



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AMAR TELIDJI DE LAGHOUAT

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en Génie Civil

Option :

Matériaux de construction

Présenté par

Rahmani Fatima El zohra

Thème

Effet de la pouzzolane naturelle et des filler calcaire et de fumée de silice sur les propriétés physico-mécanique des mortiers résineux

Devant le jury

Dr Mme Djoudi Amina

MCB à L'UATL

Président

Mme Merghoub Messaouda

MAA à L'UATL

Examinatrice

Dr Makhloufi Zoubir

MCA à L'UATL

Encadreur

Dr Hadjoudja Mourad

MCA à L'UATL

Co-Encadreur

Mr Berkak Hichem

Doctorant

Invité

Promotion 2017

Remerciement

J'exprime d'abord mes profonds remerciements à mon

DIEU

Qui m'a donné le courage, la Volonté et la santé d'achever ce travail.

En second lieu, Je tiens à remercier monsieur l'encadreur

Mr MAKHLOUFI ZOUBIR

Pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

J'exprime ma gratitude à mon co-encadreur

Mr BARKAK HICHEM,

Pour m'avoir orienté et conseillé durant mon travail et leurs aides précieuses.

Je vifs le grand remerciement vont également aux

RABEH OTHMANI

Qui m'a fait l'honneur d'avoir veillé et dirigé ce mémoire

Je vifs remerciements vont également aux mes profs les membres du jury :

La présidente Mm DJOUDI AMINA

ET l'examinatrice MERGHOUB MESSOUDA

Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A mes chers parents,

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

A mes frères

Mounir, Mohcen, Kaddour et Tarek

Les prunelles de mes yeux je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de Succès et que Dieu, le tout puissants, vous protèges et vous gardes.

A ma soeur Balkiss l'aimable

A mon Amie

Taher Bouzidi

Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et bcp de santé et de bonheur dans les deux vies.
A Mes tantes Khadija et Zohra et oncle Belkaçem qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A mes belles cousines surtout Naissa et Ahlem et Manel Zoubida et Rahil, Fatna Fathiya, Hadjer et Hanane et leurs enfants et la petite adorable

Zineb Jourri

A mes petits chers

Adel Nour et Abdel adhim

A mes chères amies qui sont :

Keltoum, Sarah, Fayza, Amina Asma, Imane et Abla.

A mes collègues d'étude :

*Mnel Ahlem Safia Souad Khaled Moussa Missoum Miloud Belkaçem
Oussama Nacer et Chafik*

FATIMA EL ZOHRÀ

ملخص

قد أصبح البحث عن مواد ربط جديدة مصدر القلق من أجل تقليل تكلفة الخرسانة من خلال رفع مستوى المواد المحلية والنفايات الصناعية والطبيعية من منظور تطوير مواد البناء، وبالتالي فإن استخدام المضافات المعدنية مع الأسمنت لأسباب اقتصادية وبيئية لغرض التقليل من الطاقة اللازمة لإنتاج الأسمنت وتحسين متانة الملاط الخرسانة. وكان الهدف من هذا العمل هو إظهار تأثير الإضافات المعدنية: البوزولانا الطبيعية والحجر الجيري والسيليكا المدخنة على الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للملاط وتعديل الراتنج، ومن ناحية أخرى تأثير هذه الإضافات المعدنية على القدرة على السيولة وتطور الانكماش وامتصاص الغمر والخاصية الشعرية لهذا الملاط المعدل بالراتنج (مركب كيميائي). لهذا قمنا بإعداد برنامج تجريبي على الملاط أو الاسمنت الراتنج واستبدال جزئي من قبل البوزولانا الطبيعية والحجر الجيري و الحشو السيليكا المدخنة من أجل دراسة تأثيرها على المعلمات المذكورة و وجدنا ان مقاومة الشد للملاط رقم 3 (30% البوزولانا الطبيعية) = $MP_a 8.38$ هي أحسن مقاومة بينما ملاط رقم 05 (السيليكا المدخنة) = $MP_a 40.67$ هي أحسن مقاومة ضغط . الكلمات المفتاحية : ملاط، الراتنج SBR، البوليمر / الاسمنت، الحجر الجيري، حشو الحجر الجيري، البوزولانا الطبيعية، السيليكا المدخنة، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية.

RESUME

La recherche de nouveaux liants est devenue une préoccupation pour minimiser le coût des bétons par la valorisation des matériaux locaux et les déchets industriels et naturels dans la perspective de développement des matériaux de construction. Par conséquent, l'utilisation d'additifs minéraux avec du ciment pour des raisons économiques et environnementales a pour but la diminution d'énergie nécessaire pour produire du ciment et d'améliorer le comportement physico-mécanique des mortiers modifiés de résine.

Ce travail avait pour objectif de montrer l'influence des ajouts minéraux : la pouzzolane naturelle et filler calcaire et fumée de silice sur les propriétés physico-mécanique des mortiers modifiés de résine, et d'autre part, l'effet de ces additions minérales sur la maniabilité et l'évolution du retrait et l'absorption par immersion et par capillarité de ces mortiers.

Pour cela, nous avons préparé un programme expérimental qui a été réalisé sur des mortiers résineux où le ciment (CEMI 42.5 HRS) partiellement substitué par la pouzzolane naturelle, les fillers calcaires et la fumée de silice en vue d'étudier leurs influences sur les paramètres qui ont été mentionnés précédemment. Après les résultats on a trouvé que le mortier M3 (30% pouzzolane) enregistre la meilleure résistance à la traction 8.38 MPa et le mortier M5 (30% fumée de silice) marque la meilleure résistance à la compression 40.67 MPa.

Mots clés : Mortier, Résine SBR, Polymère / Ciment (P/C), Sable calcaire, Filler calcaire, Pouzzolane naturelle, Fumée de silice, Propriétés physiques, Propriétés mécaniques.

ABSTRACT

The search for new binders has become a concern to minimize the cost of concretes by upgrading local materials and industrial and natural wastes in the perspective of development of building materials. Therefore, the use of mineral additives with cement for economic and environmental reasons for the purpose of reducing or

Reduce the energy needed to produce cement Improve the durability of mortars and concretes.

The objective of this work was to show the influence of mineral additions: natural pozzolana and filler limestone and fumed silica on the physico-mechanical properties of mortars modify the resin, and on the other hand, the effect of these mineral additions on the maneuverability and the evolution of the shrinkage and the absorption by immersion and capillarity of these mortars.

For this we have prepared an experimental program on resinous mortars or cement (CEMI 42.5 HRS) partially substituted by pozzolana and limestone fillers and fumed silica in order to study their influences on the parameters are mentioned . RT of M3 (pozzolana=8.38MPa) the best. And RC of M5 (fumed silica =40.67 MPa is the best resistance.

Keywords: Mortar, SBR resin, Polymer / Cement (P / C), Limestone sand, Limestone filler, Natural pozzolana, Silica fume, Physical properties, Properties

Sommaire

Titre	Pages
Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des symboles	
Introduction générale	01
CHAPITRE I : Rappels théoriques et synthèse bibliographique	
Introduction	04
I. Les latex	04
I- 1- Présentation	04
I- 2- Latex, interactions avec la matrice cimentaire, propriétés	04
I-2-1 – Généralités	05
I-2-2 Hydratation	08
I-2-3 Maniabilité	08
I-2-4 Résistances mécaniques	08
II. Classification des bétons résineux	11
II.1. Béton imprégné de résine	12
II.2. Béton additionné de résine	14
II- 3 Béton de résine	15
III- Conclusion	18
CHAPITRE II: Caractérisation des matériaux utilisés et techniques expérimentales	
Introduction	20
I- MATIÈRES PREMIÈRES	20
I-1 Ciment	20
I-2 Fillers Calcaires (FC)	21
I-3 Fumée de silice	23
I-3-1- Caractéristiques	23
I-3- 2 Ses actions	24
I- 4 Pouzzolane naturelle	24
I-4- 1- Définition	24
I-4-2 Production et disponibilité	25
I -4-3 Exigences en matière de composition chimique	25
I-5 Sable	27
I-6 Résine	27
I-7 Adjuvant	28
I-8 Eau	28
II- Essais réalisés	28
II-1 Maniabilité	28
II-2 Confection des éprouvettes	30

Sommaire

II-3 Mode de cure	30
II-4 Changement de longueur (retrait)	30
II-5 Variation de masse	32
II-6 Essais d'absorptivité	32
II-7 Résistances mécaniques	33
II-7-1 Résistance à la traction par flexion	33
II-7-2 Résistance à la compression	35
III- Programme expérimental	36
VI- Conclusion	36
CHAPITRE III: Résultats et Analyses	
Introduction	38
I- Maniabilité	38
II- Retrait (variation dimensionnelle)	39
III- Absorption d'eau par immersion	41
IV- Absorptivité	42
V- Résistance à la traction par flexion	45
V-1 Résistance de l'âge de 3jours	45
V-2 Résistance à la traction par flexion à 7 jours	46
V-3 Résistance à traction par flexion des différents mortiers à 28jours	47
VI- Résistance à la compression	50
V-1 Résistance à la compression à 3 jours	50
V-2 Résistance à la compression à 7jours	51
V-3 Résistance à la compression à 28 jours	51
VII- CONCLUSION	53
Conclusion général	56
Références bibliographique	
Annexe	

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
I-1	Durabilité des bétons imprégnés de résine	13
I-2	Propriété types des bétons	15
I- 3	Propriété types des bétons de résine courants et du béton de ciment Portland	17
I- 4	Principales différences entre matrice TP et TD	20
II-1	propriétés physico-mécaniques du ciment utilisé	22
II-2	Composition chimique des fillers calcaires (%)	22
II-3	Analyse chimique des fillers calcaires (%)	22
II-4	Composition chimique de la pouzzolane naturelle (%)	27
II- 5	Propriétés physico-mécaniques du sable utilisé	27
II-6	Caractéristiques de résine utilisée	28
III-1	Composition (en grammes) des différents constituants des mortiers préparés. Désignation des mélanges	38
III-2	Représente le temps d'écoulement en fonction de différents constituants du mortier préparés	38
III-3	Résultats des essais de retrait des différents mortiers	40
III-4	Les coefficients d'absorption des mortiers préparés	41
III-5	Résultats des essais d'absorption par capillarité des différents mortiers	42
III-6	résultats d'essai d'absorptivité en fonction du temps	44
III-7	Résultats de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers à l'âge de 3jours	45
III-8	Résistance à la traction par flexion des différents mortiers à l'âge de 7 jours	46
III-9	Résultats de résistance mécanique de traction par flexion des différents mortiers à 28 jours	47
III-10	Résistances à la compression des différents mortiers à l'âge de 3 jours	50
III-11	Résultats de résistance mécanique de compression f des différents mortiers au âge 7 jours	51
III-12	Résultats de résistance à la compression des différents mortiers au âge 28 jours	52

Liste des figures

N°	Titre	Pages
I- 1	Principe de stabilisation d'un latex	05
I-2	Modèle d'interactions entre la matrice cimentaire et un latex lors de L'hydratation du ciment d'un mortier modifié latex	07
I- 3	Schéma réactionnel entre un latex SBR et un grain de ciment.	08
I-4	(a) Résistances en flexion et en compression de mortiers modifiés latex en fonction du taux des substitutions et du taux de latex (b) Résistances en fonction de la cure subie par le mortier et différent latex	10
I-5	Classification des composites béton-résine	12
I-6	Procédé de polymérisation du béton imprégné de	13
II-1	Diffractionogramme aux R-X du filler calcaire	22
II-2	Visualisation des grains des fillers utilisés par MEB (G=5000) [Bederina 05]	23
II-3	Pouzzolane naturelle	26
II-4	Diffractionogramme aux R.X de la pouzzolane naturelle de Beni-Saf	27
II-5	Maniabilimètre type B	29
II-6	Essai de maniabilité	29
II-7	Rétractomètre muni d'un Comparateur de mesure de la variation de longueur	31
II-8	Appareillage pour la mesure du retrait	32
II-9	Essai d'absorptivité	33
II-10	Dispositif expérimental de mesure des résistances à la flexion et compression	34
II-11	Schéma du dispositif de charge en flexion pour les éprouvettes de mortiers	34
II-12	Dispositif de compression	35
III-1	Histogramme représente le temps d'écoulement ou bien la maniabilité en fonction de différents constituants du mortier préparés	39
III-2	Evolution du retrait en fonction de l'âge des éprouvettes	40
III-3	Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction du temps	43
III-4	Evolution de l'absorptivité en fonction du temps	44
III-5	Evolution de la résistance a la traction par flexion à 3 jours des différents mortiers	45
III-6	Evolution de la résistance a la traction par flexion à 7 jours des différents mortiers	46
III-7	Evolution de la résistance a la traction par flexion à 28 jours des différents mortiers	48
III-8	Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge pour les différents mortiers	49
II-10	Dispositif expérimental de mesure des résistances à la flexion et compression	50

Liste des figures

II-11	Schéma du dispositif de charge en flexion pour les éprouvettes de mortiers	51
II-12	Dispositif de compression	52

Liste des symboles

Liste des symboles

CMI HRS	Ciment portland a haut résistance aux sulfates
SiO ₂	silice
CaO	chaux
MgO	Magnésium
Al ₂ O ₃	Alumine
Fe ₂ O ₃	Oxyde de fer
SO ₃	Oxyde de soufre (sulfure)
K ₂ O	Oxyde de potassium
C ₃ S	Silicate tricalsique (alite)
C ₂ S	Silicate bicalsique (belite)
C ₃ A	Aluminate tricalsique
C ₄ AF	Aluminate-ferrite tetracalsique
Ca SO ₄	Gypse
MgSO ₄	Sulfate de magnésium
Ca(OH) ₂	Portlandite
C-S-H	Silicate de calcium hydrate
PN	Pouzzolane Naturelle
FC	Filler calcaire
FS	Fumé de silice
Rt	Résistance a la traction
Rc	Résistance a la compression
E/C	Rapport eau/ciment
P/C	Rapport polymère/ciment
R.X	Rayon X
SP	Superplastifiant
HC	Acide chlorhydrique

Liste des symboles

FC	Charge de rupture
NF	Normes françaises
S	Surface spécifique (cm ² /g).
SW	Sportivité (g/cm ² min ^{0.5})
M1	Mortier ordinaire n°1
M2	Mortier de résine n°2
M3	Mortier contenant de la pouzzolane n°3
M4	Mortier de filler calcaire n°4
M5	Mortier de fumée de silice n°5
M6	Mortier (PN+FC) n°6
M7	Mortier (PN+FS) n°7
M8	Mortier (FC+FS)n°8
M9	Mortier (PN+FC+FS) n°9

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les matériaux à base de ciment Portland (mortier ou béton) sont des matériaux les plus fréquents dans les domaines de construction et de bâtiment depuis 170 ans ou plus où le béton est le matériau le plus consommé dans le monde après l'eau d'après l'Organisation de Coopération et de Développement Economique OCDE. Mais, il est évident que ces matériaux présentent certains inconvénients tels que le retard de durcissement, une faible résistance à la traction, un grand retrait de séchage et une moindre résistance chimique.

Pour réduire ces inconvénients, plusieurs tentatives d'utiliser les matériaux composites dont les polymères ont été faites. Une telle tentative est de modifier le mortier ou le béton ordinaire par des additifs polymères tels que le latex, un polymère redispersible des poudres, des polymères solubles dans l'eau, des résines liquides et des monomères. Les polymères les plus utilisés comme des additifs sont les latex. On cite les plus utilisés comme le styrène-butadiène (SBR), le chlorure de polyvinyle (PVDC), l'acrylonitrile-butadiène (NBR) et le polychloropène (CR). En effet, l'incorporation des polymères dans les bétons et mortiers produit évidemment des matériaux similaires aux matériaux conventionnels, mais avec des caractéristiques supérieures.

Donc, dans la présente étude, la matrice cimentaire inorganique va être remplacée en partie par une matrice polymérique organique (résine synthétique de type styrène butadiène SBR) en optimisant un mortier résineux modifiés. Ceci constitue un intérêt particulier de ce travail.

En outre, les additions minérales offrent un intérêt technique important, puisque leur utilisation permet à la fois de valoriser les déchets industriels et les ressources naturelles et d'améliorer également le comportement physico-mécanique de ces mortiers.

Alors, le principal objectif de ce sujet de PEF de Master est de contribuer une étude assez complète où on s'intéresse plus à l'effet d'additions minérales telles que le filler calcaire, la pouzzolane naturelle et la fumée de silice sur le comportement physico-mécanique des mortiers modifiés de résine.

L'étude bibliographique a permis de présenter les trois grandes catégories de mortiers et bétons de résine ; les différentes classes de polymères additionnés aux matériaux cimentaires et l'état de l'art exhaustif dans le but d'exposer les travaux antérieurs concernant l'effet des résines sur le comportement physico-mécanique des mortiers et bétons à l'état frais et durci.

Afin d'atteindre nos objectifs, les différentes étapes suivantes ont été réalisées :

1. Etude bibliographique consiste de présenter les trois grandes catégories de mortiers et bétons de résine ; différentes classes de polymères additionnés aux matériaux cimentaires et l'état de l'art exhaustif dans le but d'exposer les travaux antérieurs concernant l'effet des résines sur le comportement physico-mécanique des mortiers et bétons à l'état frais et durci.

2. Caractérisation physico-mécanique des matériaux utilisés (ciment, résine SBR, sable calcaire, filler calcaire, pouzzolane naturelle et fumée de silice).

3. Caractérisation physique des mortiers élaborés à l'état frais :

- Maniabilité LCL (type B).

4. Caractérisation physique et mécanique des mortiers élaborés à l'état durci.

- Variations de masse des éprouvettes de mortier (coefficient d'absorption).
- Retrait (variation dimensionnelle).
- Absorption d'eau par immersion.
- Absorptivité.
- Résistance à la traction par flexion (3, 7 et 28 jours).
- Résistance à la compression (3, 7, et 28 jours).

5. Comparaison des différents résultats trouvés.

6. Conclusions, recommandations et perspectives.

- Ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre a été consacré à la description des latex et généralités des mortiers résineux et leurs types de la structure étudiée.
- Les caractérisations physico-chimiques des matériaux utilisés (pouzzolane naturelle et filler calcaire, fumée de silice, ciment et sable calcaire) et les essais ou bien les techniques expérimentales sont l'objet du deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus afin d'étudier les différents effets des additions minérales sur le comportement de mortier modifié de résine

Enfin nous terminons par une conclusion générale et des perspective.

CHAPITRE I : RAPPELS
THEORIQUES ET
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes classes de bétons et mortiers polymériques, les constituants éventuellement utilisées (liant, granulats, additions) ainsi que leurs applications potentielles dans le domaine du génie civil. Une synthèse bibliographique sera effectuée sur les travaux réalisés sur l'optimisation, le comportement physico-mécanique du béton et mortier polymérique.

I. Les latex

I- 1- Présentation

Les latex sont des dispersions colloïdales de polymère stabilisées dans un milieu aqueux.

Ils sont donc stabilisés par l'ajout d'autres polymères, hydrophiles chargés ou non. Avec des polymères non chargés, la stabilisation est dite « stérique » alors que pour les polymères chargés, elle est dite « électrostatique ».

Ils peuvent être sous forme liquide ou sous forme de poudre (Figure I.1). Ainsi, ils peuvent mieux se disperser dans la matrice cimentaire. Un autre avantage est la possibilité de les mélanger par avance aux différents composants du mortier pour obtenir des sacs reformulés et ainsi pouvoir les stocker plus facilement. Lorsqu'ils sont sous forme liquide, on parle de résines, ajoutés à un catalyseur lorsqu'ils sont combinés au mortier ou béton. Plusieurs latex sont utilisés, comme le Styrène-Butadiène (SBR), le Chlorure de Polyvinyle (PVDC), l'Acrylonitrile-Butadiène (NBR), le Polychloropène (CR), l'Ester Polyacrylique (PAE), l'Acétate de Polyvinyle (PVAC), le poly (Styrène/Acrylate de butyle) (SA) ou encore le poly (Ethylène/Acétate de Vinyle) (EVA). Les mortiers modifiés latex sont utilisés dans de nombreux domaines de la construction en raison de leur résistance, de leur plus grande déformabilité, adhérence au support, imperméabilité et durabilité. Dans l'industrie, deux grandes applications sont la colle à carrelage et les enduits sur isolants [Jenni 05].

