REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civil
Spécialité : matériaux en génie civil
Thème :

Etude expérimentale de l'effet de la température sur les comportements mécaniques d'un mortier de polymère

Présenté par :
Rasem Fatima
Chennouf Asma

Proposé et Dirigé par :
Mr : BOUKSANI OMAR

Promotion 2019

Remerciements

- *Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*
- *Ainsi nous remercions tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*
- *C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre promoteur Mr BOUKSANI. pour son soutien, ses conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet.*
- *Nous saisons également cette opportunité pour remercier A tout le personnel de :*
  - *MR. Abderrahmane rabah ,Médea*
  - *Sika El-Djazaïr, Algérie.*
  - *SDC ALGERIE , Blida*
- *Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de génie civil.*
- *Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude.*

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci infiniment mes parents.

A mes très chers frèreset A mes sœurs

A mes amis

A mon encadreur bien sur : " Mr BOUKSANI " qui a fait tout son possible pour nous aider et nous orienté dans l'élaboration de notre mémoire.

Rasem Fatima

Dédicaces

A tous qui témoignent qu'il a de dieu qu'ALLAH et que Mohamed est le prophète de dieu.

A celui qui m'appris le sens de devoir et de l'ambition

A celui qui m'as appris a être fière tout en restant modeste

A ce qui m'ont appris à vivre sans masque

A celui qui m'as élevé et m'as appris le sens de la patience

A mes chers parents pour leurs conseils et leur amour

A mon chère frère Mostapha et mon adorable sœur Fatima et son mari Mohamed qui m'ont aidé et m'ont encouragé dans mon parcourt universitaire sans oublier mes chères sœur Salima,Fairouz, et Sarah et mes petits frères Oussama et faisal.

A ma chère binôme Fatma

A tous les membres de ma famille

A tous mes amies fidèles surtout Nabila, Dalal, Samia, Manal, Monira,Flora

A tous les professeurs et ensiegnants qui ont pour ma bonne formation

Enfin à toutes ma promotion de génie civil 2019/2020

Asma

ملخص

تتناول هذه الدراسة سلوك خرسانة صنعت باستبدال الاسمنت بالكامل براتنجات الايبوكسي مع حبيبات ورمال سيليكا،واحد سميك والآخر متوسط والآخير صغير وأيضاً بعض الحصى الرخام،واحد كبير والأخر صغير.

في هذا العمل تم دراسة تأثير الحرارة على السلوك الميكانيكي والفيزيائي لهذه المواد المصممة بالراتنج تحت نسبة 12.5 % التي تعمل كمواد رابط .

على ضوء النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها يمكن الاستنتاج أن تأثير الحرارة على الخرسانة البوليمرية يؤدي الى تناقص في خصائص السلوك الفيزيائي والميكانيكي لهذه الخرسانة .

الكلمات المفتاحية: خرسانة بوليمرية ،إيبوكسي ،خواص فيزيائية وميكانيكية , حرارة .

Résumé

Cette étude concerne les comportements d’un béton fabriqué en remplaçant totalement le cimentpar une matrice résineuse à base d’époxyde avec des granulat , des sables à base de silice, un estgros l’autre est moyen et le dernier est fin et aussi des graviers de marbre, l’un est fin l’autre estgros.

ce travail consiste à étudier l’effet de la température sur les comportements mécanique et physique de ces matériauxformulés avec 12.5% de fraction massique en polymère qui jouent le rôle d’un liant.

A la lumière des résultats expérimentaux obtenus on peut conclure que l’exposition du mortier résineux au températurepermet de diminuede secomportements mécanique et physique.

Mots clés: Béton résineux, Epoxyde, Propriétés physiques et mécaniques, Température

Abstract

This study concerns the behavior of a concrete made by replacing completely the cement with resinous matrix based on epoxy with granulate, sands based on silica, one is big the other is medium and the last is small and also marble gravels, one is small and the other is big .

In this work we are studying the effect of temperature on the mechanical and physical behavior of this material formulated with12.5% mass polymer fractions that act as a binder.

As the experimental results have shown ,we can conclude that the exposure to temperature Of the concrete ensures a lower mechanical and physical behavior .

Key words: resinous concrete, Epoxy, Physical and mechanical properties, Temperature .

NOTATION

NA : Normes Algérienne

NE : Normes Européenne

NF : Normes française

ESV : Equivalent de sables à vue [g/cm^3]

ES : Equivalent de sable à piston [g/cm^3]

λ : conductivité thermique [W/m/K]

Rc : resistance mecanique a la compression [MPa]

Rtf : resistance mecanique a la traction par flexion [MPa]

Introduction générale

Depuis une vingtaine d'année, les matériaux composites devient plus utilisé dans divers domaines surtout en génie civil ; car ils élargissent considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs. Parmi ces composites le béton de résine commence bénéficier d'une part plus importante du marché de bâtiment

Les bétons de résine, comparé au béton de ciment portland, possèdent de meilleures propriétés une plus grande résistance mécanique au fluage et à la compression, une bonne adhérence aux autres matériaux, une résistance élevée aux attaques chimiques, une faible absorption d'eau et une plus grande stabilité aux cycles gel-dégel [B.Redjela, R. Jauberthieb, G. Mirouzia].

A partir de ces propriétés on peut définir le béton polymère comme un matériau durable performant.

Objectifs de l'étude

L'objectif de cette recherche est de formuler un béton à base d'un liant de polymère (résine époxy) en utilisant des graviers à base de marbres et des sables à base de silices. Ce béton devrait répondre à des exigences, mécaniques, durabilité au température élevée.

Plan de travail

- ✓ Le premier chapitre est une analyse bibliographique qui retrace les travaux de recherches antérieures sur les mortiers résineux
- ✓ Le deuxième chapitre présente les méthodes et techniques expérimentales utilisées pour déterminer les propriétés physiques et mécaniques du mortier résineux exposé à hautes températures
- ✓ Le troisième chapitre exprime les résultats trouvés et les explications du deuxièmeChapitre.

Table des matières

Remerciements
ملخص
Résumé
Abstract
Table des matières
Table des figures
Liste des tableaux
Liste des notations
Introduction Générale

Chapitre I :
Les bétons de résine : Recherche bibliographique

Introduction……..…7
I.1Résines dans le mortier:……...……..…7
I.2 Mortier résineux :……..……8
I.2.1 différents types des mortiers résine :……9
I.2.1.1 Mortier additionné de résine (Polymer-Cement Concrete (PCC) :…...9
I.2.1.2 Mortier imprégné de résine (polymer impregnated concrete (PIC)) :..10
I.2.1.3 Mortier de résine (polymer Concrete (PC)) :……...10
I.3 Développement de Mortier Résineux :…….....11
I.3.1.composition des mortiers résine :…….……..11
I.3.2.Domaine d'application Mortier Résineux :……....12
I .3.3.Différents types de résines introduites dans les mortiers résine :……..12
I .4les propriétés des mortiers résine :……15
I.4.1 Facteurs affectant les propriétés de Mortier Polymère……..…….15
I.4.2 .Propriétés des mortiers résineux à l'état frais :……....16
1.4.2.1 L'ouvrabilité ……..….16
I .4.3. Propriétés des mortiers résineux à l'état durci :…….....17
I.4.3.1Résistanceà la compression:……..…17
I. 4.3.2. Résistance à la traction:…….…19
I.4.3.3 Module d'élasticité :……20
I.4.4. Durabilité des mortiers résine :……..21

I.4.4.1 Comparaison de la durabilité entre mortier époxy et polyester 22

I.5.Influence de l'exposition à températures sur les propriétés mécaniques ……..……..23

I.6.Comparaison entre les propriétés les mortiers de résine et le mortier de ciment :……..27

Chapitre II

Des matériaux utilisés, mode de préparation des mortiers de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Introduction……...34

II.1. Matériaux utilisés dans le formulation..……..35

II.1.1Constituants des mortier résineux……..36

II.1.1.1charge minérales :……..36

II.1.1.2 Liant résineux (la résine + durcisseur)…….……...37

II.2 Mode de préparation du mortier de résine ……39

II.2.1 La procédure de formulation…….....39

II.2.2 La procédure de malaxage……..39

II.3. Techniques expérimentale……..…44

II.3.1. Propriétés physiques des constituants……...44

II.3.1.1. Mesure de la masse volumique apparente……..…44

II.3.1.2. Mesure de la masse volumique absolue……..…44

II.3.1.3. La porosité……..…44

II.3.1.4. Module de finesse……....45

II.3.1.5. Propreté de sable (Essai d'équivalent de sable)……...45

II.3.1.6. Analyse granulométrique…….45

II.4. Caractéristique des bétons……..46

II.4.1 Essais physico-chimiques…….…….....47

II.4.1.1. La masse volumique à l'état durci……...…….…….....48

II.4.1.2 Essai de conductivité thermique……...…….....48

II.4.2 Essais mécanique…….……...49

II.4.2.1. Essai de traction par flexion 3 point……...……..…49

II.4.2.2. Essai de compression……....49

II.4.3 Essais de durabilité……...…….….50

II.4.3.1 Essai de perméabilité aux ions chlorures……..…....51

Chapitre III : Résultat et interprétation

Introduction…….54

III.1.Propriétés physiques des constituants :……...….55

III.2. Analyse granulométrique……..…55

III.3. Influence de l'exposition à hautes températures sur les propriétés physiques :…….. ……....58

III.3.1 Perte de Masse :…….....58

III.3.2 Masse Volumique : …….....59

III.3.4 Evaluation de la perméabilité :…….....60

III.3.5 Evolution de Conductivité thermique…….....60

III.4.Influence de l'exposition à hautes températures sur lespropriétés mécaniques.....61

III.4.1.Résistance à la traction par flexion :…….....61

III.4.2. Résistance à la compression :…….....63

Liste des figures

Chapitre I :

Bétons de résine : Recherche bibliographique

Figure I-1 schéma du modéle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymére/ciment(Osama,2016).....10
Figure I-2 composition des mortiers résineux (Oham,1997).....11
Figure I-3 exemples d'utilisation des mortiers de résine dans les travaux hydrauliques(Mirouzi,17).....15
Figure I-4sol auto nivelant époxy après durcissement.....16
Figure I-5 Revêtement de sol époxy dans un restaurant.....16
Figure I-6 (a) échantillon d'une section d'eau potable réservoir ; (b) les revêtements internes des tuyaux.....16
Figure I-7 comparaison des affaissements des mortiers résineux (Yeon ,10)....21
Figure I-8 effet du temps de maturation sur la résistance à la compression (Haidar ,16).....23
Figure I-9 courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en flexion trois point (Mirouzi,2017).....25
Figure I-10 résistances en fonction de la quantité de polymère (Vipulanandran,89).....25
Figure I-11la résistance à la compression et le pourcentage de la perte en résistance du mortier polymère après 1 mois d'immersion dans diverses solutions corrosives (A) et (B) à différentes durée d'immersion dans l'eau (mortier resine,14).....27
Figure I-12 la perte en résistance à la flexion (%) en fonction de la durée d'immersion dans les différents solutions (Ribeiro,04).....27
Figure I-13 phénomènes dus aux effets de températures élevées dans les composites (Y.IDimitrienko,94).....28
Figure I-14 comparaison de la résistance en compression du BP 13% ET BO après exposition (Elalaoui, 135).....29
Figure I-15 courbes contrainte flèche des mortiers à base de résine époxyde obtenus par essai de flexion après différentes températures de conservation (Haidar ,2016).....30
Figure I-16 évaluation des modules d'élasticité en fonction de la température de chauffage (Elalaoui,145).....31

Chapitre II

Matériaux utilisés, mode de préparation des micro-bétons de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Figure II.1.Silice traité fin (0.063-0.63) mm.....35
Figure II.2.Silice traité moyen (0.16-0.63) mm 35
Figure II.3 Silice traité gros (0.08-1.25) mm.....35
Figure II.4. Marbre fin (1/4).....36
Figure II.5**.** Marbre gros(3/8).....36
Figure II.6.Résine époxy (protop1000).....37
Figure II.7.Résine époxy (sikadur).....37
Figure II.8. Durcisseur (m-xylendiamine ,isophoronediamine).....38
Figure II.9 Moules (4× **4** × **16)**.....39
FigureII.10 étuve pour séchage des granulats.....40
Figure II.11Mélange du liant polymérique.....41
Figure II.12. Mélange des granulats……..… 41
Figure.II.13**.**mélange du pré-polymère et le durcisseur avec les granulats.....42
Figure II.14**.**phase de remplissage de mortier résineux dans les moules …….....43
Figure II.15**.**démoulage des éprouvette …….....43
Figure II.16**.**Pesée hydrostatique.....47
Figure II.17**.**Dispositif et échantillons pour les essais de conductivité thermique..48
Figure II.18**.**Essai de traction par flexion 3 points…….....49
Figure II.19**.**Essais de compression.....50
Figure II.20**.** Eprouvette cylindrique et Dessiccateur relié à une pompe…….....50
Figure. II.21**.**Solutions (NaCl,NaOH)…….....51
Figure II.22 Le dispositif expérimental Essai de perméabilité aux ions chlorure....52

Chapitre III

Résultat et interprétation

Figure III-1 courbe granulométrique de sable de silice gros (0.08-1.25)mm.....556

Figure III-2 Courbe granulométrique de sable silice moyen (0.16-0.63)mm.....57

Figure III-3 courbe granulométrique de sable de silice fin (0.063-0.63)mm.....57

Figure III-4 courbe granulométrique de marbre 3/8.....58

Figure III-5 courbe granulométrique de marbre ¼.....58

Figure 1II-6 perte de masse en fonction de température les deux types de mortier resineux.....59

Figure III-7 variation de masse volumique mortier resineux de sika).....60

Figure III-8 variation de masse volumique mortier resineux de ProTop).....60

Figure III-9 conductivité thermique de mortier resineux de SIKA DUR.....61

Figure III-10 contrainte de flexion en fonction de température mortier resineux de (sikadur)..... 62

Figure III-11 contrainte de flexion en fonction de températuremortier resineux de protop1000 62

Figure III-12 contrainte de tracion par flexion en fonction de temps de

mortier résineux de Sika dur.....63

Figure III-13 mode de rupture sur la résistance à la traction par flexion

mortier résineux de sikadur et protp1000.....63

Figure III-14 faciès de rupture de mortier résineux de sikadur.....64

Figure III-15 facies de rupture demortier résineux de protop1000.....64

Figure III-16 contrainte de compression en fonction de température de mortier résineux de sikadur.....64
Figure III-17 Contrainte de compression en fonction de températurede mortier résineux de protop1000.....65
Figure III-18 contrainte de compression en fonction de temps de mortier résineux de Sika dur.....65
Figure III-19 contrainte de compression en fonction de temps de mortier résineux de protop1000.....66
Figure III-20 mode de rupture sur la résistance à la compression de mortier résineux 66

Liste des tableaux

Chapitre 1 :

Bétons de résine : Recherche bibliographique

Tableau I-2 domaine d'application des mortiers de résine 10

[Elhabib et Tounsi ,18].....9

Tableau I-3 les différents types des résines introduit dans le mortier
(Blaga et al 86).....14

Tableau I.4 Propriété types des béton (A, Blaga, J,J, Beaudoin)
et E. Kirlikovali.....27

Chapitre II

Matériaux utilisés, mode de préparation des micro-bétons de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Tableau II.1 les dosages des bétons pour 16 éprouvette 4×4×16cm 43
Tableau II.2: les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Durci.....48

Chapitre III

Résultat et interprétation

Tableau III-1 Propriétés physiques des granulats.....55

Chapitre I : Mortiers de résine

Recherche Bibliographique

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes classes des mortiers de résine, ainsi que leurs applications dans le domaine du bâtiment que ce soit : Habitation, Industriel et Hospitaliers.

I.1 Résines dans le mortier

Les Résines sont des substances organiques solides ou très visqueuses composé naturellement mais peut également être fabriquée artificiellement dont la résine synthétique.

Une résine bi-composante thermodurcissable (Pré-polymere + durcisseur) a base de polymère. C'est un composé comprenant un atome d'oxygène relié a deux atomes de carbone en formant un pont [Alhabib .18]

Les polymères solides sont classés en deux grandes familles, les thermoplastiques (TP) et les thermodurcissables (TD). L'opération par laquelle la matière première est transformée en produit rigide, insoluble et infusible, est appelée réticulation et correspond à l'étape finale de la polymérisation.

La polymérisation désigne une réaction chimique permettant l'obtention d'un polymère solide à partir de monomères de faibles masses molaires. Le produit de synthèse qui en découle est alors un composé linéaire ou ramifié appelé polymère thermoplastique ou un système réticulé de structure tridimensionnelle appelé thermodurcissable préparé à partir de pré-polymères linéaires ou ramifiés de faible masse moléculaire, réticulés sous l'effet de la chaleur en présence de durcisseur et d'un catalyseur.(Haidar Murhaf.11)

Les thermoplastiques sont des polymères linéaires ou ramifiés. Sous l'action de la chaleur, le matériau thermoplastique se ramollit et les chaînes macromoléculaires glissent les unes sur les autres. Il se solidifie par refroidissement.

Le processus de ramollissement par chauffage et de durcissement par refroidissement peut être répété un nombre indéfini de fois, les déchets thermoplastiques peuvent être récupérés et recyclés.

Les thermoplastiques constituent une importante classe de matériaux synthétiques utilisés de plus en plus dans diverses applications, par exemple, dans le bâtiment et la construction, les

thermoplastiques remplissent diverses fonctions comme éléments légers structuraux et décoratifs ou comme parties auxiliaires d'autres matériaux et éléments. [Blag .75] .[Haidar .11]

A la différence des thermoplastiques, les thermodurcissables ne peuvent être mis en forme qu'une seule fois. Lors du processus de polymérisation et de réticulation, les thermodurcissables subissent une modification chimique irréversible.

La réticulation d'une résine thermodurcissable est, souvent, amorcée à l'aide de la chaleur, de l'irradiation, des catalyseurs ou par leur action conjuguée.

La structure fortement réticulée des thermodurcissables confère au matériau une dureté élevée, une bonne résistance mécanique, une insolubilité, une tenue adéquate à la chaleur ainsi qu'une bonne résistance aux agents chimiques et au fluage [Blag 75] .(Haidar .11)

Etant donné que les thermodurcissables ont une résistance mécanique supérieure à celle des thermoplastiques et qu'ils offrent une meilleure tenue au fluage à la température ambiante, ils sont généralement destinés pour la fabrication d'éléments pour des applications structurales.

Parmi les principaux thermodurcissables on cite les époxydes, les polyesters insaturés, les phénoliques, les aminoplastes (urée-et mélamine-formaldéhydes) et les alkydes [Blag .75] [Haidar.11]

I.2Mortier Résineux

Le «Mortier Résineux » est un matériau de ciment Portland remplacé totalement ou partiellement par polymères ou résines organiques.

Le Mortier Résineux convient pour réaliser des produits préfabriqués. Les caractéristiques du mortier donneront lieu au développement dans les technologies de construction.

La recherche et le développement des mortiers et bétons modifiés par des polymères dans différents pays occidentaux depuis les années 1980 [Oham .97].

Mortier Résineux se caractérisent par bon performance à la carbonatation [Oham .95], à la pénétration d'ions de chlorure et à la diffusion d'oxygène [Oham .91]**.** Aussi les Mortier Résineux sont considéré comme matériaux peu coûteux, permettant la réparation des structures en mortier armé [OHAM .97].

