7.2.2 Essai de flexion :

Méthode de caractérisation du comportement d'un matériau sous forme de poutre placée sur deux appuis et soumise à une charge. Pour certains matériaux, cet essai est appelé « essai transversal sur poutre » (transverse beam test). L'éprouvette en forme de poutre de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ est placée sur deux couteaux d'appui et soumise à une charge en son centre [3], [4].

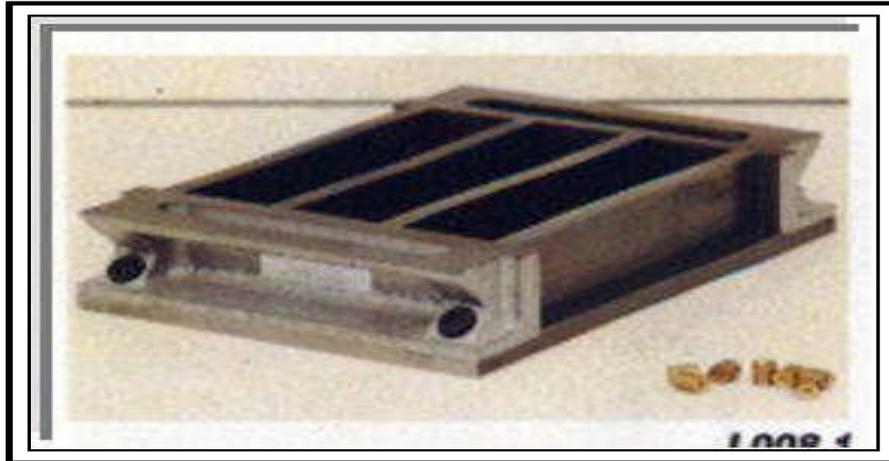


Figure II-9: Moule à alvéoles pour mortier (NF P 15-413)

La contrainte maximale de fibre et la déformation maximale sont calculées pour des valeurs croissantes de la charge. Les résultats sont représentés sous la forme d'une courbe de contrainte-déformation et la contrainte maximale de fibre détermine la résistance à la flexion. Pour les matériaux qui ne se fendillent pas sous charge, le résultat est exprimé par la limite d'élasticité en flexion.

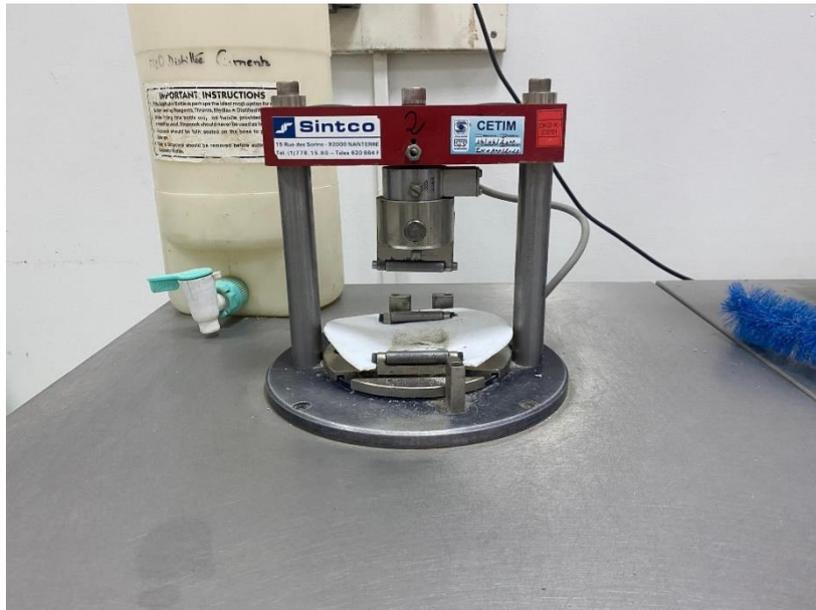


Figure II-10 : appareil de flexion a 3 points

II-7.3 Essai de la biocolonisation du composite mortier polymère :

Dans le premier chapitre, les conséquences de l'interaction entre des matériaux cimentaires et des micro-organismes ont été développées. En effet, cette interaction dans un milieu favorable à la croissance des micro-organismes peut conduire à une biocolonisation de la surface du matériau de protection et/ou de réparation par les micro-organismes présents dans le milieu environnant (figure II. 37). Cette biocolonisation se traduit par la formation d'un biofilm à la surface du matériau qui peut engendrer sa bioaltération, voire à sa biodétérioration. Si dans le premier cas les conséquences sont essentiellement d'ordre esthétique, dans le second cas l'intégrité du matériau peut être remise en cause [5], [6], [7].

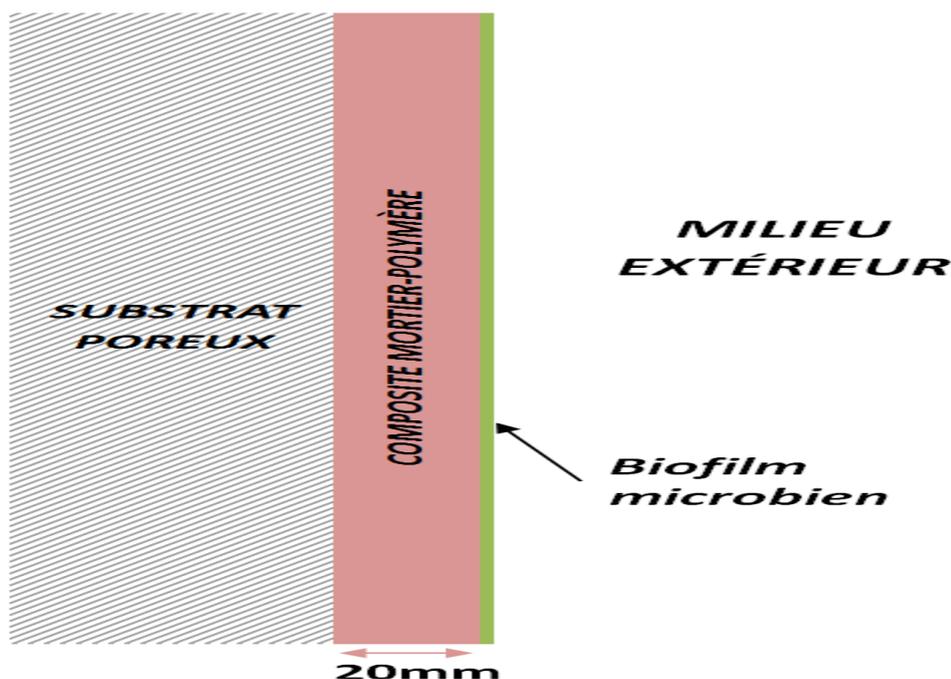


Figure II-11: Représentation schématique de la biocolonisation d'une façade de bâtiments

Les études sur la biocolonisation des composites mortier-polymère sont réalisées sur des échantillons de mortier à l'état durci. Dans le cadre de l'étude de bioaltération des composites mortier-polymère, deux dispositifs sont mis en œuvre afin d'évaluer la bioréceptivité des composites mortier-polymère en comparaison à un mortier de référence exempt de polymères. Ce dispositif consiste en une bioaltération dans des cas d'humification des matériaux par remontée capillaire. Ces deux dispositifs et les conditions d'essais associées sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Dans le cadre de cet essai, deux formulations (mortier sans polymère et mortier composite avec 1.5% de PET) sont inoculés par la suspension de micro-algues à l'aide d'une pipette : 2 mL de suspension sont déposés sur chaque face des échantillons qui sont ensuite maintenus 90 min à température ambiante afin que la suspension sèche. Enfin, les échantillons sont mis en place sur un lit de vermiculite de 2,5 cm de hauteur, soit environ 215 g (figure II.38). La vermiculite est préalablement humidifiée par quatre fois sa masse en milieu de culture, et disposée dans une boîte en plexiglass hermétique. Dans les précédentes études, les échantillons étaient placés horizontalement sur le lit de vermiculite.

Chapitre II : identification et caractérisation du mortier brut et mortier composite.

Les échantillons sont maintenus dans la boîte hermétique à une température de $25,0 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, et une humidité relative de 90 %. Des cycles d'éclairage sont mis en place avec une photopériode de 12h/12h.

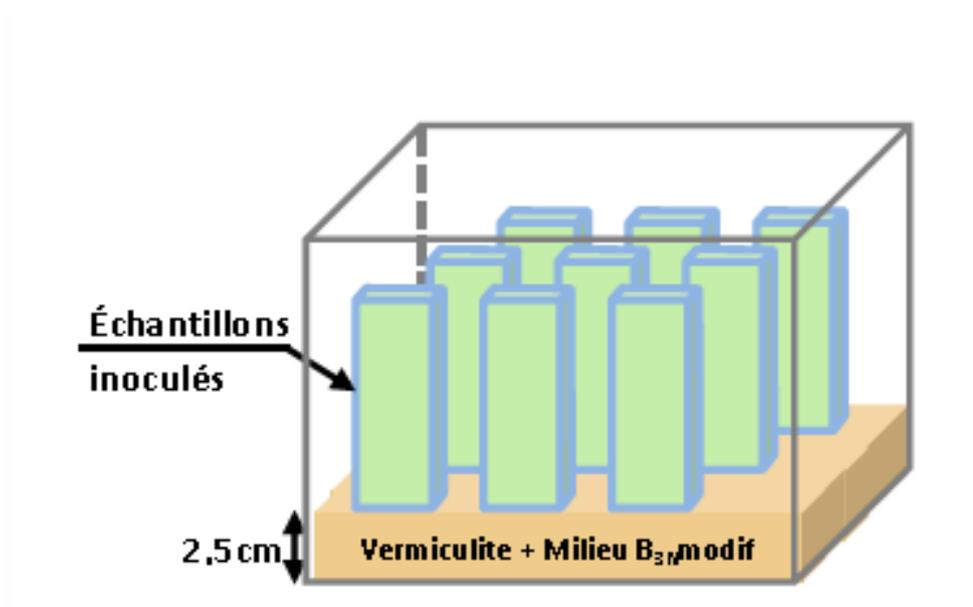


Figure II-12 : Schéma de principe du dispositif d'étude de bioaltération par remontée capillaire.