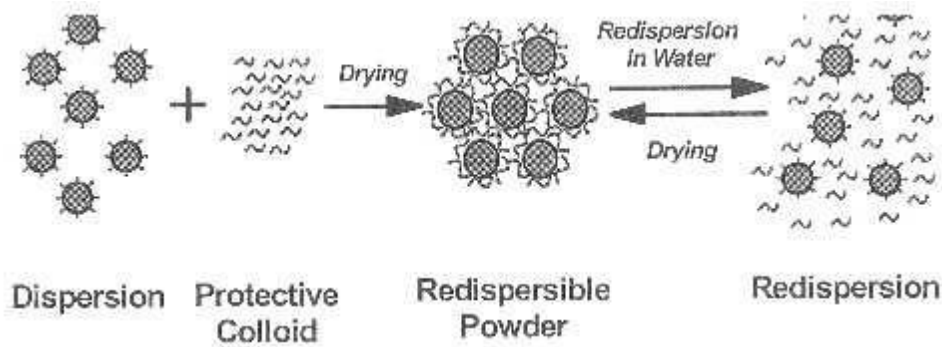


Figure I- 1 : Principe de stabilisation d'un latex

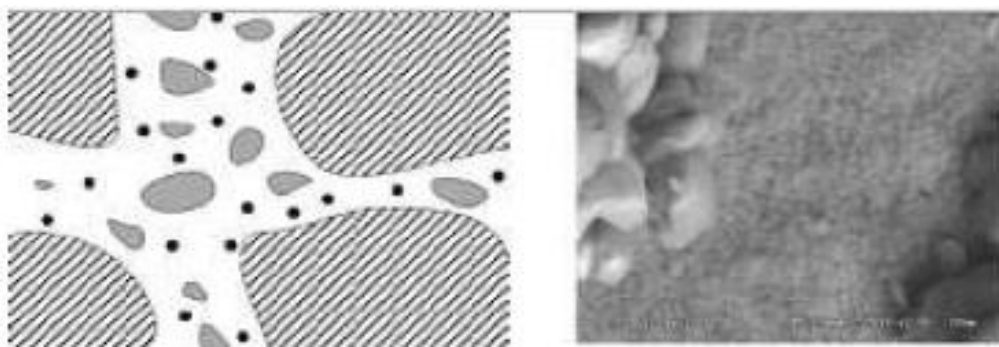
I- 2- Latex, interactions avec la matrice cimentaire, propriétés

I-2-1 - Généralités

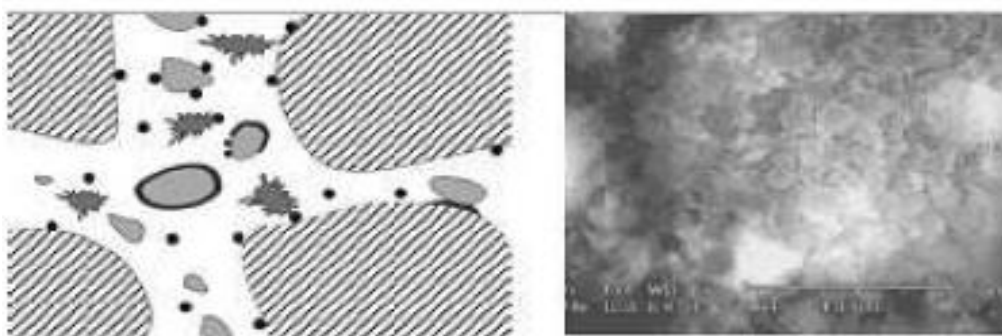
Lorsque le mortier contenant un latex est mélangé avec l'eau, l'hydratation du ciment se fait en même temps que la formation d'une phase pure de polymère correspondant à la coalescence des particules de polymères au moment de l'appauvrissement en eau de la matrice cimentaire.

Il se forme aussi une comatrice ciment-polymère formant un réseau où les deux phases s'interpénètrent et se lient ainsi aux granulats [Ohama 98]. Ohama [Ohama 98] propose un modèle d'interactions entre la matrice cimentaire et un latex. Quand le latex est mélangé au ciment, les particules de latex sont alors réparties de manière homogène dans la pâte. Durant l'hydratation, un gel de ciment hydraté se forme sur les grains de ciment anhydre et quelques particules de polymère se fixent sur ce dernier. Au fur et à mesure de l'hydratation, les particules de polymère encore dispersées sont de plus en plus confinées dans les pores capillaires. Plus l'eau est consommée, plus les particules de polymères coalescents pour former un film continu qui interpénètre la matrice cimentaire [Su 96]. Putterman décrit un modèle similaire [Putterman 99]. Ce modèle a été complété par Gemert [Gemert 04] en précisant la chronologie des étapes et en identifiant les différents composés formés. Juste après le mélange, les particules de ciment et de polymères sont dispersées dans l'eau, l'hydratation du ciment commence (Figure I.2). Dans une seconde étape, une partie des particules de polymères se dépose sur la surface des grains de ciment et sur les granulats. Une partie du polymère peut coalescer pour former un film continu (Figure I.2) qui enveloppe partiellement ou totalement les grains de ciment. Ce recouvrement retarde

partiellement ou complètement l'hydratation du grain (Figure I.2). Dans une troisième étape, l'hydratation se poursuit, la floculation et la formation d'un film sont possibles si la cure est « sèche ». Cela influence l'hydratation et le développement de la résistance au jeune âge. Dans la phase liquide, les hydrates précipitent, se combinent au polymère (Figure I.2) et des particules de polymère restent isolées dans la matrice. Dans la dernière étape, l'hydratation et la formation du film se terminent. Le film se forme au sein des hydrates, au fur et à mesure que la quantité d'eau diminue dans les pores de la solution. C'est lors de cette phase que la plus grande partie de la déformabilité et de la résistance est obtenue pour le mortier (Figure I.2). Les conditions de cure sont très importantes, les meilleures propriétés étant obtenues par une cure sèche suivie d'une cure humide. Cette cure permet aux particules restantes de polymères de compléter le film par une nouvelle floculation et une nouvelle coalescence. La figure (I-3) décrit le phénomène de coalescence des particules de latex aboutissant à la formation d'un film continu de matière autour d'un hydrate [Ohama 98].

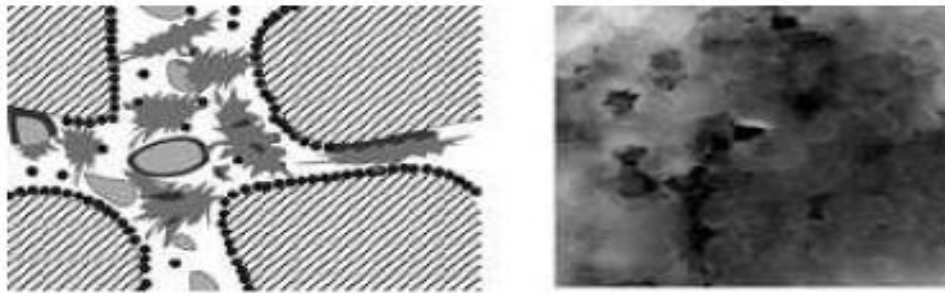


Etape 1 : juste après le mélange granulats (hachurées), particules de ciment anhydre (gris), particules de polymères (noir), eau (blanc). Les petites aiguilles d'ettringite sont formées.

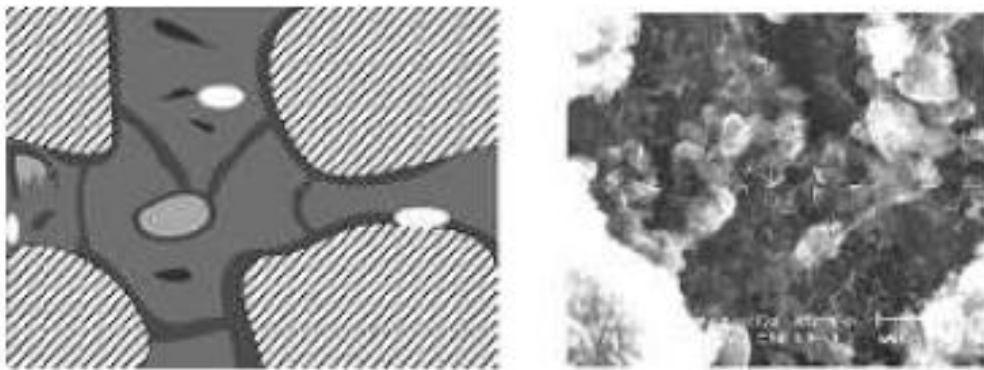


Etape 2 : après le mélange, le ciment hydraté (gris foncé), les particules de polymères interagissent avec les particules de ciment et les granulats. Dans le cas d'une cure sèche, un

film continu de polymère peut se former et les particules de polymère flocculent les unes avec les autres (il n'y a pas encore de coalescence).



Etape 3 : l'hydratation du ciment se poursuit, le film de polymère commence à se former sur des sites spécifiques. Les particules de polymères commencent à coalescer ensemble en un film continu.



Etape 4 : l'hydratation se poursuit, les particules de polymère coalescent en un film continu. Les particules de ciment sont hydratées. Les parties en blanc représentent l'air.

Figure I-2: modèle d'interactions entre la matrice cimentaire et un latex lors de l'hydratation du ciment d'un mortier modifié latex [Germert 04].

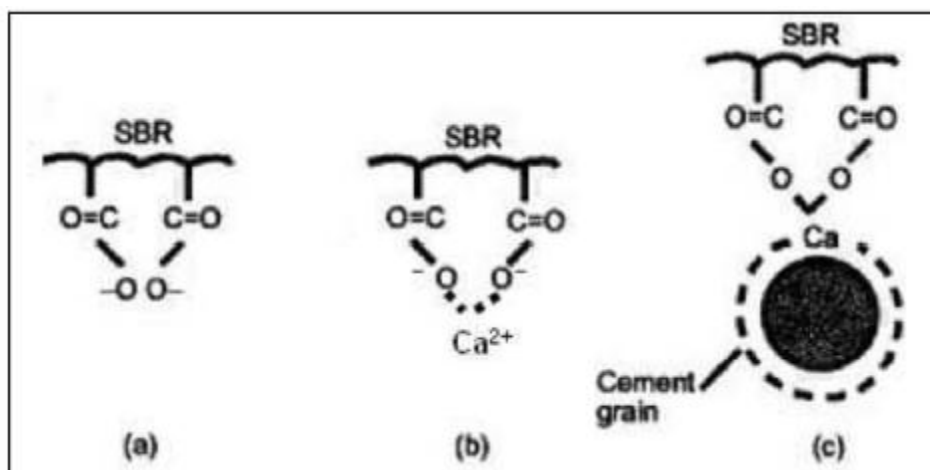


Figure I- 3 : Schéma réactionnel entre un latex SBR et un grain de ciment.

La figure (I.3) présente un schéma réactionnel entre les grains de ciment et un latex SBR[Zeng 96].

(a) ionisation du carboxyle.

(b) interaction avec les ions de calcium dans la solution.

(c) liaison avec un grain de ciment[Zeng 96].

Afridi [Afridi 95] a comparé la capacité de formation du film en fonction de la forme des latex utilisés (poudre ou liquide) et de la proportion dans le mélange. Il conclut que les polymères liquides forment un film de meilleure qualité que ceux sous forme de poudre pour lesquels où le film est moins uniforme et dont l'aspect diffère.

Pour les latex sous forme liquide, un film continu se forme à partir de Polymère / Ciment(P/C) = 5 %, alors que sous forme de poudre, la formation du film dépend du latex utilisé. Par contre, à partir de P/C =10 %, il observe la formation d'un film continu pour les deux types de latex.

Cette formation du film continu de polymère est remise en cause par Boutti pour des latex styrène-butyl-acrylate. Dans son étude, avec des taux de latex de 5 % en masse par rapport au ciment, le latex n'interagit pas avec la matrice cimentaire [Boutti 07].

Pascal observe qu'avec un latex styrène-butadiène, le latex forme un film et se mélange avec la fumée de silice, mais que le polymère s'organise en réseau (film continu) que pour des teneurs suffisantes en latex (à partir de P/C = 10 %). Il observe également une falsification au niveau des faces externes des éprouvettes de mortier [Pascal 02] [Pascal 03].

I-2-2 Hydratation

Les latex diminuent le taux d'hydratation du ciment à cause de la dispersion du polymère et de son adsorption, mais aussi à cause du système de stabilisation utilisée [Kardong 97] [Vallée 03] [Merlin 05]. Goto a étudié plusieurs latex (latex acrylique et éthylène/acétate entre autres) avec des stabilisations différentes dans une solution diluée de ciment. Jusqu'à une concentration seuil, l'influence sur le ralentissement de l'hydratation est identique, puis passé ce seuil [Goto 06]. Le retard d'hydratation sur une pâte de ciment a aussi été observé ainsi que l'absorption du latex sur le ciment [Merlin 04] [Goto 06].

Par contre, avec une cure humide et une quantité optimisée de SBR, l'hydratation est accélérée et le taux d'hydratation augmente. Cela modifie la nature et la stabilité de certains hydrates. L'ettringite formée est, par exemple, plus stable [Wang 06].

I-2-3 Maniabilité

L'ajout de latex améliore aussi la maniabilité du mélange où le mortier nécessite alors moins d'eau pour une même consistance [Su 95] [Saija 95] [Barlunga 04]. Le polymère lui-même ou le surfactant ou le stabilisant réduit la ségrégation [Su 95].

I-2-4 Résistances mécaniques

Pour des pâtes de ciment, la ténacité et la résistance en flexion augmentent avec le taux de latex ajouté. Pour une même maniabilité, les résistances en flexion et en traction augmentent tandis que la résistance en compression reste identique à celle du mortier non adjuvanté.

En revanche, si le rapport E/C est maintenu constant, les résistances diminuent [Shaker 97] [Ohama 98] [Sakai 95] [Saija 95] [Schulze 01] [Bureau 01] [Chen 97] [Chung 04] [Pascal 02] [Çolak 04] [Barluenga 04] [Goto 06]. La nature et le nombre des substituants ont une influence sur ces résistances (Figure I-4 (a)).

En général, plus la proportion de latex est grande plus ces résistances sont élevées jusqu'à l'ajout d'une quantité seuil où cet effet est inversé (Figure I.4 (a)). Les conditions de cure ont également une influence sur les résistances en flexion et en compression. (Figure I-4(b)) [Ohama 98].

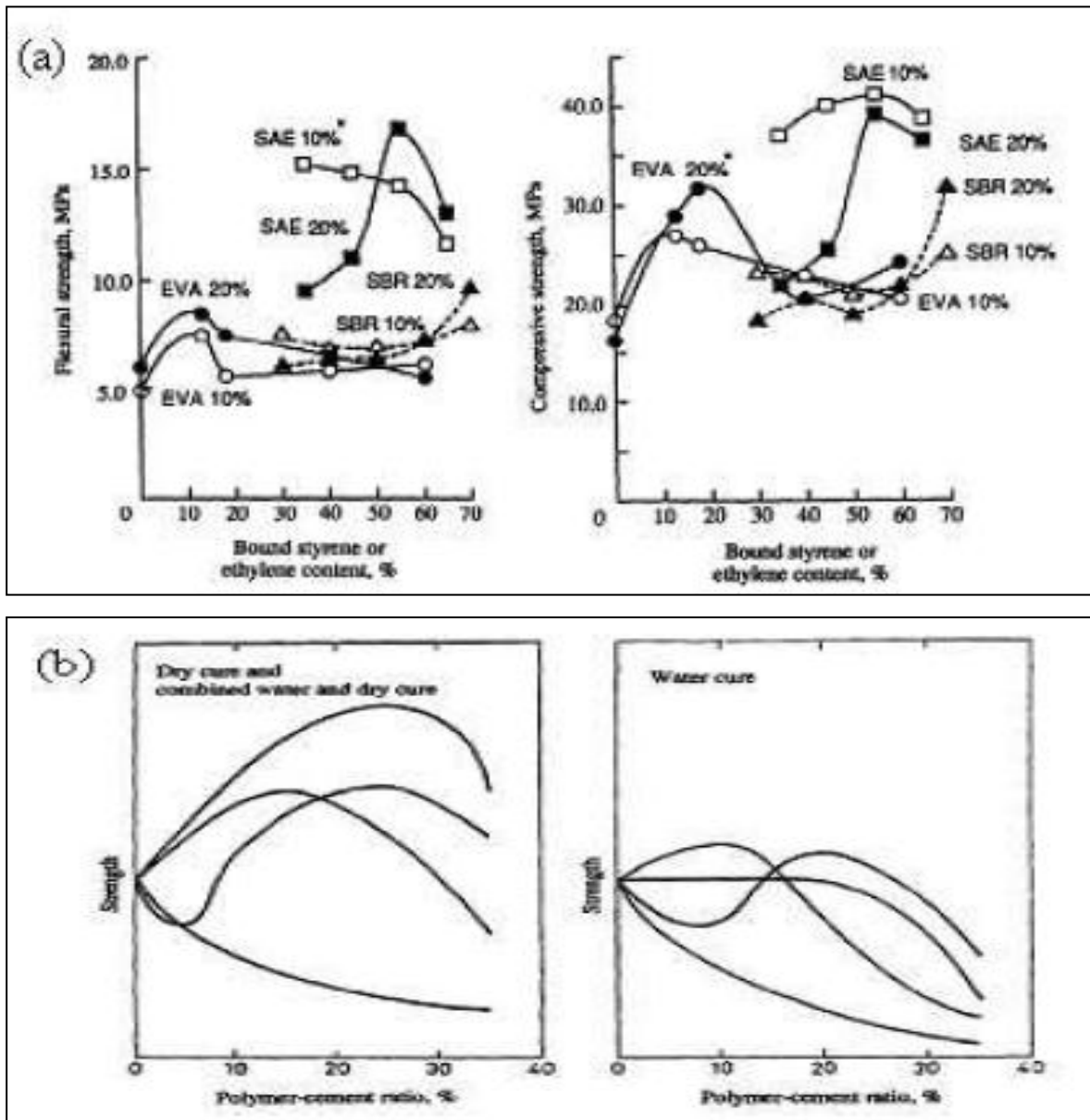


Figure I-4 : (a) résistances en flexion et en compression de mortiers modifiés latex en fonction du taux des substitutions et du taux de latex, (b) résistances en fonction de la cure subie par le mortier et différents latex [Ohama 98].

Ces augmentations sont à relier à l'amélioration globale de la liaison entre les grains de ciment par le latex, à la formation du film de polymère et au pontage des microfissures par le polymère [Ohama 98] [Shaker 97] [Bureau 01][Pascal 02][Pascal 03][Jenni 05][Jingang 05]. Zhong observe une augmentation de la résistance en compression et une continuité des valeurs de résistances en flexion, ce qu'il associe à la bonne résistance en traction des films de polymère [Zhong 02]. Toutefois, Dennington et Justnes [Dennington 97] ont montré que la présence du film n'est pas nécessaire à l'amélioration des propriétés mécaniques si le latex

utilisé est apte à former des complexes avec les minéraux du ciment. Cette formation du film de polymère est remise en cause par Boutti pour des taux de latex styrène-butyl-acrylate de 5 % en masse par rapport au ciment. Pour les latex étudiés dans son travail et pour un tel taux, le latex n'influe pas sur les propriétés mécaniques [Boutti07]. Goto [Goto 06] précise bien que les améliorations des propriétés mécaniques dépendent de la nature du latex et du système de stabilisation, du ciment, des granulats et des proportions du mélange (rapport P/C, rapport E/C, quantité d'air occlus par exemple). En outre, les mortiers modifiés latex perdent un peu de leur résistance quand ils sont immergés.