I.2.1 Différents types des mortiers résine

Les sont classés en trois types dépendant des principes de la technologie de traitement :

1) Mortier additionné de résine (Polymer-Cement Concret (PCC)
2) Mortier imprégné de résine (polymer impregnated concret (PIC))
3) Mortier de résine (polymer Concret (PC)

I.2.1.1 Mortier additionné de résine (Polymer-Cement Concrete (PCC)

Mortier modifié au polymère également appelé ciment polymère de Portland le mortier ou le mortier modifié au résine est défini comme le ciment et les agrégats de portland combinés au moment du mélange avec des polymères organiques dispersés ou redispersés dans l'eau Lorsque le ciment s'hydrate, coalescence du polymère se produit résultant en un matrice de ciment hydraté et polymère film à travers le mortier.

L'ajout de polymères au ciment Portland entraîne principalement des améliorations de l’adhérence, de la résistance à la pénétration eau et propriétés de résistance améliorées [Wagner et Grenly, 78].

Une large variété de types de polymères ont été étudiés pour une utilisation dans des polymères modifiés mortier, le choix du type de polymère dépend des exigences de service et coût [Ohama, 84 ; Kardon, 97].

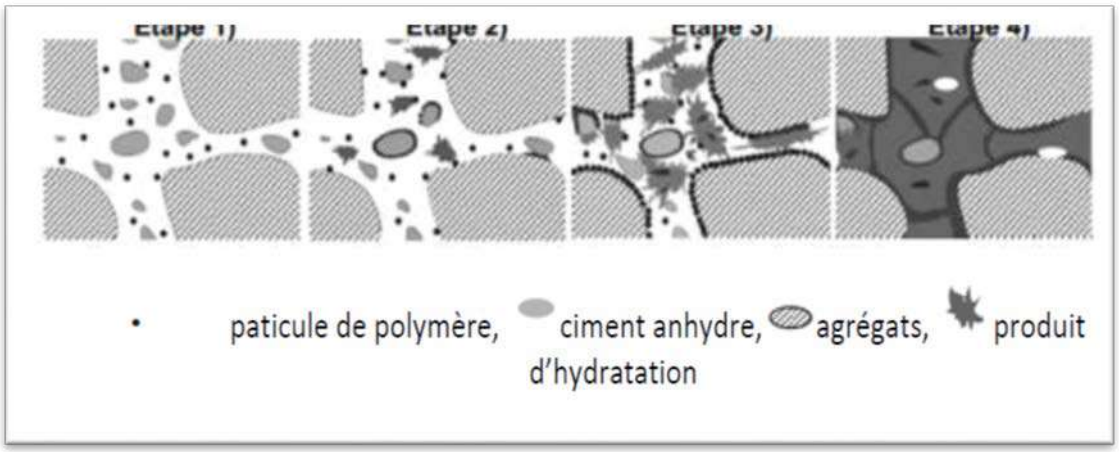


Figure I-1 schéma du modéle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymére/ciment (Ohama,16)

I.2.1.2 Mortier imprégné de résine (polymer impregnated concrete (PIC))

Le mortier imprégné de polymère est un mortier de ciment qui a été imprégné d'un monomère qui est ensuite polymérisé in situ.

En général, presque toutes les formes, tailles, configurations, l'orientation et la qualité du mortier de ciment Portland durci peuvent être imprégné dans une certaine mesure de monomère à condition que le monomère ait accès vidé l'espace dans le mortier.

Une partie importante de cet espace est généralement obtenu en éliminant l'eau dans des pores du mortier en séchant le mortier d'une certaine manière [Dikeou, 80].

I.2.1.3 Mortier de résine (polymer Concrete (PC))

Le mortier polymère est un matériau composite dans lequel l'agrégat est lié ensemble dans une matrice avec un liant polymère.

Les composites ne contiennent pas de pâte de ciment hydratée bien que le ciment portland peut être utilisé comme agrégat ou comme charge [Kukacka, 78].

Réglage des temps pour le développement de la force maximale peut être facilement modifié à partir de quelques minutes à plusieurs heures en ajustant la température et le système de catalyseur.

I.3 Développement de Mortier Résineux

I.3.1.Composition des mortiers résine

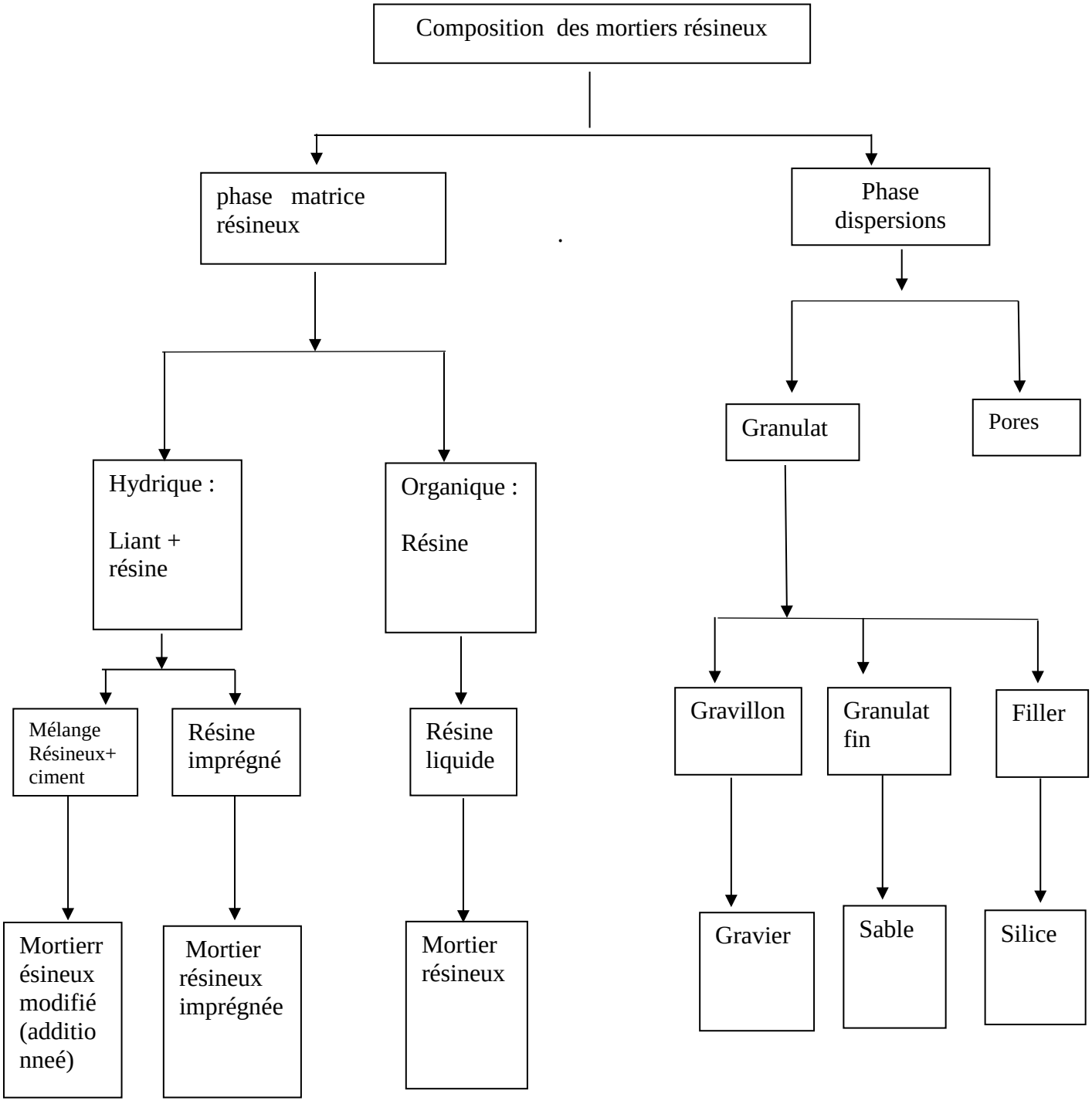


Figure I-2 composition des mortiers résineux (Oham,97)

I.3.2.Domaine d’application mortier résineux

Le Mortier Résineux est utilisé essentiellement dans la production du mortier résine artificiel (à matrice Polymérique) dont l’attrait de surface et non seulement les propriétés techniques du matériau est d’une importance cruciale. Sur cette base, des exigences un peu particulières sont prescrites pour les granulats, les monomères et les oligomères. [Abdel-Fattah, 13] [Feldman, 89].

A présent, l’industrie de façades s’est enrichie avec l’utilisation du mortier de résine comme matériau de revêtement influençant, ainsi la conception des façades surtout avec les formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus strictes. [Snell, et al, 72] [Jo, 08].

1-Produits pour installations électriques et de communication

Les produits avec les avantages des propriétés d'isolation électrique, la preuve de l'eau et la durabilité que le mortier polymère et le mortier sont un chemin de câbles utilisé pour les lignes ferroviaires à grande vitesse et un trou d'homme de communication.

2-Produits pour canalisation eau et drainage

Les produits destinés à l’alimentation en eau et au drainage comprennent les tuyaux, les regards de visite et leurs accessoires communs.

Le composite plastique renforcé est un tuyau d’égout adapté à tous types de système de drainage ainsi que des eaux usées, avec 4-6 m de long avec son diamètre disponible pour produire à partir de 0,4 m à 2 m

Le système de tuyauterie a une structure en sandwich avec des capacités de résistance avancées contre pression, résistance aux copeaux, tassement différentiel du sol, ainsi que d'excellents produits semi-permanents pour la congélation-décongélation résistance et attaque chimique.



Cunettes Avenue Jean Jaurès – Chantier de Paris

Ovoïde T 230 – Hôpital la salpêtrière PARIS

Figure I-3 exemples d'utilisation des mortiers de résine dans les travaux hydrauliques (Mirouzi,17)

3- Enfouissement des déchets toxiques et radioactifs

Le béton de résine grâce au durcissement rapide, à la faible perméabilité, à la haute résistance mécanique 2 ou 3 fois plus grande que celle du béton conventionnel , et à la corrosive et aux agents chimiques rend l'utilisation d'un tel matériau favorable pour l'usage dans la gestion de déchets dangereux , les applications récentes ont montré des résultats prometteurs.
Le béton de résine peut assurer longévité et résistance désirés [Mirouzi.17]

Le tableau suivant montre les déférents domaines d'application des mortiers des résines.

Tableau I-2 domaine d'application des mortiers de résine [Elhabib et Tounsi ,18]

Domaine d'application	Exemple
Domaine bâtiments	• Production du mortier résinée artificiel (à matrice polymérique) • Industrie de façades • Panneaux • Appuis de fenêtres • Marches d'escalier • Table de travail • Haut de table • Equipements techniques sanitaires.
Travaux de drainage et hydrauliques	• Systèmes de drainage • Le réseau de canalisation (cunette)
L'agriculture et l'horticulture	• Les réservoirs d'aliments pour les bétails. • En horticulture, les bacs des plants.
Revêtement des chaussés et planchers	• Protection des surfaces des chaussées • La réparation du pont • Matériaux décoratifs en leur ajoutant des charges colorées
L'industrie	• L'introduction des éléments porteurs en mortier de résine renforcés supportant les bains isolateurs, grâce à la qualité anti- virus mortier résine meilleure : • Le mortier résine des bases pour des tours, des rectifieuses, des fraiseuses et des perceuses
Isolant phonique	• Systèmes d'isolation phonique • Ecrans phoniques en autoroute
L'enfouissement des déchets toxiques et radioactifs	• Gestion de déchets dangereux • Le risque résiduel des déchets non traités(ovoïde)

Les figures suivantes présentes les différentes utilisations des mortiers de résine :



Figure I-4 sol auto nivelant époxy après durcissement

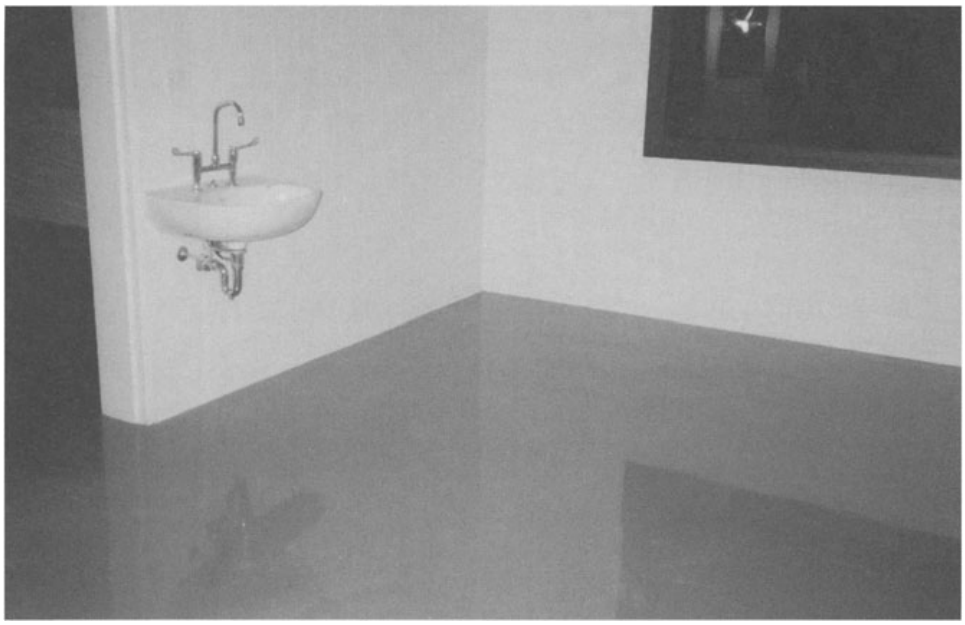


Figure I-5 Revêtement de sol époxy dans un restaurant.

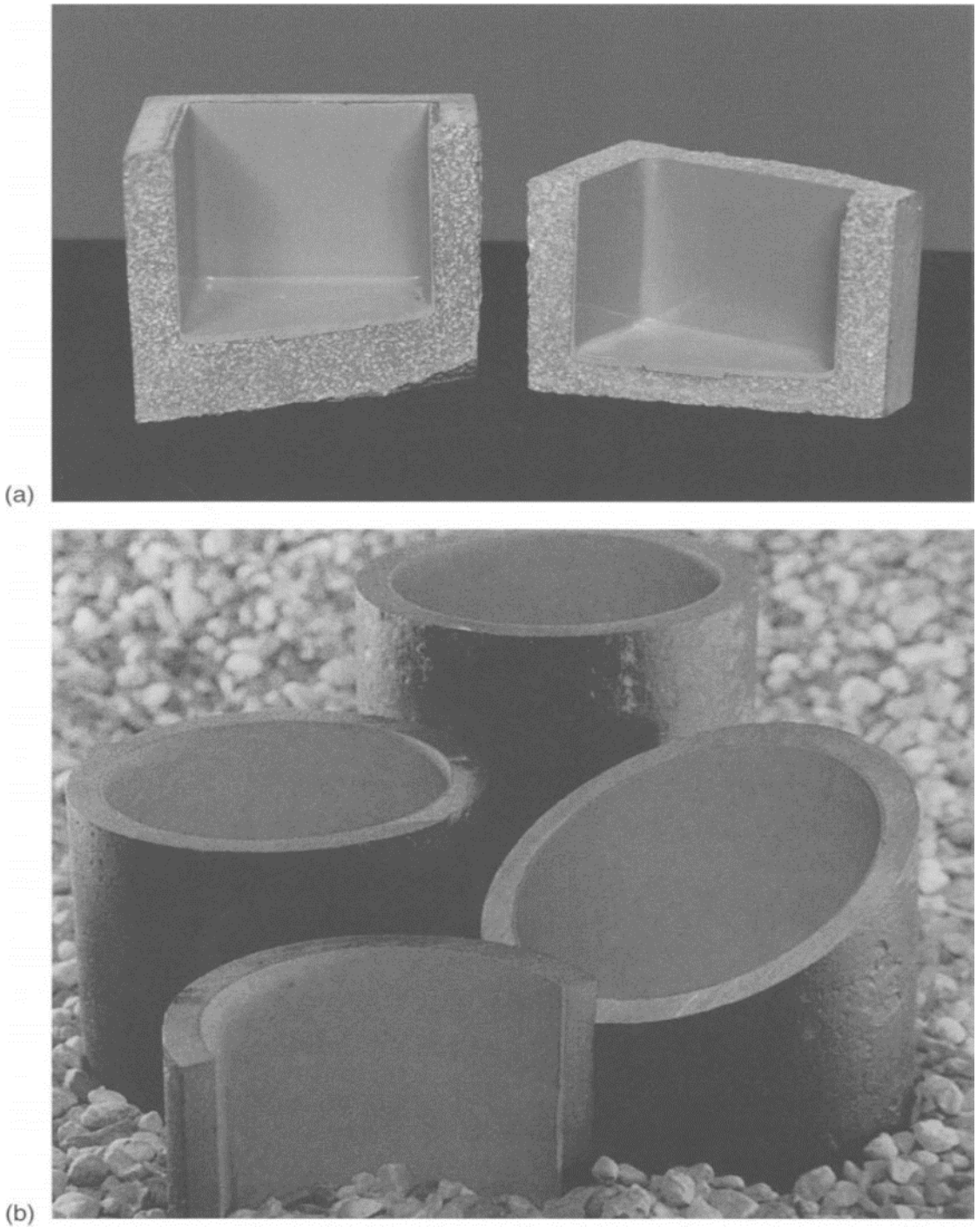


Figure I-6 (a) échantillon d'une section d'eau potable réservoir ; (b) les revêtements internes des tuyaux

I .3.3.Différents types de résines introduites dans les mortiers résine

Les Résines utilisées sont méthacrylate, résine de polyester, résine époxy, vinylester résines et résines furanique. Les résines de polyester sont de résine les plus couramment utilisés pour le mortier polymère en raison de leur faible coût, de leur disponibilité facile et de leur bon fonctionnement propriétés. Les résines furanique sont également très utilisées dans les pays européens.

1-Resine Polyesters

Les résines polyesters insaturés sont des copolymères dont la mise en œuvre conduit à des matériaux réticulés thermodurcissables (infusibles et insolubles).

Les propriétés qui rendre les polyesters non saturés plus utiles pour la construction [Boeing, 64 ; Demmler et Schlag, 71 ; Manson, .85] :

- Gain de force rapide
- Excellente résistance
- Résistance chimique
- Résistance à la corrosion
- Résistance à la chaleur
- Haute résistance aux chocs
- Excellente résistance à la compression.

2-Resine Epoxy

Les époxy sont largement utilisés dans les applications de construction de génie civil ils occupent une position dominante par rapport aux autres polymères.

Les principales caractéristiques de résine époxy fournissent une excellente combinaison de propriétés, y compris :

- Excellente résistance chimique
- Très faible retrait pendant et après la cure
- Haute résistance mécanique.
- Excellente adhérence à la plupart des matériaux de construction
- Les performances d'utilisation peuvent être atteintes en quelques heures.

3-Resine Polyuréthanes

Les polyuréthanes peuvent être utilisés dans diverses conditions chimiques et peuvent être formulés à partir de systèmes flexibles à des systèmes hautement ramifiés et rigides en fonction des besoins [Bao et Xu, 97].

Les uréthanes sont généralement sensibles à l'humidité De plus, les charges doivent être débarrassées de toute trace d'humidité.

4-Résine Furanique

Résine Furane Sont également connus pour être de bons liants pour l'application de la résistance chimique

La Résine Furanique dont la matière première est un sous-produit de l'agriculture l'industrie, en fait un produit de base et un matériau relativement bon marché par rapport aux autres résines [Mckillip et Sherman, 81].

5-Résine Vinylester

le mortier de Vinyleester est également utilisé comme revêtement Cependant comparé à revêtements en polyester, le mortier polymère vinylester est plus coûteux, plus difficile à manipuler, expositions détérioration due aux fissures thermiques et rupture de liaison entre le mortier et le revêtement.