Lors de l'inoculation des mortiers, il a pu être constaté que certaines surfaces présentent des caractéristiques hydrophobes [8].



Figure II-13 : Dispositif de bioaltération par remontée capillaire en place dans un déclicteur de deux mortiers : B : brut, et P : avec 1.5% de polymère.

II -7.3.1 Observation par microscope optique :

Les échantillons sont analysés par un microscope optique, type Keyence VH-5911 commandé par un logiciel Microvision, La microscopie optique est une technique de mesure optique qui permet d'obtenir une image agrandie d'objets, matériaux cimentaires, et de voir des détails invisibles à l'œil nu.

La rugosité de surface d'échantillons de mortiers durcis et composites avec polymère PET est déterminée avec un système de mesure 3D optique sans contact basé sur le principe de la variation focale (Alicona Infinite Focus, illustré en Figure II.40). Une source de lumière blanche émet de la lumière qui est réfléchié selon la topographie de l'échantillon. Tous les rayons renvoyés vers l'objectif sont alors groupés dans le système optique et collectés par un capteur sensible à la lumière. Ce système optique est déplacé verticalement le long de l'axe optique alors qu'il réalise l'acquisition des données de surface, afin de permettre une détection complète de la surface sur toute sa profondeur [9]. Ces données sont ensuite traduites en informations 3D en couleurs réelles grâce à un algorithme qui analyse la variation de netteté le long de l'axe vertical. Les cartographies 3D sont alors réalisées avec le système autofocus, qui permet d'obtenir une amplitude de mesure importante tout en maintenant une bonne résolution [10].

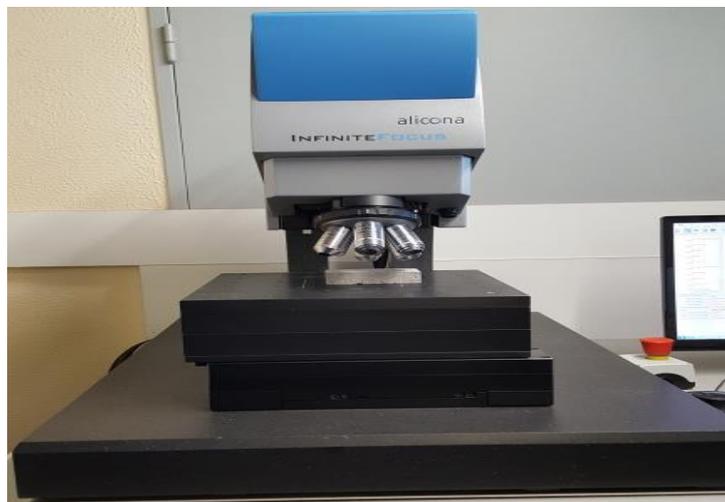


Figure II-14 : Système optique.

II-8 Conclusion

Dans ce chapitre, une première partie a été dédiée à la présentation des différentes techniques expérimentales mises en oeuvre dans ces travaux. Dans une seconde partie, les composants minéraux ont été caractérisés. La biocolonisation de matériaux : brut et composites mortier-polymère suite à l'interaction avec des micro-organismes. Pour ce faire, les études ont été menées sur des mortiers à l'état durci. Afin de recréer des conditions observées in-situ: la bioaltération par des micro-algues rencontrées lors d'applications de protection et/ou réparation de façades de bâtiments, menée sur la rugosité des mortiers a permis d'identifier des paramètres permettant une description plus précise des surfaces en trois dimensions donc la bioaltération de ces matériaux dans le cadre d'une interaction avec des micro-algues.

Chapitre III :
Résultats et discussions.

III- Introduction :

Le chapitre III regroupe les études réalisées sur les composites mortier-polymère au jeune âge. Tout d'abord, les résultats relatifs à l'étude de l'hydratation des matériaux cimentaires sans et en présence de polymère sont présentés. Ensuite, les composites mortier-polymère appliqués sont exposés à différents climats en fonction de la température. Afin d'arriver à des conclusions pratiquement exploitables, il a été nécessaire dans la seconde série de réaliser des essais d'identification microstructurale. Dans ce but, on a fait appel à la diffraction aux rayons X et à la microscopie optique. L'étude de la biocolonisation des composites mortier-polymères à l'état durci a été présentée dans ce chapitre.

III-1 Les essais mécaniques :

III-1.1 Essai de compression et flexion du mortier brute (ciment, sable et l'eau) à température de 25, 60 et 80° C :

Le tableau ci-dessous montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers brute de référence (témoin) pour 02 jours et 28 jours à température de 25°C

Tableau III-1 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 25°C (témoin)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3539.8
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	3.05	15.4
28 Jours	8.1	53.5

La résistance mécanique du mortier après durcissement dépend du rapport eau/ciment. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par résistance en compression et flexion.

Le (tableau III.2), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers brute de référence (témoin) pour 02 jours et 07 jours à température de 60° C.

Tableau III-2 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 60°C
(témoin)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3486.6
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	5.2	33.1
07 Jours	5.7	44.2

Il s'agit de briser trois éprouvettes de mortier à chaque échéance (2j, 28j) à l'aide d'une presse hydraulique, pour en déduire des résistances à la compression et flexion. La résistance mécanique est exprimée par le pouvoir de mortier à résister à la destruction sous l'action des contraintes dues aux différentes charges de compression [1]. Chaque valeur de la résistance à la compression et flexion du mortier brut est égale à la moyenne des mesures sur trois éprouvettes.

Le (tableau III.3), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers brute de référence (témoin) pour 02 jours et 07 jours à température de 80°C.

Tableau III-3 : Résultats des essais mécaniques sur les mortiers bruts de référence à 80°C
(témoin)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3473.3
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	5.8	43.3
07 Jours	6,4	51,7

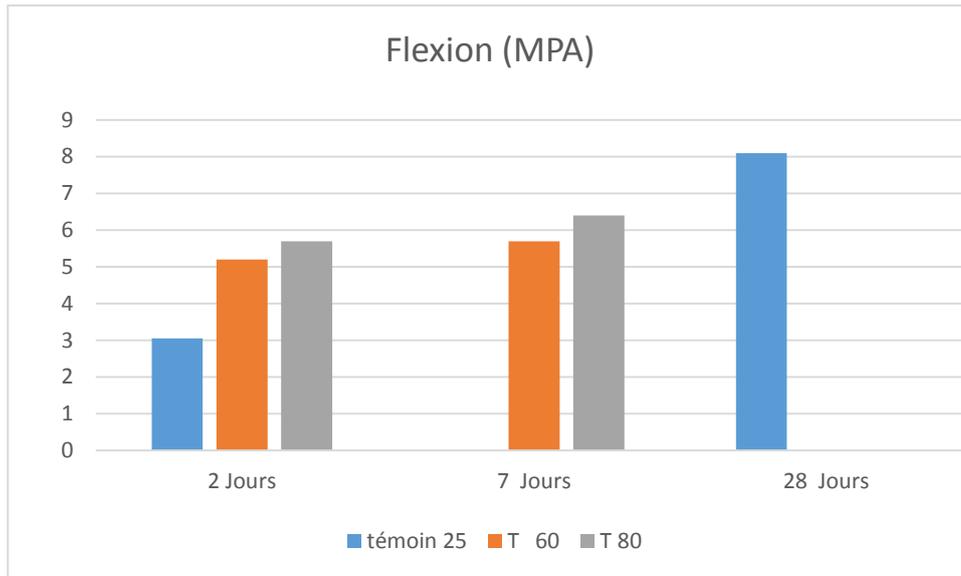


Figure III-1 Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute a température 25, 60 et 80°C

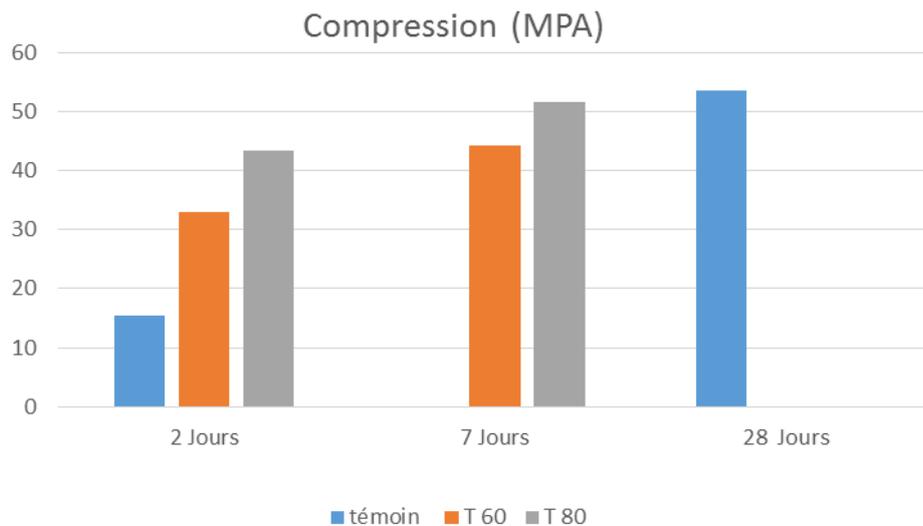


Figure III-2 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite a température 25° C.