Cette diminution est plus significative pour la résistance en flexion, mais malgré tout, leurs résistances restent supérieures à celles des mortiers ne contenant pas d'adjuvants.

II. Classification des bétons résineux

La recherche des méthodes et moyens pour augmenter la résistance, la densité, la résistance aux agressions chimiques et la durabilité des bétons renforcés ou non a conduit à la formulation de différents groupes de béton avec des additifs ou à base de polymère désignés comme les bétons polymères.

Les composites béton-polymère les plus connues sont généralement classés selon les technologies des procédés (Figure I-5).

L'utilisation des polymères dans les bétons se manifeste par :

- Le remplacement des granulats inorganique par d'autres organiques dans le but d'alléger les bétons et améliorer les caractéristiques liées à l'isolation thermique. Les propriétés des bétons utilisant des agrégats organiques ou inorganiques sont comparables.
- Le remplacement partiel ou complet du liant inorganique par un liant organique : le remplacement partiel de la matrice inorganique implique la présence d'une interaction entre la résine synthétique et le ciment donnant naissance à un nouveau matériau avec des caractéristiques un peu particulières.
- L'introduction de liant organique dans la structure poreuse du ciment durci, de la roche ou du béton.

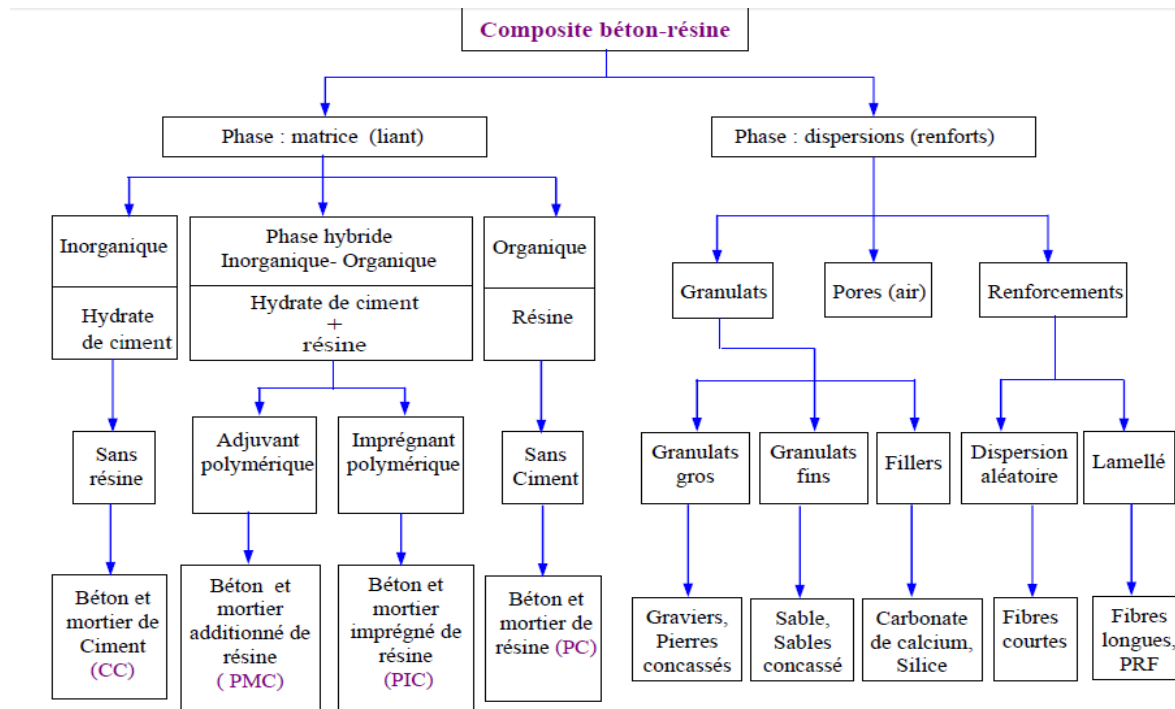


Figure I-5:Classification des composites béton-résine [Ohama 2010].

Le remplacement complet en utilisant des liants polymériques donne le béton polymère dont on a donné au début plusieurs appellations. Par exemple, il était appelé béton plastique et béton organo-minérale à l'Union Soviétique et etc. La première tentative pour l'unification de la classification et de la terminologie relative aux bétons polymères remonte à l'année 1968 [Mikhailov 1992].

II.1. Béton imprégné de résine

Polymer-impregnated concrete (PIC) est l'appellation anglophone de ce béton qui est obtenu en imprégnant des éléments préfabriqués en béton de ciment Portland durci avec un monomère ou d'un mélange pré-polymère-monomère à faible viscosité (sous forme liquide ou gazeuse) qui est par la suite polymérisé (Figure I-6) in situ sous l'action d'agents physiques (rayons ultraviolets ou chaleur) ou chimiques (amorce par catalyseurs) après la chasse de l'air des pores ouverts (par application du vide ou introduction du monomère sous pression). La polymérisation se fait l'imprégnant par la méthode la plus économique et la plus pratique.

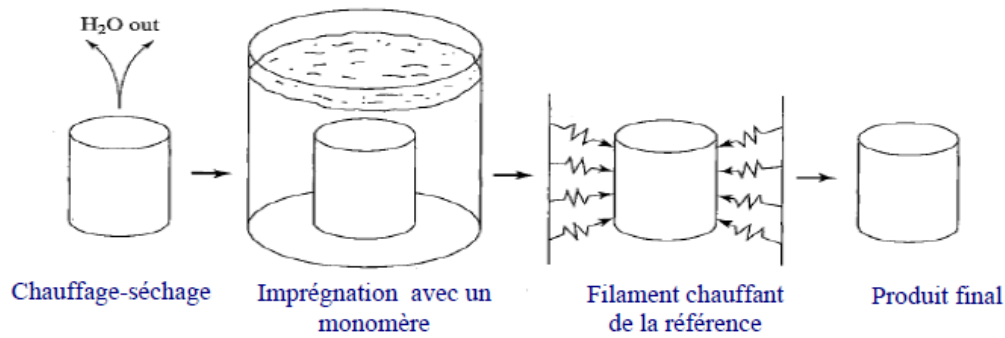


Figure I-6 : Procédé de polymérisation du béton imprégné de résine [Mindess et al. 03].

L'imprégnation du béton assure une augmentation remarquable de la résistance en traction (3.6 à 3.9 fois plus grande que celle d'un béton témoin pour des bétons imprégnés avec 6.4% de MMA [Shetty 04], en compression (portée de 35 à 140 MPa) et au choc, une durabilité accrue (Tableau I-1) et une plus grande imperméabilité à l'eau et aux solutions aqueuses renfermant des sels comme les sulfates et les chlorures. La résistance aux cycles gel-dégel est aussi améliorée.

L'imprégnation peut être superficielle ou varier en profondeur selon la résistance ou la durabilité souhaitée. L'imprégnation partielle peut être efficace dans les cas où le besoin principal est la résistance de la surface contre l'attaque chimique en plus de l'augmentation de la résistance [Shetty 04].

La grande amélioration de la durabilité est essentiellement le résultat de la baisse significative de la perméabilité due à l'évacuation de l'eau avant l'imprégnation.

Tableau I-1 : Durabilité des bétons imprégnés de résine [Mindess et al. 03].

		Béton témoin	Béton imprégné de résine (MMA)	Béton imprégné de résine (Styrène)
Gel-dégel	Nombre de cycles	740	3650	5440
	Perte de masse (%)	25	2	2
Attaque de sulfate	Dilatation (%)	0.466	0.006	0.03
	Nombre de jours	480	720	690
Résistance aux acides (15% HCl)	Perte de masse (%)	27	9	12
	Nombre de jours	105	805	805
Résistance à l'usure	Profondeur d'usure (mm)	1.25	0.38	0.93
	Perte de masse (g)	14	4	6

Le principal inconvénient du béton imprégné est son coût, les monomères utilisés pour l'imprégnation étant chers et le procédé de fabrication est plus compliqué que pour le béton ordinaire.

II.2. Béton additionné de résine

Ce béton connu sous le nom anglophone Polymer-Cement Concrete (PCC) ou aussi Polymer-Latex Concrete (PLC) est un composite où l'on ajoute un polymère non réactif (souvent du genre latex ou un monomère réactif (résine) au mélange du béton hydraulique à l'état frais (avant la prise) et le résultat est un hybride ayant les propriétés caractéristiques de chaque matériau.

Le concept du béton additionné de résine n'est donc pas nouveau. En effet, la modification d'un composé de ciment avec du polymère afin de modifier les propriétés physiques a été pratiquée pendant plus de 80 ans et le premier brevet déposé par Cresson date de 1923 [ACI committee 04].

Au début des années 1920 et des années 1930, des émulsions en polymères aqueuses (Latex) ont été employées mais sa résistance à l'altération n'était pas bonne. Pendant les années 40 les polymères synthétiques, qui se détériorent une fois exposé à l'humidité, tels que les acétates polyvinyliques (PVA) sont devenus disponibles et sont utilisés comme substitution aux Latex. Les PVA modifiés, moins susceptibles à ce type de détérioration, ont été par la suite développés. Ils améliorent, une fois combinée avec les ciments, les propriétés physiques en augmentant l'ouvrabilité, la durabilité et la résistance à l'eau (latex acrylique) en plus de la résistance en flexion et en traction du béton résultant pour un coût raisonnable [Miller 2008].

D'autres propriétés y compris la perméabilité à l'eau, la ductilité, l'adhésion à l'acier d'armature et au béton ancien, la résistance en flexion, la résistance en traction, le module d'élasticité et la résistance aux chocs sont modifiées par la présence du polymère dans la matrice (Tableau I-2).

Tableau I-2 : Propriété types des bétons [Blaga et al. 86], [Kirlikovali 81].

Maériau	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance en compression (MPa)	Résistance au cisaillement (MPa)	Conductivité thermique W/(m.K)	Coeff. de dilatation thermique ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Béton imprégné de résine	10.3	42	144	26.2	2.19	9.28
Béton modifié au résine	4.1	26.2	41.4	13.8	2.26	7.74
Béton de résine	9.6	36.4	137.9	25.5	2.89	9.54
Béton de ciment Portland	1.7	24.8	34.5	7.6	2.30	7.2

L'ajout des modificateurs peuvent être réalisé selon deux procédés [Czarnecki 2007] :

- Les additions modificatrices sont ajoutées au béton frais sous forme d'émulsion polymère. Un tensioactif est nécessaire pour éviter la coagulation et la séparation des polymères (latex, élastomères, thermoplastiques) avant le début de prise ;
- Les éléments (résine synthétique chimiquement réactive, ou des pré-polymères et des monomères) sont ajoutés au béton frais et la polymérisation est réalisée par un amorçage chimique en même temps que l'hydratation du ciment.

Étant donné que le polymère forme une pellicule superficielle qui empêche dans une certaine mesure l'humidité de s'échapper du béton, la période de cure du béton modifié au latex est habituellement plus courte que celle du béton ordinaire grâce au maintien de l'hydratation.

II- 3 Béton de résine

Le travail pionnier pour le développement du béton de résine a été mené par le bureau de réclamations américain (USBR). Les investigations initiales faites au laboratoire national de Brookhaven (BNL), en coopération avec USBR et la commission d'énergie atomique américaine (l'AEC) a montré une grande amélioration de la résistance en compression, la perméabilité et les résistances à l'impact et à l'abrasion. Le développement d'un tel matériau composite (béton-polymère) avait pour but la production d'un nouveau matériel en combinant l'ancienne technologie du béton de ciment avec la moderne technologie de la chimie des polymères.

Ce béton est connu sous la dénomination anglo-saxonne PolymerConcrete (PC) et fait partie de la catégorie de matériaux à matrice organique d'où sa désignation de béton à matrice organique (BMO). Il est connu aussi sous l'appellation de béton de résine synthétique ou de béton de résine plastique ou tout simplement par le béton de résine.

Ce béton est un matériau composite dont le liant est formé entièrement d'un polymère organique synthétique.

Lorsque les renforts sont formés par des sables ou des inclusions de dimensions plus petites, le composite est dit mortier de résine. Dans les autres cas, on parle de béton de résine. Le remplacement de la matrice cimentaire dans le cas des bétons conventionnels par une matrice polymérique est justifié par l'amélioration de la tenue des bétons aux différentes agressions environnementales de types mécaniques, chimiques ou autres. En effet, ce type de matériaux présente certains avantages [Kukacka 78], [ACI committee 09], [ACI committee 96], [Ohama 10] :

- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs ;
- Une plus faible perméabilité à l'eau et une bonne résistance aux cycles de gel-dégel ;
- Un faible coefficient de dilatation thermique ;
- Un durcissement rapide ;
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens ;
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques surtout en traction (Tableau I-3) ;
- Une bonne résistance à l'abrasion ;
- Une excellente durabilité avec un coût raisonnable.

Tableau I- 3 : Propriétés des différents types des bétons de résine et du béton de ciment Portland [Blaga et al. 86]

Matériau	Masse volumique (Kg/dm ³)	Absorption d'eau (%)	Résistance en compression (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la flexion (MPa)	Module d'élasticité (GPa)
Poly(méthacrylate de méthyle)	2-2.4	0.05-0.6	70-210	9-11	30-35	35-40
Polyester	2-2.4	0.3-1	50-150	8-25	15-45	20-40
Époxy	2-2.4	0.02-1	50-150	8-25	15-50	20-40
Furane	1.6-1.7	0.2	48-64	7-8	-	-
Béton de ciment Portland	1.9-2.5	5-8	13-35	1.5-3.5	2-8	20-30

Le béton résine possède toutefois quelques inconvénients. En effet, le coût de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois) comparé à celui des bétons hydrauliques constituent un frein quant au développement des bétons de résine.

Par contre, le béton de résine peut assurer dans certains domaines d'application une réduction du coût de la main d'œuvre pouvant atteindre 2/3 et une diminution du prix des produits à base de résine qui sont seulement 10 à 25% plus chères que les produits de bétons hydrauliques. Cette économie est réalisable compte tenu de la réduction de l'économie de matières (jusqu'à 50%)[Blaga et al.86], en réduisant les dimensions des produits grâce aux résistances élevées du béton résineux, de la réduction des frais de transport grâce aux volumes plus petits et de la diminution considérable des dépenses d'investissements pendant les opérations de manutention et pendant la fabrication et les stockages comme résultat de décoffrage rapide et de durcissement rapide du matériau qui diminue l'espace nécessaire pour la production et le stockage des produits finis [Mikhailov et al. 92].

De plus, ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en place.

Mais, à l'heure actuelle, le frein majeur quant à leurs développements est leurs comportements aux températures élevées et au feu. Ceci est d'une importance cruciale surtout lorsqu'on utilise ce béton comme matériau de parement ou pour la décoration intérieure puisque les résines agissant comme liant dans les bétons de résine sont des substances organiques qui résistent beaucoup moins à la chaleur que les matières inorganiques et l'exposition prolongée à des températures élevées n'est donc pas

recommandée, car elle entraîne la dégradation de la résine, ce qui se traduit éventuellement par une perte de résistance mécanique.

Bien que l'élément polymère soit inflammable, les produits en béton de résine ne brûlent pas facilement, car ils contiennent une forte charge minérale et le degré de résistance à la chaleur des pièces en béton de résine dépend du type de résine utilisé comme liant.

III- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les propriétés essentielles des différentes classes des bétons et mortiers à base de résine (maniabilité, résistance, durabilité, etc.) surtout les bétons et mortiers modifiés de résine. Dans ce sens, nous avons vu que les résistances mécaniques et la durabilité du béton ou mortier résineux dépendent du type de résine, procédés de fabrication, rapport P/C, rapport E/Cet ainsi qu'incorporation des additions minérales.

En outre, on a exposé les trois grandes catégories de mortiers et bétons de résine et l'état de l'art dans le but d'exposer les travaux antérieurs concernant l'effet des résines sur le comportement physico-mécanique des mortiers et bétons à l'état frais et durci.

Toutes ces informations doivent être prises en considération dans le cadre de la formulation du mortier pour comparer et interpréter les résultats expérimentaux.

CHAPITRE II:
CARACTERISATION DES
MATERIAUX UTILISES ET
TECHNIQUES
EXPERIMENTALES

INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux utilisés dans la construction exige la connaissance de diverses propriétés physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, permettant de faire un choix répondant à leur destination. Ces connaissances doivent être obtenues en utilisant des techniques expérimentales fiables et normalisées.

Nous allons consacrer, donc, ce deuxième chapitre à une caractérisation générale de la matière première utilisée et une brève présentation des principales techniques expérimentales et méthodes utilisées.

I- MATIÈRES PREMIÈRES

Pour commencer, il convient de signaler que le composite étudié contenant le ciment, ajouts minéraux, sable, gravier, eau et éventuellement un adjuvant. La caractérisation générale de ces matériaux est présentée en détails ci-dessous :

I-1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude pour la fabrication des éprouvettes est un ciment Portland à haute résistance aux sulfates (CEMI 42.5 HRS) qui possède une haute résistance aux sulfates et présentant une résistance à court terme, provenant de la cimenterie de LEKARROUBA (Tunisie). Les constituants principaux du ciment sont : clinker (95% à 100%) et calcaire (0% à 5%).

La composition chimique du ciment employé est donnée par le Tableau II- 1.

Tableau II-1 : Propriétés chimique du ciment utilisé

Elément	%
SiO ₂	18.83
CaO	61.54
MgO	1.27
Al ₂ O ₃	4.20
Fe ₂ O ₃	5.31
SO ₃	1.96
K ₂ O	0.49
TiO ₂	0.20
Na ₂ O	0.21
P ₂ O ₅	0.29
Perte au feu	5.70

Les constituants minéralogiques de ce ciment, selon la formule de Bogue, sont:

Le C₃S à 66.01%, le C₂S à 4.53%, le C₃A à 2.16% et le C₄AF à 16.14%.

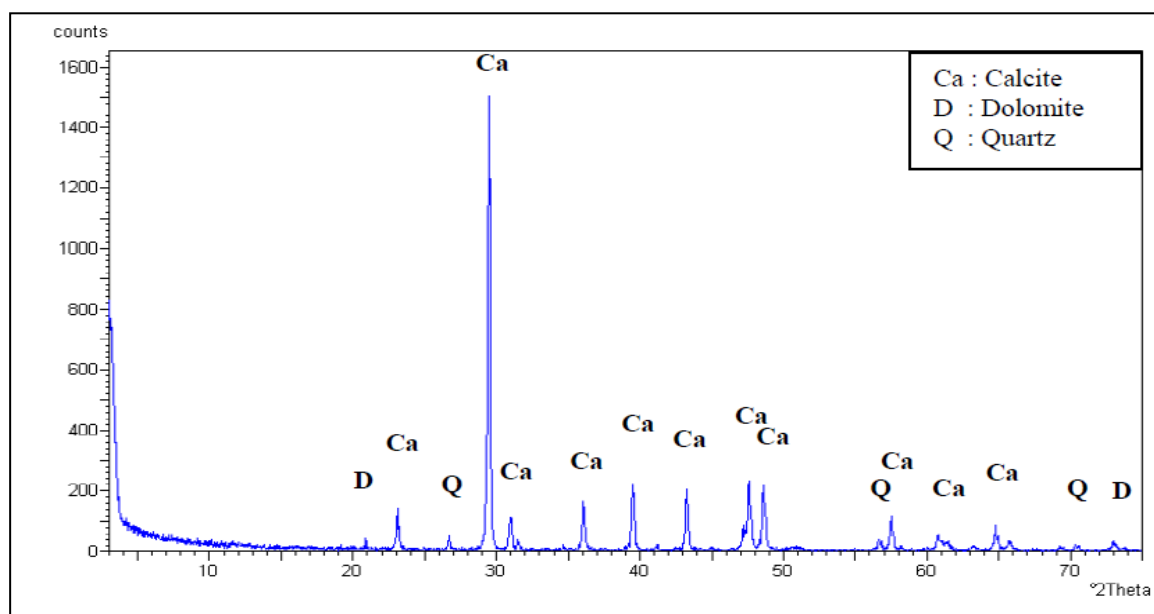
I-2 Fillers Calcaires (FC)

Des cimenteries considèrent que les fillers calcaires présentent l'ajout idéal le plus disponible qui peut contribuer à améliorer la production et la qualité du ciment. L'incorporation des fillers ayant des surfaces spécifiques élevées (3100 et 3600 cm²/g) améliore sensiblement les résistances à la compression surtout pour des valeurs de substitution de l'ordre de 10%. Au-delà de cette valeur, on observe une chute de résistance allant jusqu'à 45% pour 40% de calcaire dans le ciment. De même, Bouali [Bouali 93] confirme que la résistance à la compression du ciment contenant du calcaire augmente avec l'augmentation de la finesse jusqu'à 5890 cm²/g, mais reste toujours inférieure à celle du ciment de référence. Néanmoins avec des proportions de 5 et 15%, la résistance à la compression au jeune âge est meilleure que celle du ciment témoin.