Tableau I-3 les différents types des résines introduit dans le mortier (Blaga et al.86)

	Domaine d'application	**Caractéristiques**
1-Résine époxy	• mortier pour sols industriels, • revêtements antidérapants pour autoroutes • revêtements pour murs extérieurs • réparation des structures détériorées.	• forte adhérence ; • faible retrait, • résistance chimique élevée, • bonne résistance au fluage • bonne résistance fatigue • faible absorption d'eau.
2-Poly (méthacrylate de méthyle)	• Escaliers, • plaques de façade • bordures de trottoir.	• Faible absorption d'eau, • haute résistance au gel-dégel, • faible retrait, • très bonne résistance à l'attaque chimique • durable aux agressions environnementales
3-Résine polyester	• panneaux, pour les bâtiments publics et commerciaux, • carrelage, les tuyaux, escaliers • mise en œuvre de pièces préfabriquées de mortier résine • coulés sur place dans des travaux de construction.	• bonne adhérence • Bonne résistance au gel-dégel • Bonne aux attaques chimiques.

I .4 les propriétés des mortiers résine

I.4.1 Facteurs affectant les propriétés de Mortier Polymère

Les propriétés du mortier polymère diffèrent grandement selon sur les conditions de préparation. Pour un type de mortier polymère, les propriétés dépendent du liant contenu, répartition granulométrique, nature et contenu de la micro-charge, les conditions de durcissement, etc.

Les résine le plus couramment utilisées pour le mortier polymère sont résine polyester, méthacrylate de méthyle, résines époxy, furanne résines, et résines de polyuréthane.

Généralement, plus de 75 à 80% en volume de mortier polymère est occupé par les agrégats et les charges. Les agrégats sont normalement pris comme matières inertes dispersées dans la matrice polymère.

Normalement, les agrégats sont ajoutés en deux groupes de taille, c'est-à-dire des agrégats grossiers comprenant de taille supérieure à 5 mm et des agrégats fins ayant une taille moins de 5 mm Le classement des agrégats dans le cas du mortier polymère est non normalisé jusqu'à la date et varie largement d'un système à l'autre.

En plus de la grossière et des agrégats fins, des micro-charges sont aussi parfois ajoutées au système de mortier polymère principalement dans le but de remplir les micros vides. Similaire au mortier conventionnel, le mortier polymère peut également être renforcé pour améliorer ses propriétés mécaniques propriétés avec différents types de mortier résines.

I.4.2 .Propriétés des mortiers résineux à l'état frais

1.4.2.1L'ouvrabilité

L'ouvrabilité est un terme général utilisé dans la description des propriétés du mortier frais. Le coût élevé des résines a incité les chercheurs à trouver une solution pour réduire le taux du liant dans le mortier tout en conservant une mise en œuvre aisée.

[Muthukumar et al.04]. Ont introduit une teneur en résine de 9,4% dans un mortier polymère. Ils ont trouvé une bonne ouvrabilité adaptée à de mortier résine applications. Néanmoins, pour un dosage en résine de 12% de liant, ils ont constaté une ségrégation plus importante.

L'addition de cendres volantes, sous-produit de la combustion du charbon, dans la composition des mortiers résineux a été rapportée par plusieurs auteurs. Ils ont montré que ceci conduit à l'amélioration de l'ouvrabilité du mortier polymère.

[Yeon et al, 10] Ont trouvé que le type, la forme et la taille des granulats ont un effet important sur l'ouvrabilité d'un mortier résineux.la figure 1.4 montre la comparaison des affaissements des mortiers résineux.

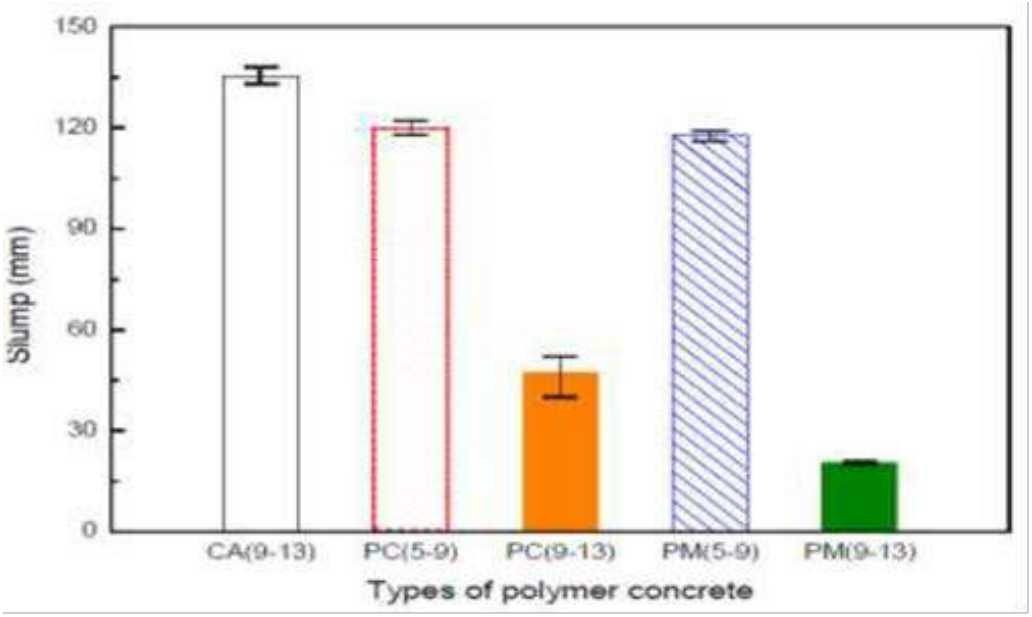


Figure I-7 comparaison des affaissements des mortiers résineux (Yeon ,10)

I .4.3. Propriétés des mortiers résineux à l'état durci

I.4.3.1 Résistance à la compression

A-Effet de la résine polyester

[Abdel-Fattah et al.99] ont formulé des mortiers résine avec (2 types d'époxydes). Pour chaque types de Trois fractions massiques ont été adoptées (9,12 et 15) et les granulats sont constitués par du sable et des graviers de diamètre de 12,7 mm.

Ils ont conclu que 12% est le pourcentage de liant qui conduit aux résistances mécaniques les plus élevées que le type de résine a une influence remarquable sur les propriétés mécanique du produit final qui présente une comportement fragile quand la charge maximale est atteinte avec une relation charge-déformation linéaire.

[Gorninski et Wan Jo.08] ont utilisé des résine polyester dans le mortier avec pourcentage de 13% ils ont remarqué que Les résistances à la compression obtenues est de 101MPa pour Gorninski et de 78% par rapport un mortier hydraulique.

[Kim et al. 85] ont étude l'effet de la variation des quantités des composants d'un mortier résine sur les propriétés thermiques et mécaniques. L'augmentation du pourcentage de la résine entre 5 et 10 % permet une hausse des résistances en compression et en flexion,

[Ribeiro et al. 04] ont étudié des mortiers résine à base de résine polyester et époxyde. Ils concluent que les propriétés mécaniques à la flexion de mortier resine polyester sont plus sensibles à la quantité de résine ajoutée que les mortier résine époxyde.

une augmentation de 17% à 20% de la résine produit une hausse de la résistance en flexion de 56% et 10 pour le polyester et l'époxyde respectivement avec des résistances meilleures pour le mortier resine à base d'époxyde quel que soit la proportion de résine.

B-Effet de la résine époxy

Les études ont trouver le dosage optimal de la résine pour maximiser la résistance mécanique propriétés ont donné des résultats différents en fonction du type spécifique de résine et d'agrégat utilisés. On observe qu'initialement, la force augmente avec l'augmentation du dosage de résine, mais, après avoir atteint le sommet, le même diminue ou reste inchangé avec une nouvelle augmentation de la teneur en résine.

Les résines époxy offrent une meilleure résistance mécanique que le polyester, l'ester vinylique, le furanne et le méthacrylate résinent, mais leur coût inhérent est élevé. Les propriétés du mortier polyester peuvent également être améliorées au niveau du mortier époxy par addition de micro-charges et agents de couplage au silane.

Le dosage de la résine rapportée par divers auteurs se situe pour la plupart dans la gamme des 10 à 20% en poids de mortier polymère. Dosage plus élevé de résine est recommandé lors de l'utilisation d'agrégats fins, en raison de la grande surface de ces matériaux.
Plus des chercheurs ont rapporté la force maximale pour la résine dosage compris entre 12 et 16% en poids de mortier polymère.

[**Haidar et al.11]** Le pourcentage du liant (Résine epoxy +durcisseur) varie entre 5 et 13% en masse. Les résultats des essais de compression sont présentés dans la figure.

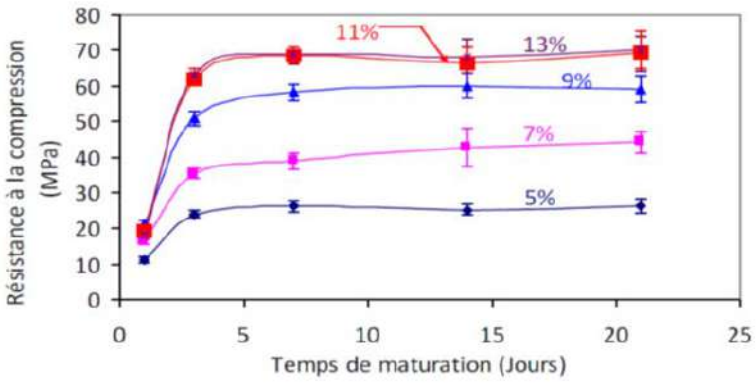


Figure I-8 effet du temps de maturation sur la résistance à la compression (Haidar ,16)

C-Effet de la résine furanique

[Muthukumur et al.04] ont Montrent qu'une fraction massique de 9,75% donne une résistance à la compression de 85MPA.

I. 4.3.2. Résistance à la traction par flexion

A-Effet de la résine époxy

[Jung et al. Ont.14] montré dans une étude avec 20% de résine époxy dans mortier a une résistance à la traction par flexion relativement élevée de 21,72 MPa.

[Golestaneh et Amini.10] ont formulés des mortiers résineux à base d'époxy .La résistance à la traction par flexion a 20% de résine et 200% de charge. Pour cet échantillon, la résistance à la traction par flexion sont respectivement 22,5 et 16,2MPa.

[Elalaoui .12] Ont étudié l'optimisation de formulation d'un mortier de résine époxy à 7 jours, la résistance maximale à traction par flexion obtenue pour un pourcentage de polymère égal à 13% est de 26 MPa.

B-Effet de la résine polyester

[Maksimov et al .99] ont Rapporte que les utilisations des résines polyester dans le mortier donne une résistance à la traction par flexion sa valeur est 20.8MPa qui contiens 9.8% de liant.

[Rebeiz.95] ont noté les propriétés mécaniques à la traction par flexion est de 20MPa pour un pourcentage de 10% du liant.

[Wan Jo et al ils.08] ont trouvé que la résistance à la traction par flexion pour 13% de résine est de 23MPa

[Mirouzi et al.17] Ont optimisé la formulation de micro-mortiers de résine polyester. Dans cette optimisation, ils ont utilisé une méthode empirique se basant sur le principe du point de saturation des sables avec la résine.

Les courbes charge-déformation ont été tracées pour les différents rapports de (G/S = 0,5 – 1 – 1,5 - 2). La figure montre un exemple de courbe charge-déplacement obtenue en traction par flexion 3 points.

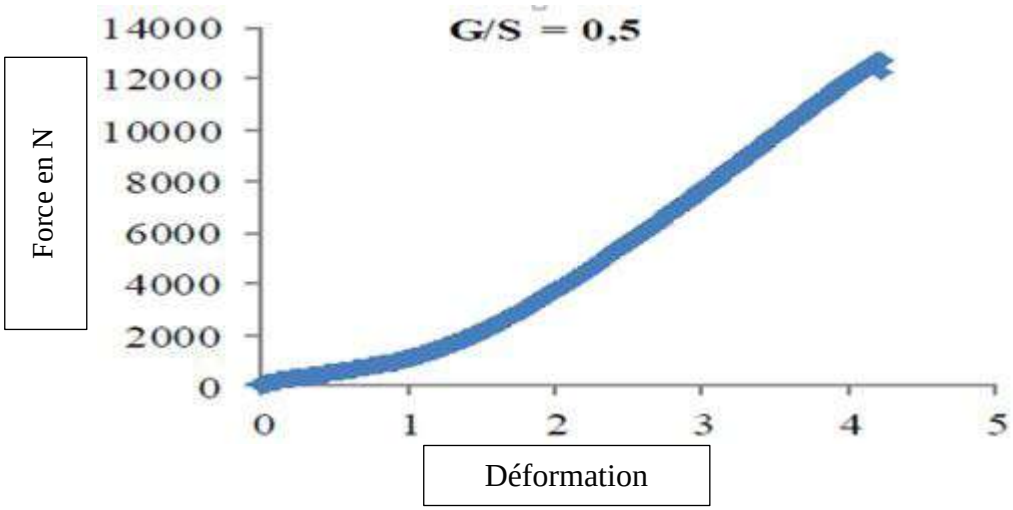


Figure I-9 courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en traction par flexion trois point (Mirouzi,17)

I.4.3.3 Module d'élasticité

A- Effet de résine polyester

[C. Vipulanandran el al.89] ont trouvé que la quantité de résine entre 10 et 20%, les valeurs des propriétés mécaniques (résistances et module d'Young) augmentent en fonction de la quantité de résine introduite jusqu'à atteindre un maximum où elles commencent alors soit à décroitre, soit à se stabiliser.

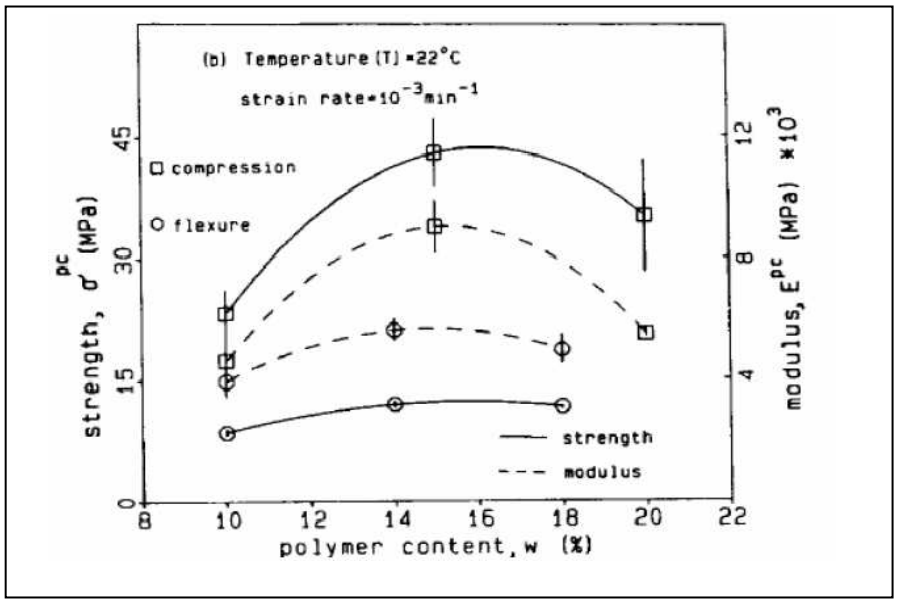


Figure I-10 résistances en fonction de la quantité de polymère (Vipulanandran,89).

[Gorninski et al.07] Ont évalué et comparé le mortier polymère avec le mortier de ciment Portland. En outre, des valeurs élevées de module d'élasticité ont été obtenues et la valeur maximale est de 29 MPa pour 12% du liant.

[Jo et al, 08] a remarqué que la résistance à la flexion est de 23MPA pour 13% de résine.

I.4.4. Durabilité des mortiers résine

A-Effet de la résine époxy

[Agavriloaie et al.12] ont formulé Le mortier à base de 30% d'une matrice époxy. Après 21 jours de cure, les résistances à la compression et à la flexion obtenues sont respectivement 52,5 MPa et 11,52 MPa.
Après 50 cycles de gel-dégel dans la gamme de température-15°C ; 20°C, le mortier a perdu 11,58% de sa résistance à la compression. Suite à L'absorption d'eau est égale à 0,627%.

[Shi-Cong et al, 13] ont montré que l'addition des fillers au mortier polymère à base de résine Epoxyde améliore sa résistance aux agressions environnementales sévères.

Cette durabilité a été testée par immersion pendant 28 jours dans l'eau du robinet, l'eau de mer, une solution d' NaOH à 10%, une solution de Na2CO3 à 20% et une solution de H2SO4 à 10%. Une diminution de la résistance à la flexion a été observée seulement pour les échantillons immergés dans la soude et l'acide sulfurique**.**

B-Effet de résine polyester

[Yamamoto, 87] a immergé un mortier Portland et un mortier polyester dans des solutions d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique à 10% pendant une durée de 28 jours. Aucune perte de masse n'a été observée pour le mortier de résine, cependant une baisse de 50% de la masse du mortier de ciment est détectée**.**
[Mebarkia et al.95] sur l'effet de l'exposition d'un mortier de polyester à différentes solutions de PH variables, montre une diminution de 20% de la résistance à la compression après immersion dans l'eau pendant un mois Les résultats présentés dans la Figure

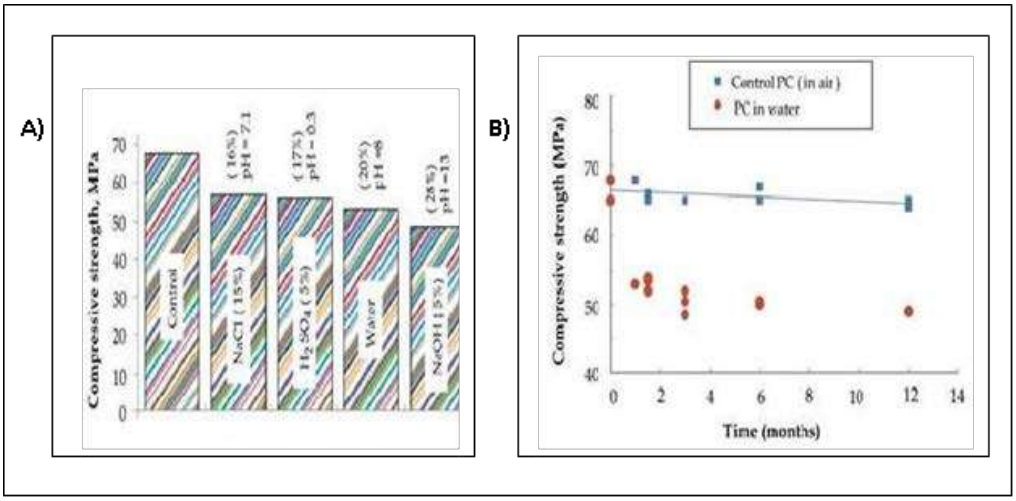


Figure I-11 la résistance à la compression et le pourcentage de la perte en résistance du mortier polymère après 1 mois d'immersion dans diverses solutions corrosives (A) et (B) à différentes durée d'immersion dans l'eau (mortier resine,14)

I.4.4.1 Comparaison de la durabilité entre mortier époxy et polyester

[**Ribeiro, 04]** Une étude comparative réalisée par sur des mortiers polyester et époxy exposés à l'eau et à divers agents chimiques.

Le résultat montre une diminution de la résistance à la flexion après leur immersion dans l'eau et dans d'autres agents chimiques **(Figure 16).**

On observe une meilleure résistance du mortier époxy par rapport au mortier polyester.