Notre objectif étant d'analyser l'évolution de la résistance mécanique à l'échéance 2, 7 et 28 jours. Les résultats nous permettent de conclure que pour une température de traitement à 25°C la résistance à la flexion augmente de 3.05 à 8.1 N/mm² tandis que la résistance en compression augmente de 15.4 à 53.5N/mm² dans un intervalle de temps qui varie de 3 à 28jours.

Chapitre III : Résultats et discussions.

Les mêmes résultats ont été observés pour les températures 60 et 80°C dans un intervalle de temps qui varie de 3 à 7 jours seulement, donc le résultat est que le temps influe sur le durcissement du mortier.

III-1.2 Essai de compression et flexion du mortier composite (ciment, sable et l'eau) à température de : 25, 60 et 80°C :

Les matériaux composites [2-5] font aujourd'hui l'objet de recherche tant théorique qu'expérimentale, car depuis quelques années, un regain d'intérêt se manifeste dans le monde entier pour l'utilisation des composites mortier- polymère [6], [7] dans l'industrie du bâtiment comme matériau de second œuvre : colle a carrelage ou enduit de façade.

En vue d'appréhender l'influence du polymère sur le comportement mécanique du matériau [10], une première étude expérimentale a été menée sur un mortier normalisé substitué de différents teneurs en polytéréphtalate d'éthylène (PET) [11] dont nous avons effectué des essais mécaniques, telles la résistance à la compression et la résistance à la flexion, c'est à dire le pouvoir du mortier à résister à la destruction sous l'action des contraintes dues aux différentes charges de compression ou de flexion [1].

La résistance mécanique du mortier et/ou composite après durcissement dépend du rapport Polymère/Sable P/S. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et par flexion.

Tableau III-4 : Formulations de différents mortiers composites à différents pourcentages de PET (1.5, 2.5 et 3.5%)

Composition	Ciment	Ciment	Sable	Sable	PET	PET
F ₁	100%	450	98.5%	1329.75	1.5%	20.25
F ₂	100%	450	97.5%	1316.25	2,5%	33.75
F ₃	100%	450	96.5%	1302.75	3.5%	40.50

1. Le 1er essai (mortier + polymère 1.5 %) a température de 25° C :

Le (tableau III.5), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers composite de 1,5 % pour 02 jours et 28 jours a température de 25° C.

Tableau III-5 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3539.8
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	6.7	17.5
28 Jours	11.4	58.2

2-Le 2^{ème} essai (mortier + polymère 2,5 %) a température de 25°C :

Le (tableau III.6), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers composite de 2,5 % pour 02 jours et 28 jours a température de 25° C.

Tableau III-6 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (2.5% de PET)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3539.8
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	5.4	13.3
28 Jours	10.2	50.1

3-Le 3^{ème} essai (mortier + polymère 3,5 %) a température de 25° C:

Le (tableau III.7), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers composite de 3,5 % pour 02 jours et 28 jours a température de 25° C.

Tableau III-7 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (3.5% de PET)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3539.8
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	4.2	11.7
28 Jours	9.3	46.2

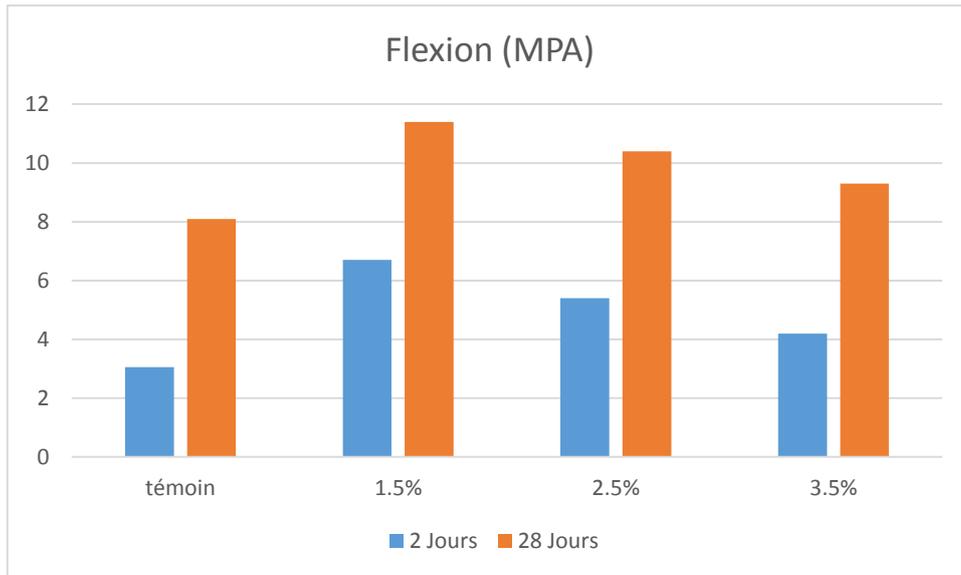


Figure III-3 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers composites a température 25° C

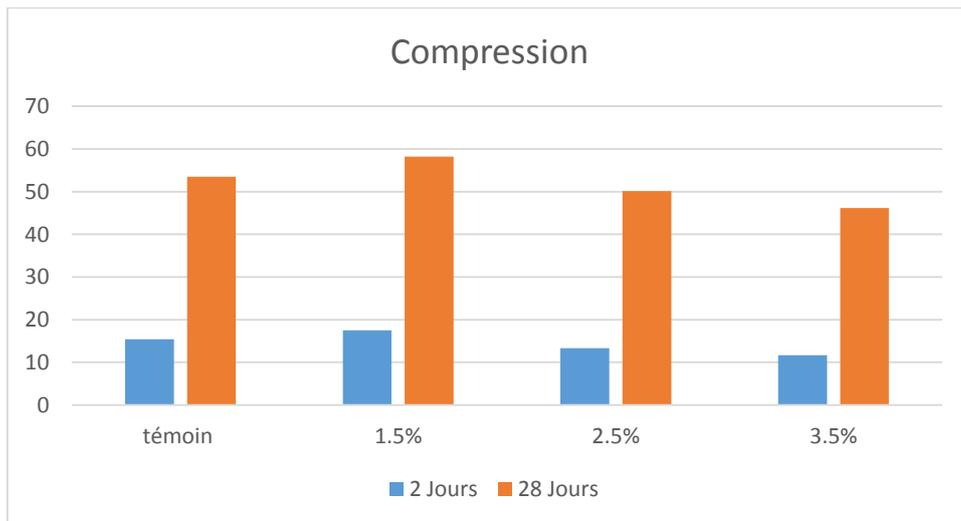


Figure III-4 : Comparaison des résultats des essais de compression des mortiers composite a température 25° C.

Chapitre III : Résultats et discussions.

D'après la figure ci-dessus le choix a été fixé sur le mortier composite de 1.5% de PET, puisque il nous apporte les meilleures résistances mécaniques à la compression et à la flexion, donc on continue le traitement thermique à 60 et 80°C sur ce matériau.

4- Mortier composite (mortier + polymère 1,5 %) à température de 60° C :

Le (tableau III.8), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers composite de 1,5 % pour 02 jours et 7 jours à température de 60° C. Le choix a été fixé pour le composite 1.5% de PET puisque les valeurs de la résistance à la compression et flexion sont meilleures à 25°C.

Tableau III-8 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET)

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3486.6
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	7.2	33.1
07 Jours	8.1	44.2

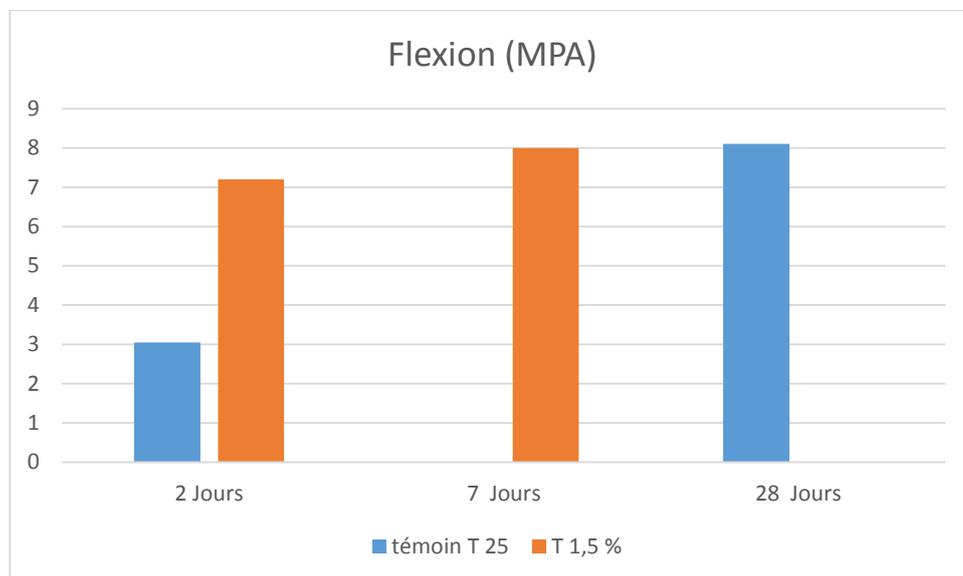


Figure III-5 : Comparaison des résultats des essais de flexion de mortiers brute et mortiers composite 1,5 de PET à température 60°C.