En gardant le même pourcentage d'eau, on constate que jusqu'à 20% de taux de remplacement, les fines calcaires, de diamètre médian inférieur à celui du ciment, jouent le rôle d'un fluidifiant [Bouali 93]. Au-delà de ce pourcentage, ces fines ont un effet épaississant. Pour le même volume de substitution, le besoin en eau est identique à celui d'un ciment ordinaire pour de faibles taux de substitution et ne devient important qu'à partir de 10% [Guemadi 04].

Les fillers calcaires utilisés résultent du broyage des granulats calcaires obtenus du concassage des roches calcaires appartenant à la barre calcaire du Turonien de l'Atlas Saharien. La norme NFP 18-508 définit les fillers calcaires comme étant des produits secs finement divisés, obtenus par broyage, provenant des gisements de roches calcaires pouvant être dolomitiques.

Les fillers calcaires présentent trois propriétés intéressantes: une certaine activité hydraulique, des éléments de faible dimension (diamètre médian de l'ordre de 80 µm) qui permettent un remplissage granulaire efficient et un faible coût. La composition chimique de ces calcaires est montrée dans les tableaux II.2 et II.3. Ces calcaires sont presque purs : 97.5 % en poids du matériau sont des carbonates de calcium (CaCO₃) avec une très faible présence d'éléments nocifs. La composition minéralogique est représentée sur la figure II.1 (DRX). Leur poids spécifique est de 2700 kg/m³ et leur surface spécifique (Blaine) est de 380 m²/kg.



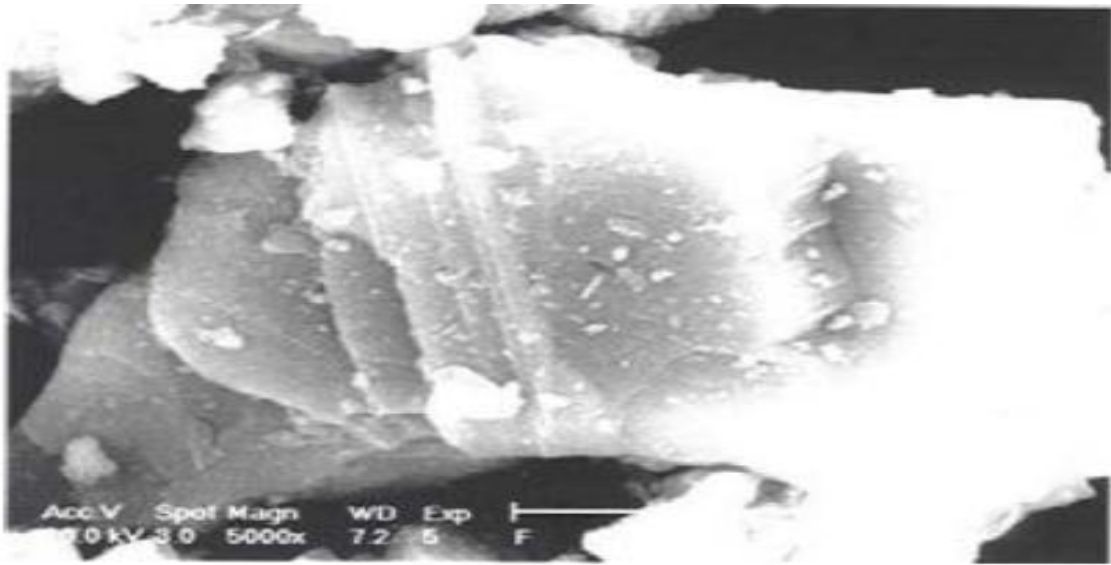
FigureII-1 :Diffractogramme aux R-X du filler calcaire

Tableau II-2 : Composition chimique des fillers calcaires (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Perte au feu
0.76	0.41	0.23	54.9	0.61	0.24	0.04	0.61	36.3

TableauII-3 : Analyse chimique des fillers calcaires (%)

CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	CaSO ₄	SO ₃ ⁻	Insolubles
97.50	00.74	00.67	00.83	00.59



FigureII-2 : Visualisation des grains des fillers utilisés par MEB (G=5000) [Bederina 05]

Les grains de sable ont été visualisés au MEB (figure II.2) et ils présentent une forme irrégulière et anguleuse.

I- 3 Fumée de silice

C'est un produit en poudre, constitué par une excellente silice active micronisée, communément appelée « fumée de silice » par sa haute composition en silice et micro silicates actifs et par sa grande surface spécifique, est considéré, aujourd'hui, comme l'un des meilleurs produits à haute activité pouzzolane.

I-3-1- Caractéristiques

La fumée de silice est constituée de 93 à 98% de particules sphériques de SiO_2 amorphes avec des dimensions de quelques dixièmes de microns, c'est ainsi que sa surface spécifique s'élève à environ $220.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ (Blaine). Cette caractéristique lui permet de capter et de fixer l'hydrate de calcium $[\text{Ca}(\text{OH})]$ et de le transformer, en un premier temps, en silicate hydraté et successivement en silicate de calcium stable et irréversible.

Cette particularité permet de modifier le comportement des bétons à l'état humide, comme à l'état durci.

I- 4 Pouzzolane Naturelle

I-4- 1- Définition

Les pouzzolanes proviennent de pouzzoles, nom d'une ville italienne. Elles sont des roches d'origine magmatiques (pyroclastites) projetées dans l'atmosphère au cours des éruptions volcaniques. Le refroidissement rapide de ces roches applique un effet de trempe au magma, ce qui explique la présence de verre volcanique, matière amorphe non cristallisée, composants majeurs dans ces roches volcaniques ainsi que d'autres minéraux tels que : feldspath, pyroxène, olivine, etc. [Rocher 92]. Selon la norme européenne ENV 197-1, les pouzzolanes naturelles sont définies comme étant des matériaux d'origine volcanique (verre volcanique, ponce, rhyolite, tuf, etc.) ou bien des roches sédimentaires (diatomites, gaize, spongolites) ainsi que des argiles et des schistes activés thermiquement.

Les pouzzolanes naturelles sont siliceux ou siliceux-alumineux composées de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3), et d'oxyde de fer (Fe_2O_3). La proportion de SiO_2 réactive, définie selon la norme ENV 197-1 constituée d'au moins de 25% (60 à 85%) en masse, et la somme des trois oxydes ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) doit être supérieure à 70% selon la norme ASTM C 618-94. La pouzzolane naturelle ne possède par lui-même aucune ou à peu près aucune valeur liante mais qui, sous forme de poudre très fine et en présence d'humidité, réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium à des températures ordinaires pour former des composés possédant des propriétés liantes. D'après cette définition, le sable de quartzite ordinaire ne constitue pas une pouzzolane, car les mélanges de sable pulvérisé et de chaux ne peuvent former un produit liant sans savoir d'abord subi un traitement hydrothermique. Cependant plusieurs sous-produits industriels tels les cendres volantes, la cendre de balle de riz ou les fumées de silice condensées, qui peuvent réagir avec de la chaux à une température ordinaire sont considérés comme des pouzzolanes. Depuis l'invention du

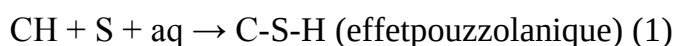
Ciment Portland au XIX siècle, les mélanges pouzzolanes-chaux sont rarement utilisés dans la fabrication du béton armé, car le temps de prise et de durcissement est beaucoup plus court avec le ciment Portland qu'avec ces mélanges. Le ciment Portland renferme en majeure partie des silicates tricalcique et bicalcique, lesquelles produisent au cours de l'hydratation du silicate de calcium hydraté et de l'hydroxyde de calcium. Puisque l'hydroxyde de calcium ne constitue pas un matériau liant, il ne peut en devenir un que si l'on ajoute une pouzzolane au mélange de béton. A cette fin, il est possible de mélanger la pouzzolane avec le ciment Portland ou de servir de la pouzzolane à titre d'adjuvant incorporé directement au béton.

I-4-2 Production et disponibilité

Les études géologiques montrent que l'Algérie possède de grands gisements de matériaux pouzzolaniques d'origine volcanique, qui s'étendent de façon sporadique le long de 160 km entre la frontière Algéro-Marocaine et le Sahel d'Oran, dont l'utilisation jusqu'à présent reste limitée uniquement par certaines cimenteries, malgré de nombreuses études faites dans les institutions et les universités algérienne quant à l'utilisation de ces matériaux comme ajouts aux bétons. La région intéressée ne correspond en réalité à aucune unité structurale bien définie, mais à une mosaïque de petits secteurs ayant chacun des caractéristiques propres aussi bien du point de vue géologique que géographique, qui appartiennent pour la plus part à des ensembles structuraux plus vastes. Elle appartient du point de vue géographique au grand ensemble connu sous le nom du Tell Oranais, la régularité structurale ne s'y retrouve que très partiellement. Le massif volcanique de Béni-Saf et de la Basse-Tafna correspond à un ensemble important de déjections basaltiques qui couvre une superficie d'environ 200 km². Il s'étend sur 30 km de côte entre le Cap Ou lassa au Nord et le Cap de Sidi Mohamed Bel Ourdini au sud-ouest.

I -4-3 Exigences en matière de composition chimique

Puisque les pouzzolanes naturelles contiennent d'ordinaire une teneur élevée en SiO₂, la mise en œuvre du principal effet pouzzolanique donne lieu à la formation des C-S- H, semblable à celui qui est produit par suite de l'hydratation du principal composé de silicate de calcium C₃S que renferme le ciment Portland :





Les pouzzolanes naturelles sont exploitées pour la production des ciments composés économiques. Les pouzzolanes sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau pour former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes [Aïtcin 00 ; Petrov 03]. Les principales pouzzolanes sont : les matériaux volcaniques (cendre, scorie...) (figure II.3). D'autres minéraux, tels que les feldspaths et les zéolites, peuvent manifester des propriétés pouzzolaniques. La chaux libérée au cours de l'hydratation des composés du clinker, réagit avec le matériau pouzzolanique à l'intérieur d'un mortier pour former des produits qui participent au développement des résistances mécaniques du mortier [Mehta 93]. Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers : ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques, au renforcement de l'imperméabilité et de la durabilité du mortier, à la réduction des réactions alcali-agrégats et du retrait du mortier au séchage. Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment [Mehta 93, Plinskin 93, Regourd 82, Neville 82, ENV 206 04].



Figure II-3 : Pouzzolane naturelle.

La poudre utilisée dans la confection des liants est obtenue par broyage des roches naturelles d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamdi situé à 2500 m au sud de Beni-saf, puis tamisage au tamis 80 μm . Les analyses chimiques sont présentées dans le tableau II-4. La composition minéralogique est représentée dans la figure II-4. Leur poids

spécifique est de 265 kg/m^3 , leur surface spécifique (Blaine) est de $380 \text{ m}^2/\text{kg}$ et leur activité pouzzolanique est de 10 mg CaO/g .

Tableau II-4 :Composition chimique de la pouzzolane naturelle (%).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	Perte au feu
57.10	15.82	6.16	5.95	2.09	2.0	1.1	0.28	1.2

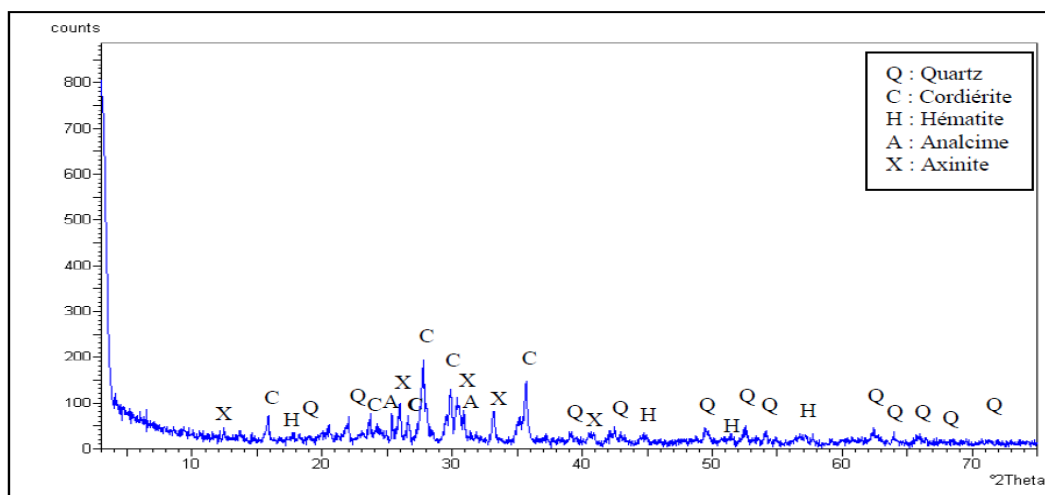


Figure II-4 : Diffractogramme aux R.X de la pouzzolane naturelle de Beni-Saf.

I-5 Sable

Afin de valoriser les matériaux locaux disponibles en grandes quantités dans la région de l'atlas saharien algérien, on a utilisé le sable calcaire concassé 0/5 provenant d'une carrière située au nord de la ville de Laghouat.

Les propriétés physico-mécaniques du sable utilisé sont représentées dans le tableau II-5.

Tableau II- 5 : Propriétés physico-mécaniques du sable utilisé.

Propriétés physico-mécaniques	Valeur
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.49
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.59
Compacité	57.52%
Porosité	42.48%
Absorption d'eau	1.90

I-6 Résine

La résine utilisée nommée TEKWELD provenant de l'entreprise de TECKNACHEM, est une résine synthétique du type de Styrène-Butadiène (SBR) en solution aqueuse à haute

densité, stable en milieu alcalin, spécialement conçue pour être additionné à l'eau de gâchage des mortiers, coulis de ciment ou de l'enduit.

Les principales caractéristiques de résine utilisée sont récapitulées dans le Tableau II-6.

Tableau II-6 : Caractéristiques de résine utilisée.

Etat physique	Couleur	Densité (g/cm ³ , à 20°C)	PH (à 20°C)	Extrait sec
Liquide	Blanc	1.04 ± 0,02	4 ± 1	26 % ± 2%

I-7 Adjuvant

Dans cette étude, on a utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération pour bétons prêts à l'emploi appelé SUPERIOR9WG commercialisé par la société TEKNACHEM située à Sidi Bel Abbès.

Il est à base de poly-carboxylates de nouvelle génération qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible tous les types de ciment. Sa plage normale d'utilisation est variée par la fiche technique entre 0.6% à 2% (en extrait sec) du poids de ciment. Il est sous forme liquide de couleur brune de 33% (±2%) d'extrait sec. Sa densité est de 1.10 (±0.03), et son PH (à 20°C) est de 5.5 (±1) et d'une teneur en chlore inférieure à 0.1%.

I-8 Eau

L'eau qui a été utilisée pour le gâchage est une eau potable sans aucun traitement supplémentaire.

II- Essais réalisés

II-1 Maniabilité

L'aptitude du béton frais à bien se mouler dans des coffrages et autour des armatures tout en restant homogène, bref, à bien se mettre en place, est appelée ouvrabilité.

Les paramètres de l'ouvrabilité influent directement sur la compacité et la résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui-même, l'enrobage et l'adhérence des armatures, la cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, le parement de belle apparence.

La consistance n'est pas une caractéristique intrinsèque du béton mais dépend de l'appareil qui sert à la mesurer, c'est pourquoi, quand on donne une valeur de consistance, il faut dire

comment elle a été mesurée. Pour des raisons pratiques, il faut éviter de multiplier les types d'appareil de mesure de la consistance. Cependant on peut étendre indéfiniment le domaine d'application d'un appareil donné.

Donc, l'essai d'écoulement effectué selon la norme NF P18-452 est choisi pour l'étude de la maniabilité du mortier à l'état frais. Le temps d'écoulement est mesuré à l'aide d'un maniabilimètre à mortier type B de dimensions (180x90x90mm) disponible au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de Laghouat. Il s'agit du temps nécessaire à un volume de mélange frais pour atteindre un trait repère tracé sur le maniabilimètre sous l'effet des vibrations entraînées par un moteur.



Figure II-5 : Maniabilimètre type B.

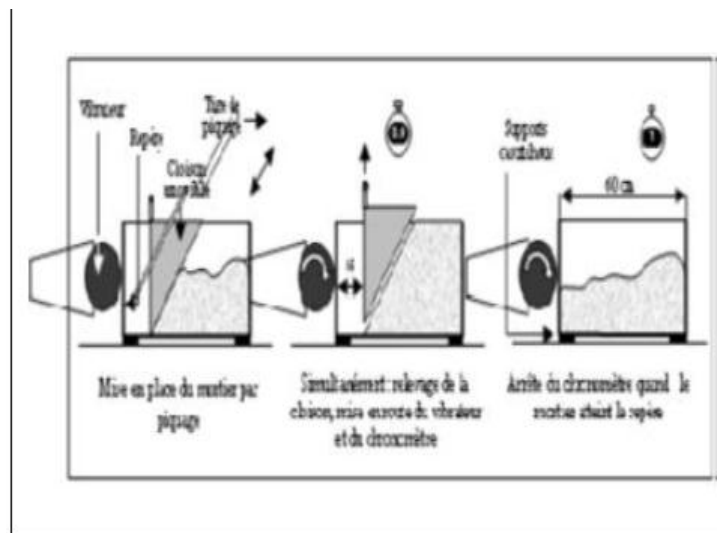


Figure II-6 : Essai de maniabilité.

II-2 Confection des éprouvettes

Toutes les formulations des mortiers modifiés de résine étudiées ont été confectionnées suivant le même mode opératoire, avec des moyens matériels identiques et coulés dans les mêmes géométries de moules dans des conditions similaires.

L'utilisation d'éprouvettes plus petites est préférable dans le cas de mortier modifié de résine. Les éprouvettes préparées dans cette étude sont de formes prismatiques ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) pour la détermination de la résistance à la flexion à raison de trois éprouvettes par essai. Les 06 demi-éprouvettes issues d'essai de traction sont utilisées pour la mesure de la résistance à la compression selon des prismes $4 \times 4 \times 8 \text{ cm}^3$.

Les moules utilisés ont été lubrifiés, remplis de mortier et compactés mécaniquement à l'aide de table vibrante afin d'avoir un mortier bien compact avec moins des vides.