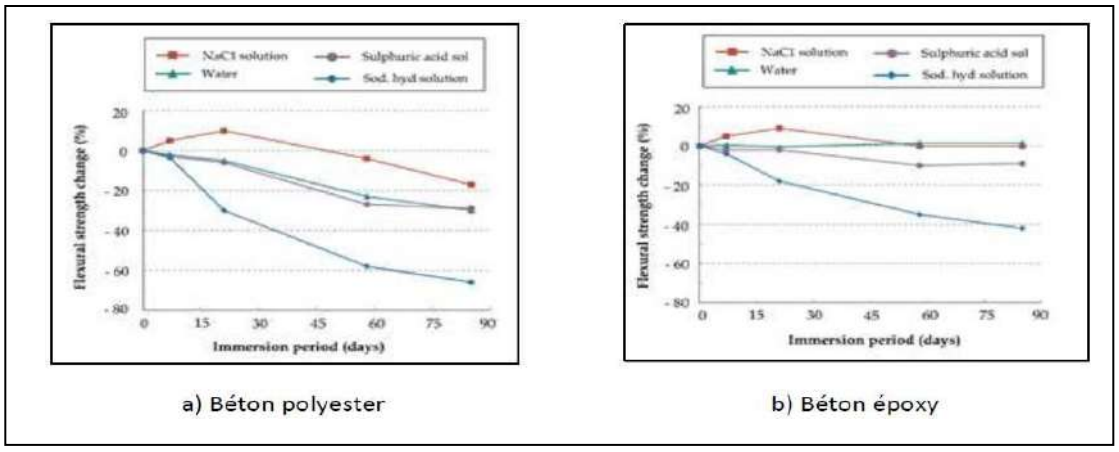


Figure I-12 la perte en résistance à la flexion (%) en fonction de la durée d'immersion dans les différents solutions (Ribeiro,04)

I.5.Influence de l'exposition à températures sur les propriétés mécaniques

1- Résistance à la compression

[Abdel-Fattah et al , El-Hawary et al. 99] ont formulés des mortier resine qui sont sollicités en compression et en traction pour des températures allant de 20 à 200°C.

Ils concluent que les propriétés mécaniques de ces mortiers résineux varient selon le type de résine utilisé et que ces caractéristiques en plus de la rigidité augmentent en générale avec la température d'exposition.

Cette augmentation est le résultat d'un couplage de deux phénomènes ; une augmentation due au durcissement de la résine grâce aux cycles de chauffage-refroidissement et une diminution due à la perte de résistance et à la détérioration du mortier résine. Ces deux facteurs réduisent l'effet de température sur le mortier résine

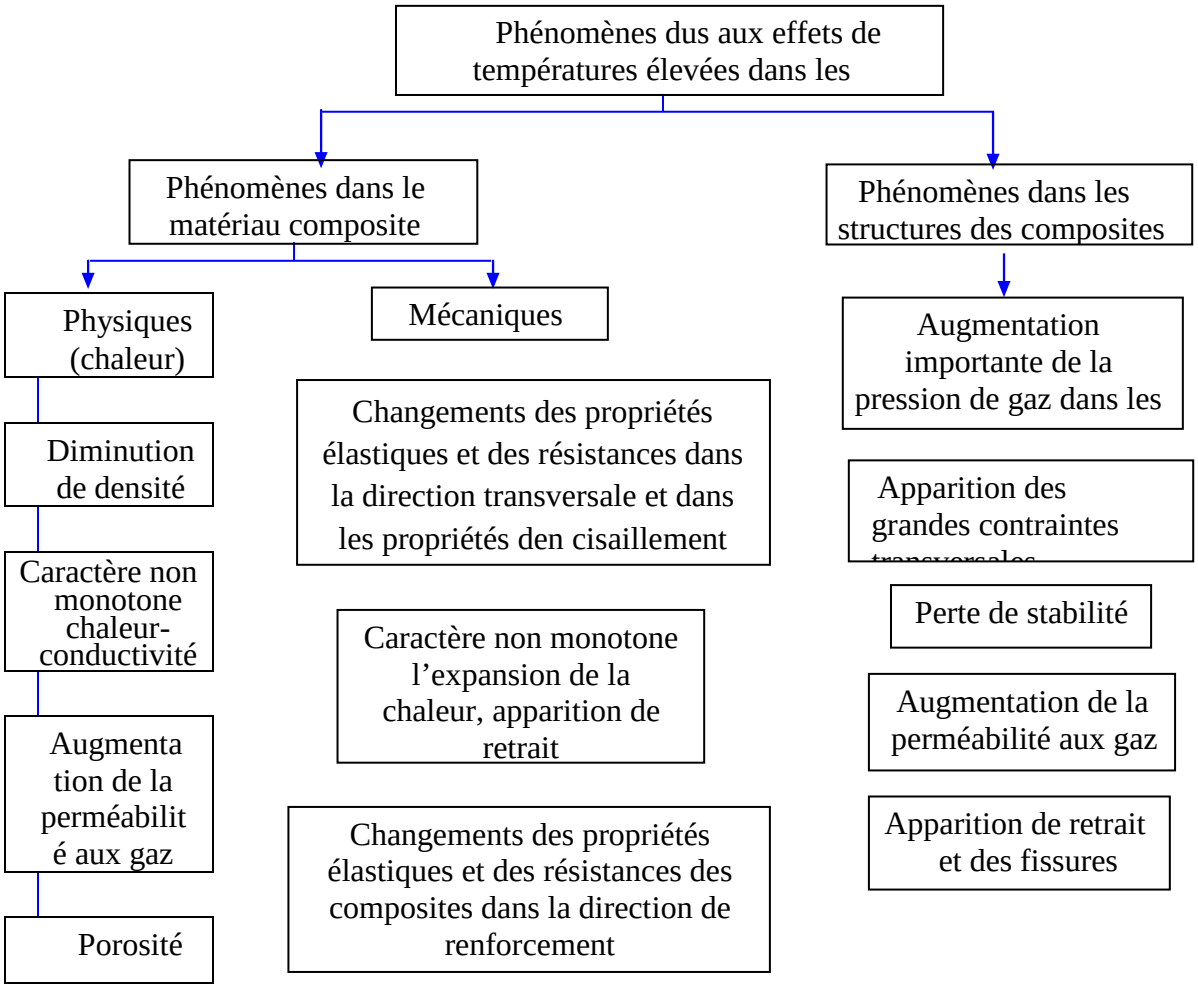


Figure I-13 phénomènes dus aux effets de températures élevées dans les composites (Y.IDimitrienko, 94)

[Oh et al. 86] L'effet de la température de traitement sur la résistance à la compression montre une augmentation de cette dernière en fonction de la température

[Haidar et al.11] se sont intéressés à des mortiers de résine à matrice époxyde. Des essais de compression et de flexion ont été conduits à différents âges (1, 3, 7 et 21 jours).

Les résultats obtenus montrent que la résistance mécanique augmente avec l'âge de l'éprouvette. Un maximum est obtenu pour 9% de liant. En effet, l'augmentation de la résistance est limitée lorsque la teneur en résine est comprise entre 11 et 13%. Pour 9% les valeurs de la résistance à la compression et à la flexion, obtenues, sont respectivement 70 MPa et 26 MPa à un âge de maturation de 21 jours.

[Vipulanandan el al. 89] montrent tous que les propriétés mécaniques à la flexion (résistances, comportement) sont plus affectées par l'exposition thermique que celles à la compression.

[ELalaoui .12] La comparaison de la résistance en compression des deux types de mortiers (Figure) montre que le béton polymère 13% affiche des résistances meilleures (une différence comprise entre 24 et 43 MPa) par rapport au béton ordinaire jusqu'à la température 225°C

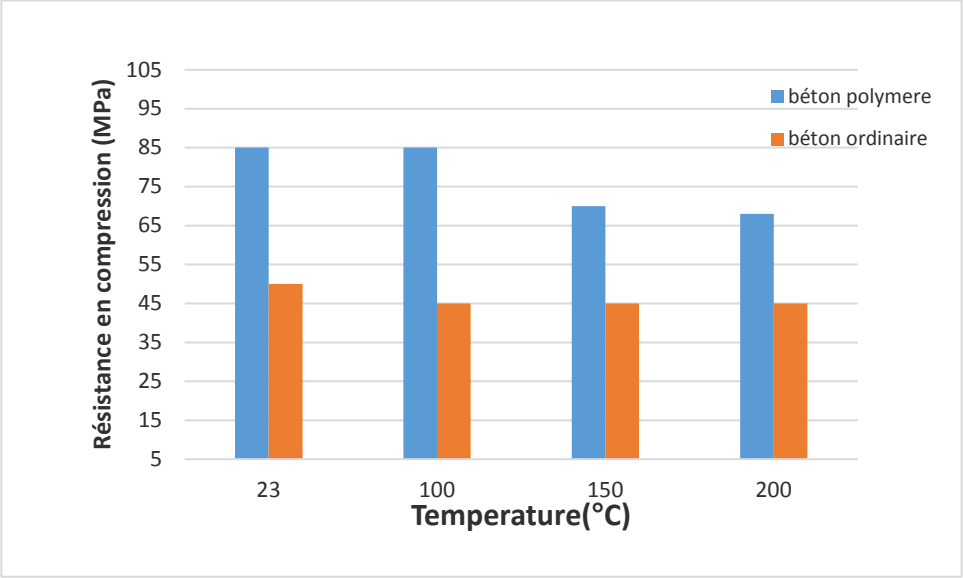


Figure I-14. comparaison de la résistance en compression du béton polymère 13% et béton ordinaire après exposition (Elalaoui,12)

2-Résistance à la traction

[Vipulanandran el al. 89] ont trouvé que l'effet de la température sur les propriétés mécaniques en flexion du mortier résine optimum jusqu'à 110°C bien qu'appréciable est peu important, qu'il est d'autant plus significatif que le taux de résine est faible et que les propriétés mécaniques à la flexion (résistances, comportement, rigidité) sont plus sensibles à l'exposition aux moyennes températures que celles à la compression.

Cette température maximale (110°C) est choisie sur la base de la température de transition vitreuse (entre 125 et 150°C) des mortiers résine et les échantillons sont exposés pendant 3h

[Kaeding et al 07] expose des mortiers résine à des températures de 21, 93, 116, 141, 160, 177, 238 et 260°C et arrivent à la conclusion que la résistance à la traction indirecte est très influencé par la température d'exposition (le pourcentage de rétention est de 1% entre 21°C et 260°C)

[Ribeiro et al.04] . Ont étudié l'effet de la température de conservation sur des mortiers à base de résine époxyde. La Figure I. 6 illustre leurs courbes contrainte-flèche obtenues pour les différentes températures de conservation. Ils ont trouvé que la résistance à la flexion diminue en augmentant la température et le comportement devient ductile.

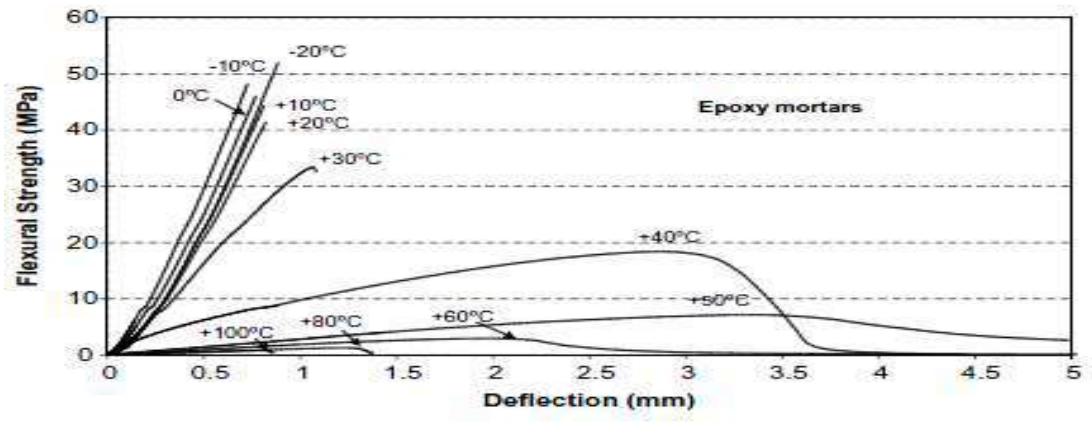


Figure I-15. courbes contrainte flèche des mortiers à base de résine époxyde obtenus par essai de flexion après différentes températures de conservation (Haidar ,16)

3-conductivité thermique

Les facteurs contrôlant l'évolution de la conductivité thermique du mortier résineux en fonction de la température d'exposition sont la conductivité thermique de chacun de ses

composants, les proportions du mélange et le procédé de fabrication. Le type d'agrégat a aussi une influence significative sur la conductivité du mortier.

4-Module d'élasticité

[Elalaoui .12] Les modules d'élasticité présente une variation monotone (décroissante) avec l'augmentation de la température de traitement. Une perte progressive de rigidité est alors enregistrée. En effet, le module d'élasticité perd 50% de sa valeur initiale suite à une exposition durant 3 heures à 250°C et la rupture devient de plus en plus ductile en fonction de la température de chauffage.

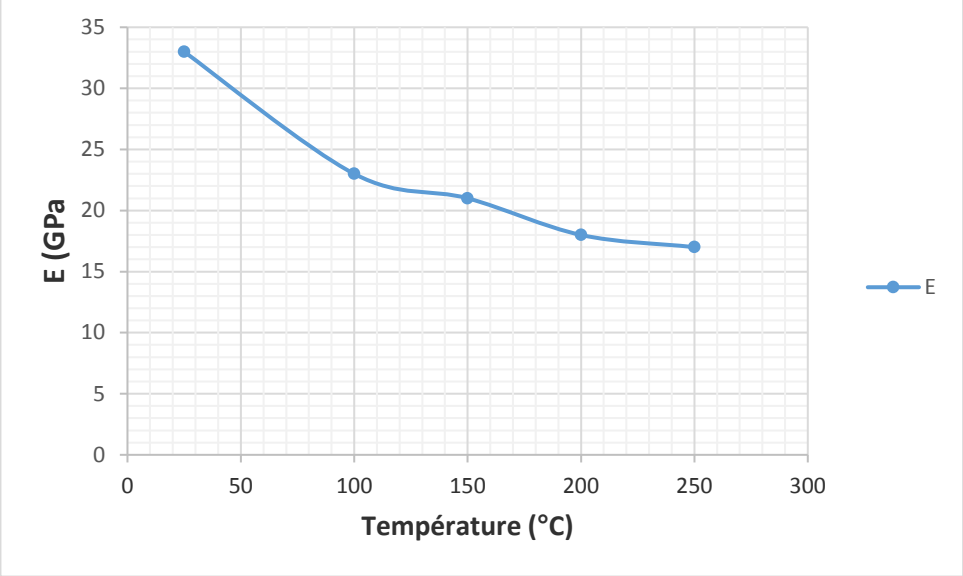


Figure I-16 .évaluation des modules d'élasticité en fonction de la température de chauffage (Elalaoui,12)

I.6.Comparaison entre les propriétés les mortiers de résine et le mortier de ciment :

Tableau I.4 Propriété types des béton [E. Kirlikovali.81]

Matériaux	**Module d'élasticité**	**Résistance en compression Mpa**	**Résistance en flexion MPa**	**Conductivité thermique**
Béton imprégné de résine	42	144	26.2	2.19
Béton modifié de résine	26.2	41.4	13.8	2.26
Béton de résine	36.4	137.9	25.5	2.30
Béton de ciment	24.8	34.5	7.6	2.89

Chapitre II

Matériaux utilisés, mode de préparation
Des mortiers de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les méthodes et techniques expérimentales utilisées pour déterminer le propriétés physiques et mécaniques des mortiers de résine et les conditions expérimentales d'exposition aux températures sont également effectuées

II. 1 Matériaux utilisés dans la formulation

II.1.1.Constituants des mortiers résineux

Les Constituants des mortiers résineux qui ont été utilisés sont le liant résineux (la résine + durcisseur), et les charge minérales qui sont les Deux types de granulats l'un est le sable de silice normalisé (SN) [NFEN196-1] et l'autre est le gravier de marbre (Figure III. 12)

II.1.1.1 charge minérales

a) Le sable de silice roulé qui provient de la localité de Tébessa

- Sable silice fin de granulométrie variant de (0.063-0.63) mm (figure II.1).
- sable de silice moyen, de granulométrie variant entre (0.16- 0.63) mm (figure II.2)
- sable de silices de granulométrie variant entre (0.08-1.25) mm (figureII.3).



Figure II.1Silice traité fin (0.063-0.63) mm



Figure II.2Silice traité moyen (0.16-0.63) mm



Figure II.3Silice traité gros (0.08-1.25) mm

b) le gravier de marbre

Un gravillon de marbre roulé de la région de Tébessa :

- Gravier de marbre de classe granulaire 1/4(figure II.6).
- Gravier de marbre de classe granulaire 3/8(figure II.6).



Figure II.4. Marbre fin (1/4)



Figure II.5. Marbre gros (3/8)

III.1.1.2Liant résineux (la résine + durcisseur)

Le liant utilisé dans cette étude est forme de deux composants :

A) La résine d'époxy

Une résine d'époxy est constituée de chaînes linéaires réticulées entre elles par des liaisons fortes de type covalent conduisant à un réseau tridimensionnel insoluble et infusible. [Bourgeba ,2016] Comportement Rhéologique, Ouvrabilité et Durabilité des Mortiers à Base de Résine Epoxyde.

Les deux résine d'époxy utilise sont :

1) Résine époxy Protop 1000

est une résine époxy Utilisé comme liant universel. Il possède en outre de bonnes résistances chimiques. il permet l'obtention de revêtement drainant. Protop 1000 est pratiquement sans odeur à l'application



Figure II.6.Résine époxy (protop1000)

2)Résine époxy Sikadur :est un résine utilise comme Collage de béton frais sur béton durci, reprise de bétonnage, Liant pour confectionner un coulis ou mortier époxydique et Primaire pour les résine et mortier.

Il est Caractère de Durcissement rapide Adhérence excellente sur béton, mortier de ciment et sur le mortier époxydique, il est de Résistance mécanique élevées et Etanchéité aux liquides et à la vapeur d'eau.



Figure II.7.Résine époxy (sikadur)

B) Le durcisseur

la durcisseur c'est un matériau ayant la propriété de provoquer le durcissement des plastiques thermodurcissables (colles, résines, polyesters, etc.).

Comme les groupes époxydes sont très réactifs, ils peuvent réagir avec un Très grand nombre de substance, c'est pourquoi la gamme des durcisseurs est très étendue. Le choix convenable est basé sur un compromis entre plusieurs caractéristiques : la viscosité du mélange réactif, sa durée de vie en pot, la réactivité du système lors de la mise en œuvre, Les propriétés finales.[Bourguiba ,2016]



Figure II.8. Durcisseur (m-xylendiamine , isophoronediamine)

II.2 Mode de préparation du mortier de résine

II.2.1 La procédure de préparation des matériaux

Il y a trois étapes nécessaires avant fabriquées le mortier de résine :

1. On calcule le dosage de chaque constituant (Tableau II.1).
2. On Sèche le mélange granulaire dans l'étuve (FigureII.9) pendant 24 heures à 105°C.
3. On prépare les moules en les imprégnant d'une couche isolante afin de faciliter le démoulage des éprouvettes en mortier de résine (FigureII.10).



Figure II.9 Moules (4× **4 × 16)**

Le tableau suivant résume la composition d mortiers résineux avec un dosage de résine constant se situe de 12.5% en poids des granulats.