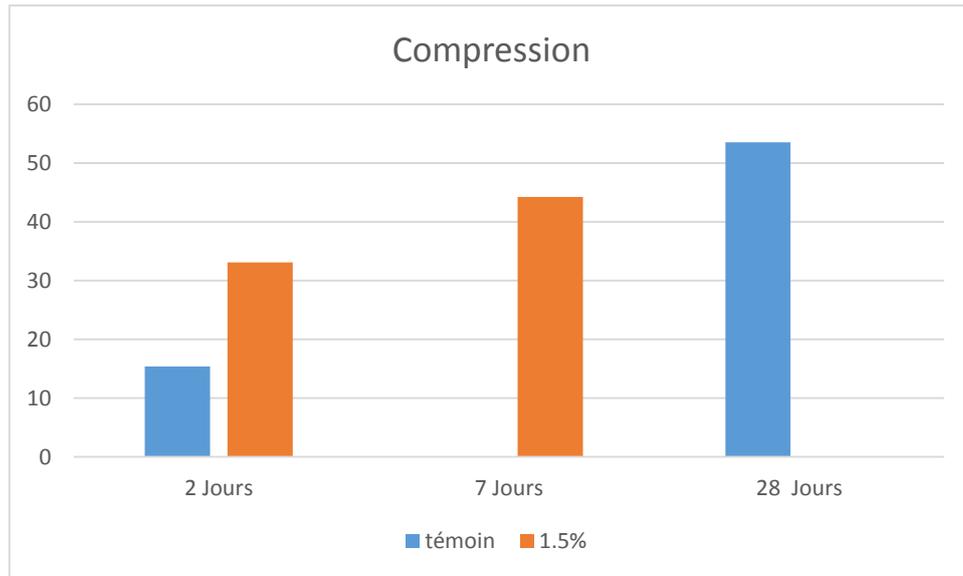


Figure III-6 : Comparaison des résultats des essais de compression de mortiers brute et mortiers composite de 1.5% à température 60°C.

5-Mortier composite (mortier + polymère 1,5 %) à température de 80°

Le (tableau III.9), montre les résultats des essais de flexion et de compression des mortiers composite de 1,5 % pour 02 jours et 28 jours a température de 80° C.

Tableau III-9 : Résultats des essais mécaniques sur le mortier composite (1.5% de PET).

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3486.6
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	7.4	40.3
07 Jours	8.7	62.1

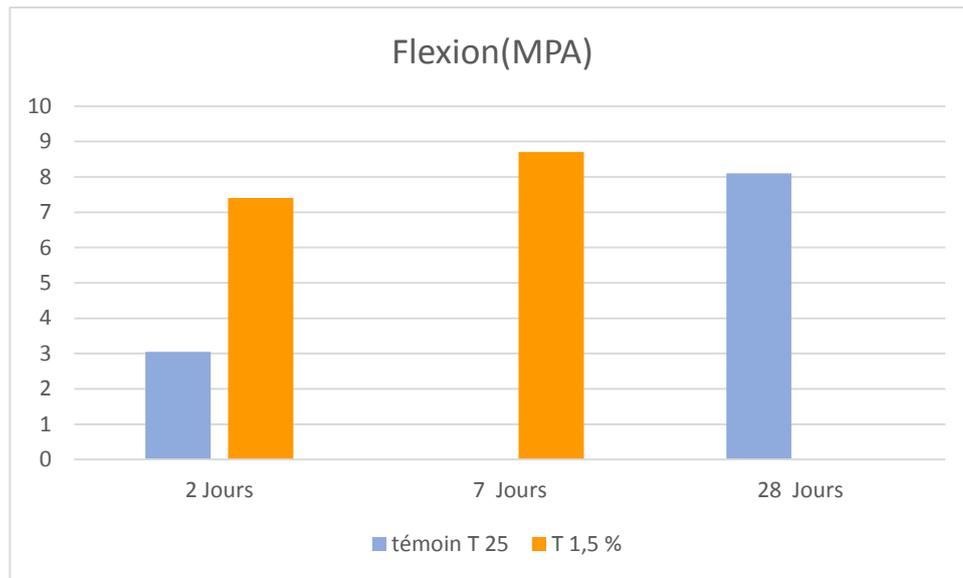


Figure III-7 : Comparaison des résultats des essais de flexion des mortiers bruts et mortiers composite de 1.5% à température 80°C.

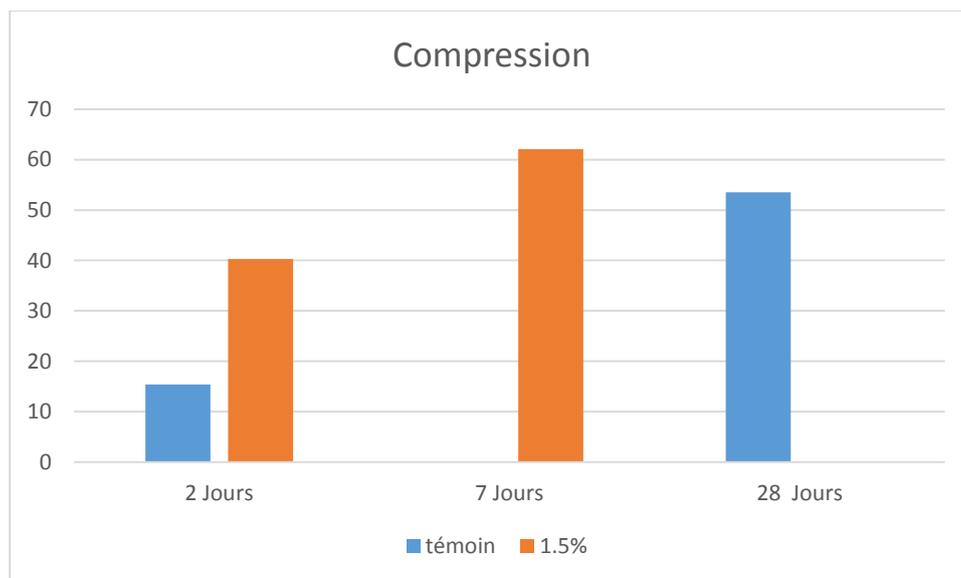


Figure III-8 : Comparaison des résultats des essais de compression des mortiers bruts et mortiers composite de 1.5% à température 80° C.

Dans le but d'étudier l'influence du polytéréphtalate d'éthylène sur le comportement mécanique d'un mortier, on a montré la pertinence d'une démarche comparative entre un mortier de référence et des composites Mortier- Polymère de différentes teneurs en polymère [8], [9]. La difficulté d'une telle démarche réside dans la comparaison que l'on peut faire des matériaux réalisés: les effets secondaires qu'engendrent l'introduction du PET dans la gâchée d'un mortier modifient significativement la matrice minérale des composites obtenus.

Il est alors difficile de faire la part des choses entre l'influence du PET et celle de ces effets secondaires sur l'évolution des propriétés mécaniques des composites en fonction de la teneur en polymère. Notre objectif étant d'analyser l'évolution de la résistance mécanique de matériaux entre 2 et 7 jours, nous avons étudié les principales caractéristiques mécaniques obtenues lors des chargements de courte durée d'application: résistances mécaniques en compression et en flexion.

On constate que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge de conservation des éprouvettes et ne présente aucune chute de résistance [10]. La résistance à la compression et de flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage du polymère (PET) dans les composites. Donc la meilleure résistance à la compression et flexion de mortier brut à température de 25°C est : 53.5 et 8.1 N/mm² respectivement. Concernant les mortiers composites la meilleure résistance à la compression et flexion de mortier brut à température de 25°C est : 58.2 et 11.4 N/mm² respectivement. A température 60°C la résistance à la compression et flexion sont respectivement : 44.2 et 8.1 N/mm², en augmentant la température de traitement jusqu'à 80°C, la résistance à la compression et flexion augmente à nouveau et devient : 62.1 et 8.7 N/mm². Le polymère (PET) améliore les résistances en compression et flexion à température élevée avec une courte durée de temps par rapport à un mortier brut.

L'incorporation du PET dans le ciment permet de valoriser ce polymère comme déchets. Il améliore les propriétés mécaniques en flexion des composites et favorise une interaction physique lors de son ajout dans les matériaux polyphasés [11], [12], on attribue la valeur optimale au composite PET1.5.

Cette étude a permis de mieux comprendre les comportements mécaniques des matériaux composites mortier-polymère. On remarque que les performances mécaniques en particulier les résistances à la flexion, de nos mortiers dans lesquels le polytéréphtalate d'éthylène a été incorporé sont jugés analogues sinon meilleures en comparaison avec celles d'un mortier témoin, d'où des avantages économique et écologique appréciables.

III-2 La diffraction des rayons X ou DRX :

On peut dire que les rayons X [13], 14] diffractent avec les structures cristallines selon les angles caractéristiques de cette structure. En balayant à différents angles, on obtient un spectre angulaire de diffraction. Sur un spectre de diffraction d'une poudre obtenu, correspondent les espèces cristallines de l'échantillon. Dans le cas d'une poudre d'un mortier hydraté, cette technique permet donc de déterminer les cristaux présents dans l'échantillon ainsi que les espèces anhydres et les hydrates.

Les analyses par diffraction X portent uniquement sur les phases cristallines des matériaux des mortiers et/ou composite mortier-polymère soumis à différent âge de conservation. L'analyse de la pâte de ciment hydraté par DRX n'est pas une chose simple, car le produit majeur d'hydratation est le CSH qui se présente sous forme d'un gel plus ou moins bien cristallisé difficilement identifiable sur un spectre DRX. En fait, le CSH est caractérisé sur un spectre DRX par une large bosse située entre 28 et 35° 2 θ , là même où se situent la plupart des pics de silicates anhydres (C₂S et C₃S). Ainsi la pâte de ciment est souvent caractérisée par ses hydrates mieux cristallisés qui sont l'ettringite et la portlandite.