Après la mise en œuvre des éprouvettes, elles sont couvertes par du plastique jusqu'au jour du démoulage qui aura lieu 24 heures après le coulage du mortier.

II-3 Mode de cure

Les éprouvettes de mortier sont conservées dans leur moule en salle humide climatique ($(20 \pm 2^\circ\text{C}$, $100 \pm 5\%$ HR) durant 6 jours. Elles subissent ensuite une cure sèche au sein du laboratoire de recherche de génie civil d'université de Laghouat ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) jusqu'à échéances de 3, 7, 28 jours (Jours de l'essai).

II-4 Changement de longueur (retrait)

Pour faciliter le travail expérimental, nous avons choisi d'effectuer l'étude de retrait sur des mortiers où nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, selon la norme [NF P 15-433].

Ces éprouvettes sont équipées de plots métalliques à chaque extrémité et placées verticalement dans l'appareil de mesure du retrait, qui permet le suivi de la variation de la longueur de l'échantillon. Les mesures se font chaque jour après le démoulage et durant 28 jours.

L'évaluation de changement de longueur de chaque éprouvette de mortier à chaque échéance s'effectue comme suit :

$$\Delta l = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100$$

ΔL : changement de longueur à l'âge x en % ;

Lx : lecture sur comparateur pour le spécimen à l'âge (x) moins la lecture sur comparateur pour l'éprouvette de référence à l'âge (x) en millimètres ;

Li : lecture initiale sur comparateur pour le spécimen moins la lecture sur comparateur pour l'éprouvette de référence en même temps, en millimètres ;

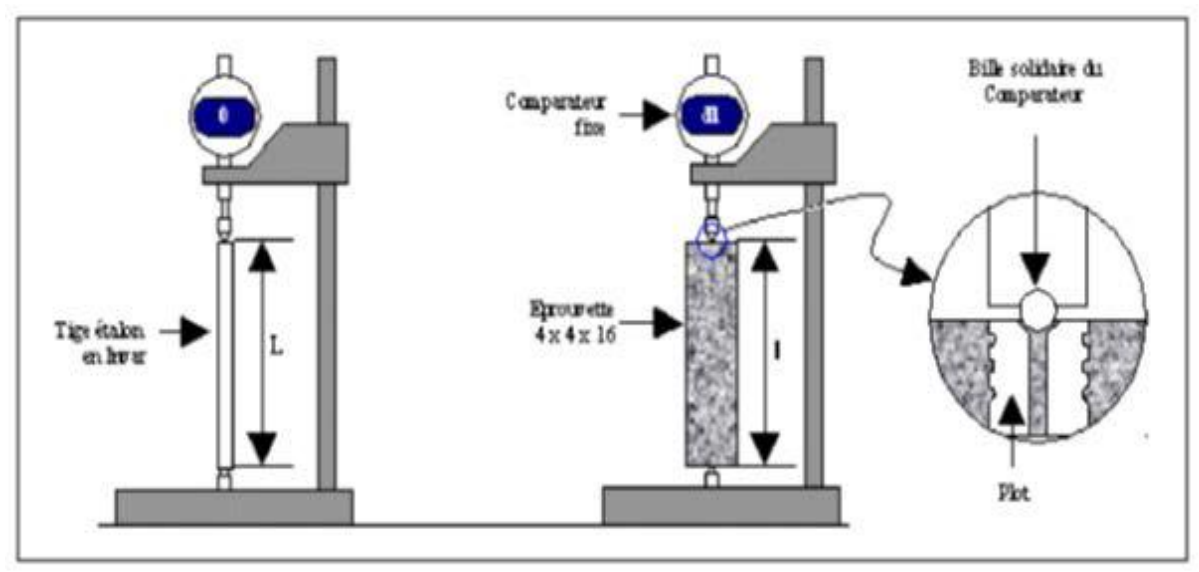
Lg : longueur nominale de mesure, 280 mm.



Figure II-7 : Rétractomètre muni d'un comparateur de mesure de la variation de longueur.

Remarque: Lorsque ΔL est positif, on parle alors de gonflement et lorsque ΔL est négatif il y'a alors retrait de l'éprouvette.

Le changement de longueur est obtenu en faisant la moyenne sur 3 éprouvettes issues du même mortier.



FigureII-8 : Appareillage pour la mesure du retrait.

Cette étude est basée sur les résultats donnés par l'essai de retrait sur des éprouvettes conservés à l'air libre.

II-5 Variation de masse

Le suivi de variation de masse est effectué en utilisant une balance de précision élevée de 0.1g.

La variation de la masse est évaluée comme suit:

$$\text{Variation de la masse (\%)} = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100$$

M_1 : la masse du spécimen, au premier jour (g);

M_2 : la masse de spécimen à l'âge (x) en (g).

Remarque

Un résultat avec un signe plus (+) indique un gain en masse, et avec un signe moins (-) indique une perte en masse.

La mesure de la masse est réalisée sur trois éprouvettes de chaque mortier à chaque échéance en prenant la moyenne des trois mesures.

II-6Essais d'absorptivité

Les phénomènes de transport, dont l'absorption d'eau par capillarité, s'avèrent être primordiaux vis à vis de la durabilité des mortiers modifiés de la résine compte tenu de leur additions minérales etunrapport P/C déterminé. La composition de ce genre de mortiers et

du mode de leur cure sur le processus d'absorption d'eau peut influencer sur l'absorption de ces mortiers.

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est réalisé conformément à la norme NFP 10-502. Cet essai est effectué sur des éprouvettes de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ séchées jusqu'à poids constant.

On pose les éprouvettes sur leurs bases $4 \times 4 \text{ cm}^2$, en les séparant d'au moins 1 cm du fond du récipient et on maintient le niveau d'eau constant. Les éprouvettes sont immergées dans l'eau à une profondeur de 5 mm. Les surfaces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées à l'aide de deux couches de verni pour avoir un écoulement unidirectionnel. La base inférieure et la base supérieure ne sont pas imperméabilisées pour permettre la montée de l'eau par capillarité et l'évacuation de l'air pendant l'essai. Les éprouvettes sont pesées à des intervalles de temps réguliers.

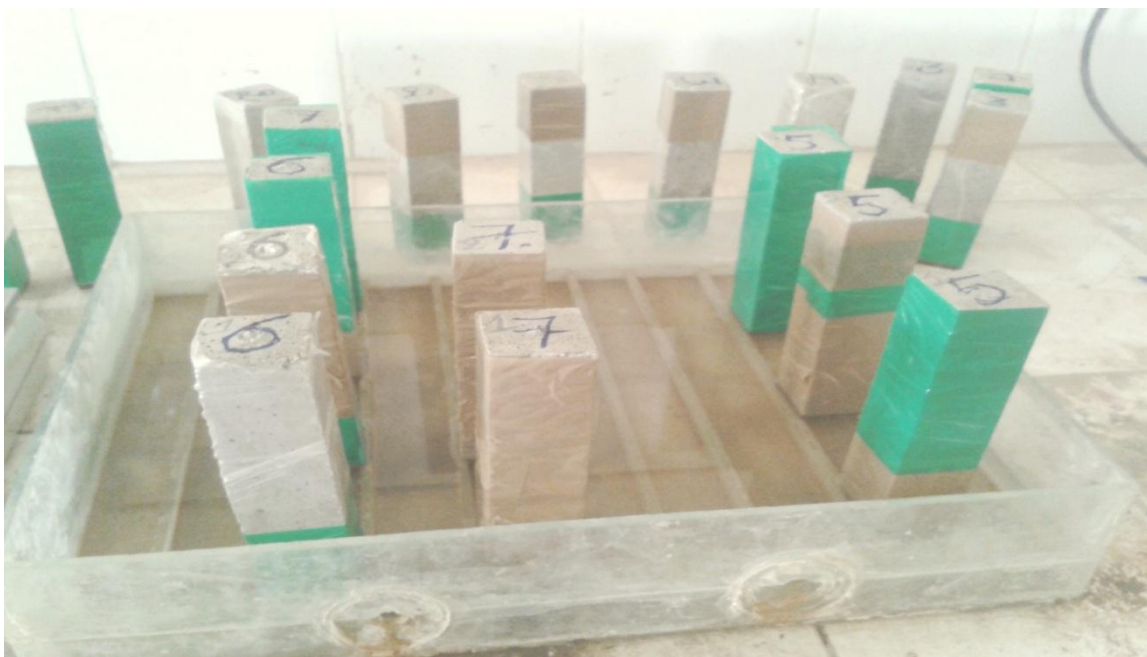


Figure II-9 : Essai d'absorptivité.

II-7 Résistances mécaniques

II-7-1 Résistance à la traction par flexion

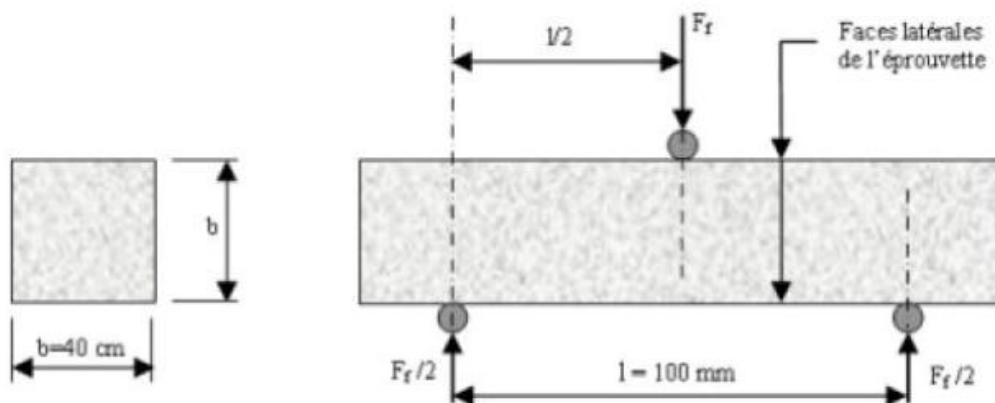
Les éprouvettes de mortier subissent un essai de traction par flexion suivi d'un essai de compression aux âges de 3, 7 et 28 jours.

L'essai de traction par flexion à trois points est effectué sur les prismes $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ [EN 196-1]. Le dispositif permettant la réalisation de l'essai est schématisé ci-dessous

(figures II-10 et II-11). Il s'agit d'une machine de traction universelle. Les essais ont été effectués à une vitesse de chargement constante de 5 kN/s.



FigureII-10 : Dispositif expérimental de mesure des résistances à la traction par flexion et compression.



FigureII-11 : Schéma du dispositif de charge en flexion pour les éprouvettes de mortiers.

Si F est la charge de rupture en Newton, la résistance à la traction par flexion est donnée par l'expression :

$$R_f = \frac{1.5F \cdot l}{b^3}$$

Avec l = distance entre axes des appuis = 100 mm,

b = arrête de l'éprouvette = 40 mm.

II-7-2 Résistance à la compression

Cet essai est régi suivant la norme EN 196-1, exécuté avec une presse pour matériaux durs, sur les demi-échantillons provenant de l'essai précédent. Chaque demi-prisme est mis entre deux plaques de métal dur puis testé en compression sur ses faces latérales (de moulage) de section de $40 \times 40 \text{ mm}^2$. Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1 cm. Le dispositif de cet essai est présenté par la figure.

Le comportement mécanique de tous les mortiers a été étudié en flexion simple (3 points) et en compression uni axiale sur des éprouvettes prismatiques $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$.



Figure II-12 : Dispositif de compression.

A chaque échéance, trois échantillons sont testés en flexion simple sur le bâti de flexion d'une presse du type « Controls » ayant une capacité maximale 100 kN.

La vitesse de chargement a été réglée à $0,05 \pm 0,01 \text{ kN/s}$ jusqu'à la rupture selon la norme [NF P 18-407].

Les six demi-échantillons obtenus après rupture en flexion sont alors soumis à une compression uni axiale sur le bâti de compression d'une presse de marque « Controls » à double quadrant ayant une capacité maximal.

La charge appliquée sur une face carrée de l'éprouvette ($S = 4 \times 4 \text{ cm}^2$) doit croître d'une manière graduelle avec une vitesse de chargement de 240 daN/s jusqu'à rupture. La résistance à la compression est donnée par la relation :

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

F_c : charge de rupture (Newton),

S : surface de section carrée ($4 \times 4 \text{ cm}^2$).

III- Programme expérimental

Le programme expérimental se divise en deux grandes parties :

A) Première partie

Dans cette partie, on présente les résultats d'un programme expérimental afin d'optimiser les rapports P/C, E/C et le taux du super plastifiant en fonction de maniabilité souhaitée.

B) Deuxième partie

On étudie l'effet du remplacement partiel de ciment par des additions minérales (fillers calcaire, pouzzolane et la fumée de silice) sur le comportement physico-mécanique des mortiers modifiés de résine.

IV- Conclusion

Ce chapitre est divisé en deux grandes parties: une première partie consacrée à la caractérisation des matériaux de base (ciment, résine, sable calcaire, fillers calcaires, fumée de silice, pouzzolane naturelle, super plastifiant et eau de gâchage) et une deuxième partie consacrée à la présentation des techniques expérimentales utilisées pour la caractérisation des mortiers résineux.

L'étape suivante sera consacrée à l'optimisation de la formulation de ce type de mortier où nous allons présenter les résultats d'un programme expérimental afin de comprendre le rôle joué par les différents paramètres étudiés sur les propriétés des mortiers modifiés de la résine.

CHAPITRE III: RESULTATS ET ANALYSES

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir d'essais expérimentaux et l'analyse de chaque modification apportée par les différents ajouts utilisés en fonction de leurs taux de substitution.

Les compositions retenues des mortiers sont regroupées dans le tableau III-1.

Tableau III-1: Composition (en grammes) des différents constituants des mortiers préparés (désignation des mélanges)

Comp. N°	Ciment	P.N	F.C	F.S	Sable	Eau	P	SP*
1	450	0	0	0	1350	202.5	0	0
2	427	0	0	0			22.5	0
3	315	135	0	0			11.3	4.5
4		0	135	0				3.6
5		0	0	135				5.4
6		67.5	67.5	0				4
7		67.5	0	67.5				4.9
8		0	67.5	67.5				4.5
9		45	45	45				4.5

*en extrait sec et par rapport du poids de ciment.

I- Maniabilité

Tableau (III-2) : Représente le temps d'écoulement en fonction de différents constituants du mortier préparés

N°	Notations	Temps d'écoulement (s)
1	M réf.	10.17
2	MMP	09.45
3	MMP(PN)	11.03
4	MMP(FC)	07.85
5	MMP (FS)	11.89
6	MMP (PN/FC)	09.44
7	MMP (PN/FS)	11.67
8	MMP (FC/FS)	09.35
9	MMP (PN/FC/FS)	8.86

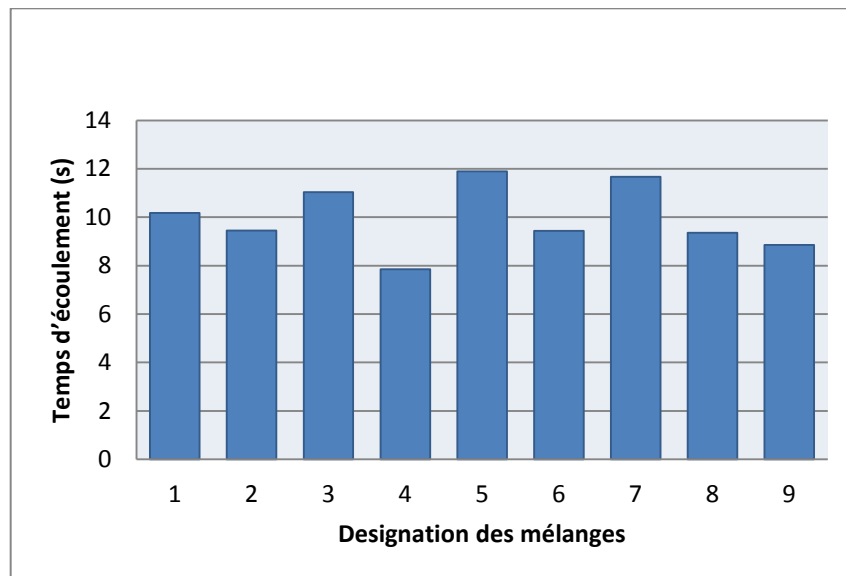


Figure III-1 :Temps d'écoulement en fonction de différents constituants du mortier préparés

La figure III-1 montre que le mortier M5 présente un temps maximal d'écoulement qui égal à 11.89s en comparaison avec les autres mortiers. Ce mortier contenant un taux élevé de fumée de silice, Donc, cela est dû à la finesse de ce matériau et à son pouvoir d'absorption d'eau, et par conséquent, l'incorporation de la fumée de silice dans ces mortiers polymériques fait donc accroître la demande en eau ou augmenter le super plastifiant. Par contre, le temps minimal d'écoulement c'est le mélange 4 constitué de filler calcaire dont le temps est de 7.85s. D'autre part, on peut constater que les temps d'écoulement des autres mélanges sont compris entre 8s et 11s, sachant que nous allons fixer un temps qui procure une bonne mise en œuvre en se référant à la norme de l'essai NF P18-452 qui associe une bonne ouvrabilité pour un temps compris entre 6 et 12 secondes.

En outre, nous remarquons que la consistance des mélanges contenant un taux plus élevé en filler calcaire est plus importante.

Enfin, le constat général est la consistance des mélanges avec additions, dépend donc de la nature et du pourcentage des additions incorporées dans le mélange.

II- Retrait (variation dimensionnelle)

Les mesures de retrait sont effectuées selon la norme NFP 15-433. Les mesures de retrait des différentes éprouvettes sont effectuées dès le premier jour, au moment du démoulage. Au cours de cette étude on a fait les mesures jusqu'au 28^{ème} jour.

Tableau III-3 : Résultats des essais de retrait des différents mortiers

j	1	2	5	6	8	9	10	11	14	15	16	18	19	20	21	22	25	27	28
M1	0,21	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,33	0,35	0,38	0,48	0,48	0,49	0,49 ₄	0,49	0,51	0,51	0,51	0,51
M2	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
M3	0,65	0,74	0,77	0,79	0,81	0,87	0,91	0,93	0,97	0,98	0,99	1,01	1,02	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05
M4	0,78	0,78	0,79	0,80	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94
M5	0,47	0,47	0,50	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,65	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67
M6	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
M7	0,69	0,71	0,73	0,74	0,76	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88
M8	0,76	0,83	0,82	0,85	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
M9	1,32	1,32	1,33	1,34	1,36	1,37	1,37	1,39	1,39	1,40	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41

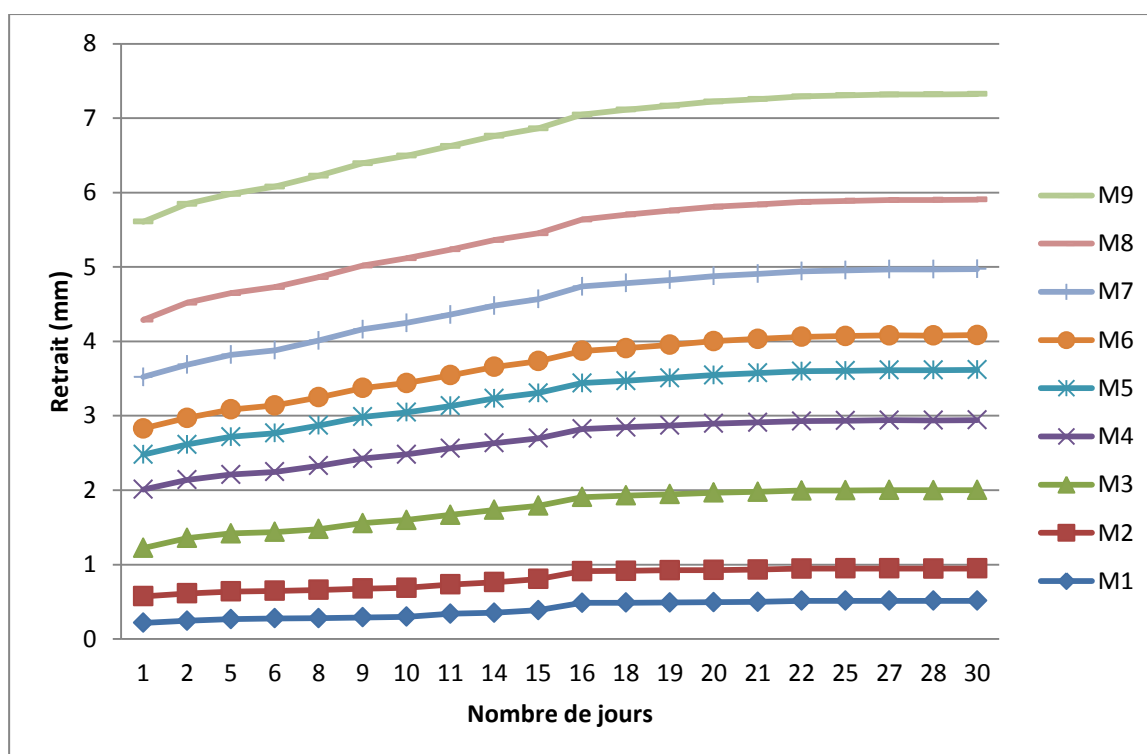


Figure III-2 : Evolution du retrait en fonction de l'âge des éprouvettes

Les valeurs de retrait mesurées à partir du 1^{er} au 28^{ème} jour, pour tous les mortiers en se référant donc à cette figure, nous remarquons que le retrait des mortiers élaborés augmente avec l'âge des éprouvettes. Cette augmentation est beaucoup plus accentuée au cours des premiers jours jusqu'au 16^{ème} jour le retrait est pratiquement constant, cela est observé pour tous les mortiers.