Tableau II.1 les dosages des bétons pour 16 éprouvette 4×4×16cm

Mortier résineux à base de	Silice traité gros (g)	Silice traité moyen (g)	Silice traité fin (g)	Marbre 3/8 (g)	Marbre ¼ (g)	Epoxy (g)	Durcisseur (g)
62.5% silices traités	2000	1500	1500	1500	1500	713	286

II.2.2 procédure de malaxage

Le processus de fabrication des mortiers de résine est conduit en respectant la méthodologie développé dans les travaux antérieurs de [HAIDAR, 2011] , [EL ALAOUI, 2012]et [Elhabib, Tounsi .18].est décrit comme suit (Figure II.11):

La procédure de malaxage pour tous les types de mortier de résine est représentée dans le tableau II.3

Tableau II.3. Procédure de malaxage

L'opération	Durée	Etat de malaxeur
Sable + gravier	_	_
Malaxage	**30s**	Vitesse lente
Introduction de la résine +durcisseur	**30s**	
Malaxage	**120s**	Vitesse moyenne

- **Étape 1 :**

Les granulats (sable et gravier) doivent être séchés à 105°C pour plus de 24 heures et la résine (durcisseur et pré-polymère époxy) doit être stockée dans un conservateur à température contrôlée.



Figure II.10 . étuve pour séchage des granulats

- **Etape 2**

Mélange du pré-polymère et du durcisseur en respectant les proportions massiques étudiées Pendant 2 min. Le malaxage se fait à l'aide d'un mélangeur à résine(Agitateur).



Figure II.11. Mélange du liant polymérique

➢ **Etapes 3**

On prépare le mélange des agrégats à l'état sec dans un récipient tout en Respectant le dosage des constituants étudié.



FigureII.12. Mélange des granulats

➢ **Etape 4**

✓ On ajoute le mélange du pré-polymère et le durcisseur avec les granulats. (sables de silices et gravier de marbre) et le malaxage se fait Nous obtenons ainsi un mortier résineux à l'état frais.



Figure.II.13.mélange du pré-polymère et le durcisseur avec les granulats

- ✓ On remplit les moules prismatiques 4x4x16 cm selon trois couches pour assurer la Stabilité à l'état frais du mortier résineux, afin d'éliminer les risques de sa ségrégation.
- ✓ Dans chaque couche mortier coulée subit 30 coups (compactage) avec une barre Métallique pendant 30 secondes.
- ✓ Après la dernier couche, on arase la surface supérieure des éprouvettes avec Une réglette
- ✓ les éprouvettes ont été démoulées après 4 heures et ont été Conservation dans une salle à température ambiante jusqu'à l'échéance des essais Mécaniques.





Figure II.14. phase de remplissage de mortier résineux dans les moules



Figure II.15. démoulage des éprouvettes

II.3 Techniques expérimentale:

II .3.1 Propriétés physiques des constituants

II.3.1.1 1Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme **[NF EN 1097-3].**

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \qquad \mathbf{g/cm^3}\mathbf{.....[NF\ EN1097\text{-}3]}$$

II.3.1.2 Mesure de la masse volumique absolue

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau.

La différence de volume rapportée à la masse de matériau nous donne la masse volumique absolue. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN1097-3].

On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_1 - V_2)} \qquad g/\mathbf{cm^3}\text{.....[NF EN1097-3]}$$

II.3.1.3Laporosité

A partir de la masse volumique absolue on déduit la porosité qui a été définie par la formule suivante :

$$P = \left[1 - \frac{q_{app}}{q_{abs}}\right] \times 100\mathbf{.....[NF\ EN1097\text{-}3]}$$

II.3.1.4 Module de finesse

La norme [XP P 18-540] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le 1 /100éme de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : (5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16) mm

II.3.1.5 Propreté de sable (Essai d'équivalent de sable)

Le degré de propreté du sable est fourni par l'essai d'équivalent de sable selon **la norme [NA455]**.

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

On lave l'échantillon selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- Hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable (ES) qui, par convention :

$$\mathbf{E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100}\text{.....[NA455]}$$

II.3.1.6 Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques réalisées sur le gravier et le sable utilisés dans les formulations.

L'essai, par voie sèche selon la norme [**NA 2607]**, consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboite les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

II.4 Caractéristique des bétons

Comme pour tous les bétons et les mortiers, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir : La nature et le type de squelette granulaire.

Les différents essais faits au cours de ce travail sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.2: les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Durci.

	Essais	**Normes**
Etat durci	Traction	EN 196-1
	Compression	EN 196-1
	Masse volumique	NA 435
	Conductivité thermique	-
	Perméabilité	-

II.4.1 Essais physico-chimiques

II.4.1.1 Masse volumique à l'état durci

La méthode utilisée pour déterminer la masse volumique des bétons est définie selon la norme [NA 435]

Elle est basée sur le principe de la pesée hydrostatique et nécessite une balance équipée pour pesée hydrostatique



Figure II.16. Pesée hydrostatique

II.4.1.2 Essai de conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction.

Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre.

Elle dépend principalement de la nature du matériau, la température, et d'autres paramètres comme l'humidité, la présence de porosités ou de fissures Les mesures sont faites sur des

échantillons sous forme de blocs $(4 \times 4 \times 16)cm$ entre lesquels la sonde est insérée [HAIDAR ,2011]

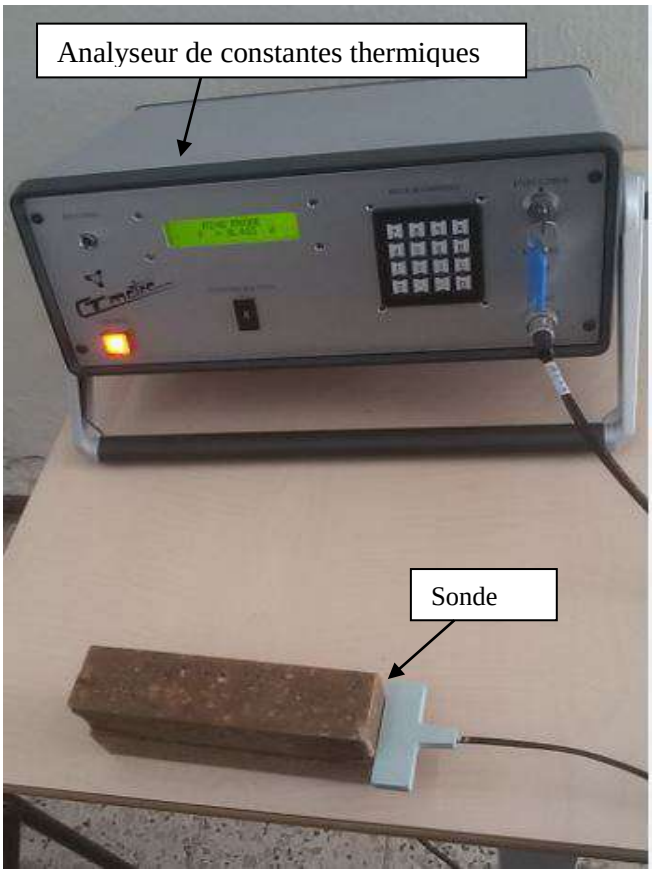


Figure II.17. Dispositif et échantillons pour les essais de conductivité thermique

II.4.2 Essais mécanique

II.4.2.1 Essai de traction par flexion 3point

Selon la norme [EN 196-1], l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L**.**

Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm.

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\boldsymbol{\sigma_t = 1.5 \frac{P.L}{a^3}} \text{.....[EN 196-1]}$$



Figure II.18. Essai de traction par flexion 3 points

II.4.2.2Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [**EN 196-1]** par Compression axiale pour demi-prisme obtenus après l'essai de flexion d'éprouvettes de dimensions (4×4×8) cm.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes.



Figure II.19. Essais de compression

II.4.3Essais de durabilité

II.4.3.1 Essai de perméabilité aux ions chlorures

La durabilité des mortiers de résine à la diffusion des ions chlorure a été réalisée sur des éprouvettes cylindriques ; 10 cm de diamètre et 5 cm d'épaisseur (Figure II.17)

L'essai consiste à mettre sous vide les échantillons de mortier dans un dessiccateur relié à une pompe (Figure II.18), pendant 3h.



Figure II.20. Eprouvette cylindrique et Dessiccateur relié à une pompe

Ces échantillons sont ensuite saturés en eau distillé pendant 24h. Après saturation, les éprouvettes sont insérées dans des cellules de diffusion des ions chlorures. Ces cellules sont composées de deux compartiments : le compartiment en amont, relié à l'anode, est rempli d'une solution de NaOH (g/L)de dosage 0,3% et le compartiment en aval, relié à la cathode, est rempli d'une solution de NaCl (g/L)de dosage 3%.



Figure. II.21. Solutions (NaCl,NaOH)

L'attaque par les ions Cl- se fait pendant 24h en imposant une différence de potentiel entre les deux électrodes. Ces ions migrent de la cathode vers l'anode. **[Bourguiba ,2016]**

Le dispositif expérimental est représenté à la **Figure II.22.**



Figure II.22 Le dispositif expérimental Essai de perméabilité aux ions chlorures

Chapitre III : Résultat et interprétation

Introduction

Ce chapitre regroupe les résultats qui étudier l'effet d'une exposition à hautes températures du bétonrésineuxà formulation optimale de 12% de résine, sur les propriétés physiques et mécaniques.

III.1.Propriétés physiques des constituants :

Le tableau suivant regroupe quelques propriétés physiques des granulats utilisés : .

Matériaux	Module de finesse %	Masse volumique absolue g/cm3	Masse volumique apparente g/cm3	Porosité %	Propreté %
Silicetraité fin	2.86	2.11	1.43	32.22	95.87
Silicetraité moyen	2.98	2.14	1.47	31.30	63.39
Silicetraité gros	4.55	2.09	1.41	32.53	85.71
Marbre 3/8	-	3.52	1.53	56.53	-
Marbre fin 1/4	-	4.43	1.55	56.01	-

Tableau III-1 Propriétés physiques des granulats

III.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituants le sable.