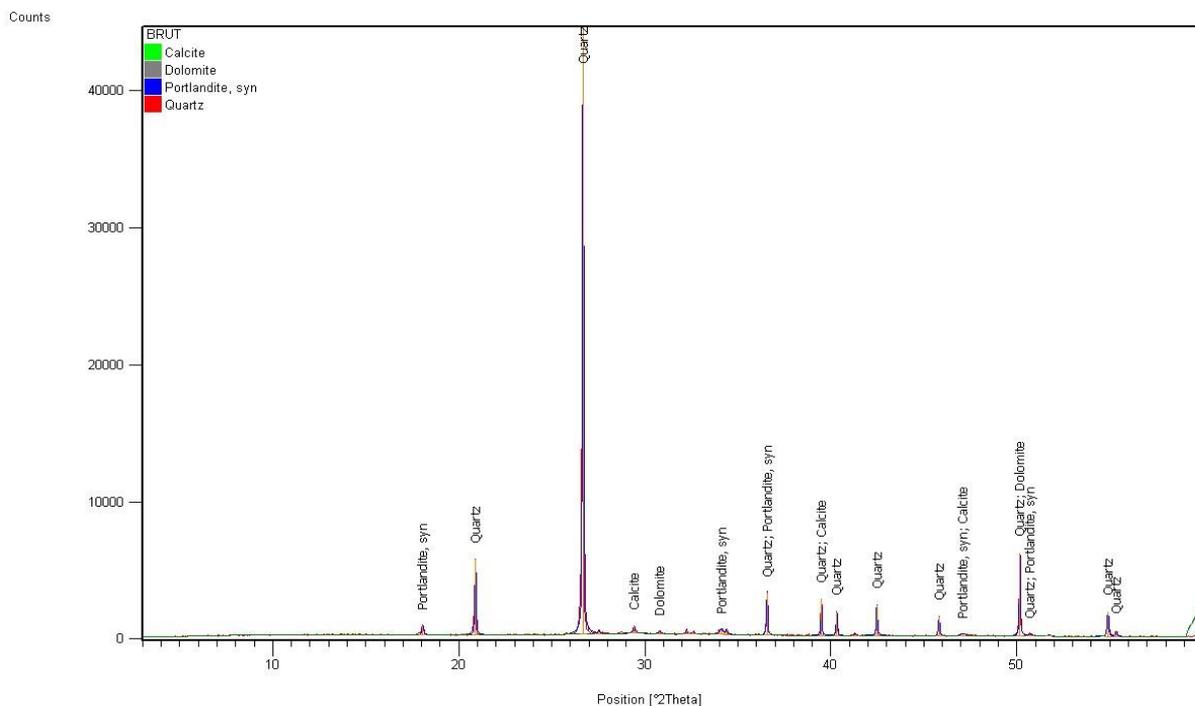


Figure III-9 : Spectre de DRX du mortier brut.

Tous les spectres (figure. III.9) obtenus révèlent la présence des mêmes espèces à savoir :

-Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$

-Quartz (SiO_2)

-Gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

-Calcite CaCO_3 .

La portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à $34.09^\circ 2\theta$, $18.09^\circ 2\theta$ et à $47.12^\circ 2\theta$. On trouve aussi de la calcite CaCO_3 à $29.41^\circ 2\theta$. Ce qui caractérise l'incorporation du sable de carrière l'apparitions du pic de quartz c'est le pic le plus intense. On attribut le pic vers $55.9^\circ 2\theta$ à la formation du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

On constate que la calcite apparaît systématiquement sur tous les spectres DRX des liants hydratés. Ce phénomène s'explique par la carbonatation rapide de la pâte de ciment durci. Ainsi, sans information préalable, il est difficile de savoir si la calcite est un constituant du ciment ou si elle résulte de la carbonatation du liant [15].

L'ensemble des spectres obtenus pour les mortiers bruts de 2, 7 et 28 jours, présentent les mêmes raies, mais de manière plus ou moins intense selon l'âge de conservation des matériaux.

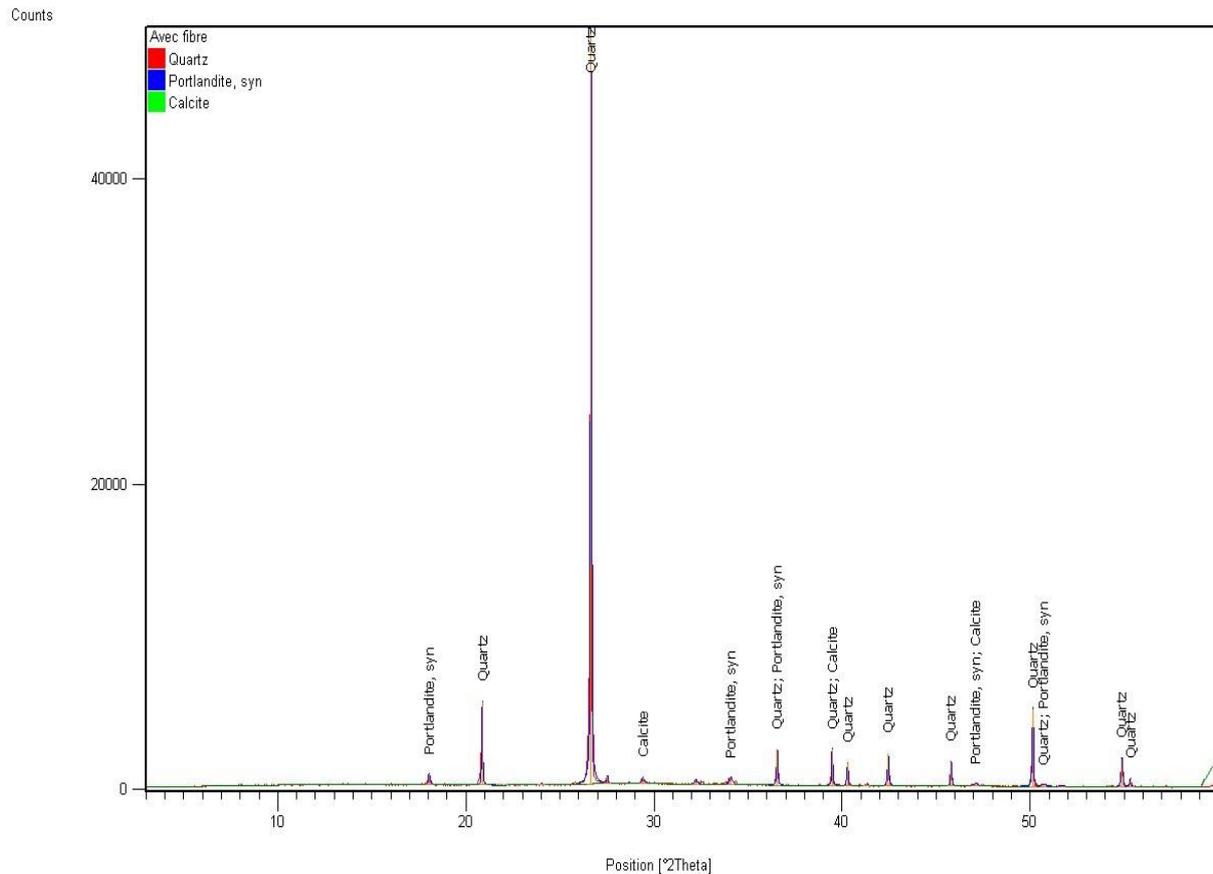


Figure III-10 : Spectre de DRX du mortier composite à 1.5% de PET

L'analyse comparative des spectres DRX obtenus pour les mortiers et/ou composites mortier-polymère aux mêmes échéances n'indique pas qu'il y ait des de grande différences significatives sur la nature des espèces cristallines qui composent le liant des matériaux : on trouve, systématiquement, presque les mêmes pics de diffractions, à toutes les teneurs.

Tous les spectres (figure III.10) obtenus révèlent la présence des mêmes espèces à savoir :

- Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- Quartz
- Calcite CaCO_3 .

En comparant nos résultats avec ceux obtenus par l'équipe de M.U.K Afridi [16], [17], les cristaux de portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ peuvent probablement produire une réflexion dans le plan de diffraction plus importante en présence du polymère PET dû à un changement d'orientation des cristaux. Cette réflexion importante résulte de l'effet gagné par la quantité abaissée de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

L'ensemble des spectres DRX obtenus pour le composite 1. 5% PET de 2 et 7 jours présente les mêmes raies, mais de manière plus ou moins intense selon l'âge de conservation des matériaux.

La méthode d'analyse tel la DRX a révélé que la composition des matériaux est qualitativement identique et qu'aucune interaction chimique entre les espèces minérales et le polymère n'a pu conduire à la formation de nouveaux composés.