D'autre part, les mortiers témoins M1 (mortier cimentaire ordinaire) et M2 (mortier polymérique sans additions minérales) présentent des retraits les plus faibles par rapport aux autres mélanges.

Le remplacement partiel du ciment par des additions minérales augmente le retrait à cause de la finesse élevée des additions surtout la fumée de silice. Ces additions demandent plus d'eau que le ciment, et par conséquent, le phénomène d'évaporation est plus important d'où leur retrait important

Le mortier M9 contenant les trois additions simultanément présente un retrait beaucoup plus que les mortiers M4, M5 et M6 où le retrait de ces derniers mortiers est presque similaire et ses valeurs de retrait sont stabilisées au 19^{ème} jour.

Ces constatations nous permettent de dire que le retrait est influencé par le type d'ajout. La consommation de l'eau par l'action d'hydratation est principal facteur de retrait, dépend de la taille des pores et du degré d'interconnexion du réseau poreux.

III- Absorption d'eau par immersion

Tableau III-4 : Coefficients d'absorption des mortiers préparés

Désignation	Coefficient d'absorption (%)
M1	10,690
M2	11,466
M3	10,282
M4	9,053
M5	8,086
M6	11,707
M7	10,055
M8	10,625
M9	10,711

Le tableau III-4 montre les coefficients d'absorption pour les différents types des mortiers à l'âge de 28 jours par immersion et montre l'influence des ajouts minéraux sur l'absorption des mortiers.

On remarque que la fumée de silice est très avantageuse, car il donne un coefficient d'absorption égale à 8.08% mais le mortier de filler calcaire possède un coefficient de 9.05%.

Au contraire de mortier M6 qui contient de la pouzzolane naturelle et le filler calcaire donne un coefficient d'absorption égale à 11.70%, on a dit que les deux additions ensemble absorbent une grande quantité d'eau.

Les autres mortiers donnent des coefficients compris entre 10% et 12%.

Ces résultats montrent bien l'efficacité des ajouts minéraux sur l'absorption d'eau des mortiers élaborés.

IV- Absorptivité

Tableau III-5 : Résultats des essais d'absorption par capillarité des différents mortiers

$\sqrt{t}(\text{min})$ i (g/cm ²)	1	2	5	10	20	40	60	120	240	1440
i1	0,10	0,16	0,30	0,46	0,47	0,55	0,63	0,72	0,94	1,34
i2	0,12	0,19	0,27	0,33	0,43	0,55	0,63	0,81	0,98	1,35
i3	0,06	0,11	0,19	0,26	0,35	0,41	0,48	0,61	0,74	1,16
i4	0,05	0,09	0,16	0,22	0,30	0,35	0,41	0,53	0,658	1,01
i5	0,06	0,10	0,17	0,22	0,29	0,34	0,40	0,50	0,58	0,80
i6	0,06	0,15	0,23	0,32	0,44	0,51	0,60	0,74	0,93	1,54
i7	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,31	0,36	0,47	0,58	0,89
i8	0,05	0,12	0,18	0,21	0,27	0,39	0,45	0,57	0,70	1,16
i9	0,07	0,14	0,20	0,16	0,23	0,29	0,33	0,43	0,55	0,55

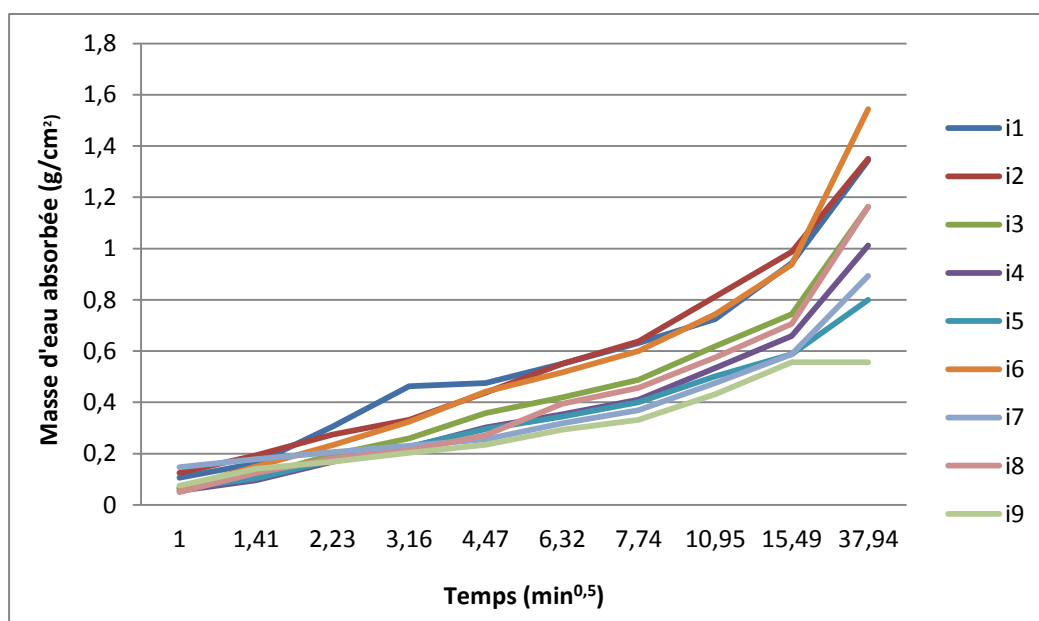


Figure III-3 : Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction du temps

D'après figureIII-3, on remarque que l'évolution d'absorption d'eau par capillarité de tous les mortiers augmente lentement en fonction du temps.

Tous ses résultats des différents mortiers pour une durée d'essai de 24heures et représentent la corrélation parmi l'eau absorbé et le temps, les premières mesures montrent une augmentation de la masse des instants car les pores sont ouverts.

La faible absorptivité c'est le mortier M1 (mortier de référence sans addition) est de 0.106 (cm/min^{1.5}) le deuxième mortier c'est plus proche à cette valeur de 0.162 (cm/min^{1.5}).

Tableau III-6 : résultats d'essai d'absorptivité en fonction du temps

$\sqrt{t}$ (min) Sw (cm)	1	2	5	10	20	40	60	120	240	1440
Sw1	0,10	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,004	0,004	0,10
Sw2	0,16	0,13	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,009	0,16
Sw3	0,30	0,19	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,30
Sw4	0,46	0,23	0,11	0,07	0,05	0,051	0,02	0,01	0,01	0,46
Sw5	0,47	0,30	0,16	0,09	0,06	0,06	0,03	0,024	0,01	0,475
Sw6	0,55	0,38	0,18	0,11	0,07	0,08	0,04	0,03	0,01	0,5
Sw7	0,63	0,45	0,21	0,12	0,08	0,09	0,04	0,04	0,02	0,63
Sw8	0,72	0,57	0,27	0,16	0,11	0,11	0,06	0,05	0,02	0,72
Sw9	0,94	0,69	0,33	0,20	0,13	0,14	0,07	0,06	0,03	0,94

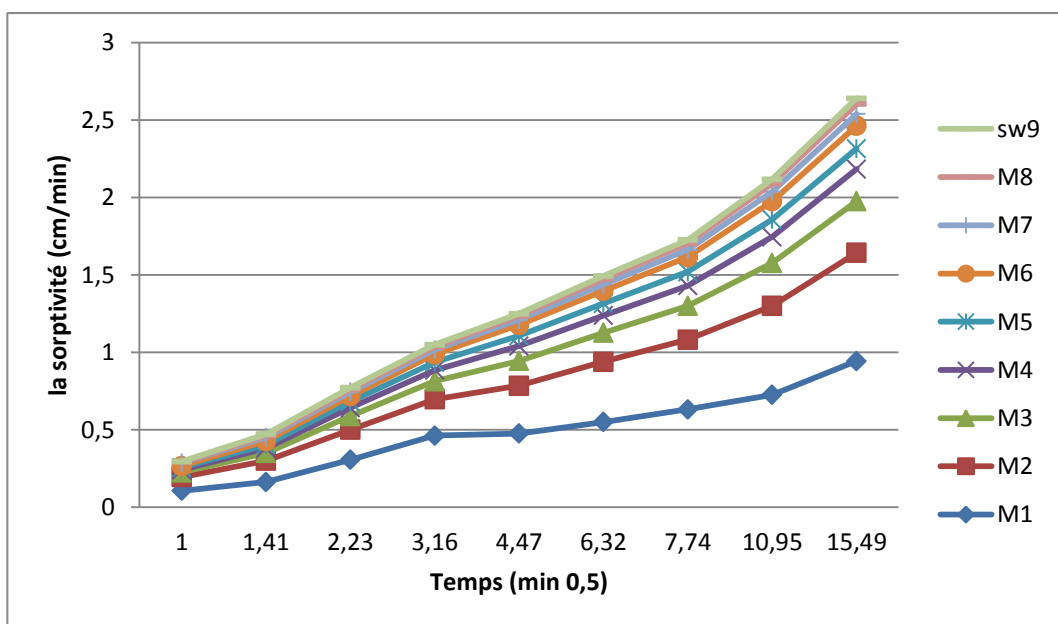


Figure III-4 : Evolution de la sorptivité en fonction du temps

On a remarqué pour tous les mortiers que cette augmentation diminue avec le temps, donc la sportivité tend vers la stabilisation à long terme.

V- Résistance à la traction par flexion

V-1 Résistance de l'âge de 3 jours

Tableau III-7 : Les résistances à la traction par flexion des différents mortiers à 3 jours

Mélanges	Rt 3j (MPa)
M1	3,51
M2	2,25
M3	2,48
M4	2,06
M5	2,38
M6	2,01
M7	2,66
M8	2,83
M9	2,07

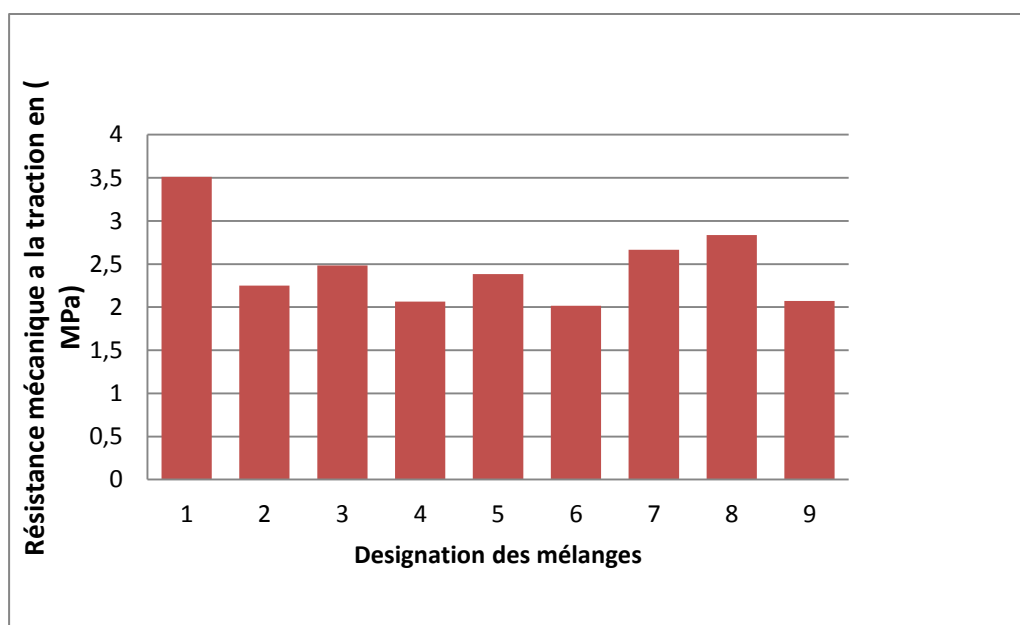


Figure III-5 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 3 jours des différents mortiers

La figure III-5 montre que la résistance à la traction par flexion des différents mortiers.

D'après cette figure on a remarqué que la résistance du mortier M1 (mortier de référence sans addition et sans polymère) à l'âge de 3 jours est la plus élevée, elle est de l'ordre de

3.51 MPa en comparaison avec celle des mortiers modifiés de résine. La résistance du mortier composé de 15%de fumée de silice et de15% de filler calcaire est de 2.83MPa. Cette résistance est meilleure que celle du mortier M7 (15% pouzzolane et 15% fumé de silice), dont la résistance est de 2.66 MPa.

D'autre part les résistances des mortiers M2, M3 et M5 sont de 2.25MPa, 2.48MPa et 2.38 MPa.

Quant aux mortiers M4, M6 et M9 leurs résistances sont diminuées et leurs valeurs sont proches de celle du M6 (15% pouzzolane et 15% filler calcaire) marquant ainsi la résistance la plus faible.

V-2 Résistance à la traction par flexion à 7 jours

Tableau III-8 : Résistances la traction par flexion des différents mortiers à 7 jours

Mélanges	Rt 7j (MPa)
M1	4,66
M2	4,24
M3	3,30468
M4	4,359375
M5	3,967968
M6	2,4533
M7	3,65625
M8	4,03125
M9	3,75

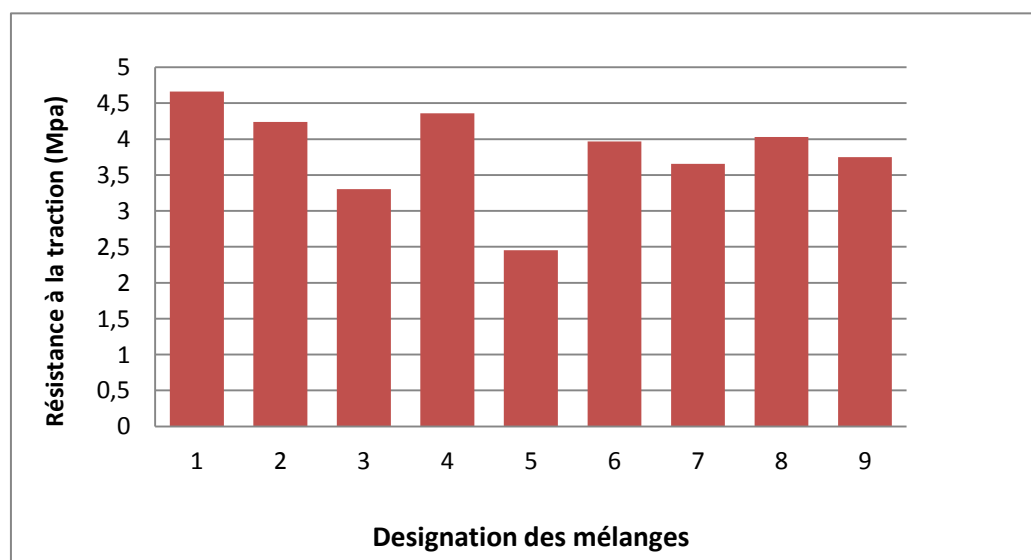


Figure III-6 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 7 jours des différents mortiers

Cette figure montre que la résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours évolue positivement. C'est-à-dire que la résistance augmente pour tous les mortiers par rapport à l'âge de 3 jours.

Le mortier M1 sans additions et sans polymère montre toujours la résistance la plus élevée dont la valeur est égale à 4.66 MPa, le mortier M4 avec 30% de filler calcaire de résistance de 4.35MPa et les mortiers M2 sans additions et M8 (15% fumée de silice et 15% de filler calcaire) leurs résistances sont de l'ordre de 4.24 MPa et 4.031 MPa. Tandis que pour les autres mortiers M3, M5, M7 et M9 présentent des résistances proches les uns des autres qui sont respectivement de 3.30 MPa et 3.95MPa, 3.65 MPa et 3.75 MPa.

La résistance la plus faible est du mortier M6 (15% de pouzzolane et 15% de filler calcaire) de valeur égale 2.45 MPa.

V-3 Résistance à traction par flexion des différents mortiers à 28 jours

Tableau III-9 : Résistances à la traction par flexion des différents mortiers à 28 jours

Mélanges	Rt 28j (MPa)
M1	6,36
M2	6,51
M3	8,38
M4	6,68
M5	7,27
M6	7,65
M7	6,98
M8	7,94
M9	6,02

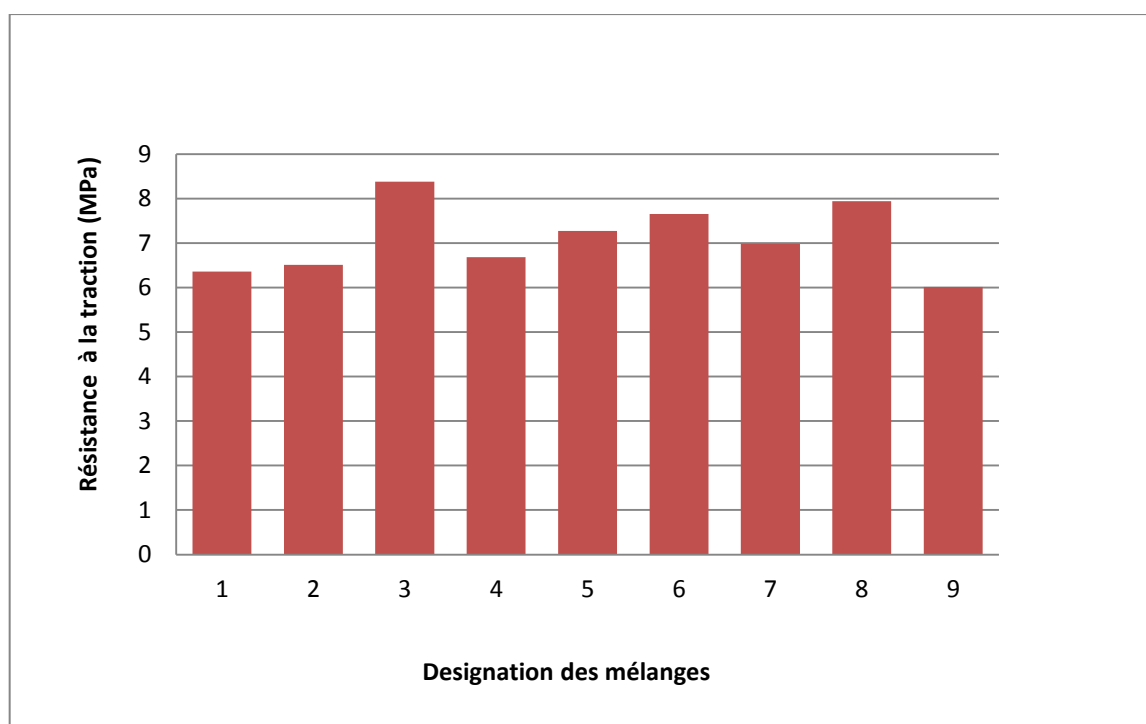


Figure III-7 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28 jours des différents mortiers

D'après la figure III-7, les résultats obtenus montrent que la résistance à la traction par flexion croît avec le temps pour tous les mortiers, tandis qu'à l'âge de 28 jours la résistance du mortier M3 qui contient 30% de pouzzolane naturelle devient la plus élevée, sa valeur est de 8.38 MPa, le mortier M8 (15%FC+15%FS) sa résistance est égale à 7.94 MPa.