a) Silice traitégros

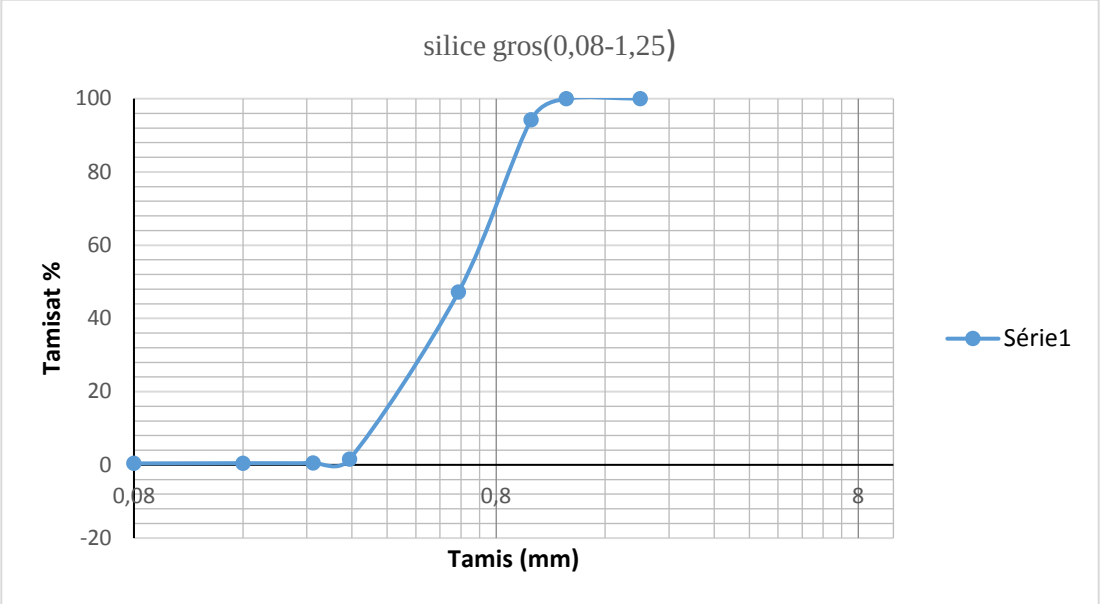


Figure III-1 courbe granulométrique de sable de silice gros (0.08-1.25)mm

b) silice traitémoyen

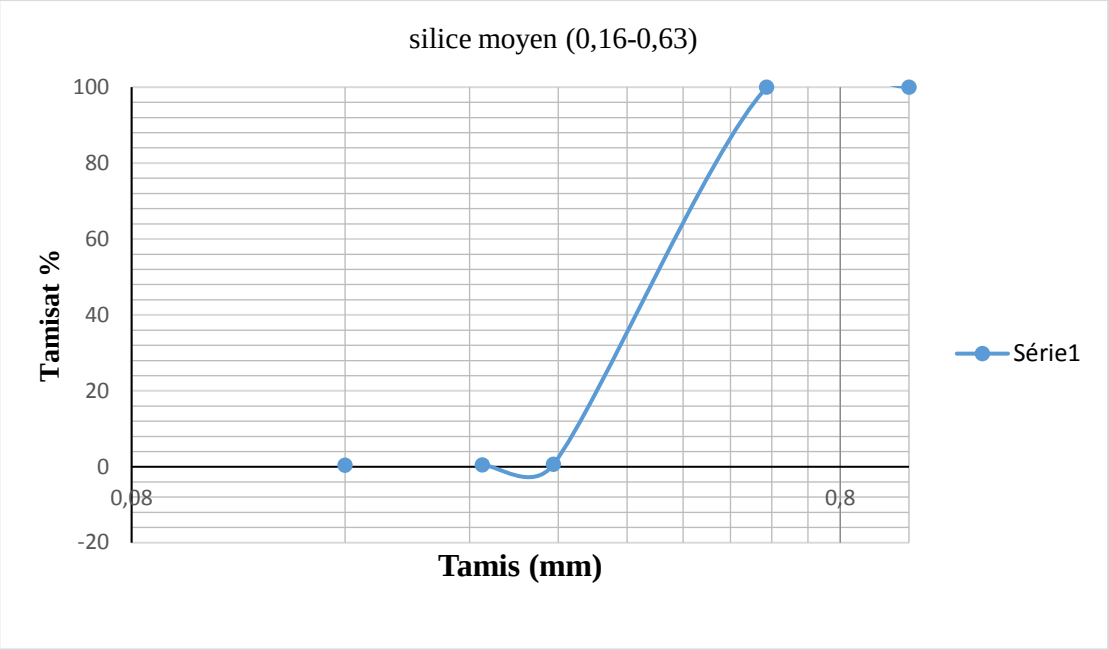


Figure III-2 Courbe granulométrique de sable silice moyen (0.16-0.63) mm

c) silice traitéfin

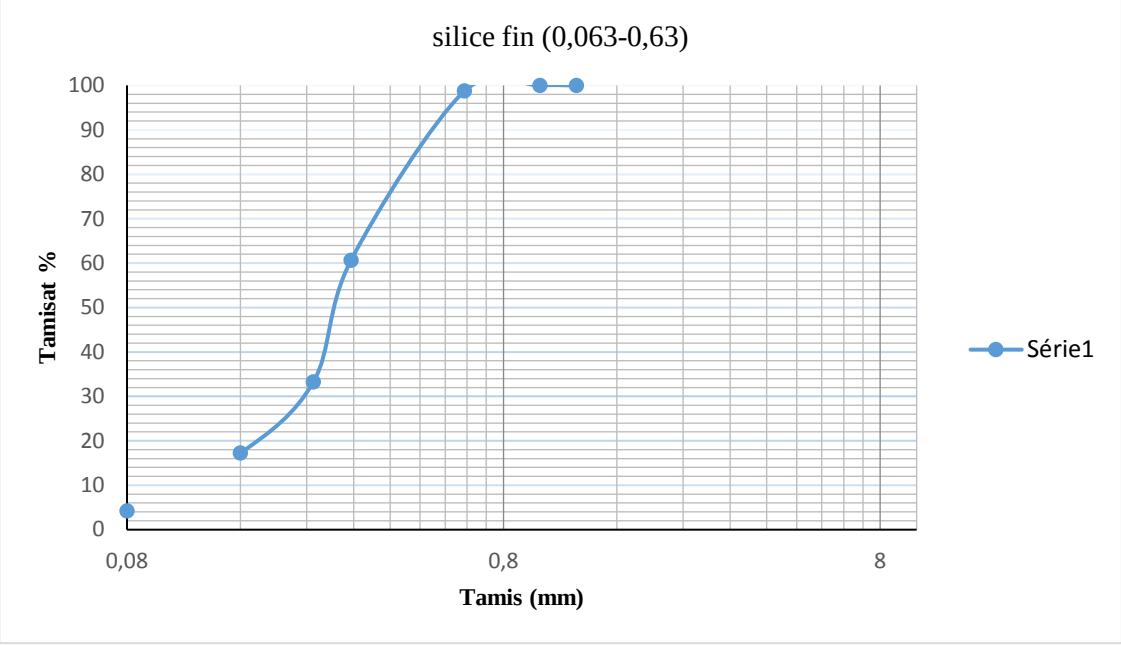


Figure III-3 courbe granulométrique de sable de silice fin (0.063-0.63) mm

d) Gravier de marbres3/8

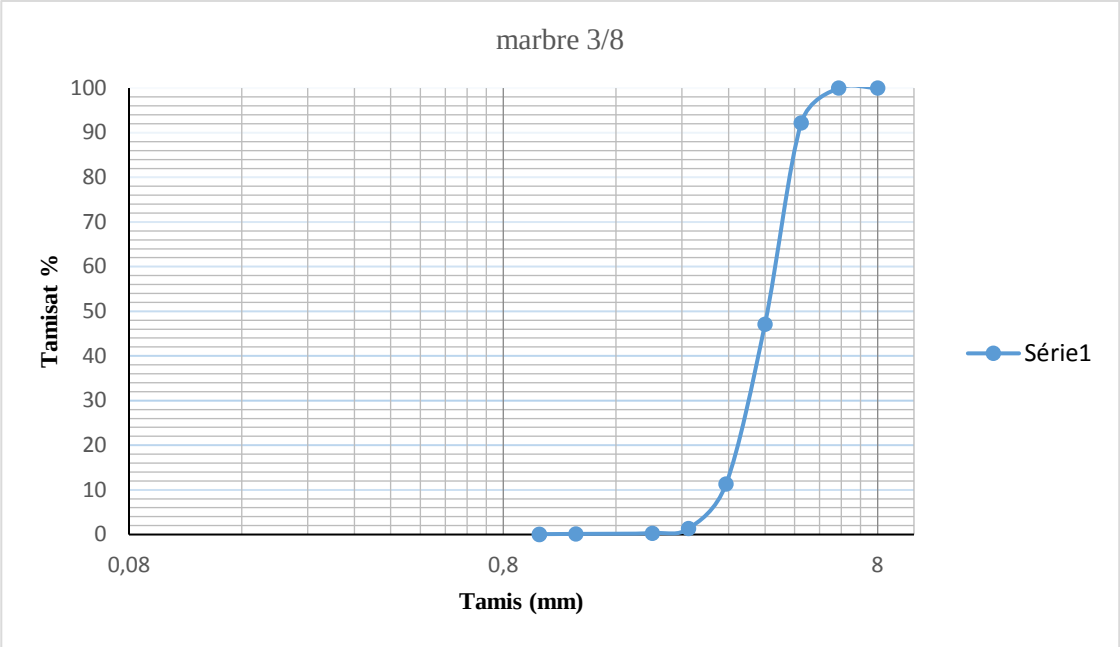


Figure III-4 courbe granulométrique de marbre 3/8

e) Gravier de marbres1/4

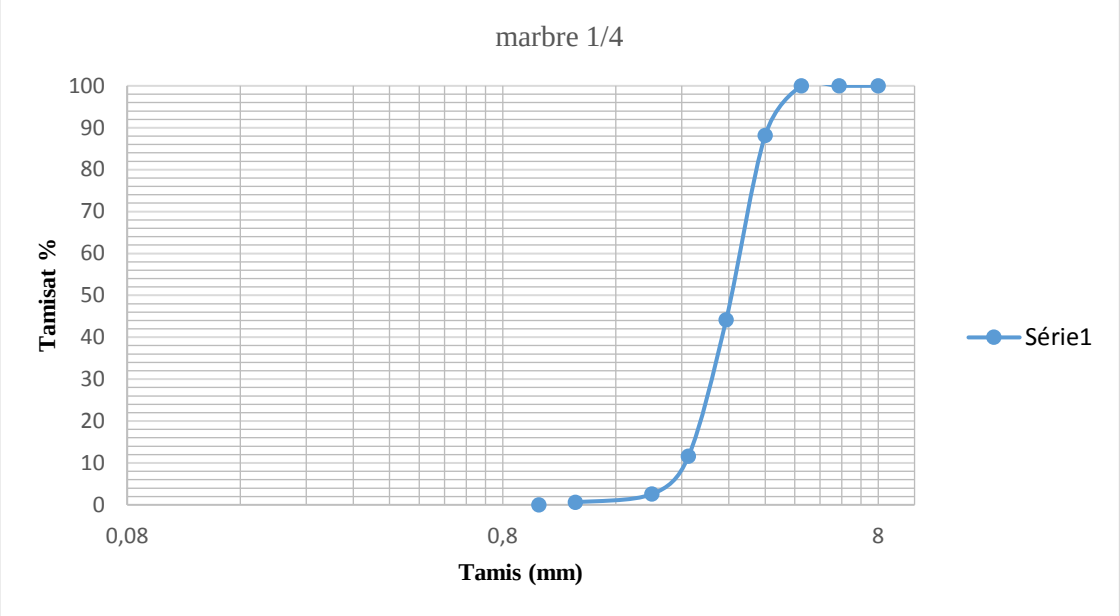


Figure III-5 courbe granulométrique de marbre ¼

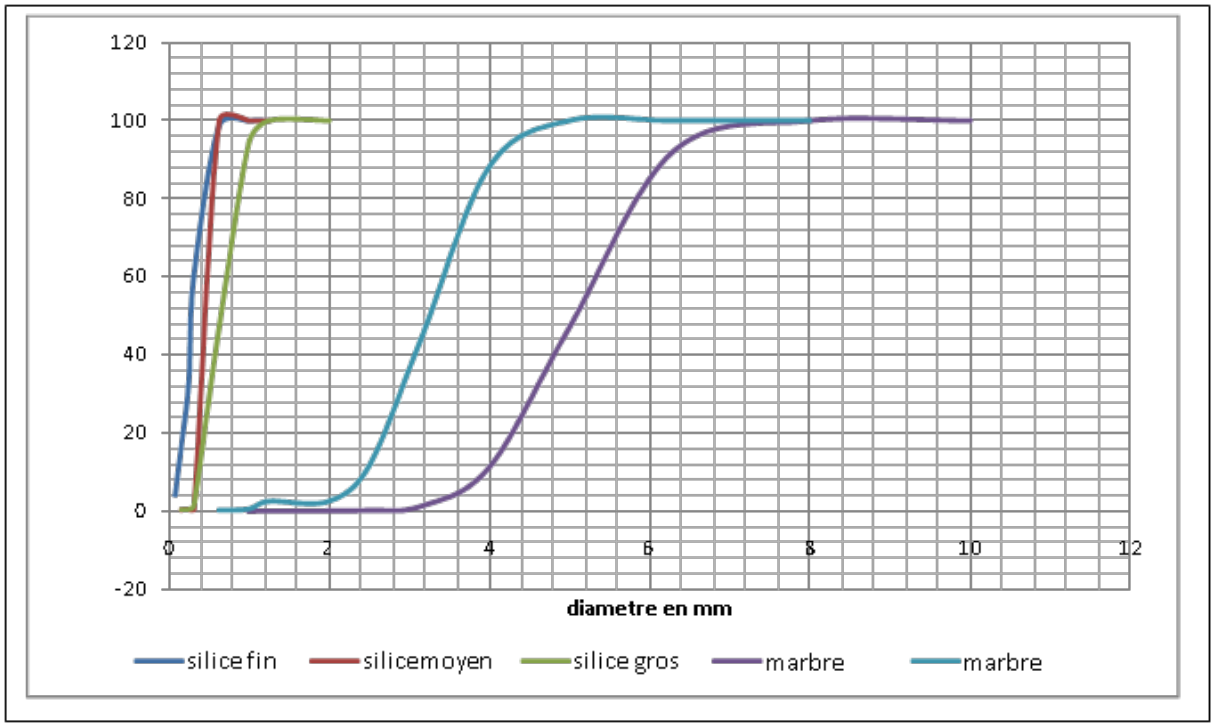


Figure III-6 analyse granulométrique des granulats

Introduction

Les échantillons des bétons résineux ont été chauffés jusqu'à ce que la température d'essai ait été atteinte. La température a été maintenue continuellement pendant une période de 2 h.

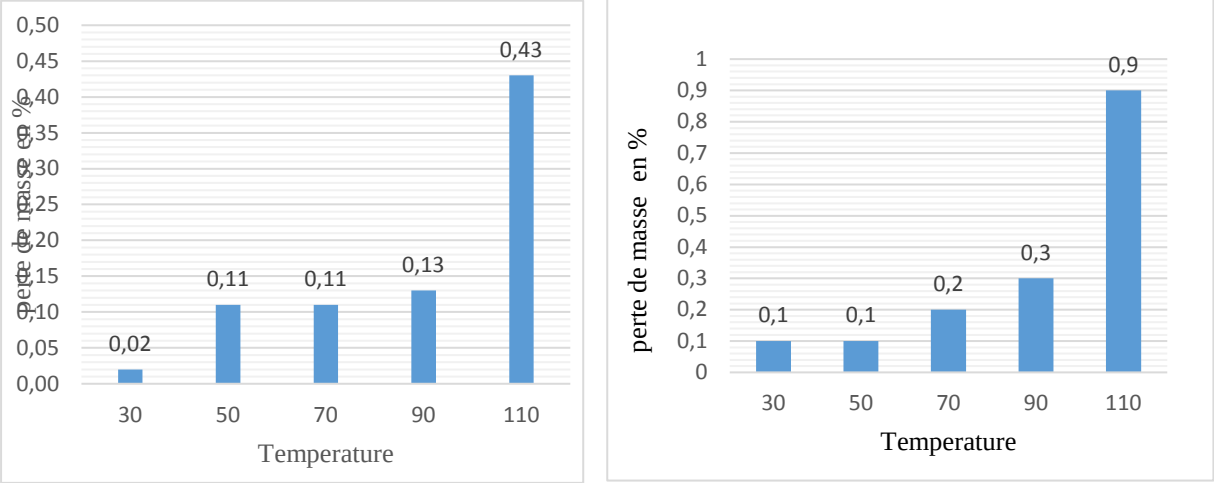
III.3.Influence de l'exposition à hautes températures sur les propriétés physiques

III.3.1 Perte de Masse

Dans les deux types de mortier résineux, la masse des éprouvettes diminue en fonction d'exposition au la température, la domaine de la température (23°C ,30°,50°,70°,90° et la température maximale 110°C) ,ce qui indique une dégradation des propriétés du matériau. L'évolution de la perte de masse du mortier résineux en fonction de la température présente dans les figures suivantes.

La perte de masse des mortiers résineux donnée par l'équation suivante :

$$\text{Perte de masse} = \frac{\text{masse (avant exposition)- masse(apres exposition)}}{\text{masse (avant exposition)}} * 100$$



a) Mortier résineux (Résine SIKA dur) b) Mortier résineux (Résine PROTOP 1000)

Figure 1II-7 perte de masse en fonction de températureles deux types demortier résineux

III.3.2 Masse Volumique

La masse volumique de béton résineux a été calculée selon la procédure décrite dans le chapitreII. La masse volumique ne change pas après l'exposition de la température entre30,50°,70°,90°,et la température maximale(110° C).

L'évolution de la masse volumique en fonction de la température d'exposition est illustrée sur

les figures suivantes.

$$\rho=\frac{M}{V}$$

ρ : Masse volumique.

M : Masse de l'échantillon.

V : Volume de l'échantillon.

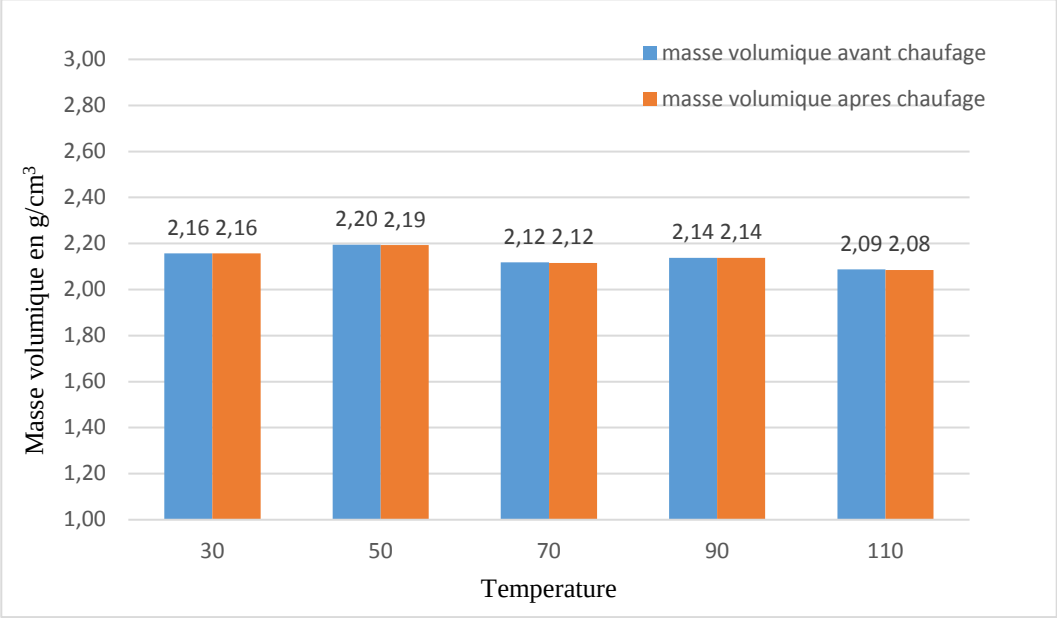


Figure III-8variation de masse volumique mortier résineux de sika)

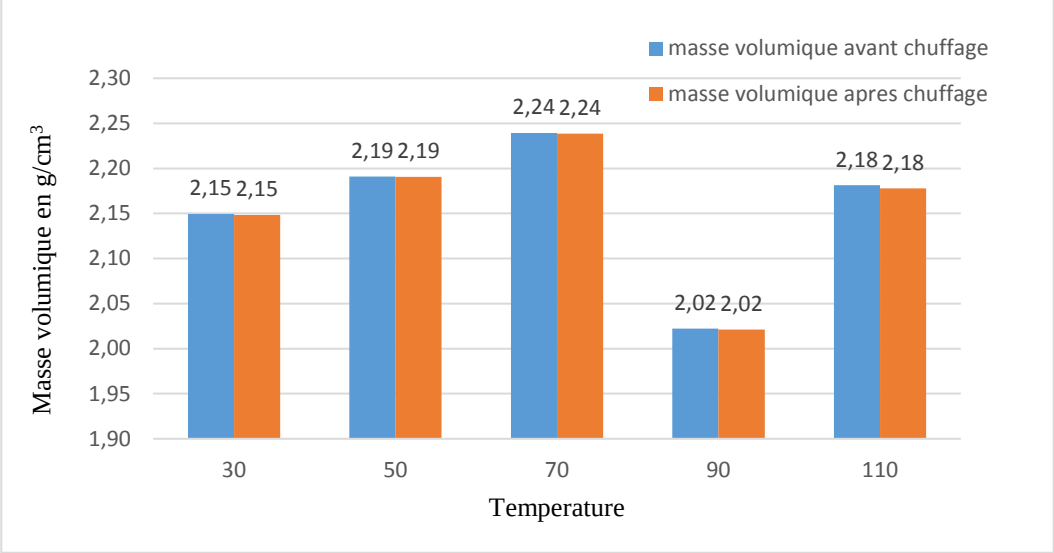
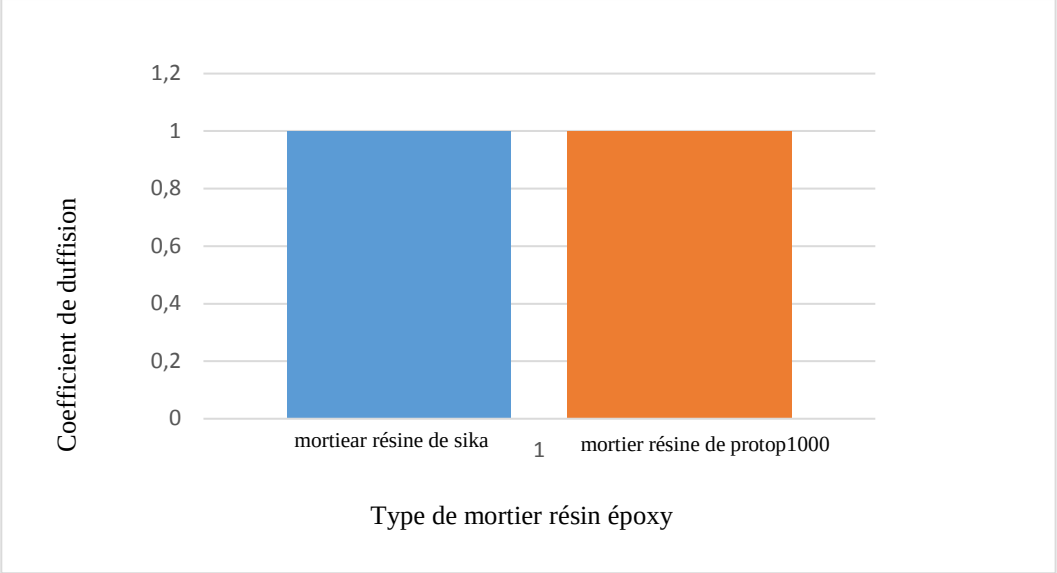


Figure III-9 variation de masse volumique mortier resineux de (ProTop1000)

III.3.4 Evaluation de la perméabilité aux ions chlorure

Nous observons qui la perméabilité aux ions chlorure dans le béton résineux de les deux types de résine et n'est pas dépassée 0.001 ,

L'évolution de la perméabilité aux ions chlorure est illustrée dans le figure suivant .



FigureIII.10 perméabilité aux ions chlorure de mortier résineux

III.3.5 Evolution de Conductivité thermique

Dans cet essai, les mesures de conductivités (figure) sonteffectuées après le refroidissement des éprouvettes. Car, le dispositif de mesure est très sensible à la chaleur.

En effet, lorsqu'onchauffe le mortier de résine à température de 23°,30°,50°,70,°90°et 110° les propriétés de ce dernier vas changer.

Il est a signaler que ces propriétés revient à leur état initiale après le refroidissement.

Matériaux	Béton ordinaire	Mortier résineux
λ	2.1	1.5

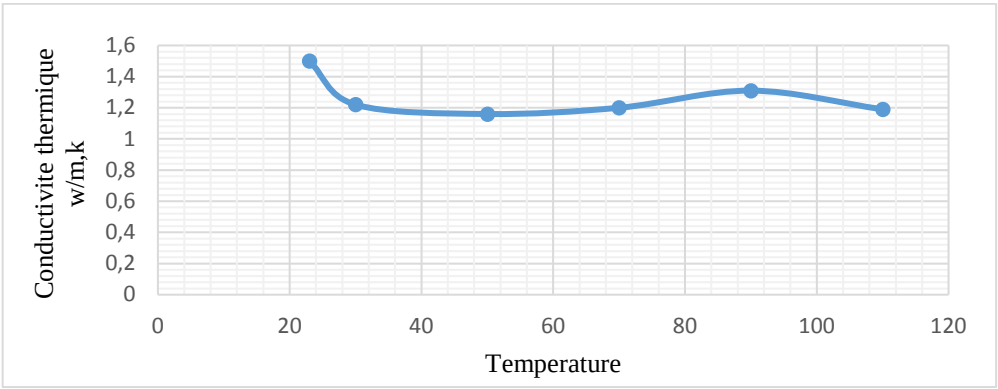


Figure III-11 conductivité thermique de mortier résineux de résine sikadur

III.4.Influence de l'exposition à températures sur les propriétés mécaniques

III.4.1.Résistance à la traction par flexion

Les résultats des essais de flexion de mortier résineux à différentes températures sont présentés

Dans la figure. Les échantillons ont été testés à (-15°C, 23 ° C, 30 ° C, , 50 ° C, , 70 ° C, 90 ° C, et 110°C .Lors de l'augmentation de la température d'essai, on remarque qui une diminution progressive de la résistance à la flexion se produit entre la température (-15°C et 50 °C), seule une perte de la résistance ultime en flexion est observée. Lorsque la température est élevée de 70 °C à 110 °C, un changement dans le comportement du matériau est observé. Le mortier époxy devient moins fragile.