III-3 Essai de la biocolonisation du composite mortier polymère :

III-3.1 Observation par microscope optique de mortier brut :

Le microscope optique utilise des lentilles convergentes pour obtenir une image agrandie de l'échantillon à observer. L'image a été prise pour un échantillon de mortier à différent agrandissement pendant 28 jours (figure III.11)

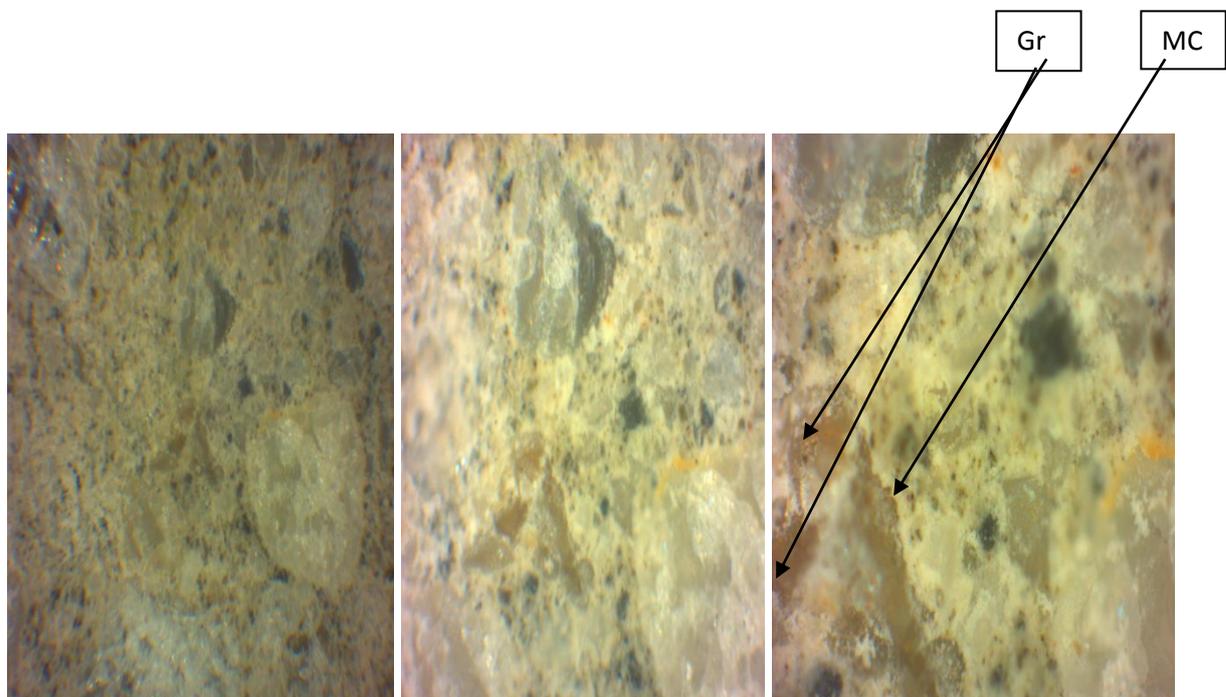


Figure III-11 Image obtenue au microscope optique MOP sur la fracture des échantillons d'un mortier (25X), (50×) et (100×) respectivement, Gr – granulats, MC – matrice cimentaire.

III-3.2 Observation par microscope optique de mortier composite à 1.5% de PET :

Le microscope optique utilise des lentilles convergentes pour obtenir une image agrandie de l'échantillon à observer. L'image a été prise pour des échantillons de mortier contenant du polytéréphtalate d'éthylène PET à 7 jours (figure III.11).

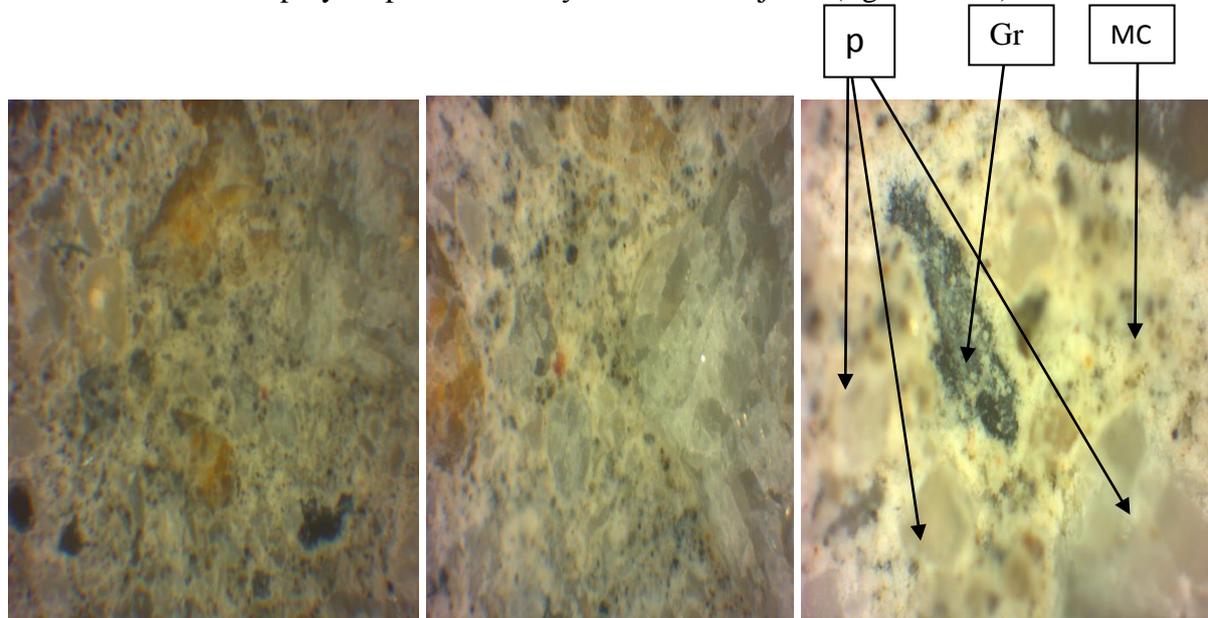


Figure III-12 : Image obtenue au microscope optique MOP sur la fracture des échantillons d'un mortier modifié par du polytéréphtalate d'éthylène (25X), (50×) et (100×) respectivement, P-PET, Gr – granulat, MC – matrice cimentaire.

La figure III.12 exhibe la micrographie optique du composite Mortier-Polymère contenant des particules en PET. En termes d'adhérence, la surface rugueuse des particules favorise un plus grand contact entre le PET et la matrice du ciment. Les particules semblent bien recouvertes par la matrice cimentaire.

L'introduction de l'ajout du PET broyé, conduit à une densification de la matrice cimentaire. La mouture des particules de PET, permet à ses grains de s'intercaler dans les macropores entre les granulats et les produits d'hydratation (figure III.11). Ce qui développe l'adhérence particule/matrice et par conséquent augmente la résistivité du mortier modifié par PET vis-à-vis des attaques des milieux fortement agressifs [18].

III-3.3 Bioaltération de composites mortier-polymère :

L'objectif principal de cette partie est d'effectuer un essai accéléré recréant les conditions de bioaltération de matériaux composites mortier-polymère utilisés dans le cadre de la protection d'une façade de bâtiment. En Europe, les micro-algues sont les espèces les plus présentes, suivies par les cyanobactéries. Ainsi, donc ce sont les micro-algues qui sont retenues dans le cadre de cette étude.

Parmi les micro-algues, les espèces des genres *Klebsormidium* a déjà été identifiée sur le terrain comme responsables de la coloration des façades de bâtiments [19]. En outre, cette espèce a été retrouvée dans le même milieu, et ce de manière ubiquiste, sur l'ensemble du territoire Algérien. De plus, elle est souvent sélectionnée dans les études pour sa représentativité sur le terrain, et sa facilité de culture en laboratoire. Ces deux espèces sont donc sélectionnées pour cette étude. Ces travaux sont menés à la fois avec des suspensions contenant une unique espèce (afin d'éviter une éventuelle compétition entre les espèces [20]).

Lors de l'inoculation des mortiers, il a pu être constaté que certaines surfaces présentent des caractéristiques hydrophobes (figure III. 13). En effet, dans le cas des échantillons soumis à une cure avec séchage, les surfaces en contact avec le moule sont systématiquement imperméables, ce qui gêne leur inoculation. Cette observation est surprenante dans la mesure où toutes les formulations suivent le même protocole.



Figure III-13 : Dispositif de bioaltération par remontée capillaire de deux mortiers : B : brut, et P : avec 1.5% de polymère.

L'évolution des mortiers a été suivie visuellement tout au long de l'essai (figure III.14). Les images obtenues sont présentées au bout de deux mois d'essai pour chaque formulation de mortier brut et avec polymère. Au bout de deux mois d'essai, peu d'évolutions apparaissent. [21] En effet, quelque développement microbien a pu être constaté. Toutefois, il peut être noté que l'échantillon de référence semble prendre une légère coloration ocrée sur ses bords. Le composite mortier-polymère ne présente aucun développement.

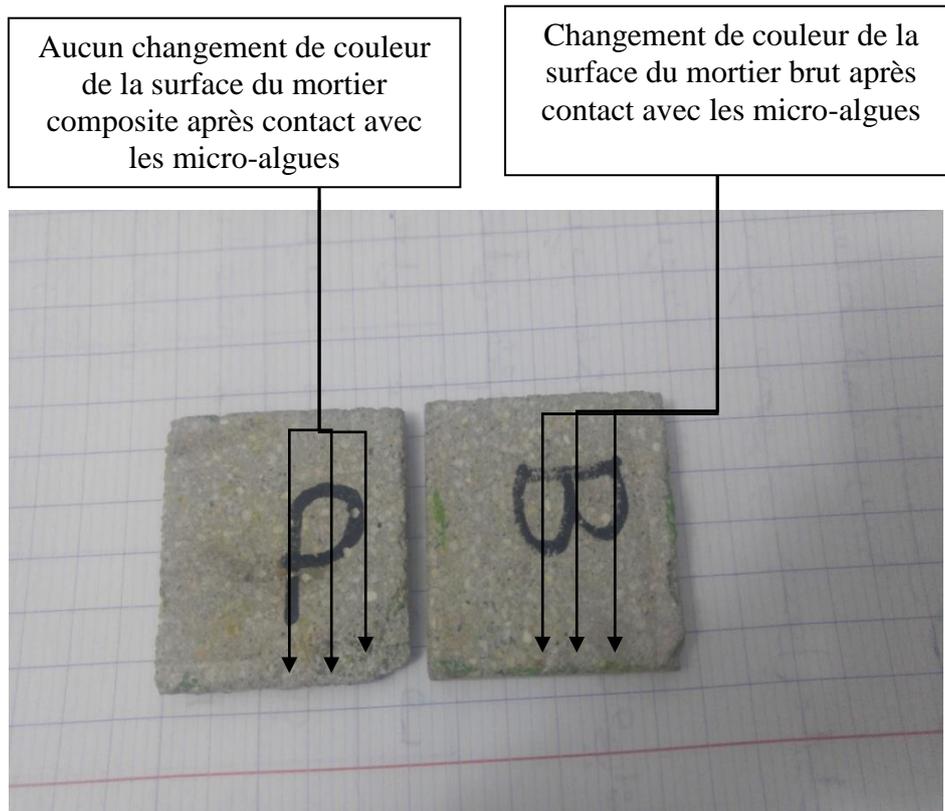


Figure III-14 : Évolution visuelle des mortiers brut (B) et avec polymère (P) lors de l'essai de remontée capillaire

La bioaltération de ces matériaux dans le cadre d'une interaction avec des micro-algues. De premiers résultats semblent montrer des différences du point de vue la chromaticité des mortiers selon la cure appliquée [22]. Mais, ces essais n'ont pas permis de discriminer les formulations entre elles in fine. Les principales causes identifiées sont la contamination des milieux d'une part, et le pH de surface des mortiers d'autre part qui se situe toujours autour de 9 après un mois d'essai. Un prétraitement abiotique devra à l'avenir être appliqué afin d'abaisser le pH de surface des composites mortier-polymère à des valeurs favorisant le développement microbien [23].