On remarque que les mortiers sans addition M1 et M2 présentent des résistances de 6.36 MPa et 6.51 MPa. On peut dire que les additions minérales ont un effet bénéfique au cours du temps surtout à long terme notamment la pouzzolane naturelle.

M9 (10%PN+10% FC+10%FS) la plus faible résistance de valeur 6.01MPa.

M5 (FS 30%) et M6 (15%PN+FC15%) de bonnes résistances 7.27MPa et 7.65MPa.

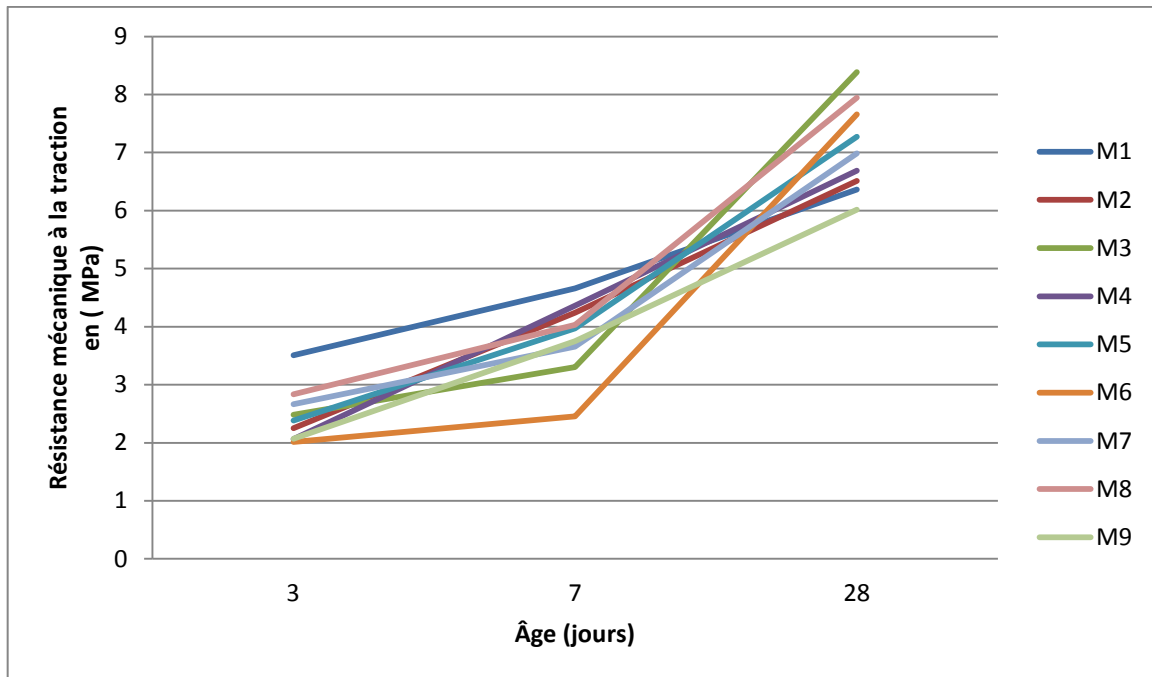


Figure III-8 : Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge pour les différents mortiers

On constate d'après la figure III-8 que, et sachant que le rapport P/C est constant, la résistance à la traction évolue positivement avec le temps. Notons aussi, que la résistance des mortiers témoins M1 et M2 est constamment la plus élevée à 3 jours et à 7 jours en comparaison avec celle des mortiers modifiés de résine avec additions minérales ; mais à 28 jours elle devient plus faible par rapport à celles des mortiers additionnés qui augmentent comme le cas des résistances à la traction par flexion des mortiers contenant de la PN à jeune âge (3 à 7 jours), dont les résistances sont faibles et deviennent comparables et dépassent même les mortiers de références à long terme.

Dans cette étude, nous avons remarqué que tous les mortiers additionnés de PN, FC et FS augmentent en fonction du temps.

Les mortiers M3, M4 et M5 contenant 30% de PN, FC et FS enregistrent une augmentation significative. La résistance du M6 est la plus faible aux premiers jours, par contre elle est élevée à long terme.

VI- Résistance à la compression

VI-1 Résistance à la compression à 3 jours

Tableau III-10 : Résistances à la compression des différents mortiers à 3 jours

Mélanges	RC (MPa)
M1	12.61
M2	5.77
M3	13,90
M4	11,53
M5	15,58
M6	10,10
M7	11,81
M8	10,93
M9	8,84

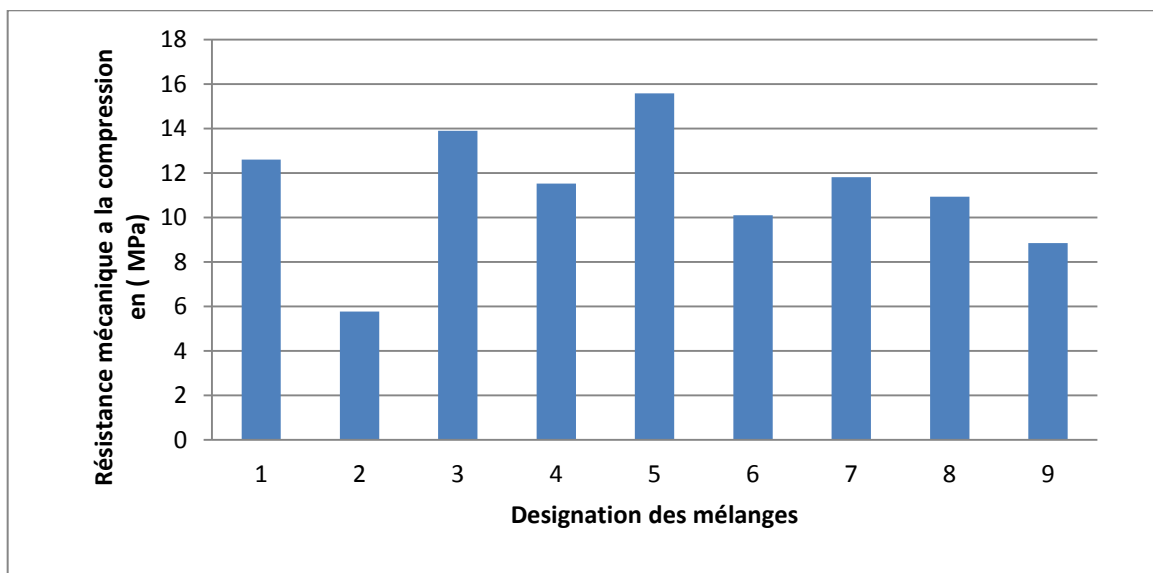


Figure III-9 : Influence des trois additions sur la résistance à la compression à 3 jours

D'après la figure III-9, la résistance du mortier M5 (30% de fumée de silice) est la plus élevée elle est de 15.58MPa en comparaison aux autres mortiers M4, M7 et M8 qui ont presque les mêmes valeurs. Le mortier témoin M2 est de résistance très faible et le mortier qui contient 30% de pouzzolane montre une bonne résistance à la compression qui est égale à 13.90 MPa.

VI-2 Résistance à la compression à 7 jours

Tableau III-11 : Résistances à la compression des différents mortiers 7 jours

mélange	Age 7 jours
M1	12,61
M2	12,16
M3	16,365
M4	12,9
M5	18,93
M6	12,431
M7	13,675
M8	12,228
M9	11,417

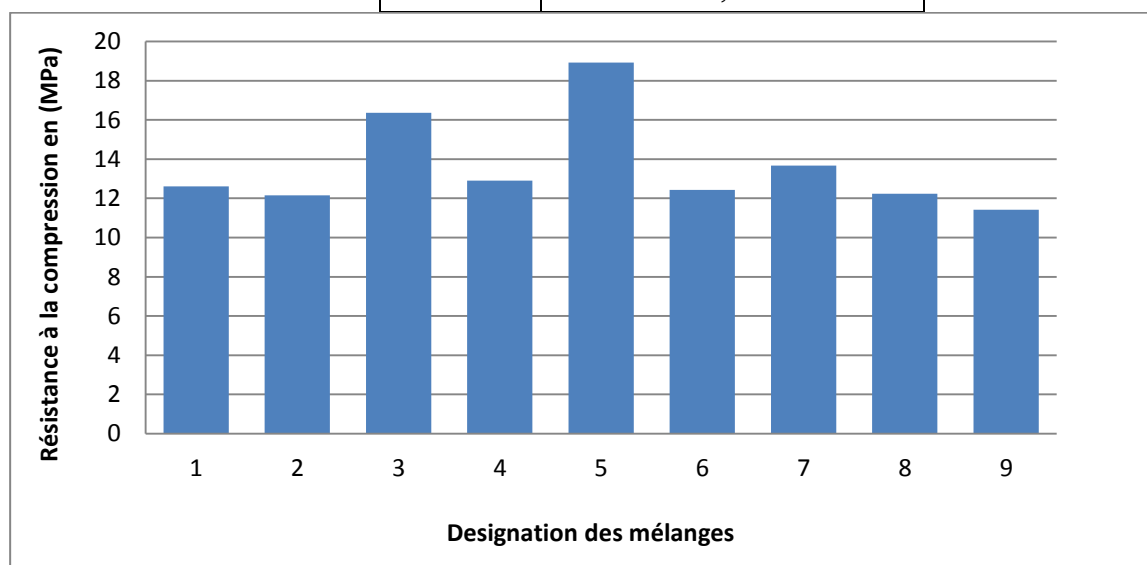


Figure III-10 : Influence des trois additions sur la résistance à la compression à 7 jours

La figure III-10 représente la résistance à la compression de chaque mortier. D'après cette figure on a constaté que l'ajout des additions minérales influe sur le changement des résistances des mortiers confectionnés.

La résistance la plus élevée est celle du mortier M5 (30% FS) elle dépasse la valeur de 18 MPa.

VI-3 Résistance à la compression à 28 jours

Tableau III-12 : Résistance à la compression des différents mortiers à 28 jours

mélange	Age 28jours
M1	21,35
M2	20,8
M3	32,189
M4	18,561
M5	40,67
M6	22,738
M7	20,927
M8	25,353
M9	15,9

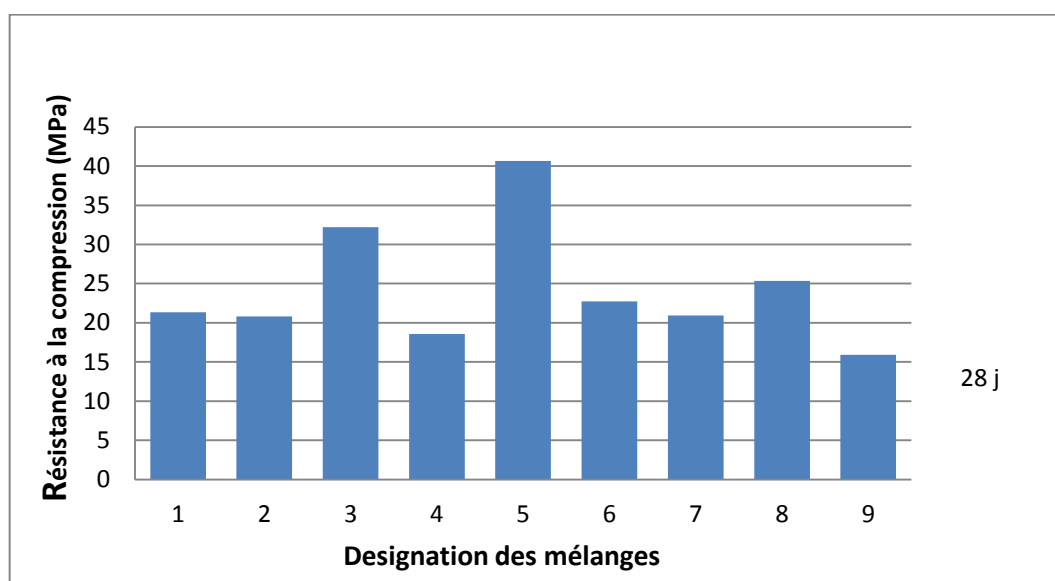


Figure III-11 : Influence des trois additions sur la résistance à la compression (28 jours)

On remarque d'après la figure III-11, que la résistance à la compression de tous les mortiers s'est accrue en fonction du temps, mais ce n'est pas de la même manière comme à l'âge de 3 et 7 jours. En effet, il y a des mortiers qui marquent une nette augmentation comme les mortiers M5 (30% FS) et M3 (30% PN) qui ont enregistré les meilleures résistances à la compression à long terme, par contre la résistance des mortiers M1 et M2 qui montre une légère augmentation.

Le mortier M9 présente de faibles résistances, que ce soit à court ou à long terme.

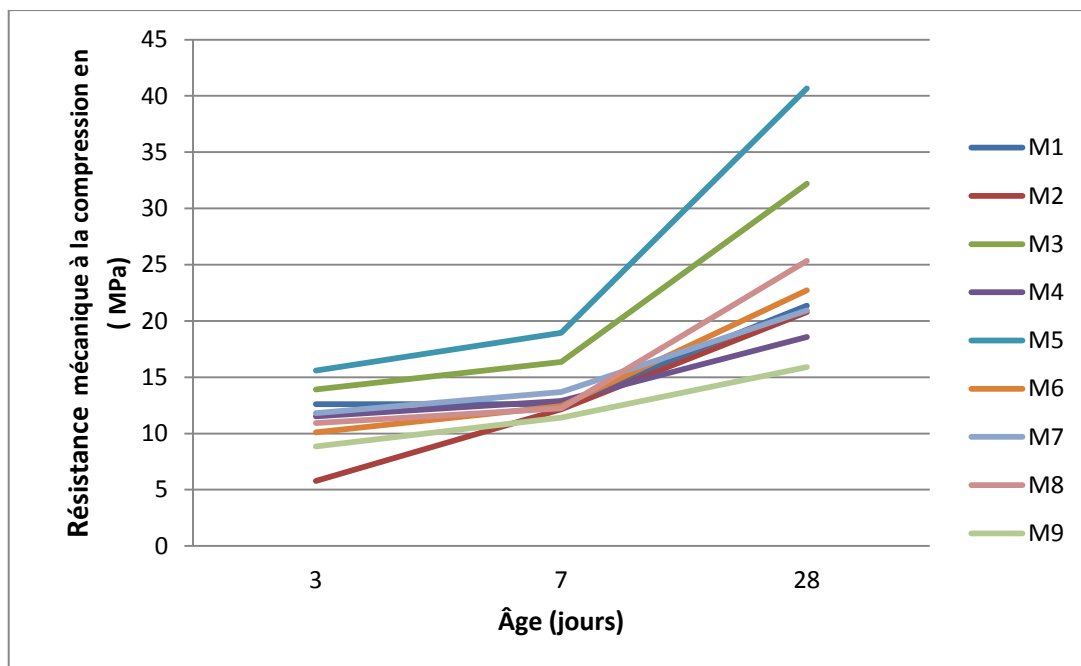


Figure III-12 : Influence des trois additions PN, FC et FS sur la résistance à la compression en fonction de l'âge

On peut en conclure que les mortiers de résine additionnés sont meilleures que les mortiers ordinaires sans additions minérales du point de vue résistance mécanique, car les additions minérales améliorent la résistance mécanique à long terme.

VII- CONCLUSION

L'analyse des résultats de l'étude expérimentale, effectuée au laboratoire, sur le comportement physico-mécanique des mortiers à l'état durci, contenant un pourcentage bien déterminé de polymère nous permet d'avancer certaines conclusions :

- Le rapport Polymère/Ciment (P/C) joue un rôle bénéfique sur la maniabilité.
- Les mortiers à l'état durci montrent que l'ajout des additions minérales, le polymère et le superplastifiant présentent un avantage dans l'allègement des mortiers additionnés.
- Les résistances mécaniques des mortiers, que ce soit en compression ou en traction par flexion, augmentent avec le temps, quel que soit le rapport P/C.
- Le mortier M5 présente une résistance à la compression meilleure que celle du mortier ordinaire (témoin). A 28 jours, cette résistance est de l'ordre de 36.76 MPa.

- Les résultats expérimentaux obtenus montrent que le rapport P/C=5% est un rapport optimal qui conduit à la meilleure résistance à la traction. Lorsqu'on dépasse ce rapport cet effet est inversé.
- Les additions minérales, la fumée de silice et la pouzzolane naturelle diminuent la maniabilité, par contre les fillers calcaires augmentent le retrait.
- Les mortiers **M1 et M2** présentent le retrait le plus faible par rapport aux autres mortiers résineux, la valeur la plus élevée est celle du M9 (10%PN+10%FC+10%FS).
- L'ajout des additions minérales améliorent la résistance mécanique. Il est à noter que le M3 (30% de PN) présente la meilleure résistance à la traction par flexion à 28 jours qui est égale à 8.38MPa, tandis que la meilleure résistance à la compression à 28 jours est celle du M5 (30% FS).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail avait pour objectif de montrer l'influence des ajouts minéraux sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers modifiés de résine pour développer des liants à base des ressources naturelles et industrielles et pour but de valoriser des matériaux locaux afin de contribuer à la protection de l'environnement dans notre pays.

Cette étude est axée principalement sur l'effet de la pouzzolane naturelle et des fillers calcaires et de la fumée de silice sur le comportement physico-mécanique d'un mortier résineux.

Nous pensons avoir atteint quelques objectifs puisque cette étude fait varier plusieurs paramètres qui ont permis de développer des nouveaux liants et l'amélioration des propriétés physico-mécaniques.

La recherche bibliographique a montré l'importance des mortiers et bétons modifiés de résine et des différentes classes de mortiers polymériques ainsi que les constituants éventuellement utilisés (liants, additions minérales) dans ces mortiers et bétons et leurs applications potentielles dans le domaine du génie civil.

Une synthèse bibliographique exhaustive a été effectuée sur les travaux réalisés sur l'optimisation et le comportement physico- mécanique du béton et mortier polymérique.

Dans la deuxième partie nous avons présenté la caractérisation des matériaux utilisés dans les mortiers confectionnés ainsi que les essais et les techniques expérimentales employés.

Dans la troisième partie nous avons présenté les résultats et les interprétations afin d'apprécier le comportement des additions minérales sur les différents mortiers étudiés et la comparaison entre ces différents matériaux.

Les résultats analytiques permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Les mortiers contenant les fillers calcaires présentent un temps d'écoulement plus court en comparaison avec les autres mortiers car ces fillers jouent le rôle de fluidifiant, puisque le mortier M4 (30% de FC) a la plus basse valeur de 7.85 s et le

M5 (30% de FS) montre la valeur la plus élevée qui est de 11.89s. Tandis que les autres mortiers ont des temps d'écoulement compris entre 10 et 12s.