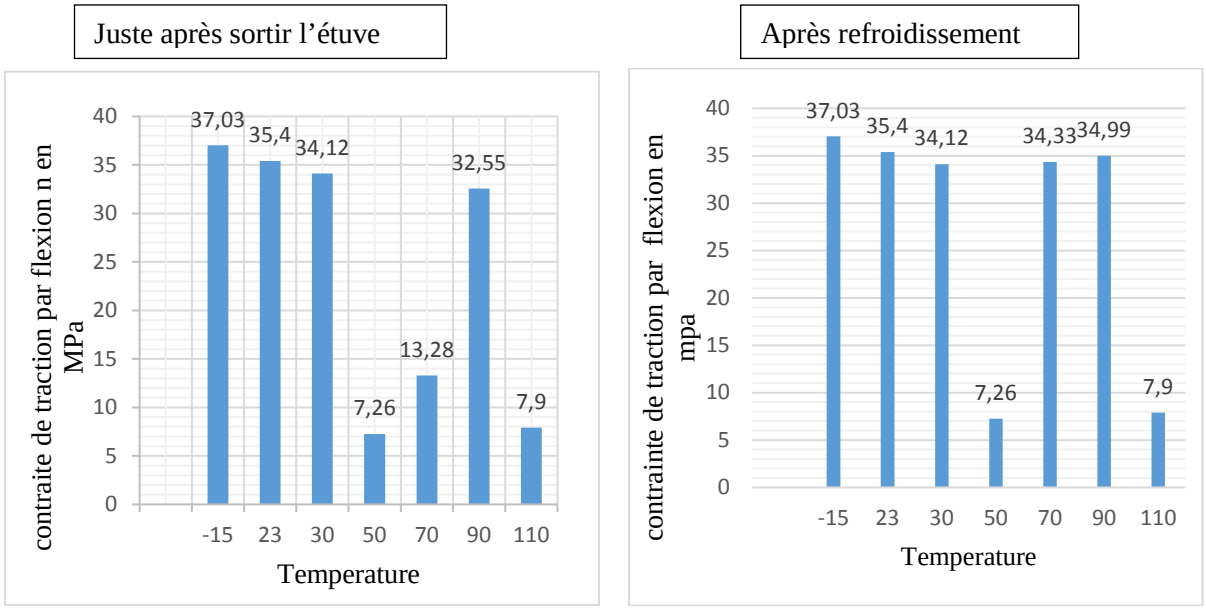


Figure III-12 contrainte de flexion en fonction de température mortier résineux sikadur

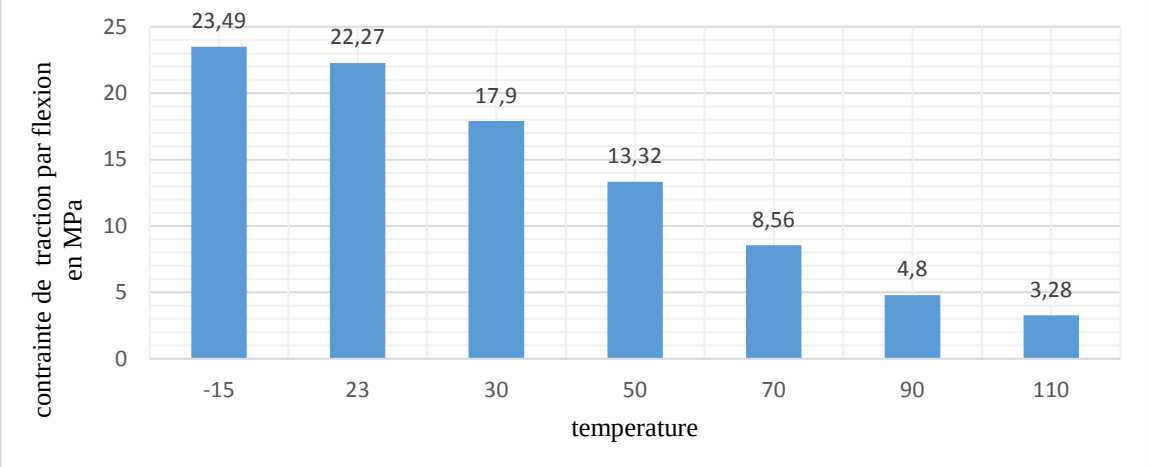
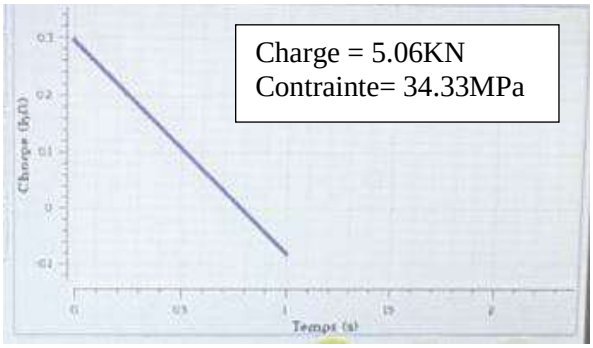
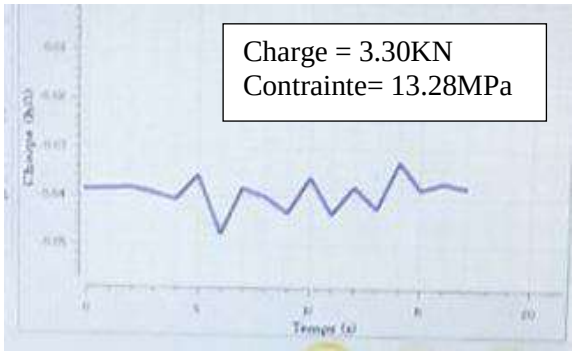


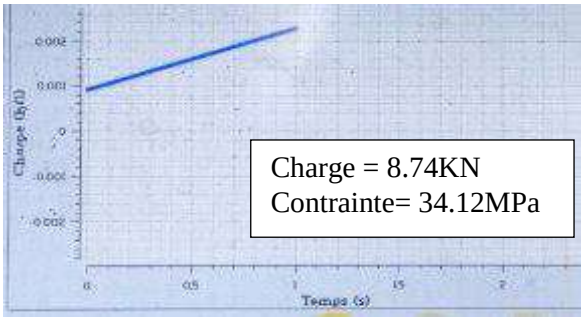
Figure III-13 contrainte de traction par flexion en fonction de températuremortier résineux deprotop1000



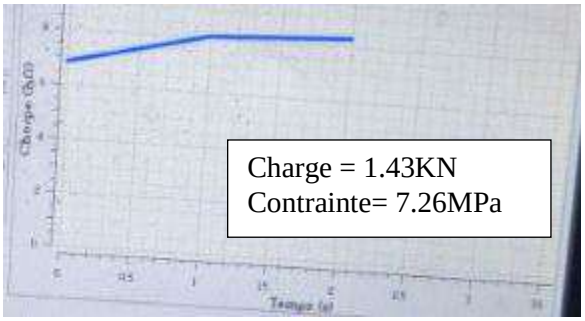
a) 70°C juste après sortir l'étuve



b) 70°C après refroidissement



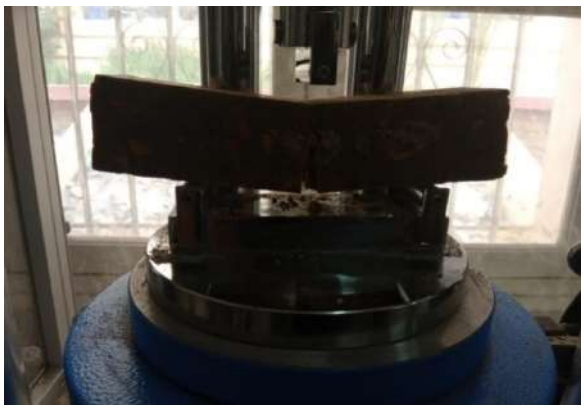
c) 50°C juste après sortir l'étuve



d) 30°C juste après sortir l'étuve

Figure III-14 contraintede traction par flexion en fonction de temps de mortier résineux de Sikadur

a)Mode derupture



a) Mortier résineux (Résine SIKA dur)



b) Mortier résineux (Résine PROTOP 1000)

Figure III-15 mode de rupture sur la résistance à la traction par flexion mortierrésineux

b) Faciès de rupture de mortier derésine

Les éprouvettesest légèrement ductile il est divisé en deux morceaux,



Figure III-16 faciès de rupture de mortier résineux de sikadur



Figure III-17 facies de rupture demortier résineux deprtotop1000

III.4.2. Résistance à la compression

Une diminution de la résistance à la compression continue avec l'augmentation de la température avec un endommagement sous forme de fissurations.

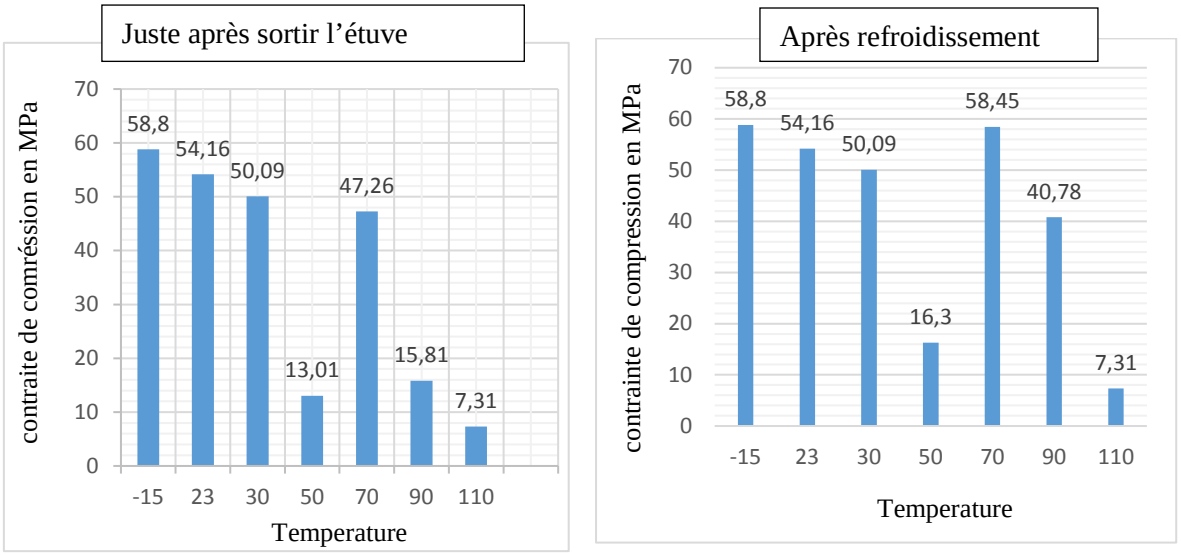


Figure III-18contrainte de compression en fonction de températurede mortier résineux de sikadur

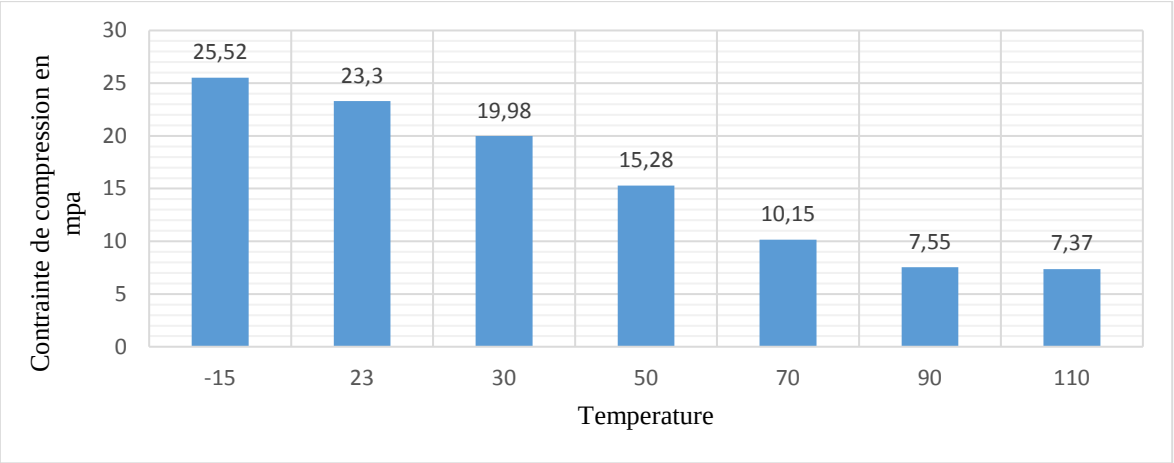
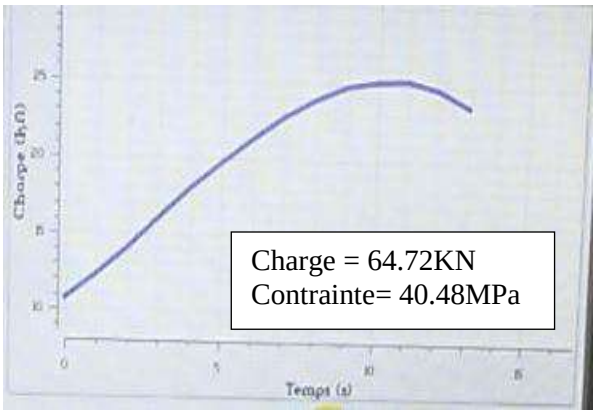
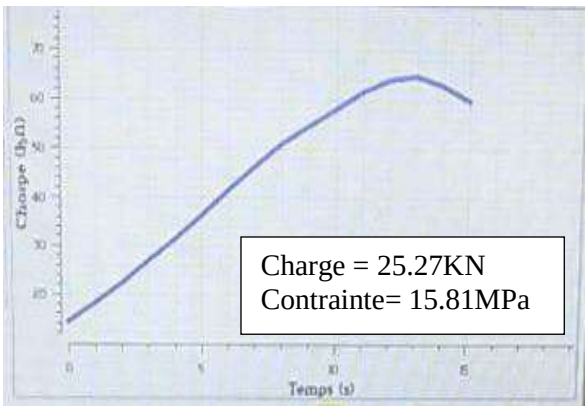


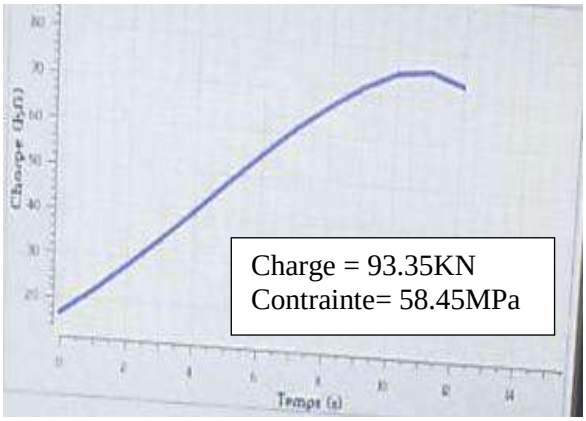
Figure III-19 Contrainte de compression en fonction de température de mortier résineux protop1000



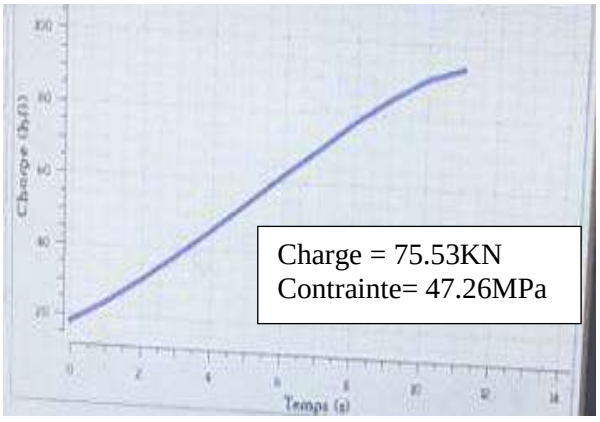
a)90°C juste après sortir l'étuve



b)90 °C après refroidissement

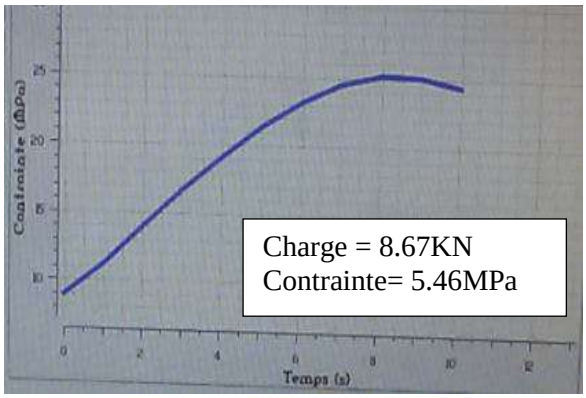


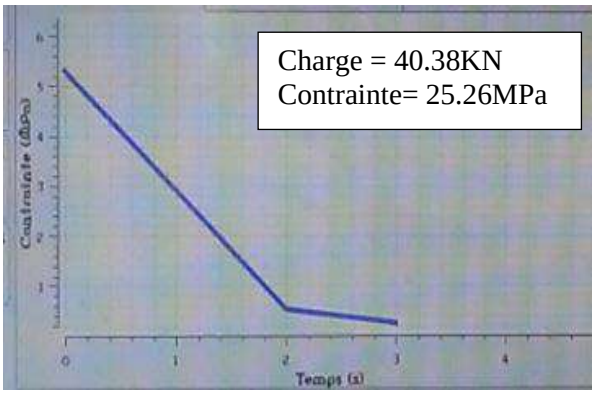
c)70°C juste après sortir l'étuve



d)70°C aprèsrefroidissement

Figure III-20 contrainte de compression en fonction de temps de mortier résineux de Sika dur





a) (- 15°C) juste après sortir la réfrigérateur b) 130°C juste après sortir l'étuve

Figure III-21 contrainte de compression en fonction de tempsde mortier résineux de protop1000

a)Mode de rupture





a) Mortier résineux (Résine SIKA dur) b) Mortier résineux (Résine PROTOP 1000)

Figure III-22 mode de rupture sur la résistance à la compressionde mortier résineux

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

L’objectif de ce travail consiste à la détermination des propriétés de mortier résineux au température. Ces sont les propriétés physiques, des propriétés mécaniques, propriétés thermique et se durabilité aux ions chlorures.

Les essais révèlent que l’exposition au température conduit à :

- Les mortiers résineux subissent une légère perte de masse varie entre 0.02 à 1 g .
- Les résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion diminuent avec l’augmentation de la température.

L’introduction des résines polymère améliore la durabilité des mortiers résineux Cette amélioration s’explique amplement par la baisse d’absorption d’eau.

Les propriétés mécaniques des mortiers résineux sont fortement sensibles au type de résine et de renforcement (ou agrégat) employé, aussi bien qu'à la quantité des deux composants.

En perspectives, ce projet de thèse peut être complété et approfondi par d’autres travaux expérimentaux. Ces travaux concernent l’étude des ajouts les matériaux spécieux dans des mortiers résineux exposée à la haute température. Il serait également intéressant d’améliore leur comportements physique et mécanique dans l’environnement ayant une température élevé

.

Annexe

Annexe 1

Flowcrete
for the world at your feet

Pro Top 1000

Liant époxy universel
Fiche Produit page 1/2

Description
Pro Top 1000 est une résine époxy bi composant non solvantée.
Pro Top 1000 est utilisé comme liant universel. Il possède en outre de bonnes résistances chimiques.

Destination
Comme liant, pour tous les systèmes de revêtements de sol, sauf les revêtements
Auto-lissants et peintures de finition.

Environnement
Pro Top 1000 est sans solvant, sans nonylphénol et pratiquement sans odeur à l'application.
Consulter la Fiche de Données de Sécurité pour plus de renseignements.

Rapport des composants
2.5 parts du composant A pour 1 part du composant B, en poids.
2.3 parts du composant A pour 1 part du composant B, en volume.

Température d'application
Température du support recommandée entre 15-25°C, pas en dessous de 10°C.
Température du support devra être 3°C au dessus du point de rosée lors de la mise en œuvre et de l'application.

Temps d'application/ pot life
Les composants, une fois mélangés, seront mis en place avant 30' à 18°C.
Une température plus élevée réduira ce temps de travail.

Durcissement (à 18°C)
Peut être recouvert après 18 hrs.
Circulation piétonne après 18 hrs.
Durcissement complet 5/7 jours.

Couleur
Transparent.

Extrait sec
Approx. 100 %.

Finition
Brillant.

Densité
Composant A approx. 1.13 kg/litre.
Composant B approx. 1.05 kg/litre.
A+B approx. 1.10 kg/l.

Stockage
12 mois en emballage fermé entre 15°C et 40°C.

Conditionnement
Composants A+B :

15 kg	1400 kg
560 kg	2800 kg

Pro Top 1000 11/3/02

09/2012

Flowcrete France SAS au capital 40 000 €
2 Avenue de Montbouton
Bâtiment A F-77165 SAINT-SOUPPLETS
Tél: 01 60 61 74 42 Fax: 01 64 33 11 61
E-mail : france@flowcrete.com
Flowcrete France SAS is an RPM company

RCS Compiègne 532 988 177 - TVA Intracommunautaire FR53 532988177 - Siret 532 988 177 00035 - APE 4673B

www.flowcrete.fr

Flowcrete
for the world at your feet

Pro Top 1000

Liant époxy universel
Fiche Produit page 2/2

Destination	Rapport de mélange (en poids)	Application	Epaisseur (mm)
Couche d'égalisation ou filtre à 0 avant pose d'un revêtement semi-épais.	1 part de Pro Top 1000 pour 1 à 2 parts de silice calibrée 0,1/0,3 mm.	Lisseuse ou peigne crantée.	1
Mortier de reprofilage de 3 à 15 mm.	1 part de Pro Top 1000 pour 8 à 10 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm).	Lisseuse puis égalisation par talochage manuel ou mécanique.	3 à 15 mm en une passe.
Mortier de reprofilage 15/60 mm.	1 part de Pro Top 1000 pour 8 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm) et 4 parts de silice 3/6 mm.	Lisseuse puis égalisation par talochage manuel ou mécanique.	15 à 60 mm en une passe.
Mortier thixotrope pour gorges et applications verticales.	1 part de Pro Top 1000 pour 7 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm) et 0,06 part d'agent thixotropant pour résine.	Lisseuse	3 à 10 mm

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci. L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Par ailleurs, nos produits doivent être mis en œuvre par des personnes qualifiées.