De manière générale, la biocolonisation de matériaux composites mortier-polymère mériterait d'être approfondie, que ce soit pour la bioaltération ou la biodétérioration. Des différences de comportements semblent exister selon le type de polymère employé, et le mode de cure appliqué. Il convient donc de réadapter les méthodes d'essai en tenant compte des remarques mis en évidence dans ces travaux.

III-4 Conclusion

L'expérience ne relève que l'augmentation des résistances mécaniques (compression et Flexion) des mortiers traités thermiquement liée à l'accélération des réactions d'hydratation de ciment. L'augmentation est déterminée par la mesure de ces résistances Mécaniques avant et après le traitement thermique

Les essais réalisés en ajoutant des pourcentages de polymère PET, ont permis de montrer l'effet du polymère sur amélioration de la résistance mécanique à la

Compression et flexion du mortier.

Les images de microscope optique ont montré que la croissance des bactéries sur la surface de mortier brut est rapide par rapport à la vitesse d croissance sur la surface le mortier composite.

Conclusion générale

Les composites mortier-polymère sont des matériaux utilisés pour la protection et/ou la réparation des surfaces en béton. De nombreuses études se sont d'ores et déjà intéressées aux propriétés de ces matériaux, mais aucune d'entre elles ne tient réellement compte du fait que ces matériaux sont appliqués avec une épaisseur de l'ordre de quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur.

Par la suite, des composites mortier-polymère à différents pourcentages de polymère PET ont été formulés et leur évolutions en fonction de la température ont été suivies au jeune âge. De manière globale, il a été montré que la présence de polymère ne permet pas de limiter l'évaporation de l'eau lors de telles conditions. Dans la majorité des cas, il a effectivement été montré que les polymères conduisent à une augmentation des pertes d'eau par évaporation.

Cette étude a permis de mieux comprendre les comportements mécaniques des matériaux composites mortier-polymère. On remarque que les performances mécaniques en particulier les résistances à la flexion, de nos mortiers dans lesquels le polytétraphtalate d'éthylène a été incorporé sont jugés analogues sinon meilleures en comparaison avec celles d'un mortier témoin, d'où des avantages économiques et écologiques appréciables. Le polymère (PET) améliore les résistances en compression et flexion à température élevée avec une courte durée de temps par rapport à un mortier brut.

La méthode d'analyse telle que la DRX a révélé que la composition des matériaux est qualitativement identique et qu'aucune interaction chimique entre les espèces minérales et le polymère n'a pu conduire à la formation de nouveaux composés. L'analyse comparative des spectres DRX obtenus pour les mortiers et/ou composites mortier-polymère aux mêmes échelles n'indique pas qu'il y ait de grandes différences significatives sur la nature des espèces cristallines qui composent le liant des matériaux : on trouve, systématiquement, presque les mêmes pics de diffractions, à toutes les teneurs.

Références bibliographiques :

Chapitre I :

- [1] WEISS P. (2009) : La chimie des polymères. Support de Cours, Université Médicale Virtuelle Francophone. 17 p.
- [2] DOUBLIER G. (2012) : Fiche valorisation des sachets plastiques.3 p.
- [3] MARC F. (2016) : Les plastiques. Cours du Module M227 Matériaux non métalliques.IUT de Cachan, Université de Paris Sud 11.123 p.
- [4] FOND C. (2015) : Les polymères. Support de cours. Université de Strasbourg - IUT Génie Civil. 17 p.
- [5] LECOMTE-BECKERS J. (2009b) : Physique des matériaux: partie polymères. Chapitre 8 : Propriétés mécaniques. 53 p.
- [6] AUBRY J. (2014) : Les matières plastiques. Document technologie des matériaux.18 p.
- [7] VIVIER F. (2006) : Les Polymères. Travaux Pratiques IUT Créteil-Vitry. Mesures Physiques (1ère année). 30 p.
- [8] COULIBALY M. (2008) : Modélisation micromécanique et caractérisation expérimentale du comportement des matériaux hétérogènes élastovisco-plastiques. Application à la valorisation des polymères recyclés. Thèse Université Paul Verlaine de Metz. 269 p.
- [9] GERVAIS H. (2010) : Les plastiques. Fiches informatives RECYC-QUEBEC. 9 p.
- [10] CSEMP (2004) : Conception et fabrication des emballages en matières plastiques pour une valorisation optimiste. Guide pratique. 33 p.
- [11] HANNEQUART J.-P. (2004) : Guide de bonne pratique pour le recyclage des déchets plastiques .99 p.
- [12] WALLONIE(2015) : Modification des prescriptions du chapitre C.29 : PAVES. Groupe de travail n° 05, pavage, dallage et éléments linéaires.14 p.
- [13] TARSEM L., SANJAY S., SANJEEV N. (2013): Reliability Of Non-Destructive Tests For Hardened Concrete Strength. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 2 Issue 3, 7 p.

- [14] Füzesséry, Sándor.(1992) Polyéthylène téréphtalates (PET). Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et Composites.
- [15] TRAN, T.H; GOVIN, A. ; GUYONNET, R. (2014) ; GROSSEAU, P. ; LORS, C. ; DAMIDOT, D. ; DEVES, O. ; RUOT, B.: An in-situ and laboratory study of the effect of the intrinsic properties of mortars on their potential bioreceptivity. Proceeding of the XIIIth International Conference on Durability of Building Materials and Components, p. 258.
- [16] AMBA, J.C; BALAYSSAC, J.P (2009); DÉTRICHÉ, C.H.: Characterisation of differential shrinkage of bonded mortar overlays subjected to drying. Materials and Structures, vol. 43, p. 297–308.
- [17] BETIOLI, A.M. ; HOPPE FILHO, J. ; CINCOTTO, M.A. ; GLEIZE, P.J.P. ; PILEGGI, R.G. (2009). Chemical interaction between EVA and Portland cement hydration at early-age. Construction and Building Materials, vol. 23, n° 11, p. 3332–3336
- [18] Ohama Y. 1995, Hand book of polymer-modified concrete and mortars, properties and process technology. Noyes Publications, USA.
- [19] Chandra S. & Ohama Y. 1994, Polymers in Concrete, CRC Press, Boca Raton, p 204.
- [20] Arliguie G. & Hornain H. 2007, 'Gran Du Bé: Grandeurs associées à la durabilité des bétons, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, France.
- [21] Bhogayata AC et Arora NK (2017) Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers. Construction and Building Materials 146: 455–463.
- [22] Bravo M, De Brito J, Pontes J et Evangelista L (2015) Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. Construction and Building Materials 77: 357–69.
- [23] Neville AM. 2000, Propriétés des bétons, traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, Paris
- [24] GAYLARDE, C.C. ; MORTON, L.H.G. (1999): Deteriogenic biofilms on buildings and their control: A review. Biofouling, vol. 14, n° 1, p. 59–74.
- [25] DE MUYNCK, W. ; RAMIREZ, A.M. ; DE BELIE, N. ; VERSTRAETE, W. (2009): Evaluation of strategies to prevent algal fouling on white architectural and cellular concrete. International Biodeterioration & Biodegradation, vol. 63, n° 6 , p. 679–689

- [26] DALOD, E.(2015) Influence de la composition chimique de mortiers sur leur biodétérioration par les algues. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- [27] GOTO, T. (2006): Influence des paramètres moléculaires du latex sur l'hydratation, la rhéologie et les propriétés mécaniques des composites ciment/latex. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2006.
- [28] ORTEGA-CALVO, J.J; HERNANDEZ-MARINE, M. ; SAIZ-JIMENEZ, C. (1991): Biodeterioration of building materials by cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration*, vol. 28, n° 1-4, p. 165–185
- [29] ARIÑO, X; SAIZ-JIMENEZ, C.(1996): Factors affecting the colonization and distribution of cyanobacteria, algae and lichens in ancient mortars. *Proceeding of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Berlin (Germany), p. 725–731.
- [30] AFRIDI, M.U.K. (1995); OHAMA, Y. ; ZAFAR IQBAL, M. ; DEEMURA, K.: Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. *Cement and Concrete Composites*, vol. 17, p. 113–118.
- [31] AMBA, J.C; BALAYSSAC, J.P. ; DÉTRICHÉ, C.H. (2009) Characterisation of differential shrinkage of bonded mortar overlays subjected to drying. *Materials and Structures*, vol. 43 (2009), p. 297–308.
- [32] Bui NK, Satomi T et Takahashi H (2018) Recycling woven plastic sack waste and pet bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study. *Waste Management* 78: 79–93.
- [33] LOUTZ, S. ; DINNE, K (2000) Salissures et altérations des matériaux pierreux par les micro-organismes. *Revue CSTC*, n° 2, p. 3–13.
- [34] LU, Z. (2017). KONG, X. ; ZHANG, C. ; CAI, Y. ; ZHANG, Q. ; ZHANG, Y.: Effect of polymer latexes with varied glass transition temperature on cement hydration. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 134, n°36, p. 45264.
- [35] MANSO BLANCO, S.(2014): Bioreceptivity optimisation of concrete substratum to stimulate biological colonization. Thèse de doctorat, Ghent University.