- ✓ Les additions minérales, la fumée de silice et la pouzzolane naturelle diminuent la maniabilité par contre les fillers calcaires augmentent le retrait.
- ✓ Le retrait des mortiers M9 avec (10% PN, 10% FC et 10% FS) et M8 (15% de FC et 15% de FS) est plus élevé que celui des mortiers M3, M4, M5 et M6 ; leurs retraitements sont proches les uns aux autres, par contre ceux de référence sont faibles.
- ✓ Le coefficient d'absorption du mortier qui contient de la fumée de silice est très avantageux, car il donne le coefficient le plus faible qui est égale à 8.086%, par contre le mortier 6 qui contient la PN et le FC donne un coefficient d'absorption élevé, égale à 11.70%. L'ajout simultané des additions minérales engendre l'absorption d'une grande quantité d'eau, en comparaison avec les mortiers sans additions M1=10.96% et M2=11.46%.
- ✓ Pour les essais d'absorption capillaire, la sorptivité du matériau élaboré augmente avec le temps surtout au cours des premiers jours, car les pores sont ouverts. Cette augmentation diffère d'un mortier à l'autre selon le pourcentage des additions. La sorptivité des mortiers M1 et M2 est la plus faible (mortiers sans additions), elle est de l'ordre de 0.106 (cm/min^{1.5}). Les autres mortiers M7, M8 et M9 ont des valeurs proches les uns des autres. Pour l'ensemble des mortiers cette augmentation est diminuée avec le temps donc la sorptivité tend vers la stabilisation à long terme.
- ✓ Les effets des additions sur la résistance à la traction par flexion des mortiers au 3^{ème} et 7^{ème} jour montrent que le M1 enregistre la meilleure résistance, par contre le mortier M6 (PN et FC) présente la plus faible résistance ; mais à l'âge de 28 jours les mortiers contenant 30% de pouzzolane naturelle et (15% PN, 15% FC) présentent les meilleures résistances qui sont de 8.38 MPa et 7.65 MPa successivement. La résistance du mortier M8 (FS+FC) est de 7.94 MPa. Ceci indique que la pouzzolane naturelle entre en réaction avec le ciment et le filler calcaire pour donner des C-S-H supplémentaires (Réaction pouzzolanique), qui améliorent la résistance mécanique du matériau à long terme.

- ✓ La valeur maximale de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours est obtenue pour un dosage de 30% de fumée de silice, dont la valeur de 40.67 MPa et la pouzzolane de 32.18 MPa.
- ✓ L'ajout des additions minérales améliore la résistance mécanique. On note que le M3 (30% de PN) présente la meilleure résistance à la traction par flexion à 28 jours qui est de 8.38 MPa, tandis que la meilleure résistance à la compression à 28j est celle du mortier M5 (30% FS).

2- perspectives

Ce travail offre de nombreuses perspectives de recherches :

- ❖ Etude de la microstructure des mortiers résineux (les phases minérales au cours de l'hydratation).
- ❖ Etude de l'effet des autres produits polymériques sur les mortiers modifiés de résine.
- ❖ Etude du comportement des mortiers résineux soumis aux milieux agressifs (durabilité).
- ❖ Etude de la chaleur d'hydratation des mortiers modifiés de résine à l'état frais.
- ❖ Etude d'effet des modes de cure sur le comportement physico-mécanique de ces mortiers.
- ❖ La transposition au matériau béton.

Enfin, nous espérons que ce travail présente une contribution à la valorisation des matériaux locaux et ouvre d'autres axes de recherche sur l'étude des mortiers résineux avec addition minérales.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. [ACI committee 09] ACI committee 548, « 548.1R-09: Guide for the Use of Polymers in Concrete». American concrete institute, 1-29, 2009.
2. [ACI committee 03] ACI committee 548, « 548, 3R-03: Polymer-Modified Concrete ». American concrete institute, 2003, p.1-40.
3. [ACI committee 96] ACI committee 548, « 548, 6R-96: Polymer Concrete-Structural Applications, State of the art report», American concrete institute, 1996, p, 1-23.
4. [Afridi 95] M.U.K. Afridi, Y. Ohama, M.Z. Iqbal, K. Demura. Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars. Cement & Concrete composite, vol.
5. 17,1995, pages 113-118.
6. [Aïtcin 00] Aïtcin P-C. Condensed silica fume, Édition de l'université de Sherbrooke, 1983, Québec, Canada.
7. [Barluenga 04] G. Barluenga, F. Hernandez-Olivares. SBR latex modified mortar rheology
8. and mechanical behaviour. Cement and Concrete Research, vol. 34, 2004, pages 527-535.
9. [Bederina 05] Bederina M, Khenfer MM, Dheilly RM, Queneudec M. Reuse of local sand: effect of lime stone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different concrete sand. Cement and Concrete Research 2005; 35 :1170-1179.
10. [Blaga et al. 86] A, Blaga, J,J, Beaudoin, «Le béton de résine»,Canadian Building Digest, CBD-242-F, Institute for Research in Construction, 1986, p 1-6.
11. [Bouali 93] Bouali R. Contribution à l'étude d'un ciment Portland artificiel et d'un béton avec ajout calcaire, Mémoire de fin d'étude, INFSB, Alger, 1993, 81p.
12. [Boutti07] S. Boutti, M. Urvoy, I. Dubois-Brugger, C. Graillat, E. Bourgeat-Lami, R. Spitz. Influence of low fractions of styrene/butyl acrylate polymer latexes on some properties of ordinary Portland cement mortars. Macromolecular Materials and Engineering, vol.292, pages 33-45.
13. [Bureau 01] L. Bureau, A. Alliche, P. Pilvin, S. Pascal. Mechanical characterization of styrene-butadiene modified mortar. Materials, Science and Engineering A, vol. 308, 2001, pages 233-240.
14. [Chen 97] P.W. Chen, X. Fu, D.D.L. Chung, ibid , vol.94 (2), 1997, 147 pages.
15. [Chung 04] D.D.L. Chung. Review. Use of polymers for cement-based structural materials. Journal of Materials Science, vol. 39, 2004, pages 2973-2978.
16. [Çolak 04] A. Çolak. Properties of plain and latex modified Portland cement pastes and concrete with and without superplasticizer. Cement and Concrete Research, vol. 35, 2005,
17. [Czarnecki 2007] Lech Czarnecki, «Concrete-polymer Composites: Trends Shaping the Future», International journal of the Society of Materials Engineering for Resources 15(1), 2007, p.1-5.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

18. [Dennington 97] S.P. Dennington, J.W. Thompson. Proceedings of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement , 1997, pages 3iii008.
19. [Gemert 04] D. Van Gemert, E. Knapen. Recent Development of Concrete Polymer Composites in Belgium. 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004.
20. [Goto 06] Influence des paramètres moléculaires du latex sur l'hydratation, la rhéologie et les propriétés mécaniques des composites ciment/latex. Thèse de doctorat de l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles, Université Paris VI, 2006, 201 pages.
21. [Guemadi 04] Guemadi Z, Escadeillas G, Toumi B, Houari H, Clastres P. Influence des fillers calcaires sur les performances mécaniques des pâtes de ciment, CITDUB 1, BabEzzouar, 24-26 mai 2004, 8p.
22. [Jenni 05] A. Jenni, L. Holzer, R. Zurbriggen, M. Herwegh. Influence on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. Cement and Concrete Research, vol.35, 2005, pages 35-50.
23. [Jingang 05] W. Jingang, Z. Shuxiang, Y. Haiquin, K. Xiangzheng, W. Xikui, G. Zhongmao. Study of cement mortars modified by emulsifier-free latexes. Cement & Concrete Composite, vol. 27, 2005, pages 920-925.
24. [Kirlikovali 81] E. Kirlikovali , «Polymer/concrete composites—A review». Polymer Engineering & Science, Volume 21, Issue 8, p. 507–509, 1981.
25. [Kukacka 78] L.E. Kukacka, «Polymer concrete materials for use in geothermal energy processes», Symposium on materials in geothermal energy systems, Austin, TX, USA , Brookhaven Nat. Lab.—BNL 24214, pp. 261–284, 1978.
26. [Mehta 94] Mehta PK. Concrete technology at the crossroads. Problems and opportunity. P.K. Metha symposium on Durability of concrete, Nice, France, K.H. Khayat et P.C. Aïtcin eds, 1994, p. A3 A37.
27. [Merlin 05] F. Merlin, H. Guitoni, H. Mouhoubi, S. Mariot, F. Vallée, H. Van Damme. Adsorption and heterocoagulation of nonionic surfactants and latex particles on cement hydrates. Journal of Colloid and Interface Science, vol. 281, 2005, pages 1-10.
28. [Mikhailov 1992] K. V. Mikhailov, V. V. Paturuev, P. M. Rao, P. Kreis, « Polymer Concretes And Their Structural Uses». Russian Translations Series, A A Balkema Publishers, pp. 326, 1992.
29. [Miller 2008] Michelle Miller, «Polymers in Cementitious Materials». Smithers Rapra Press, 2008, pp.192.
30. [Mindess et al. 03] S. Mindess, J.F. Young and D. Darwin, «Concrete».Prentice-Hall, 2003, pp.644.
31. [Neville 82] A. Neville, « Properties of Concrete».Longman Scientific and Technical, 2002.
32. [Ohama 10] Y, Ohama, «Concrete-polymer composites- the past, present and future», 13 th ICPIC Portugal, 2010, p, 1-14.
33. [Ohama 98] Y. Ohama. Polymer based admixtures. Cement and Concrete Composites, vol. 20, 1998, pages 189-212.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

34. [Pascal 02] S. Pascal. Comportement mécanique de composites mortier-polymère. Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Ecole Centrale Paris , 2002, 206 pages.
35. [Pascal 03] S. Pascal, A. Alliche, P. Pilvin. Mechanical behaviour of polymer modified mortars. *Materials Science & Engineering A*, vol. 380, 2004, pages 1-8.
36. [Petrov 03] Petrov N. Effets combinés des différents facteurs sur l'expansion des bétons causée par la formation différée de l'ettringite, Thèse de Doctorat de l'université de Sherbrooke, Canada, 2003, 190p.
37. [Plinskin 93] Plinskin L. La fabrication du ciment, ed. Eyrolles, Paris, 1993, 217p.
38. [Regourd 82] Regourd M., Microstructures et propriétés des ciments, mortiers et bétons. *Ciment, Béton, Plâtre, Chaux* 1982 ; 1/82-734 :41-49.
39. [Rocher 92] Rocher PH. Mémento roches et minéraux industriels: ponces et pouzzolanes, Rapport scientifique, BRGM, R36447, Paris, 1992, 45p.
40. [Saija 95] L.M. Saija. Waterproofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex. *Cement and Concrete Research*, vol. 25 (3), 1995, pages 503-509.
41. [Shaker 97] F.A. Shaker, A.S. El Dieb, M.M. Reda. Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. *Cement and Concrete Research*, vol. 27 (5), 1997, pages 711-720.
42. [Shetty 04] M,S, Shetty , «Concrete Technology», S, Chand & Company Ltd, New Delhi, 2004, pp.658.
43. [Su 95] Z. Su. Microstructure of polymer cement concrete. PhD thesis. Delft University Press, The Netherlands, 1995, 189 pages.
44. [Su 96] Z. Su, K. Sujata, J.M.J.M. Bijen, H.M. Jennings, A.L.A. Fraaij. The evolution of the microstructure in acrylate polymer-modified cement pastes at the early age of cement hydration. *Advanced Cement Based Materials*, vol. 3, pages 87-93.
45. [Vallée 03] F. Vallée. Interactions organo-minérales dans les mortiers industriels. *Cahiers du CSTB*. Livraison 440, juin 2003, cahier 3462, 11 pages.
46. [Wang 06] R. Whang, X.G. Li, P.M Wang. Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes. *Cement and Concrete Research*, vol. 36, 2006, pages 1744-1751.
47. 1751.
48. [Zeng 96] S.Zeng, R. Short, C.L. Page. Early-age hydration kinetics of polymer modified cement. *Advanced in Cement Research*, vol. 8 (29), 1996, pages 1-9.
49. [Zhong 02] S. Zhong, Z. Chen. Properties of latex blends and its modified cement mortars. *Cement and Concrete Research*, vol. 32, 2002, pages 1515-1524.

Les annexes

I- Fiche technique de super plastifiant

SUPERIOR 9 WG est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits.

Il est compatible tous les types de ciment.

- **est particulièrement indiqué durant les périodes hivernales.**

1- PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique :Liquide

Couleur :Brun

Densité (g/cm³, à 20 °C) :1,10 (± 0,03)

PH (20 °C) :5,5 (± 1)

Extrait sec :33 % (± 2 %)

Teneur en chlorures :≤ 0,1 %

2- CARACTERISTIQUES

Le **SUPERIOR 9 WG** est particulièrement recommandé pour la fabrication de bétons exigeant :

- Un faible rapport E/C.
- Un long maintien d'ouvrabilité.
- Des performances mécaniques élevées à court et long terme.
- Une diminution du retrait.
- Une imperméabilité.
- Un meilleur parement.
- Une durabilité.

3- DOMAINES D'APPLICATION

- Béton à hautes performance.
- Béton pour fondations profondes.
- Béton pompé transporté sur de longues distances.
- Béton précontraint.

4- DOSAGE

- Le dosage de **SUPERIOR 9 WG** varie entre 0,6 à 2 % du poids du ciment soit de

0.6 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.

- Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction des matériaux disponibles, de la classe de béton et des effets recherchés.

5- MODE D'EMPLOI

- L'addition du **SUPERIOR 9 WG** ne doit jamais se faire sur un béton sec avant l'ajout de l'eau (Il serait adsorbé par les agrégats et le sable d'où une inefficacité avec le ciment).
- Il est conseillé d'ajouter le **SUPERIOR 9 WG** après l'ajout des composants du béton et environ 90 % de l'eau de gâchage nécessaire.- Terminer le mélange en ajoutant

graduellement l'eau restante (10 %) jusqu'à l'obtention de la consistance désirée. Les dosages sont évalués au poids du ciment.

6- VALIDITE

12 mois dans son emballage hermétiquement fermé, stocké entre 5°C et 35°C et à l'abri du soleil.

II- Fiche technique de la résine utilisée

1- TEKWELD est une résine synthétique en solution aqueuse à haute densité, stable en milieu alcalin, spécialement conçue pour être additionné à l'eau de gâchage des mortiers, coulis de ciment ou de l'enduit.

2- PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique :.....Liquide

Couleur :Blanche

Densité (g/cm³, à 20°C) :.....1,040(± 0,02)

PH (à 20°C):..... 4(± 1)

Extrait sec :.....26 %(± 2 %)

3- ARACTERISTIQUES

- Améliore l'adhérence entre béton frais et béton durci
- Améliore l'imperméabilité
- Améliore les résistances à la traction et flexion
- Diminue les fissurations
- Diminue le retrait
- Résistant à l'usure
- Les films formés par le **TEKWELD** ne se dissolvent pas dans l'eau chaude ou dans l'eau froide.
- L'addition du **TEKWELD** à des colles à base de ciment ou à des micro-bétons de réparation permet d'obtenir un produit amélioré dans ses caractéristiques d'adhérence, de flexibilités, de retrait, de résistances aux vibrations, d'imperméabilité à l'eau, aux l'huiles, aux solutions acides et alcalis, de résistance au gel et aux excursions thermiques ; des adhérences améliorées aux fers des armatures et supports métalliques et à l'usure.

4- DOMAINES D'APLICACION

- Utilisé dans la préparation de composés adhésifs (barbotine) pour reprise de bétonnage.
- Colmatage de fissures.
- Enduit de cuvelage.
- Restauration et remise à niveau de surfaces planes en béton.

5- DOSAGE

Coulis de ciment :

TEKWELD :.....1 litre

Eau :.....1 litre

Ciment Portland ou pouzzolane :.....2 litres environ

Mortier pour épaisseur <10 mm :

TEKWELD :.....1 litre

Eau :..... 2 litres

Ciment Portland ou pouzzolane :.....5 litres environ

Sable (0-1mm) :.....12 litres environ

Mortier pour épaisseur >10 mm :

TEKWELD :.....1 litre

Eau :.....3 litres

Ciment Portland ou pouzzolane :.....7 litres environ

Sable (0-1mm) :.....8 litres environ

Sable (0-5mm) :.....8 litres environ

La fluidité des mortiers doit être réglée selon l'utilisation, sans oublier que l'emploi de l'eau doit être réduit au maximum.

6- MODE D'EMPLOI

Les coulis adhésifs, comme les mortiers de réparation, doivent être appliqués sur des supports sains, débarrassés des parties non adhérentes, et dépoussiérés.

Par temps chaud, humidifier légèrement les supports.

Coulis adhésif :

Prépare la solution **TEKWELD + Eau** puis sous agitation ajouter le ciment jusqu'à l'obtention d'un coulis homogène et sans grumeaux.

Micro bétons de reprise :

Après mélange des agrégats et du ciment, comme spécifié aux dosages donnés, ajouter la solution de

TEKWELD + Eau jusqu'à l'obtention de la consistance désirée.

III- Fiche technique de l'addition minérale : la fumée de silice

C'est un produit en poudre, constitué par une excellente silice active micronisée, communément appelée « fumée de silice ».

- 1- SILTEK POWDER** par sa haute composition en silice et micro silicates actives et par sa grande surface spécifique, est considéré, aujourd'hui, comme l'un des meilleurs produits à haute activité pouzzolane.

2- CARACTERISTIQUES

SILTEK POWDER est constitué de 93 à 98% de particules sphériques de SiO₂ amorphes avec des dimensions de quelques dixièmes de microns, c'est ainsi que sa surface spécifique s'élève à environ 220.000 cm²/g (Blaine). Cette caractéristique lui permet de capter et de fixer l'hydrate de calcium [Ca(OH)] et de le transformer, en un premier temps, en silicate hydraté et successivement en silicate de calcium stable et irréversible.

Cette particularité permet de modifier le comportement des bétons à l'état humide, comme à l'état durci.

3- ACTION DE SILTEK POWDER

Pour obtenir une bonne maniabilité des bétons, il faut utiliser une quantité d'eau toujours supérieure à celle nécessaire pour l'hydratation du ciment.

Ce qui amène, à la pâte durcie, la formation de capillaires et cavités. Ces dernières sont d'autant nombreuses que la quantité d'eau est élevée.

En outre, durant la dilatation, il se forme une certaine quantité de chaux libre qui se dépose dans les cavités disponibles. Ce comportement rend vulnérable, par effet d'agents externes, le conglomerat durci, en réduisant la durée de vie.

SILTEK POWDER, ajouté au mélange, en raison de

2 à 5% du poids du ciment, capte et réagit avec la chaux libre, et remplit ainsi les vides présents dans la pâte cimentaire, ce qui rend plus compact, plus imperméable et plus résistant le conglomerat et par conséquent plus durable et avec un meilleur aspect.

4- MODE D'UTILISATION

SILDEK POWDER est principalement utilisé dans tous les bétons et les mortiers de hautes performances.

SILTEK POWDER est utilisé dans la préparation de :

- Coulis de protection.
- Coulis pour injection de consolidation.
- Coulis expansifs.
- Bétons et mortiers à haute résistance mécanique.
- Bétons et mortiers à haute imperméabilité.
- Bétons pré comprimés résistants à l'action chimique.
- Bétons et mortiers pour utilisation sous-marine, spécialement en milieu agressif.
- Mortiers thixotrope pour réfection et réparation.

Et dans toutes les configurations où il est demandé aux mortiers ou aux bétons des caractéristiques supérieures, telles que :

- Résistances mécaniques.
- Résistances chimiques.
- Résistances à l'usure et à l'abrasion.
- Imperméabilité.
- Stabilité et cohésion.
- Durabilité.

Il est aussi utilisé pour réduire le ressuage des bétons.