Flowcrete France SAS au capital 40 000 €
2 Avenue de Montboulon
Bâtiment A F-77165 SAINT-SOUPPLETS
Tél: 01 60 61 74 42 Fax: 01 64 33 11 61
E-mail: france@flowcrete.com
Flowcrete France SAS is an RPM company

ADHERENT SFMR

RCS Compiègne 532 988 177 – TVA Intracommunautaire FR53 532988177 - Siret 532 988 177 00020 – APE 4673B

www.flowcrete.fr

Annexe 5 :

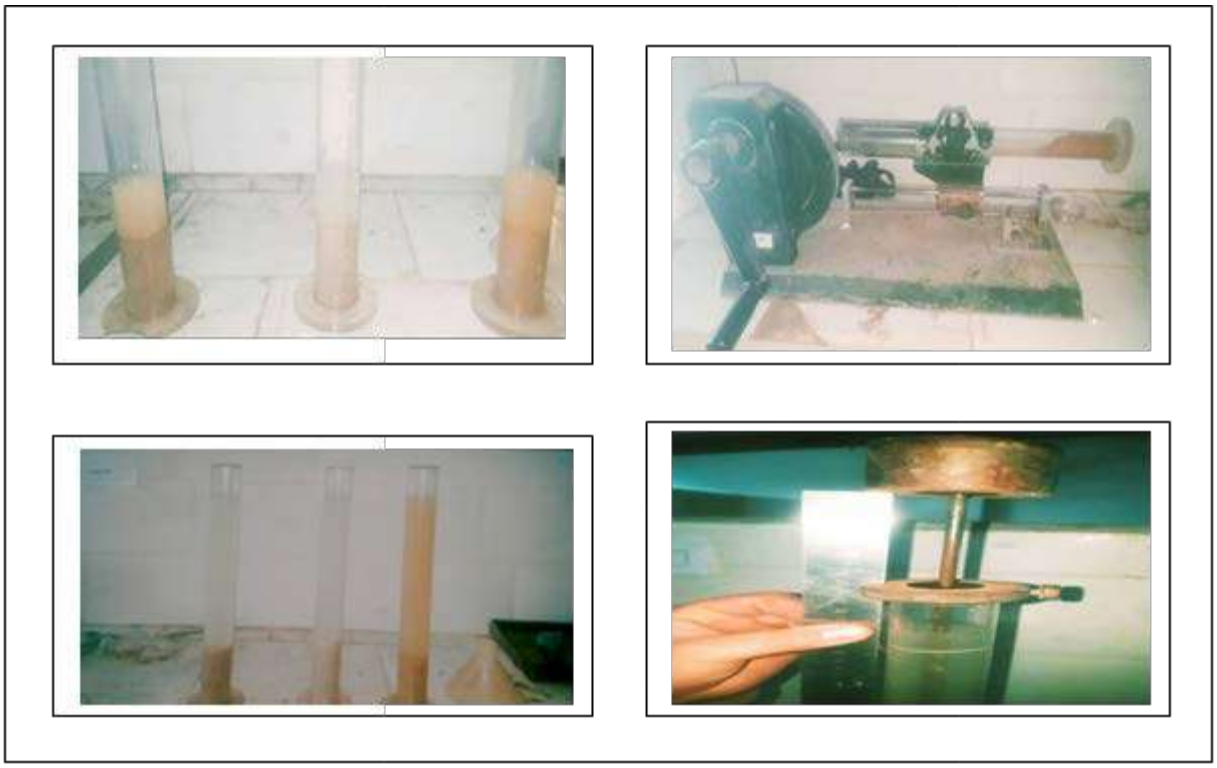
L’équivalent de sable Selon la norme [NA455 2006]

- On remplies les éprouvettes avec l’eau, jusqu'au premier trait ;
- On verse une quantité de 120g de sable en éliminant les bulles d'air
- On Bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de20cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine.
- On lave et on remplies les éprouvettes, avec le tube plongeur.
- On rince le bouchon au dessus de l'éprouvette.
- On faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette.
- On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure.
- On faire Sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait. supérieur puis laisse reposer 20 mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps. de repos est faible (plus ou moins 10 sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci.
- Puis on Mesure à vue les hauteurs h1 et h2 La mesure de h2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes, Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston ;
- On descend le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable.
- On Mesure alors h2'. Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm.
- Expression des résultats :

On Calcul pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision décimale et retenir les Moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

ES =100. (h2/ h1) ESV =100. (h2/ h1)

Les photos suivantes présentes les déférentes étapes de l'équivalent de sable



Les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable suivant la norme en vigueur sont présenté dans le tableausuivant :

ESV a vue (en %)	ES (en%)	Nature et qualité des sables
ESV ≤ 65	ES≤ 60	Sable argileux à ne pas utiliser
65≤ ESV≤ 75	60≤ ES≤ 70	Sable l'égerment argileux Risque de retrait
75≤ ESV≤ 85	70≤ ES≤ 80	Sable propre
ESV ≤ 85	ES ≤80	Sable trèspropre

Annexe 6 : La granulométrie

Selon la norme [**NA 2607]**

- On utilise une quantité de **1000 g** pour le sable et **1200 g** pour le gravier
- on lave la prise d’essai dans unrécipient
- puis sécher la quantité de l’agrégat dans une étuve a 115°C pendant2h
- laisser refroidir puispeser
- verser le matériau lavé et sécher dans la colonne est constitué d’un certain nombre de tamis de haut en bas dans un ordre décroissant avec un fond detamis
- agiter la colonne puis reprendre un à un lestamis
- peser le refus au tamis ayant la plus grande dimension de maile R1
- on trace legraphe



Annexe 7 : La masse volumique

Selon la norme **[NF EN 1097-3]. Masse volumique apparente**

- Peser le récipient
- Maitre l'échantillon dan un récipient
- Araser à la règle, et peser le contenu
- **Expression des résultats :**

La masse volumique apparente donnée par la formule suivante :

$\rho app = (M2 - M1)/v$

M1 : la masse de récipient vide.

M2 : la masse de récipient +l'échantillon.

V1: le volume de récipient

Masse volumique absolue

On utilise Méthode de l'éprouvette graduée Cette méthode est très simple et très rapide.

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en
- prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V2.
- Expression des résultats :

On Calcul pourchaqueessais **$\rho abs = M (V2 - V1)$**

Construction

Sikadur® Reprise Bétonnage

Résine époxydique

Présentation

Le Sikadur Reprise Bétonnage se présente sous forme d'un kit prédosé comprenant :

- le composant A (résine).
- le composant B (durcisseur).

Après mélange, on obtient une résine légèrement ambrée.

Domaines d'application

Sikadur Reprise Bétonnage s'utilise:

- Collage de béton frais sur béton durci, reprise de bétonnage.
- Liant pour confectionner un coulis ou mortier époxydique.
- Primaire pour les résine et mortier.

Caractères généraux

- Sans solvant.
- Excellent pouvoir mouillant.
- Durcissement rapide.
- Adhérence excellente sur béton, mortier de ciment, mortier époxydique.
- Résistance mécanique élevées.
- Etanchéité aux liquides et à la vapeur d'eau.

Agréments, essais de laboratoire

PV CNERIB : DTEM : 104/2017.

Caractéristiques

Conditionnement

Kit prédosé de 1 kg.

Stockage

Stocker à l'abri de l'humidité et du gel.

Conservation

Dans son emballage d'origine intact, à une température comprise entre +5°C et +30°C, le Sikadur Reprise Bétonnage se conserve 2 ans.

Données techniques

Densité

Environ 1.

Résistances mécaniques

A 7 jours et 23°C :
à la compression : 70 MPa
à la traction : 75 MPa

Conditions d'application

Proportions du mélange

(A/B) : 3/1 en poids.

Consommation

La consommation dépend de l'état de surface du support : 0,3 à 1 kg/m².

Préparation du support

- le support doit être propre, sain, sec et débarrassé des parties non adhérentes.
- Il doit avoir au moins 28 jours.

Mise en oeuvre

Conditions d'utilisation

La température ambiante et celle du support doivent être comprises entre +10 et +30°C.

Construction

Préparation du mélange	Vider soigneusement la totalité du composant B dans le composant A, puis mélanger pendant 3 à 5 minutes avec un agitateur électrique à faible vitesse de rotation (moins de 300 tours/min) muni d'une hélice 3 branches, jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. Tout défaut de mélange peut conduire à une baisse sensible des performances. Le mélange doit être appliqué immédiatement.
Nettoyage des outils	Les outils se nettoient avec le Nettoyant Sikadur immédiatement après l'emploi. A l'état durci, le produit ne peut être éliminé que par voie mécanique.
Mise en œuvre	Appliquer le mélange en couche mince à la brosse ou au rouleau. En reprise de bétonnage ou utilisé comme primaire, le Sikadur Reprise Bétonnage doit être recouvert alors qu'il est encore poisseux ■ Sup à 90 minutes à 10 °C. ■ 90 minutes à 20°C. ■ 45 minutes à 30 °C.
Durée pratique d'utilisation	La Durée Pratique d'Utilisation diminue lorsque la température augmente. ■ 60 minutes à 10 °C. ■ 30 minutes à 20°C. ■ 15 minutes à 30 °C.
Précautions d'emploi	Le Nettoyant Sikadur est un produit inflammable contenant des solvants aromatiques. Il doit être utilisé en extérieur. Les résines époxydiques et les durcisseurs peuvent engendrer une irritation de la peau et des muqueuses.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel.
Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.
«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

SMEE - ZI des Blanchisseries, rue de Taille - 38500 VOIRON
☎ 04 76 65 76 50 - FAX 04 76 66 18 30 www.smee.fr

ANNEXE 2

VALEURS MOYENNES DE CONDUCTIVITE THERMIQUE DE DIFFERENTS TYPES DE MATERIAUX OU PRODUITS

MATERIAUX	(W/m.K)	OBSERVATIONS
BITUME	0.17	23°C
PIERRE	4.7	23°C
TERRE (sol), sèche	0.4	23°C
SABLE	0.55 à 1.85	
GRAISSE	0.16 à 0.2	23°C à 80°C
BETON	1.5 à 2	23°C
CARTON	0.22	23°C
BETON CELLULAIRE AUTOCLAVE	0.1 à 0.3	
MOUSSE DE POLYURETHANE haute densité	0.020	23°C
MOUSSE DE POLYURETHANE	0.045	23°C
VERRE	1	23°C
RESINE	0.3	23°C
SILICONE	0.16	23°C
COMPOTE	0.59 à 0.63	5 à 70°C
ŒUFS	0.49 à 0.54	5 à 70°C
MOUTARDE	0.45 à 0.49	5 à 70°C
AEROGEL de SILICE	0.008 à 0.025	01 à 1000 HPa

Référence bibliographique

[Haidar Murhaf .11]	Optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde. Cergy, France, pp10-11
[B.Redjela, R. Jauberthieb, G. Mirouzia .13]	Nature & Technologie. A- Sciences fondamentales et Engineering, Vol. 9, pp. 19-27, 2013
[Mirouzi.17]	Mirouzi, Ghania. Contribution à l'étude de formulation, de caractérisation et d'endommagement des micro-bétons de résine polyester a renforts fibreux. Annaba: Université de Badji Mokhtar, 2017, vol 211. pp pp 19-34.
[Elhabib ,Tounsi .18]	Elhabib Abdelkarim Tounsi Amel .Etude expérimentale d'introduction des résines polymères dans les bétons . Algerie : université de medea DR.YEHYA FARES ,2018pp7
[Soufi et el .13]	SOUFI, Abderrahmane. Etude de la durabilité des systèmes béton armé France : Université de La Rochelle, 2013, vol. 32, pp 41-45.
[Ohama.16]	Ohama,Yoshihiko. Handbook of polymer-modified concrete and mortars: Properties and Process Technology (en ligne). New Jersey, U.S.A : Niho University, 2016, vol 236, pp1-15. Disponible sur site d'internet suivi : https://docslide. Com (15/03/2018).
[Blaga.86]	A.Blaga, J. Beaudoin.Le béton modifié aux résines.Canada: Canadian Building Digest Institute for Research in Construction, 1986,pp 1-241.

[Kirkovali.81] E. Kirlikovali.Polymer/concrete composites-A review: Polymer Engineering &Science, 1981, pp 507–509.

[Fattah et al.13] H. Abdel-Fattah et M. El-Hawary.Flexural behavior of polymer concrete, Construction and Building Materials.in: Journal of Composites, 2013, pp 253-262.

[Feldman.89] Feldman.Polymeric Building Materials: Elsevier Applied Science.Routledge, London(en ligne), 1989,pp575.disponible sur : https://www.journals.elsevier.com/construction-and-building- materials(01/04/2018)

[Y.I. Dimitrienko.97] «Thermomechanical behaviour of composite materials and structures under high temperatures: 1. Materials». Composites 17, pp.453-461, 1997.

[NA 2607] Normes Algérienne : essais de l'Analyse granulométrique par tamisage, 1990.

[A, Blaga, J,J, Beaudoin .86] «le béton modifié aux résines »,Canadian Building Digest, CBD-241-F, Institute for Research in Construction, 1986, p.1-4.

[E. Kirlikovali ,81] «Polymer/concrete composites—A review». Polymer Engineering & Science, Volume 21, Issue 8, p. 507–509, 1981.

[Snel et al .72] L. Snell, H. Gillespie et R. Nelson. Polymer Concrete and its Potential in the Construction Industry: Proceedings of the Oklahoma Academy of Science, 1972,pp 160-162.

[Joet al.08] B. Jo, S. Par et J. Park. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates: Construction and Building Materials, 2008,pp 2281-2291.

[Vipulanadan et al.89] C. Vipulanandan et O. Ghazzaly. Polymer concrete in hazardous waste management:Applications Original, Journal of Hazardous Materials,1989, pp 261-262.

[Muthukumar et al .04] M. Muthukumar et D. Mohan. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion : European Polymer Journal,
2004,pp 2167- 2185.

[Yeon et al .10] Kyu-Seok Yeon, Yoon-Sang Choi, Sang-Hoon Hyun, Properties of Recycled Polymer Concrete Using Crushed Polymer Concrete as an Aggregate :Second International Conferenceon on Sustainable Construction Materials and Technologies, Universita Politecnica delle Marche, Ancona, Italy,2010,vol 10,pp 2-4.

[Carrion et al.14] Francisco Carrión, Laura Montalbán, Julia I. Real, and Teresa Real, Mechanical and Physical Properties of Polyester Polymer Concrete Using Recycled Aggregates from Concrete Sleepers : ScientificWorldJournal,2014, pp 637-645.

[Abdel-Fattah et al.99] H. Abdel-Fattah and M. M. El-Hawary. On the mechanical properties of polymer Portland cement concrete : Journal-Chinese Institute of Engineers Construction, 1999, pp 253-262.

[Bourgeba ,16] Comportement Rhéologique, Ouvrabilité et Durabilité des

Mortiers à Base de Résine Epoxyde ,Tunis , 2016, pp6.

[Ghorbel et al.16] E. Ghorbel and M. Haidar. Durability to Chemical Attack by Acids of Epoxy Microconcretes by Comparison to Cementitious Ones :Advances in Civil Engineering, 2016, Article ID 4728372, po 4-7.

[Bourgeba ,16] Comportement Rhéologique, Ouvrabilité et Durabilité des Mortiers à Base de Résine Epoxyde ,Tunis , 2016,pp8

[Shokrieh et al.14] M. M. Shokrieh, M. Heidari-Rarani, M. Shakouri, E. Kashizadeh. Effects of thermal cycles on mechanical properties of an optimized polymer concrete ; Construction and Building Materials,2014 , pp 3540–3549.

[Jung.14] K. C. Jung, I. T. Roh, S. H. Chang, Composites: Part B, 2014,vol 58, pp 352–360.

[Murhaf.11] Murhaf Haidar,ElemGhorbel,Houssam Toutanji.Optimisation of the formulation of micro-polymer concretes: construction and Building Materials,2011,pp1632-1644.

[Ribeiro et al.04] M. C. S. Ribeiro, P. R. Novoa, A. J. M. Ferreira and A. T. Marques. Flexural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions: Cement and Concrete Composites, 2004, pp 803-80.

[Ohama et al.86] Y. Ohama, K. Kobayashi, K. Takeuchi, K. Kawata, International Journal of Cement Composites:Light Mass Concrete, 1986,pp 86-91.

[Mebarkia et al.95] S. Mebarkia and C. Vipulandan.mechanical Properties and water diffusion in polyester plymer concrete: Journal of Engineering Mechanics, 1995,pp 1359-1365.

[Ribeiro,02] M. C. S. Ribeiro, C. M. L. Taveras, A. J. M. Ferreira,chemical resistance of epoxy and polyester polymer concrete to acids and salts: Journal of Polymer Engineering, 2002, pp27-44.

[Ahn.04] Namshik Ahn. Effects of diacrylate monomers on the mechanical properties of polymer concrete made with wet aggregates :Journal of Applied Polymer Science, 2004,pp 1077-1085.

[Ahn.08] Namshik Ahn. Moisture sensitivity of polyester and acrylic polymer concretes with metallic monomer powders : Journal of Applied Polymer Science, 2008,pp 319-323.

[Shi-Cong et al.13] K. Shi-Cong and P. Chi-Sun. A novel polymer concrete made with recycled glass aggregates, fly ash and metakaolin : Construction and Building Materials, 2013, pp 146-151.

[Yamamoto.87] T. Yamamoto. Proceedings of 5Th International Congress on Polymer in Concrete, 1987,pp 395-398.

[Agavriloaie.12] L. Agavriloaie, S. Oprea, M. Barbuta, F. Luca. Non Destructive Techniques for Assessment of Concrete: Construction and Building Materials, 2012, pp190–196.

[Maksimov et al.99] R. D. Maksimov, L. Jirgens, J. Jansons, and E. Plume Institute of Polymer Mechanics: University of Latvia, Riga, LV-1006, Latvia. Translated from Mekhanika

Kompozitnykh Materialov, March–April, 1999,Vol. 35, No 2, pp 147–162.

[GORN 07] J.P. Gorninski , D.C. Dal Molin, C.S. Kazmierczak, Comparative assessment of isophtalic and orthophtalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability, Construction and Building Materials 21 ,2007,pp 546–555.

[Golestaneh at al.10] M. Golestaneh, G. Amini : World Applied Sciences Journal, 2010, vol 9, pp 216-222.

[NF EN 1097-3] Normes françaises : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire. 3 Août, 1998.

[NA 5043] Norme Algérienne Granulats - Définitions, conformité, spécifications, 2003.

[NA455 .06] Norme Algérienne Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines - Equivalent de sable, 2006.

[EN 196-1] Normes française : Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances - Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances, Septembre, 2016.

[NA 435] Norme algérienne : Béton durci - Détermination de la masse volumique, ISO6275, 1982

[HAIDAR ,11] Optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde. Cergy, France, pp39