[36] MANSO, S. ; DE MUYNCK, W. ; SEGURA, I. ; AGUADO, A. ; STEPPE, K. ; BOON, N. ; DE BELIE, N. (2014) : Bioreceptivity evaluation of cementitious materials designed to stimulate biological growth. *Science of The Total Environment*, vol. 481, p. 232–241.

[37] MARCEAU, S. ; LESPINASSE, F. ; BELLANGER, J. ; MALLET, C. ; BOINSKI, F.(2012) : Microstructure and mechanical properties of polymer-modified mortars. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 16, n° 5, p. 571–581.

[38] MARMORATO GOMES, C.E. ; PELLEGRINO FERREIRA, O. ; FERNANDES, M.R. (2005): Influence of vinyl acetate-versatic vinylester copolymer on the microstructural characteristics of cement pastes. *Materials Research*, vol. 8, n° 1, p. 51–56.

Chapitre II :

[1] HOT, J. ; BESSAIES-BEY, H. ; BRUMAUD, C. ; DUC, M. ; CASTELLA, C. ; ROUSSEL, N (2014).: Adsorbing polymers and viscosity of cement pastes. *Cement and Concrete Research*, vol. 63, p. 12–19.

[2] HERNANDEZ-BAUTISTA, E. ; BENTZ, D.P. ; SANDOVAL-TORRES, S. ; DE CANO-BARRITA, P.F.J (2016).: Numerical simulation of heat and mass transport during hydration of Portland cement mortar in semi-adiabatic and steam curing conditions. *Cement and Concrete Composites*, vol. 69, p. 38–48.

[3] GUILLITTE, O. ; DREESEN, R (1995).: Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. *Science of the total environment*, vol. 167, n° 1-3 , p. 365–374.

[4] GROSSEAU, P. ; DALOD, E. ; GOVIN, A. ; LORS, C. ; GUYONNET, R. ; DAMIDOT, D (2015).: Effect of the Chemical Composition of Building Materials on Algal Biofouling. 27th Biennial National Conference of the Concrete Institute of Australia in conjunction with the 69th RILEM Week, Melbourne (Australia), p. 735–744.

[5] GIOVANNACCI, D. ; LECLAIRE, C. ; HORGNIES, M. ; ELLMER, M. ; MERTZ, J.D. ; ORIAL, G. ; CHEN, J. ; BOUSTA, F.(2013): Algal colonization kinetics on roofing and façade tiles: Influence of physical parameters. *Construction and Building Materials*, vol. 48, p. 670–676.

[6] WIKTOR, V. (2008): Biodétérioration d'une matrice cimentaire par des champignons: Mise au point d'un test accéléré de laboratoire. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

[7] WELTON, R.G. ; RIBAS SILVA, M. ; GAYLARDE, C. ; HERRERA, L.K. ; ANLEO, X. ; DE BELIE, N. ; MODRÝ, S.(2005): Techniques applied to the study of microbial impact on building materials. *Materials and Structures*, vol. 38, n° 10, p. 883–893.

[8] VAN GEMERT, D. ; CZARNECKI, L. ; MAULTZSCH, M. ; SCHORN, H. ; BEELDENS, A. ; LUKOWSKI, P. ; KNAPEN, E(2005) .: Cement concrete and concrete-polymer composites: Two merging worlds. *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, n° 9-10 , p. 926–933.

[9] SCHEERER, S.; ORTEGA- MORALES, O. ; GAYLARDE, C.(2009): Chapter 5 Microbial Deterioration of Stone Monuments—An Updated Overview. *Advances in Applied Microbiology*, vol. 66, Academic Press., p. 97–139.

[10] TSUNEDA, S. ; AIKAWA, H. ; HAYASHI, H. ; YUASA, A. ; HIRATA, A.: (2003). Extracellular polymeric substances responsible for bacterial adhesion onto solid surface. *FEMS Microbiology Letters*, vol. 223, n° 2, p. 287–292.

Chapiter III :

[1] M. Thomas. Chloride thresholds in marine concrete. *Cement Concrete Research*, 26(4): 513– 519, 1996.

[2] Y.-W. Choi, D.-J. Moon, J.-S. Chung, S.-K. Cho. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35, 776-781, 200

[3] T. Ochi, S. Okubo, K. Fukui. Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites*, Volume 29, Issue 6, 448-455, 2007.

[4]A.S. Benosman, H. Taibi, M. Mouli, M. Belbachir, Y. Senhadji, Diffusion of Chloride Ions in Polymer-Mortar Composites (PET), *Journal of Applied Polymer Science*, Copyright © WileyPeriodicals, Inc., A Wiley Company, Volume 110, Issue 3, 1600 – 1605, 2008.

- [5] A.S. Benosman, H. Taibi, M. Mouli, M. Belbachir, Y. Senhadji, Résistance des composites mortier-polymère à la pénétration d'ions chlorure, Séminaire National de Génie Civil, Annaba (Algérie), 20-21 Nov. 2007.
- [6] A. Benazzouk, O. Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Queneudec. Physico- Mechanical Properties and Water Absorption of Cement Composite Containing Shredded Rubber Wastes. *Cement and Concrete Composites* 29, 732–740, 2007.
- [7] ASTM C 1202-97, Standard Test Methods for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Structures, 1997. Vol. 04.02, pp. 646-51, 2001.
- [8] BARLUENGA, G. ; HERNANDEZ-OLIVARES, F.: SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research*, vol. 34, n° 3 (2004), p. 527–535
- [9] DIMMIG-OSBURG, A.: New model for the formation of the microstructure of polymer-modified mortar. *BFT*, vol. 10 (2005), p. 27–36
- [10] R. Vedalakshmi, A. Sundara Raj, S. Srinivasan, K. Ganesh Babu, Effect of magnesium and sulphate ions on the sulphate resistance of blended cements in low- and medium-strength concretes, *Advances in Cement Research* 17, No.2, April, 47-55, 2005.
- [11] GRANDCLERC, A.: Compréhension des mécanismes de biodétérioration des matériaux cimentaires dans les réseaux d'assainissement : étude expérimentale et modélisation. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2017
- [12] GRANDCLERC, A. ; GUEGUEN-MINERBE, M. ; CHAUSSADENT, T.: Accelerated biodeterioration test of cementitious materials in sewer networks. *Proceeding of the RILEM MCI PRO 123*, Toulouse (France), 2018
- [13] L. Ben-Dor, C. Heitner-Wirguin, H. Diab, The effect of ionic polymers on the hydration of C_3S , *Cement and Concrete Research*, Vol.15, n°4, pp.681-686, July 1985.
- [14] M.U.K. Afridi, Y. Ohama, M. Zafar Iqbal, K. Demura, Behavior of $Ca(OH)_2$ in polymer modified mortars, *Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol.11, n°4, 235-244, Nov.1989.
- [15] GRANDCLERC, A. ; GUEGUEN-MINERBE, M. ; NOUR, I. ; DOMINIQUE, N. ; DANGLA, P. ; CHAUSSADENT, T.: Construction d'outils opérationnels pour l'évaluation

du comportement des matériaux cimentaires en réseau d'assainissement. TSM (Technique, Sciences, Méthodes), n° 10 (2018), p. 75–87

[16] E. Sakai, J. Sugita, Composite mechanism of polymer modified cement, *Cement and Concrete Research*, 25 [1] 127-135, 1995.

[17] G. Arliguie, H. Hornain, *GrandDuBé: Grandeurs associées à la durabilité des bétons*, Ed. Presse de l'école nationale des ponts et chaussées (ENPC), France, 2007.

[18] JOSEPH, A.P. ; KELLER, J. ; BUSTAMANTE, H. ; BOND, P.L.: Surface neutralization and H₂S oxidation at early stages of sewer corrosion: Influence of temperature, relative humidity and H₂S concentration. *Water Research*, vol. 46, n°13 (2012), p. 4235–4245

[19] LOUTZ, S. ; DINNE, K.: Salissures et altérations des matériaux pierreux par les micro-organismes. *Revue CSTC*, n° 2 (2000), p. 3–13

[20] MARCEAU, S. ; LESPINASSE, F. ; BELLANGER, J. ; MALLET, C. ; BOINSKI, F.: Microstructure and mechanical properties of polymer-modified mortars. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 16, n° 5 (2012), p. 571–581

[21] MARMORATO GOMES, C.E. ; PELLEGRINO FERREIRA, O. ; FERNANDES, M.R.: Influence of vinyl acetate-versatic vinylester copolymer on the microstructural characteristics of cement pastes. *Materials Research*, vol. 8, n° 1 (2005), p. 51–56

[22] MARTINEZ, T. ; BERTRON, A. ; ESCADEILLAS, G. ; RINGOT, E.: Algal growth inhibition on cement mortar: Efficiency of water repellent and photocatalytic treatments under UV/VIS illumination. *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 89 (2014), p. 115–125

[23] ORTEGA-CALVO, J.J. ; HERNANDEZ-MARINE, M. ; SAIZ-JIMENEZ, C.: Biodeterioration of building materials by cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration*, vol. 28, n° 1-4 (1991), p. 165–185

